

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Uma Abordagem de Monitoramento dos Sinais
Motores da Doença de Parkinson Baseada em Jogos
Eletrônicos

Leonardo Melo de Medeiros

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Engenharia de Software

Leandro Dias da Silva (Orientador)
Hyggo Oliveira de Almeida (Orientador)

Campina Grande, Paraíba, Brasil
©Leonardo Melo de Medeiros,

Resumo

A Doença de Parkinson (Parkinson) é uma doença neurodegenerativa que causa sintomas motores como: tremor de repouso, bradicinesia e anormalidade na marcha. A natureza progressiva da doença requer um monitoramento contínuo dos sintomas motores para auxiliar o neurologista no gerenciamento medicamentoso. Com este propósito, os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) são utilizados para prover esse cuidado com a saúde de forma descentralizada dos hospitais e ambientes clínicos. Todavia, a maioria dos pacientes rejeitam as soluções de SMS atuais, porque as consideram invasivas e estigmatizadas. Neste trabalho, é apresentado uma abordagem não-invasiva de SMS baseada em jogos eletrônicas voltada para o monitoramento dos sintomas motores do Parkinson. Devido a natureza lúdica dos jogos eletrônicos, esta abordagem permite coletar dados dos pacientes sem lembrá-los que estão sob o tratamento da doença. Nós validamos esta abordagem junto a 30 sujeitos de pesquisa divididos em Grupo de Parkinson e Grupo Controle. A aplicação dos dados numa Máquina de Vetor Suporte (SVM) identificou a ocorrência do sintoma motor da bradicinesia no Grupo de Parkinson obtendo uma acurácia de 86,66%. Além disto, 90% dos pacientes aprovaram a solução de SMS considerando-o não-invasivo e de fácil integração à rotina dos usuários.

Resumo

Parkinson's disease (PD) is a degenerative neurological disorder. It causes motor symptoms such as resting tremor, bradykinesia and gait disorders. The disease's progressive nature requires continuous monitoring of the motor symptoms to assist the neurologist in managing medication. With this purpose, Health Monitoring Systems (HMS) are used as a decentralized healthcare approach. On the other hand, most patients reject the current HMS solutions because they are invasive and stigmatizing. In this work, we present a non-invasive HMS for PD motor symptoms based on games. Because of the nature of games, the approach is able to collect data from patients without reminding them that they are under a disease's treatment. We validated our approach with 30 research subjects divided between PD group and Control group. We used Support Vector Machine (SVM) to identify the occurrence of PD's bradykinesia motor symptoms and reached a classification accuracy of 86.66%. Furthermore, 90% of the patients approved our HMS considering it as non-invasive and easily integrated into their routine.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Problemática	3
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo Principal	3
1.3	Metodologia	5
1.3.1	Etapas da Pesquisa	5
1.4	Trabalhos Relacionados	6
1.5	Contribuições	7
1.6	Organização do Documento	7
2	Fundamentação Teórica	8
2.1	Doença de Parkinson	8
2.1.1	Diagnóstico	9
2.1.2	Principais Sinais do Parkinson	10
2.1.3	Escalas e os Estágios da Doença	11
2.2	Cinemetria	12
2.2.1	Movimento Angular	12
2.2.2	Máquinas de Vetor de Suporte (SVM)	13
3	Abordagem <i>JOGUE-ME</i>	16
3.1	Definição de Requisitos da Solução	16
3.2	Visão geral da solução	17
3.3	Aquisição de Dados	18
3.4	Processamento de Dados Biomecânicos	19
3.4.1	Identificação de Ciclos de Movimento	20
3.4.2	Extração das Características do Movimento	21
3.4.3	Filtragem de Dados	23
3.5	Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem	26
3.6	Visualização dos Dados	27

4	Arquitetura de Software para <i>JOGUE-ME</i>	29
4.1	Arquitetura Cliente do <i>JOGUE-ME</i>	29
4.1.1	Arquitetura do Servidor <i>JOGUE-ME Webservice</i>	32
4.2	Processador de Dados Biomecânicos	33
4.2.1	Identificação dos Ciclos de Movimento	33
4.2.2	Extração das Características do Movimento	34
4.2.3	Filtragem de Dados	35
4.3	Classificador de Dados	36
5	Avaliação Experimental	38
5.1	ETAPA 1 - Entrevista Semi-Estruturada com Profissionais de Saúde	38
5.1.1	Objetivo da Pesquisa	39
5.1.2	Perfil dos Participantes	39
5.1.3	Análise	40
5.1.4	Requisitos Identificados	46
5.1.5	Conclusão	48
5.2	ETAPA 2: Máquina de Vetor de Suporte para Estudo Analítico de Caso Controle Por Intermédio de Sensor de Movimento Usados em Jogos Eletrônicos	49
5.2.1	Estudo analítico de caso-controle	50
5.2.2	Aplicação do Método	54
5.2.3	Resultados	54
5.2.4	Aprendizagem de Máquina (SVM)	56
5.3	ETAPA 3 - Avaliação Da Aceitação Da Abordagem Junto aos Pacientes de Doença de Parkinson (Parkinson) Utilizando <i>Goal Question Metric</i>	59
5.3.1	Aplicação do Método	60
5.3.2	Resultados	61
5.3.3	Conclusão	64
A	Projeto do Comitê de Ética	72
A.1	Resumo	72
A.2	Introdução	72
A.3	Problemática	76
A.4	Objetivo	76
A.4.1	Específicos	76
A.5	Material E Metodoo	77
A.5.1	Tipo de Estudo	77
A.5.2	Local	77
A.5.3	Amostra	77
A.5.4	Formas de Recrutamento	77

A.5.5	Material	78
A.5.6	Procedimentos	78
A.5.7	Base de Dados	79
A.5.8	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	79
A.5.9	Confidencialidade	80
A.5.10	Crêterios Para Interromper a Pesquisa	80
A.5.11	Relação Risco Benefício da Pesquisa	80
A.5.12	Infra-Estrutura	80
A.6	Etapas da Pesquisa e Cronograma	81
A.6.1	Etapas da Pesquisa	81
A.6.2	Cronograma	81
A.7	Orçamento Estimado	82
B	Questionário Entrevista Semi-Estruturada	83
B.1	Entrevista com Profissionais de Neurologia	83
B.1.1	Sintomas da Doença de Parkinson	83
B.1.2	Monitoramento de dados Motores	83
B.1.3	Benefícios	84
C	Crêterios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson	86
D	Questionário GQM	88

Lista de Símbolos

CEP Comitê de Ética em Pesquisa

Parkinson Doença de Parkinson

ER Engenharia de Requisitos

GQM *Goal-Question-Metric*

SPEM *Software Process Engineering Metamodel*

SMS Sistemas de Monitoramento da Saúde

SVM Máquina de Vetor de Suporte

JOGUE-ME Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido

PCA Análise de Componentes Principais

Lista de Figuras

1.1	<i>G-Link Wireless Accelerometer</i> - Instrumento usado no trabalho de LeMoyne para quantificar o tremor da Doença de Parkinson	3
1.2	Disposição dos Sensores de Movimento (SHIMMER) no corpo no trabalho de Patel	4
1.3	Aplicação para iPhone que caracteriza sinais de tremor	4
2.1	Movimentos de Abdução e Adução do Braço	13
2.2	Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes	14
3.1	Visão Geral da Abordagem <i>JOGUE-ME</i>	18
3.2	Processamento de sinais biomecânicos.	19
3.3	Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinnect na Posição Y	20
3.4	Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal . .	21
3.5	Remoção de Ruídos	22
3.6	Amplitude do Movimento de Abdução e Adução	23
3.7	Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço	24
3.8	Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados	25
3.9	Ciclo de Movimento Removido	26
4.1	Extensão da Arquitetura do Sistema	30
4.2	Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinnect	31
4.3	Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth	31
4.4	O jogo <i>Catch the Spheres</i>	32
5.1	Teste de um jogo usando acelerômetro para quantificação do sinal de tremor do Parkinson	47
5.2	Movimentos de Abdução e Adução	52
5.3	Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo	53
5.4	Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução	55

5.5	<i>Grid-Search</i> - Acurácia da Classificação	57
5.6	<i>Grid-Search</i> - <i>FpRate</i>	58
5.7	O Paradigma GQM ©	60
5.8	Resultado da Pergunta 1	62
5.9	Resultado da Pergunta 3	63
5.10	Resultado da Pergunta 10	63
A.1	O jogo <i>Catch the Spheres</i>	78

Lista de Tabelas

3.1	Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da Parkinson .	28
3.2	Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da Parkinson .	28
4.1	Operações disponibilizadas pelo <i>web service</i>	33
5.1	Perfil dos Participantes	40
5.2	Matriz Rastreabilidade: Fragmento x Requisitos	49
5.3	Requisitos Implementados	50
5.4	Detalhamento do vetor de características extraído da coleta de dados.	53
5.5	Descrição da Matriz de Confusão	55
5.6	Resultado da Matriz de Confusão SVM	57
5.7	Métricas da Matriz de Confusão	58
5.8	Métricas Avaliadas do <i>GQM</i>	62
A.1	Etapas da Pesquisa	81
A.2	Cronograma	81
A.3	Material Permanente	82
A.4	Material de Consumo	82
D.1	O Questionário GQM	88

Lista de Códigos Fonte

2.1	Código de Predição da Classes	15
3.1	Filtro dos Ciclos	25
4.1	Função de Ciclo Periódico	34
4.2	Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico	34
4.3	Calcular ângulos relativos do movimento	34
4.4	Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução	35
4.5	Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução	35
4.6	Uso de Máquina de Vetor de Suporte para Classificação dos Dados	36

Capítulo 1

Introdução

A população mundial está envelhecendo progressivamente e segundo estudos da Organização Mundial de Saúde muito em breve teremos mais idosos do que crianças [54]. Considerando que a população mais idosa possui uma maior prevalência de doenças crônicas [36], surge a necessidade de monitorar o estado da saúde desta população. Então, diante do crescimento da quantidade de pacientes crônicos e também da insuficiência tanto do número de leitos hospitalares quanto de profissionais especializados [10] é preciso transpor quando possível serviços hospitalares para o conforto dos lares [21]. Como consequência deste problema houve um crescimento da pesquisa na área de computação para o monitoramento da saúde buscando principalmente prover o suporte contínuo a população de pacientes crônicos [50; 11; 6; 10; 1].

Os principais objetivos dos serviços de monitoramento da saúde são: redução de custos, aumento das mensurações dos dados de saúde de uma maneira mais conveniente para o paciente e disponibilizar leitos hospitalares para pacientes mais graves [67]. Atualmente, os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) permitem um tratamento preventivo e pró-ativo do estado de saúde, habilitando inclusive o diagnóstico precoce de diferentes doenças, como também um maior suporte ao bem-estar do paciente [16]. No entanto, sua aceitação junto aos usuários ainda é bastante reduzida, pois estas soluções precisam estar integradas à rotina diária dos usuários [1].

Os sistemas de SMS para avaliar os sinais do Parkinson e doenças correlatas [45] faz uso de dispositivos vestíveis aplicados no corpo ou na roupa dos pacientes onde por meio destes é possível: quantificar as habilidades motoras [24; 56], efetuar análise da marcha [40] e identificar sinais de bradicinesia [80]. No entanto, o maior desafio dessas abordagens é justamente a aceitação do usuário e sua adequação à rotina diária [4].

Buscando motivar os usuários, identificamos que os jogos eletrônicos se encontram presentes na rotina diária dos usuários além de acompanharem o envelhecimento dos mesmos [51], como identifica um estudo realizado pela *Entertainment Software Association* [8] que constatou que no ano de 2011 os jogadores americanos possuíam em média 37 anos e

29% detinham mais de 50 anos. Avaliando esses números percebemos um público de jogadores idosos que poderiam ser beneficiados por uma plataforma de monitoramento de dados de saúde embutida num jogo eletrônico. Aliado a esse estudo, identificamos uma gama de jogos voltados para o público idoso aplicados a melhora do estado de saúde como: jogo para a persuasão da prática de atividades físicas [14], jogo de aprendizagem e melhora das capacidades físicas e cognitivas [7].

Nesta tese, é apresentada uma abordagem de monitoramento dos sinais motores do Parkinson baseada em jogos eletrônicos. Este trabalho foi desenvolvida com o objetivo de fazer a aquisição dos dados por meio de sensores capazes de adquirir sinais motores sem nenhum contato com o usuário como por exemplo utilizando sensores de movimento. Além disto, buscamos utilizar dispositivos eletrônicos comerciais o que proporciona redução de custos e possibilita a replicação dos experimentos para evoluções futuras. O objetivo principal desta tese, é prover informações da saúde motora dos pacientes do Parkinson por meio de um sistema de monitoramento não invasivo e lúdico fazendo com que os pacientes possam desvencilhar do contexto do tratamento da saúde e fornecer dados sobre seu estado de saúde de uma maneira colaborativa.

Esta pesquisa parte da premissa que os sensores permitem identificar e quantificar os sinais motores [56; 17; 9] e que é possível aplicar movimentos de avaliação dos sinais dentro de um contexto de um jogo eletrônico. Logo, este trabalho busca agregar a capacidade de monitoração dos sinais do Parkinson dentro de um ambiente de jogo eletrônico motivando o paciente de Parkinson a fornecer sinais motores de uma forma divertida e frequente dentro do conforto de seu lar. Nesta tese, demonstramos uma avaliação quantificada do sintoma da bradicinesia juntamente com um mecanismo de visualização da informação auxiliando o neurologista na tomada de decisão quanto o gerenciamento da dosagem medicamentosa com o objetivo de prolongar a qualidade de vida do paciente de Parkinson [30].

A validação do trabalho foi por meio de um estudo analítico de caso-controle com 30 sujeitos de pesquisa (15 grupo controle e 15 diagnosticados com Parkinson) resultou na viabilidade da identificação e quantificação de um sintoma bastante debilitante do Parkinson chamado de bradicinesia que consiste na lentidão da execução dos movimentos [57]. Como resultados obtivemos uma acurácia de 86,66% utilizando uma aprendizagem de máquina supervisionada. A aceitação dos usuários foi avaliada utilizando a técnica *Goal-Question-Metric* (GQM) [65], onde buscou-se averiguar se os pacientes de Parkinson consideraram a abordagem não-invasiva e adequada a sua rotina diária, como resultado, obtivemos uma aceitação de 90,00%.

1.1 Problemática

Atualmente, os sistemas de monitoramento de sinais motores utilizam sensores vestíveis (*wearable*), que comumente são incorporados na roupa ou no corpo do usuário (Figuras: 1.1,1.2). Esses sistemas permitem um monitoramento da saúde motora [56; 38], no entanto estes dispositivos são considerados invasivos e estereotipados [1] e isto reduz sua aceitação e integração à rotina diária de seus usuários [4]. Buscou-se então nesta tese desenvolver um SMS dos sinais motores do Parkinson o qual poderia ser integrado a rotina diária dos usuários, que por meio de um ambiente lúdico como um jogo eletrônico poderia fornecer informações sobre seus sinais motores de forma não invasiva.

Como pode ser visto no trabalho de LeMoyne [38] o qual pretende quantificar os sinais dos tremores do Parkinson usando um *Apple iPhone* (Figura 1.3). Considerando que os *smartphones* já estão integrados à rotina diária dos usuários, esta poderia ser uma solução para esse contexto. Porém, é necessário que o usuário ponha o dispositivo no torso da mão e um grande problema para avaliar o tremor usando celulares ou sensores é que o tremor parkinsoniano é de repouso [32]. Então quando os usuários são avaliados por esses dispositivos [38; 70] os parkinsonianos entram no estado de ação o que reduz drasticamente o tremor e isto impacta diretamente na coleta dos dados. Na avaliação do trabalho de LeMoyne [38] não houve a avaliação com pacientes reais ou qualquer estudo de caso-controle.



Figura 1.1: *G-Link Wireless Accelerometer* - Instrumento usado no trabalho de LeMoyne [37] para quantificar o tremor da Doença de Parkinson

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

Neste trabalho, tem-se como objetivo a concepção de uma abordagem computacional para o monitoramento de sinais motores. Pretende-se usar jogos eletrônicos como forma de **motivar** e abstrair o monitoramento dos sinais de uma maneira **não invasiva** e longe do **contexto**

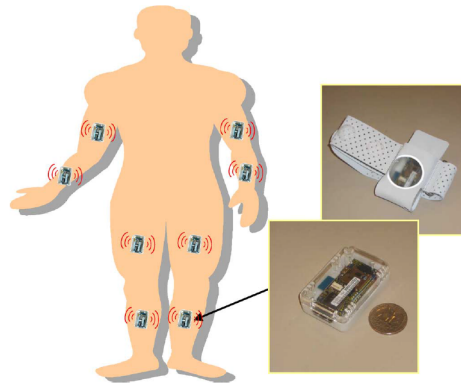


Figura 1.2: *Disposição dos Sensores de Movimento (SHIMMER) no corpo no trabalho de Patel [56]*



Figura 1.3: Aplicação para iPhone que caracteriza sinais de tremor [38]

de tratamento de saúde.

A presente pesquisa, provê um mecanismo de monitoramentos de sinais motores capaz de: armazenar, processar sinais biomecânicos e identificar a presença do sinal de bradicinesia do Parkinson.

Os benefícios proporcionados pelo monitoramento dos sinais motores integrados estão relacionados a e auxílio no suporte ao médico quanto comprometimento motor dos pacientes com Parkinson. Então, neste trabalho, desenvolvemos um mecanismo de de captura de sinais motores embutidos num jogo eletrônico, o qual permite monitorar e quantificar os sinais motores de uma forma lúdica e não-invasiva.

Para atingir o objetivo principal da pesquisa subdividimos em etapas:

ETAPA 1 Quais os benefícios de acompanhar diariamente os sinais motores do paciente do ponto de vista do profissional da saúde.

ETAPA 2 Como melhor adquirir e quantificar sinais motores para um melhor gerenciamento do Parkinson utilizando sensores de movimento.

ETAPA 3 Avaliar a proposta de capturar os sinais motores e quantificar os sintomas parkinsonianos de uma maneira não-invasiva e aplicável à rotina diária dos usuários baseada em jogos eletrônicos utilizando GQM [65].

1.3 Metodologia

A metodologia de pesquisa deste trabalho possui aspectos qualitativos que permitem identificar a importância da pesquisa junto à comunidade de especialistas da área de saúde e aspectos quantitativos que demonstram que a abordagem definida consegue diferenciar indivíduos diagnosticados com Parkinson, perante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido por meio de dados capturados por sensores de movimento usados em jogos. Ao final, é avaliado a aceitação da proposta por uma análise GQM [65] junto ao público alvo.

1.3.1 Etapas da Pesquisa

1. Realizar revisão bibliográfica e coleta de requisitos junto a profissionais de saúde.
2. Definir a abordagem de um Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido (JOGUE-ME), baseada em captura de dados motores através de sensores de movimento utilizando jogos eletrônicos e processamento dos dados para transformar os dados adquiridos por meio dos sensores em informações de saúde.
3. Verificar junto aos profissionais de saúde como é feito o acompanhamento dos sinais motores dos pacientes com Parkinson. Os profissionais são indagados sobre a melhora na tomada de decisão quanto ao acompanhamento dos sinais, e verificar se os parâmetros motores como velocidade angular, amplitude do movimento dos braços são importantes para realizar o acompanhamento dos sinais do Parkinson. Procura-se encontrar junto ao profissional de saúde, a importância do monitoramento de dados de saúde e os benefícios trazidos por este através de uma abordagem de pesquisa qualitativa. Com esta pesquisa foi possível validar a **ETAPA 1** da pesquisa que consiste de verificar a importância do acompanhamento de sinais motores integrados à rotina diária do paciente.
4. Validar o uso de sensores para classificação dos dados através:
 - Aquisição de sinais motores utilizando sensores de movimento de usados em jogos eletrônicos. Esses dados foram aplicados em um classificador Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para distinguir indivíduos do grupo controle com indivíduos diagnosticados com Parkinson.
 - O resultado dessa pesquisa demonstra que é possível adquirir dados motores utilizando esta abordagem e consequentemente validou a **ETAPA 2** do trabalho.
5. Definir a arquitetura de software que viabiliza tecnicamente a abordagem JOGUE-ME onde foi possível definir um arcabouço de software que encapsula o desenvolvimento de jogos com essa abordagem.

6. Validar a solução JOGUE-ME do ponto de vista computacional. A solução foi validada através da implementação da arquitetura e desenvolvimento de jogos com base na arquitetura. Com jogos, demonstrou-se ser possível realizar monitoramento de dados motores de forma não invasiva, ou seja, sem os jogadores perceberem que estão fornecendo dados de saúde.
7. Verificar junto aos público alvo (Pacientes portadores de Parkinson) os requisitos de usabilidade, adequação à rotina diária, segurança física e se a proposta é considerada invasiva na perspectiva do paciente. Com esta pesquisa valida-se a **ETAPA 3** da pesquisa.

1.4 Trabalhos Relacionados

Devido ao estilo de vida mais sedentário e do aumento da população obesa as pesquisas para a promoção da atividade física tem se tornado tópico de interesse para a comunidade científica nos últimos anos [42; 12; 43]. Estudos demonstram que uma atividade física regular traz benefícios: físicos, cognitivos e emocionais [43]. Com o surgimento dos jogos comerciais como o *Wii Sports* da Nintendo em 2006 que aumentou a prática de atividade física de jogadores considerados sedentários [35] é que pesquisadores da área de jogos para saúde buscaram apoiar essa prática com desenvolvimento de aplicações que motivassem a prática de atividade física [28]. Atualmente, os dispositivos de sensores de movimento permitem desenvolver jogos que promovem a saúde e bem estar de forma promissora. Por esse motivo, houve um aumento significativo de jogos comerciais com o propósito de promover a saúde e bem-estar [55].

Papastergiou [55] identificou efeitos positivos para a reabilitação através do uso do jogo *Wii Sports* e um potencial mecanismo de prevenção e reeducação motora com o uso do *Wii Fit*. Porém, esses jogos possuem suas limitações e não são substitutos dos esportes reais. Ainda assim, o autor salienta que um ambiente mais controlado e que permite a execução de atividades físicas inibe a ocorrência de situações de risco como um movimento brusco e que venha causar um dano físico maior. Baseado nessas observações, esse trabalho primou por demonstrar as dificuldades e efeitos positivos em combinar os jogos sérios de esportes e saúde com as tecnologias de sensores, para a personalização e adaptação dos jogos.

Sinclair [64] considera que os jogos comerciais para prática de exercício físico ou *exergames* não devem ser usados apenas como um motivador para a prática, mas também podem ser usados para monitorar sinais vitais como batimento cardíaco e reconhecer atividades via acelerômetros. Arntzen [7] se preocupou com os aspectos cognitivos e físicos da aprendizagem baseada em jogos para idosos [7], defendendo que é necessário identificar quais habilidades cognitivas e físicas que precisam ser desenvolvidas. Além de considerar a limitação do idoso em relação aos movimentos bruscos no intuito de evitar lesões.

1.5 Contribuições

Como foi demonstrado na Seção 1.4, os jogos são aplicados para melhora da saúde em diferentes contextos, mas nenhum dos trabalhos relacionados pretendem identificar sinais para monitorar o estado de saúde. Logo, este trabalho visa desenvolver um ambiente de jogo para a execução de movimentos específicos com o propósito de quantificar os sinais motores dos usuários e consequentemente realizar o seu monitoramento.

Conseguir alinhar a jogabilidade e a capacidade de monitoramento dos sinais de saúde não é trivial. Deve ser levado em consideração o uso dos dispositivos e definir quais movimentos ou ações permitem a identificação dos sinais motores. Por este motivo, a proposta de um jogo para o monitoramento dos sinais motores, deve ser acompanhada de um profissional de saúde que supervisione e auxilie nas definições dos movimentos e ações que o usuário deve executar durante o jogo. Posteriormente, na posse dessas ações, deverá ser testada a execução dessas atividades e sua captura para uma possível classificação dos dados conforme propomos nesta tese.

Como possível cenário de uso para a pesquisa, supondo que um paciente de uma doença crônica como o Parkinson faz uso de medicamento antiparkinsoniano e possui um jogo de monitoramento de sinais do Parkinson em sua residência. Caso o mesmo utilize o jogo em diferentes momentos do dia, os sinais podem ser identificados e quantificados sem a presença de um profissional de saúde e este poderia visualizar a melhora ou piora do estado de saúde do seu paciente ao longo dos dias. A partir da presente abordagem o médico de posse da informação poderia identificar a ocorrência dos sinais motores em diferentes momentos do dia e consequentemente gerenciar melhor a dosagem medicamentosa. Isso corrobora com estudos que defendem que uma dosagem medicamentosa alinhada com as necessidades do paciente melhoram a qualidade de vida e prolongam a efetividade do medicamento utilizado [49].

1.6 Organização do Documento

O restante deste documento está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica relacionada ao trabalho.
- No Capítulo 3, é apresentada a abordagem JOGUE-ME de monitoramento de dados motores não invasivo usando jogos eletrônicos.
- No Capítulo 4, é apresentada uma implementação da abordagem.
- No Capítulo 5, são apresentados os experimentos para validar o trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo pretende-se oferecer ao leitor uma visão geral das principais áreas nas quais esse trabalho está fundamentado. Mais especificamente, uma explanação sobre a Doença de Parkinson seus sinais e os estágios da doença; o uso da cinemetria como ferramenta para medição dos parâmetros cinemáticos do movimento humano e os classificadores de dados para a identificação dos padrões presentes num conjunto de dados.

2.1 Doença de Parkinson

O termo Parkinsonismo é genérico e designa uma série de doenças com causas diferentes e que têm em comum a presença de sinais frequentemente encontrados no Parkinson. Esta doença é uma das muitas formas de parkinsonismo, correspondendo a cerca de 75% dos casos. Os sinais associados com o Parkinson [57] são causados pela degeneração dos neurônios dopaminérgicos presentes na substância negra. O Parkinson é mais comum em idosos, porém existem casos precoces de início da doença em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [47]. A incidência da doença é estimada de 100 a 200 casos por 100.000 habitantes e com o avanço da idade populacional o contingente de pessoas diagnosticadas com Parkinson tende a aumentar. Por ser uma doença progressiva de evolução incapacitante após os 10 a 15 anos de tratamento proporciona um enorme impacto social e financeiro. Por esse motivo, estima-se que o custo anual mundial com medicamentos antiparkinsonianos esteja em torno de 11 bilhões de dólares, sendo o tratamento cerca de 3 a 4 vezes mais caro para pacientes na fase avançada da doença [57]. Outro fator crucial para a escolha da doença como objeto de estudo é a variação dos sinais parkinsonianos ao longo do dia em virtude da resposta ao tratamento medicamentoso. Portanto, a abordagem de monitorar os sinais em diferentes momentos do dia, permite um melhor gerenciamento da doença e como consequência uma melhora na qualidade de vida dessa população.

Atualmente, o levodopa é o tratamento medicamentoso mais utilizado para o tratamento de redução dos sinais do Parkinson. Porém, sua efetividade é reduzida ao longo do tempo,

requerendo um aumento progressivo das dosagens ou uso de outros tratamentos associados. Isto acarreta num gerenciamento complexo entre drogas e seus respectivos efeitos colaterais. Portanto, buscando prolongar a qualidade de vida dos pacientes no uso deste tratamento é recomendável um gerenciamento medicamentoso com uma dosagem mínima para que consiga reduzir os sinais e prolongar a qualidade de vida do paciente. O gerenciamento medicamentoso é de responsabilidade do neurologista, que faz o devido ajuste de acordo com as visitas clínicas do paciente, quando estes ou seus cuidadores fazem relatos sobre a rotina diária do paciente. Contudo, essa avaliação clínica é realizada de forma esporádica durante as consultas clínicas e de maneira subjetiva pois carece de uma avaliação tanto do paciente quanto do neurologista.

Com o surgimento do tratamento para o Parkinson é possível manter uma mobilidade funcional durante anos além de aumentar a expectativa de vida dos pacientes tratados [49]. Os fármacos do grupo dos antiparkinsonianos como a levodopa permitem restaurar a atividade dopaminérgica que se encontra reduzida, desta maneira as drogas aliviam os sinais característicos da doença. Entretanto, devido aos efeitos colaterais frequentes induzidos pelos fármacos, é preciso iniciar o tratamento com esses medicamentos somente quando os sinais estiverem prejudicando o desempenho profissional ou nas atividades diárias do paciente [49]. A natureza progressiva do Parkinson e suas manifestações clínicas (motoras e não motoras), estão associadas a efeitos colaterais precoces e tardios da intervenção terapêutica, o que torna o tratamento da doença bastante complexo [57]. Estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [30]. Consequentemente, com o passar do tempo, a sintomatologia parkinsoniana tende a evoluir o que aumenta a necessidade de uma maior dosagem medicamentosa, pois a resposta aos medicamentos decresce com o progresso da doença [57].

2.1.1 Diagnóstico

Os mais característicos do Parkinson e que são frequentemente usados para diagnosticar a doença são [59]: tremor em repouso (que diminui durante movimentos voluntários); bradicinesia ou hipocinesia (lentidão e escassez de movimentos, além de dificuldade na marcha), rigidez muscular (aumento da resistência ao movimento passivo dos membros), perda de reflexos posturais que leva a alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [49; 73].

A evolução da doença, a gravidade e a progressão dos sinais variam de um paciente para outro. No momento não existe teste diagnóstico estabelecido para a doença e os estudos comprovam dificuldade na diferenciação clínica entre o Parkinson e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concordam que o diagnóstico do Parkinson requer a identificação de alguma combinação de sinais motores cardinais como :tremor de repouso, bradicinesia, rigidez tipo roda denteada e alterações posturais. No entanto, uma classificação

clínica padrão ainda não foi obtida [57]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [57]. Os protocolos clínicos sugerem que os pacientes com Parkinson [57] quase sempre apresentam uma resposta satisfatória a esse medicamento, e no caso de não responder satisfatoriamente à levodopa, é provável que o diagnóstico seja de outra forma de parkinsonismo. Porém, na literatura [59] uma resposta à levodopa não confirma o diagnóstico do Parkinson porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomático e muitas formas de síndrome de Parkinson em seus estágios iniciais que também respondem à levodopa.

Atualmente, os critérios estabelecidos pelo Banco de Cérebros da Sociedade de Parkinson do Reino Unido são os mais utilizados para diagnosticar a doença [57] (Apêndice C).

2.1.2 Principais Sinais do Parkinson

Nesta seção serão descritos sintomas motores mais frequentes do Parkinson [57] e que foram objetos deste estudo.

Tremor

O tremor é o sintoma mais frequente e mais perceptível [41] do Parkinson, embora não seja o mais incapacitante. No entanto, para a maioria dos pacientes este sinal é o principal motivo que os leva a procurar ajuda médica. Apresentando-se de forma característica: rítmico, relativamente lento quando comparado com outros tipos de tremor (4 a 7 ciclos por segundo) onde sua maior frequência é quando o membro está em repouso sendo denominado de tremor de repouso. No início da enfermidade, o tremor ocorre em um lado (tremor assimétrico) e assim permanece por diferentes período de tempo. Situações de estresse emocional, ou a sensação de ser observado aumentam visivelmente a intensidade do tremor [32].

Por ser um sinal relacionado ao repouso do membro os usuários cessavam o sinal assim que eram confrontados com um jogo eletrônico desenvolvido para quantificação do tremor. Desta forma, não foi possível desenvolver um jogo para celular com o objetivo de quantificar este sinal.

Bradicinesia

Enquanto que o sintoma de tremor é mais visível do Parkinson, a bradicinesia é o sintoma mais incapacitante da doença. A bradicinesia consiste numa lentidão do movimento voluntário e num comprometimento de todos os movimentos associados a ele. A acinesia é uma progressão da bradicinesia e implica na ausência completa do movimento voluntário sem a perda da força muscular [19].

A bradicinesia pode estar presente nos sinais iniciais do Parkinson, em diferentes partes do corpo: olhos com a redução do movimento de piscar, face com a redução das expressões

faciais, voz pela redução da velocidade dos músculos das cordas vocais e membros [19]. Normalmente nos estágios iniciais da doença a bradicinesia é acompanhada de uma rigidez dos músculos, apresentando uma assimetria dos movimentos entre os membros, ocasionando dificuldade em levantar de uma cadeira, virar na cama ou andar. Os sinais bradicinéticos são avaliados por intermédio da parte motora da tabela de avaliação UPDRS [22], através de exercícios como tocar as pontas dos dedos, pronação e supinação do antebraço.

2.1.3 Escalas e os Estágios da Doença

A partir dos tratamentos para a Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [22; 31]. Essas escalas permitem avaliar: a condição clínica geral, incapacidades, funções motoras, mentais e até mesmo a qualidade de vida dos pacientes. Esses instrumentos são importantes tanto no nível clínico quanto no científico, pois permitem monitorar a progressão da doença e a eficácia do tratamento medicamentoso [22; 27]. Por conseguinte, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (*Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS*) [22] que é amplamente utilizada para monitorar o progresso da doença e a eficácia do tratamento. Segundo Goulart [27] as escalas de estágios de incapacidade representadas por: *Hoehn/Yahr* [31] e a *UPDRS* [22], são consideradas as de maior confiabilidade, podendo ser usadas por fisioterapeutas para melhor avaliação do estado clínico- funcional do paciente.

Segundo a *UPDRS* a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [22]:

- **ESTÁGIO 0:** Nenhum sinal da doença;
- **ESTÁGIO 1:** Doença unilateral;
- **ESTÁGIO 1,5:** Envolvimento unilateral e axial;
- **ESTÁGIO 2:** Doença bilateral sem déficit de equilíbrio;
- **ESTÁGIO 2,5:** Doença bilateral leve, com recuperação no “teste do empurrão”;
- **ESTÁGIO 3:** Doença bilateral leve a moderada; alguma instabilidade postural; capacidade para viver independente;
- **ESTÁGIO 4:** Incapacidade grave, ainda capaz de caminhar ou permanecer de pé sem ajuda;
- **ESTÁGIO 5:** Confinado à cama ou cadeira de rodas a não ser que receba ajuda.

A *UPDRS* é composta por 42 itens, divididos em quatro partes (atividade mental, comportamento e humor, atividades de vida diária e exploração motora e complicações da terapia

medicamentosa) e através da avaliação desses sinais, por intermédio do auto-relato e da observação clínica, é possível classificar em que estágio da doença o paciente se encontra. Contudo, justamente por ser baseada em auto-relato e observação clínica a qual é realizada eventualmente com a presença de um profissional, pesquisadores questionam a efetividade da análise do estágio da doença e propõem alternativas para avaliação dos itens motores de forma quantitativa através de sensores, os quais permitem monitorar o estágio do paciente [34; 70; 56].

A identificação dos sinais do Parkinson durante a rotina diária permite um diagnóstico mais precoce da doença e consequentemente obter seus benefícios de um tratamento mais duradouro. Além disso, o monitoramento dos efeitos da medicação junto ao paciente permite um melhor gerenciamento medicamentoso e consequentemente reduz os efeitos colaterais do tratamento e prolonga sua qualidade de vida [59].

2.2 Cinemetria

A **Cinemetria** consiste de um conjunto de métodos para medição dos parâmetros cinemáticos do movimento como: posição, orientação, velocidade e aceleração [5]. Os instrumentos básicos das medidas cinemáticas podem ser adquiridos por câmeras de vídeo durante a análise das imagens e dos movimentos por meio de software específico os quais calculam as variáveis cinemáticas de interesse. Atualmente, com o uso de câmeras infravermelho, é possível reconhecer o movimento humano e calcular as grandezas cinemáticas das características do movimento com precisão e robustez [25].

A cinemetria relaciona técnicas e métodos para o processamento de grandezas cinemáticas, entre elas destacamos as técnicas de medição direta [5], utilizadas para:

1. medidas de tempo;
 2. medidas de ângulos;
 3. medidas de amplitude;
 4. medidas de velocidade angular.
-

2.2.1 Movimento Angular

O movimento angular ocorre quando todas as partes do corpo se movem pelo mesmo ângulo mas não realizam o mesmo deslocamento linear. A subdivisão da cinemática que trata com o movimento angular é chamada de cinemática angular, que permite examinar o movimento angular a partir de segmentos de um movimento, divididos em partes identificáveis que aumentam a compreensão do movimento humano [29].

Quase todos os movimentos humanos envolvem as rotações de segmentos do corpo, os segmentos giram sobre os centros articulares que formam os eixos de rotação para esses segmentos [29]. No movimento angular, a unidade de medida utilizada é o grau ($^{\circ}$) e a unidade de tempo é o segundo (s). Logo as velocidades angulares calculadas são medidas em $^{\circ}/s$.

A anatomia funcional consiste no estudo dos componentes do corpo necessários desempenhar um movimento ou função humana como por exemplo a abdução ou adução do braço (Figura 2.1).

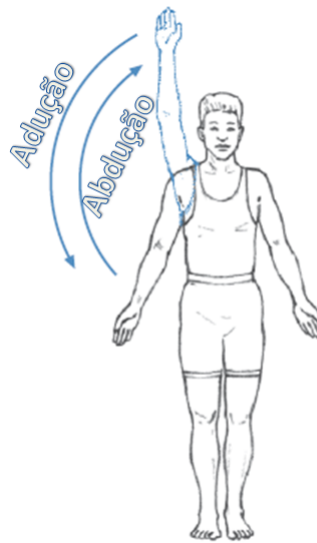


Figura 2.1: ©Movimentos de Abdução e Adução do Braço [46]

Na análise biomecânica do movimento humano, são calculados dois tipos de ângulos:

- **Ângulo Relativo:** este ângulo é formado entre os eixos longitudinais de segmentos corporais adjacentes [29]. Logo, os ângulos relativos, não descrevem a posição de segmentos ou os lados do ângulo no espaço. Se um indivíduo tem um ângulo relativo de 90° no cotovelo e esse ângulo é mantido, o braço pode ficar em qualquer posição. A interpretação dada a cada segmento irá determinar o tipo de movimento realizado.
- **Ângulo Absoluto:** este ângulo identifica a orientação angular de um segmento corporal em relação a uma linha fixa de referência [29]. Logo, os ângulos absolutos devem ser medidos na mesma direção a partir de uma única referência seja ela horizontal ou vertical.

2.2.2 Máquinas de Vetor de Suporte (SVM)

A teoria da aprendizagem estatística, fornece um conjunto de técnicas para a análise de dados a qual permite a aquisição de conhecimento [74]. As máquinas SVM, fazem uso de

um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionada para classificação de dados. Ou seja, SVM é uma ferramenta de predição de classificação que usa a teoria da aprendizagem de máquina que busca maximizar a acurácia. Normalmente, a SVM é aplicada para classificação binária, ou seja permite classificar os dados em duas classes, porém essa técnica pode ser aplicada para em dados e que possuam mais de duas classes.

Um classificador SVM foi inicialmente desenvolvido para problemas de aprendizagem linearmente separáveis. Utilizando vetores de separação através de uma técnica de hiperplano de separação ótima [74]. O hiperplano tenta separar as diferentes classes, maximizando a margem entre os pontos extremos de cada classe [26]. O melhor hiperplano de uma SVM significa é aquele que possui a maior margem entre as duas classes como pode ser visto na Figura 2.2.

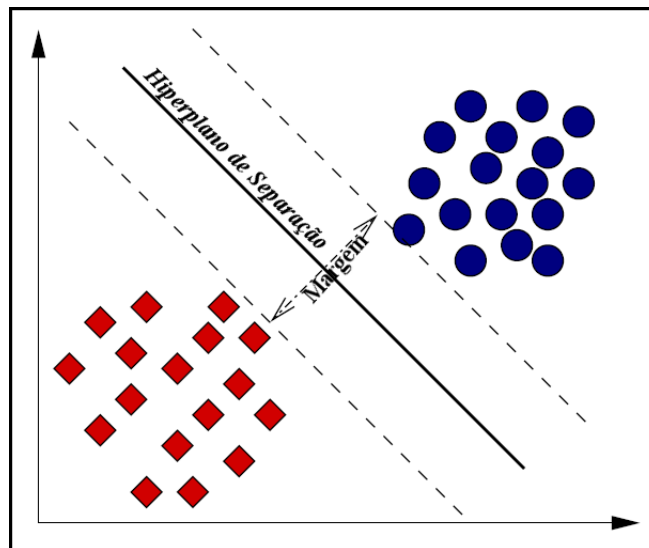


Figura 2.2: Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes

Para entender o funcionamento da SVM é necessário conhecer a notação: R^n é um número real n-dimensional no espaço de vetores. Onde os pontos \mathbf{u} , \mathbf{v} , \mathbf{w} e \mathbf{x} serão utilizados para denotar pontos em R^n . Estes pontos são chamados de vetores ou padrões na literatura de Aprendizagem de Máquina.

Cada ponto possui x_i e um rótulo y_i que denota a qual classe x_i pertence. Logo, se $y_i = +1$ e x_i pertencer a classe 1 e $y_i = -1$ caso o x_i pertencer a classe 2. A classificação binária como o nome sugere, significa classificar os dados em duas classes. Para tanto, primeiramente os dados do grupo de treinamento são usados para preencher os espaços com pontos. E depois um segundo grupo de teste é aplicado para verificar a hipótese de qual classe aquele ponto pertence. Formalmente, dado um conjunto de pontos x_i qual será os valores y_i correspondentes. Dado que o classificador possui os padrões adquiridos do grupo de treinamento além dos rótulos associados a sua classe. A SVM irá usar o hiperplano de separação para tentar dividir os dados de treinamento em duas classes. Logo, o resultado da

classificação dos dados de teste dependerá da localização da projeção desses dados.

Formalmente, classificadores que separam os dados por meio de um hiperplano utilizam um discriminante linear [26] de Equação 2.1. Um hiperplano é considerado de Margem Máxima (ou de Separação Ótima) quando separa um conjunto de vetores sem erro e a distância entre os vetores (das classes opostas) mais próximas ao hiperplano é máxima por intermédio de uma função discriminante. Uma função é discriminante quando consegue discriminar os valores em diferentes padrões.

O produto escalar $w \cdot x$ entre os vetores w e x , w é o vetor normal ao hiperplano descrito e o vetor \mathbf{w} é denominado de peso e a constante parâmetro \mathbf{b} é chamada de *bias* ou desvio.

$$f(x) = w^T x + b = 0 \quad (2.1)$$

Se \mathbf{u} e \mathbf{v} são dois padrões e $f()$ é a função discriminante, então os valores de $f(\mathbf{u})$ e $f(\mathbf{v})$ irá auxiliar em determinar se os valores de \mathbf{u} e \mathbf{v} pertencem a classe, logo a regra para a predição da classe está no Código 2.1.

Código Fonte 2.1: Código de Predição da Classes

```
1 classificacao = 0;
2 if (w^t.x + b >= 0)
3     classificacao = 1
4 else
5     classificacao = -1;
6 endif
```

A partir desse método de separação de dados lineares é que a SVM foi aplicada para classificar indivíduos diagnosticados com Parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido. Na Seção 3.4, será explicado como são extraídos os pontos usando os vetores de características para obtenção da classificação exposta na Seção 5.2.

Capítulo 3

Abordagem *JOGUE-ME*

Para desenvolver um SMS dos sinais motores usando jogos eletrônicos como interface de entrada de dados (JOGUE-ME). É necessário analisar quais os movimentos e ações o usuário devem executar para que seja possível identificar os sinais motores a partir das ações dos usuários. De posse dos movimentos, estes devem ser testados junto a indivíduos portadores da deficiência a ser monitorada e indivíduos como grupo de controle para avaliar a viabilidade de detecção do sinal.

3.1 Definição de Requisitos da Solução

Com base no levantamento bibliográfico e nas entrevistas semi-estruturadas [23] com profissionais de saúde, identificamos e enumeramos os seguintes requisitos funcionais que devem ser desenvolvidos para uma solução JOGUE-ME:

REQ-JOGUE-ME-01 - Pontuação e Taxa de Acerto : O jogador percebe os objetivos e visualiza o sucesso ou fracasso alcançado. O jogo pontua o jogadora de acordo com seus seus erros e acertos [68; 63].

REQ-JOGUE-ME-02 - Progresso e Evolução do Jogador e dos Desafios : O jogador percebe seu progresso e evolução no jogo. Os desafios tonam-se mais complexos no decorrer do tempo [68].

REQ-JOGUE-ME-03 - Estado de Fluxo : Um dos grandes desafios de um jogo eletrônico é levar o usuário a um “Estado de Fluxo” ou escapismo passando a executar a atividade proposta pelo jogo de uma forma autotética, ou seja o usuário não vislumbra um benefício imediato ou futuro [69].

REQ-JOGUE-ME-04 - Preocupação com Integridade Física do Jogador : Promover atividades físicas, ou ações que venham a trazer injúria ao jogador, como movimentos de equilíbrio, movimentos repetitivos ou bruscos [7; 63].

REQ-JOGUE-ME-05 - Captura e Armazenamento de Sinais Motores : O jogo deve realizar a captura dos sinais motores do usuário usando sensores de movimento. Os dados capturados são enviados a um servidor para tornar possível o acompanhamento da saúde motora.

REQ-JOGUE-ME-06 - Mecanismo de Identificação de Sintomas Motores : Baseados em algoritmos de aprendizagem de máquina o servidor acompanha todos os usuários do sistema e identifica qual deles está com distúrbio motor, em caso afirmativo envia-se a informação ao profissional de saúde.

REQ-JOGUE-ME-07 - Mecanismo de Visualização dos Parâmetros Motores do Usuário : O profissional de saúde poderá visualizar os dados identificados pela máquina de aprendizagem para realizar a tomada de decisão sobre o estado de saúde do usuário.

3.2 Visão geral da solução

A abordagem JOGUE-ME faz uso de jogos eletrônicos como interface de aquisição de sinais, tornando os usuários mais motivados a fornecer seus sinais motores, em comparação ao uso dos dispositivos vestíveis. Então, com o uso da presente abordagem, um paciente de uma doença motora no conforto do seu lar, poderá fornecer seus sinais motores de uma maneira colaborativa e não invasiva. Por outro lado, o profissional de saúde poderá visualizar os sinais motores de seus pacientes com uma frequência muito maior em comparação aos exames motores realizados durante o período de consulta.

Em nosso estudo, identificamos que utilizando jogos eletrônicos como mecanismo de entrada de dados é possível alcançar os requisitos de pervasividade e não invasividade propostos nesta tese. Pois através dos dispositivos de sensores de movimento usados nesses ambientes, é possível desenvolver um jogo que motive o usuário a executar ações específicas e que possibilitem o monitoramento dos sinais motores. A partir de uma interface com o usuário que permite enviar os dados capturados a um servidor, este fará o armazenamento dos dados para um possível acompanhamento da saúde motora por um profissional de saúde.

A Visão Geral (Figura 3.1) desta solução propõe usar técnicas de processamento de sinais para reconhecer os padrões de movimento e identificar os sinais motores. Para tornar isso factível é necessário identificar ciclos de movimento, filtrá-los e extrair características deste movimento. Após a extração das características, os dados são repassados para Máquinas de Aprendizagem, as quais são responsáveis por classificar os dados baseadas em evidências estatísticas. Caso a máquina identifique algum usuário com distúrbio motor, ela poderá notificar o Profissional de Saúde para que este visualize os dados e tenha um melhor suporte para a tomada de decisão em relação ao tratamento.

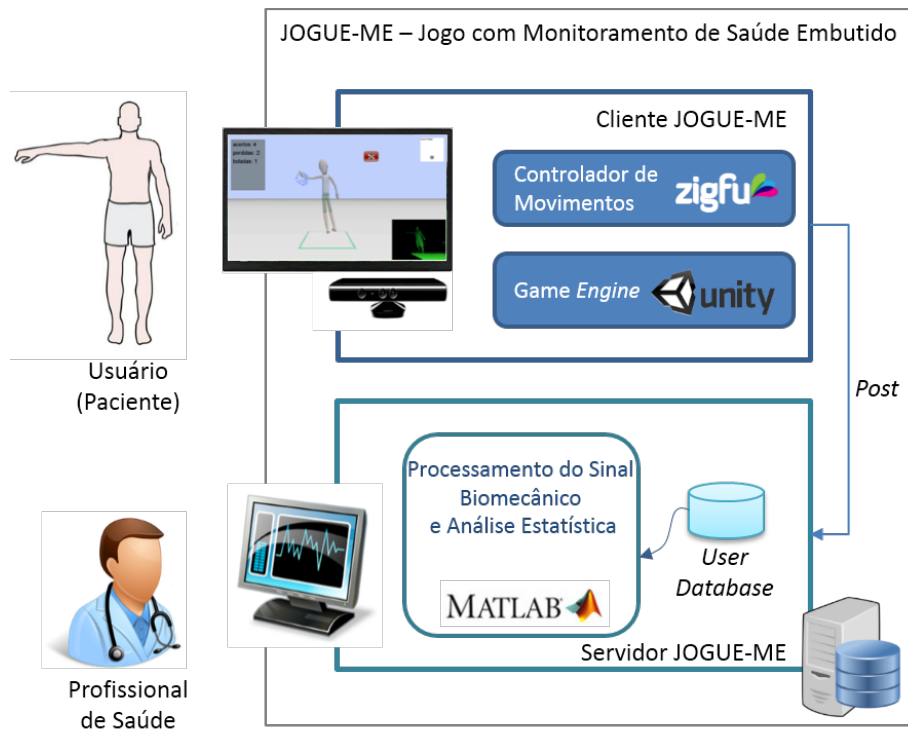


Figura 3.1: Visão Geral da Abordagem JOGUE-ME

O funcionamento da abordagem pode ser descrito como uma composição de quatro passos: captura dos sinais através de sensores, processamento de sinais biomecânicos, classificação dos dados e visualização.

3.3 Aquisição de Dados

O propósito de um JOGUE-ME é coletar informações do estado motor dos indivíduos de forma não invasiva. Por este motivo, foi apresentada uma abordagem de jogos eletrônicos como infraestrutura de aquisição de sinais motores por meio dos sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos.

O cliente JOGUE-ME é um jogo com funcionalidades de aquisição de dados motores de movimentos específicos. Logo, ele realiza a captura e envio de dados para um servidor que recebe requisições para efetuar o recebimento e armazenamento das informações. Tornando possível armazenar o histórico do usuário para um acompanhamento dos sinais motores por um longo período. Desta maneira um profissional de saúde poderá visualizar a evolução da saúde motora do usuário.

3.4 Processamento de Dados Biomecânicos

O módulo de Processamento de Dados Biomecânicos é responsável por: filtrar, remover ruídos e identificar ciclos de movimento para uma posterior extração dos vetores de características como pode ser visto na Figura 3.2. A partir dos sinais processados, aplicam-se técnicas de aprendizagem de máquina para obter a classificação dos sinais e consequentemente validar este trabalho.

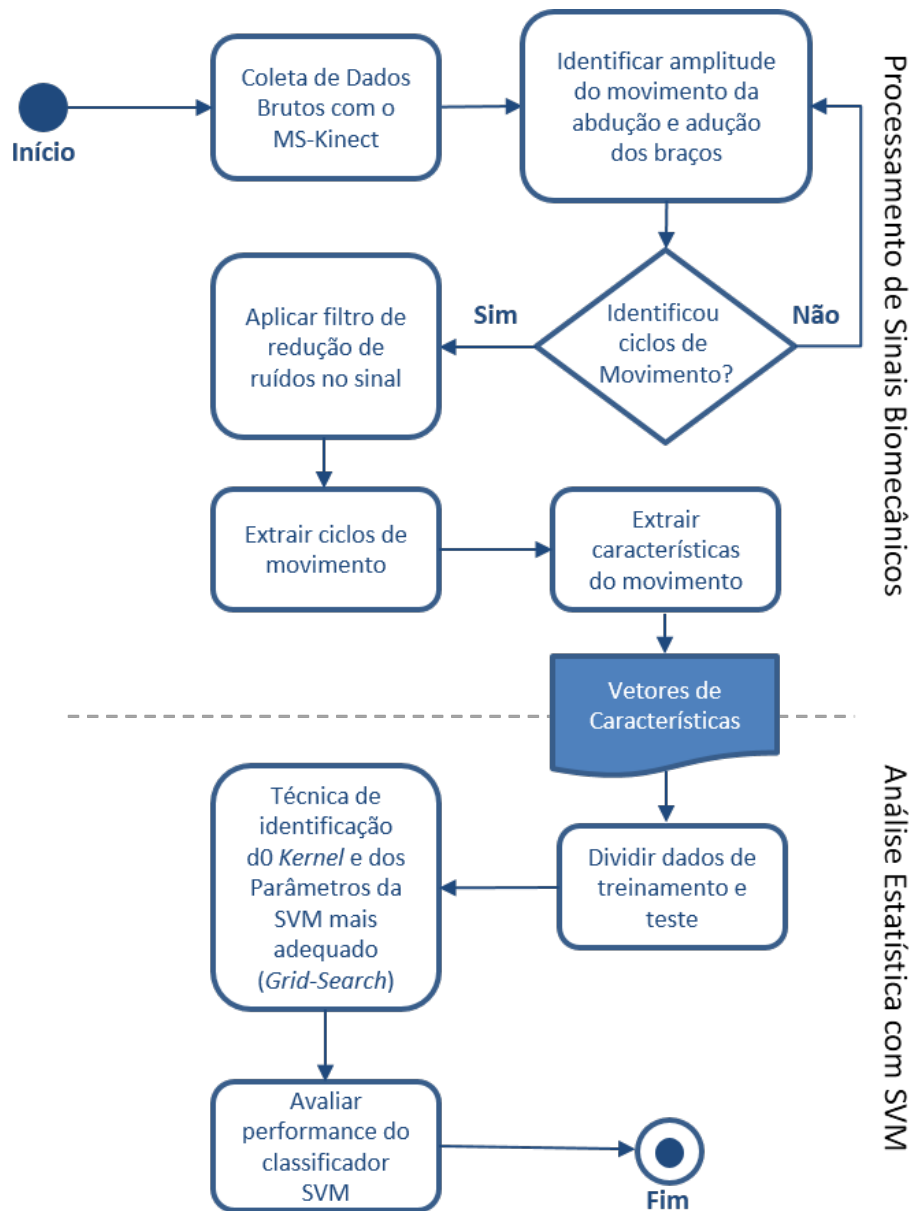


Figura 3.2: Processamento de sinais biomecânicos.

3.4.1 Identificação de Ciclos de Movimento

Os sinais adquiridos por sensores de movimento possuem bastante ruído, o que dificulta na identificação dos ciclos de movimento, pois eles possuem uma posição que inicia o ciclo de movimento como na Figura 3.3 e o ruído existente pode cruzar por essa linha e consequentemente gerar falsas identificações. Métodos que fazem uso de filtros de passa baixa podem ser aplicados para suavizar a curva e diminuir a ocorrência do ruído, contudo isso implica numa alteração no tempo do sinal o que impacta diretamente no cálculo das características do movimento e como consequência na acurácia do resultado final [13].

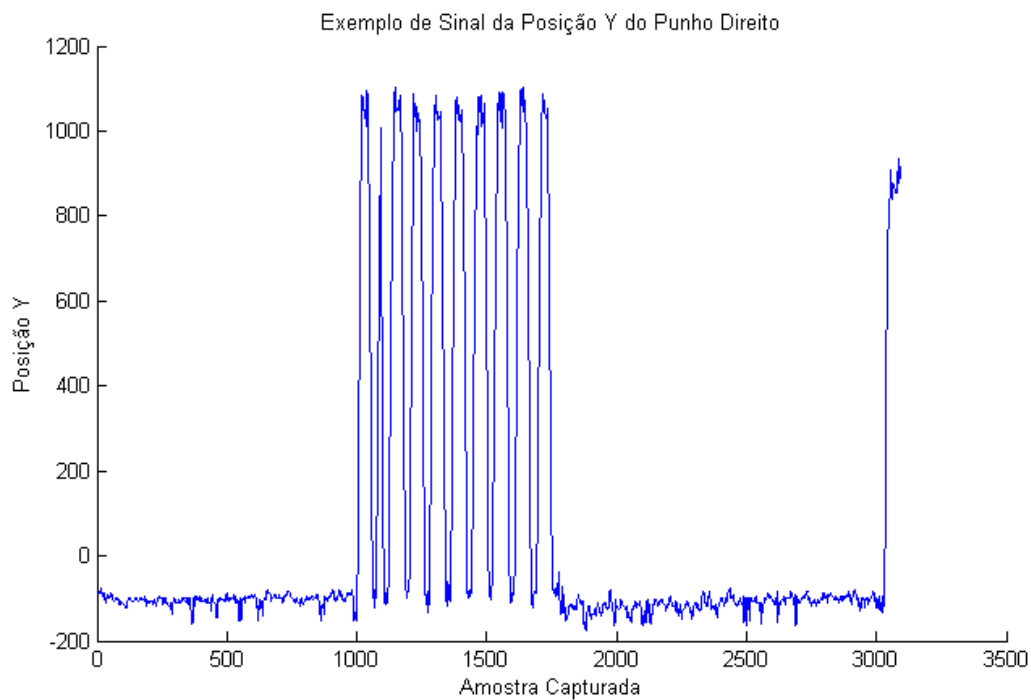


Figura 3.3: Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinect na Posição Y

Em casos de análise de sinais biomecânicos da amplitude do movimento é possível aplicar a técnica de detecção de picos e vales do sinal. Esta técnica consiste em usar um valor de referência δ (*delta*) para identificação dos picos e descartar valores menores que são considerados ruídos. O pico é o ponto mais alto entre os 2 pontos mais baixos que são considerados os vales do ciclo [13]. A técnica é aplicada no sinal da Figura 3.3 com um δ de 500 e teve como resultado os picos e os vales identificados como pode ser visto na Figura 3.4.

O processo de Identificação de Ciclos de Movimento é realizado em 3 etapas distintas:

- Identificar ciclos de movimentos;
- calcular movimento angular realizado durante o ciclo de movimento;

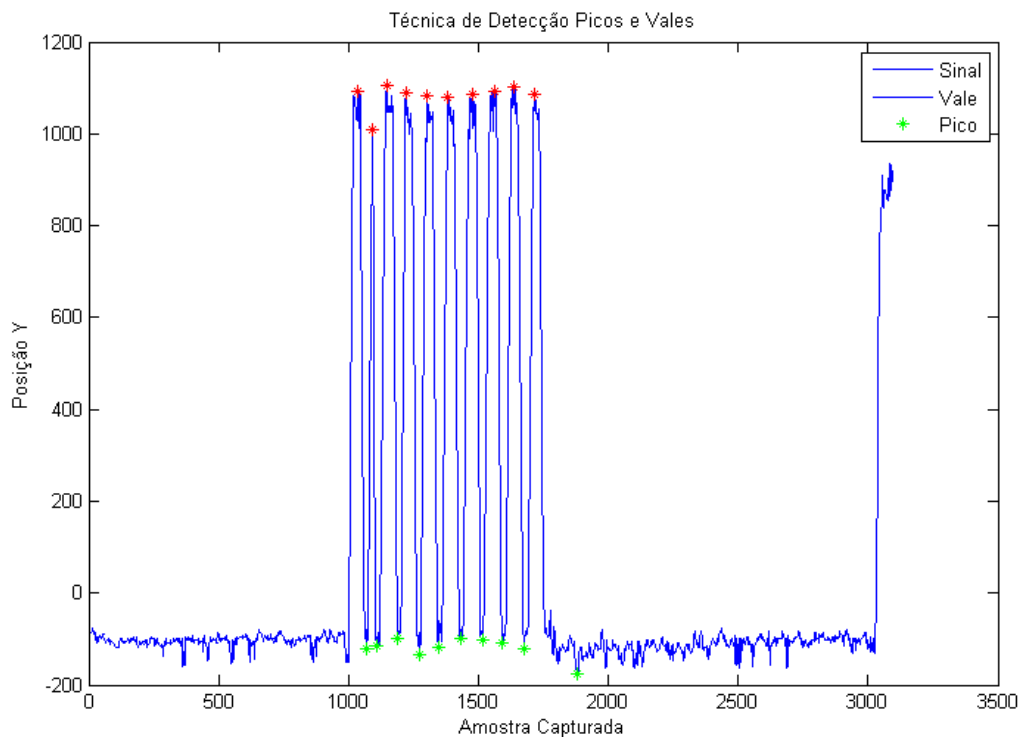


Figura 3.4: Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal

- remover ciclos de movimentos incompletos.

Para identificar os ciclos de movimento de adução e abdução dos braços é necessário utilizar uma das articulações como referência. Neste movimento a articulação do punho (Figura 3.5) é a que possui o sinal como maior amplitude entre as demais, por esse motivo esta é a escolhida para identificar os ciclos. Realiza-se a técnica de picos e vales no sinal do punho para identificar o início e o fim do movimento de adução e abdução dos braços. Depois de identificado, onde começa e termina o movimento calcula-se o movimento angular através do produto escalar entre as articulações do punho, ombro e bacia (Seção 3.4.2). Neste momento, o sinal irá conter ciclos de movimentos angulares, onde realiza-se uma nova eliminação de ruídos, ao extrair os ciclos de movimento identificados no sinal. Essa é a primeira etapa da filtragem dos dados, a qual seleciona o início e o fim dos ciclos de movimento. Depois desta etapa, realiza-se a extração de cada ciclo e identifica sua completude para que as características extraídas dos ciclos de movimento sejam semelhantes para cada indivíduo e torne possível a classificação dos dados.

3.4.2 Extração das Características do Movimento

As características do sinal a ser obtido é baseada na cinemática do movimento angular. Logo, é necessário um estudo da biomecânica do movimento humano nos ciclos de movimento

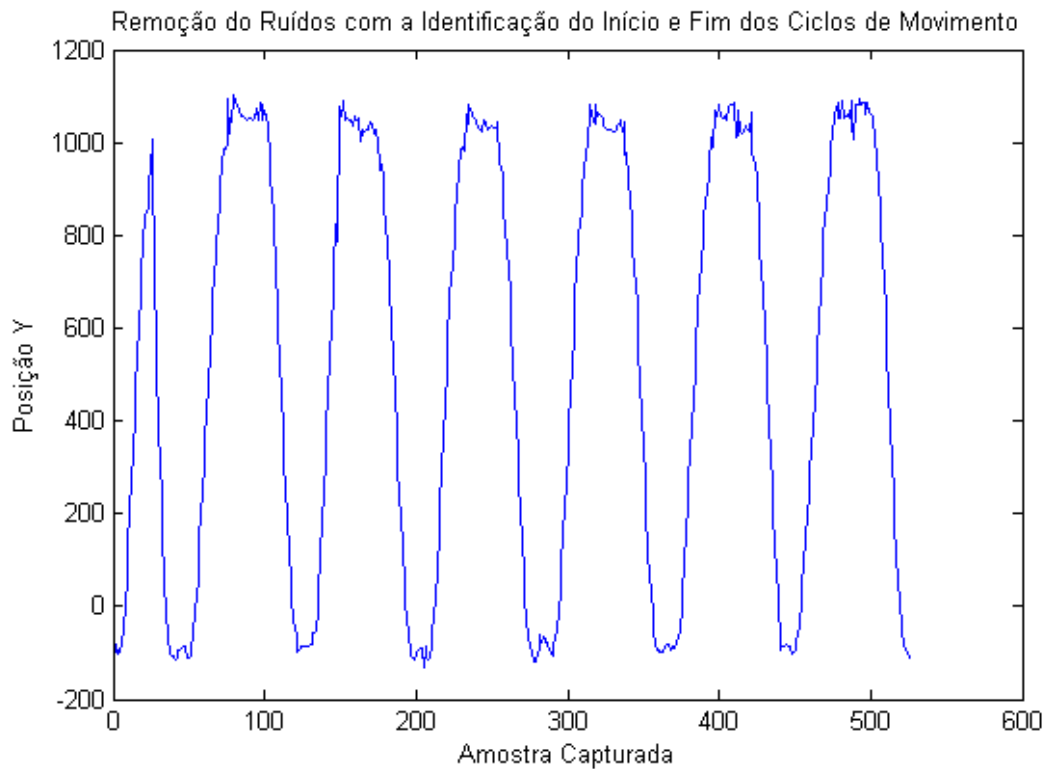


Figura 3.5: Remoção de Ruídos

[29]. De posse do tempo de ocorrência de cada ciclo e das articulações do **punho**, **bacia** e **ombro** deve-se calcular o ângulo relativo do movimento de abdução e adução do braço através da aplicação do teorema do produto escalar que encontra o ângulo entre dois vetores dentro do intervalo de $0 \leq \theta \leq 180^\circ$.

Cálculo do Ângulo Relativo do Movimento de Abdução e Adução

O produto escalar é uma operação entre dois vetores cujo resultado é um escalar [15]. Então, o ângulo entre dois vetores é definido como “o menor” ângulo entre eles. Desta forma, este ângulo está dentro do intervalo de $0 \leq \theta \leq 180^\circ$. O produto escalar é o ângulo de θ formado entre os vetores v e w .

No movimento de abdução e adução do braço (Figura 2.1), o ângulo relativo pode ser calculado com as Posições (x, y, z) das articulações (*bacia*, *ombro* e *punho*) utilizando o produto escalar entre esses pontos, extraindo assim as características do movimento como amplitude do movimento e quando relacionamos com o tempo conseguimos extrair a velocidade angular deste movimento. Como pode ser o sinal em $^\circ/\text{ms}$ visto na Figura 3.6 quantificando o movimento da adução e abdução do braço em relação ao tempo.

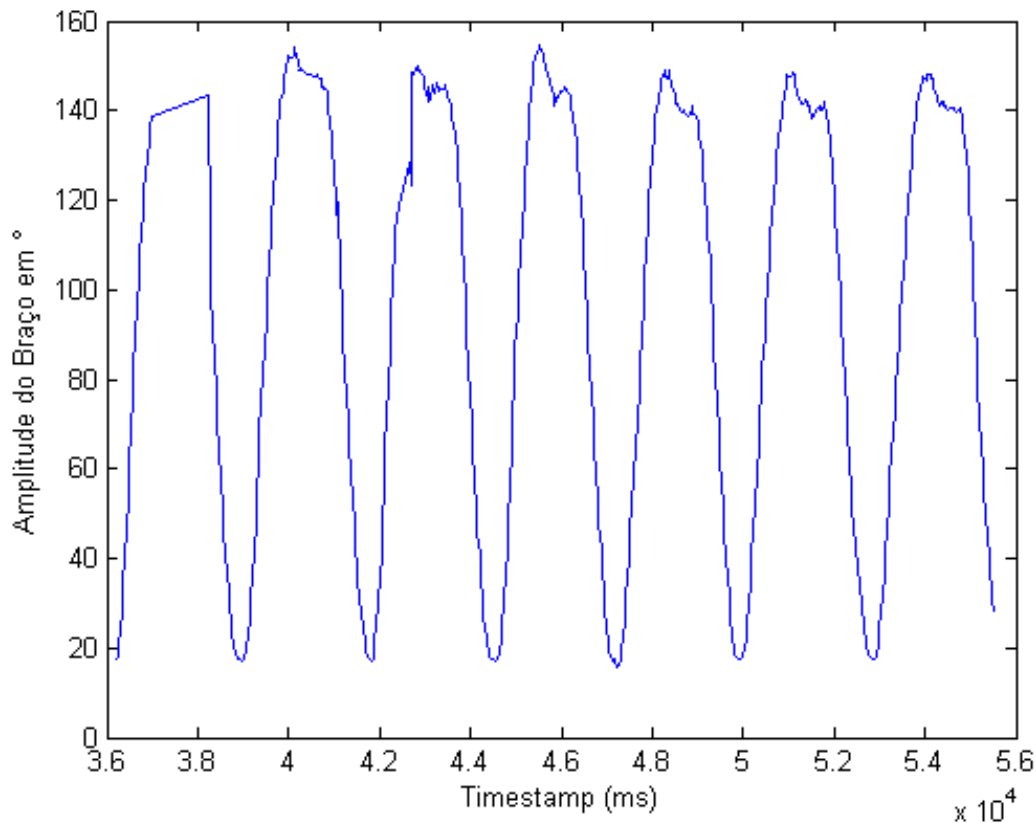


Figura 3.6: Amplitude do Movimento de Abdução e Adução

Cálculo da Velocidade Angular do Movimento de Abdução e Adução

O pico da amplitude do movimento irá conter a amplitude máxima desse movimento. O tempo gasto entre 1° vale até o pico em cada ciclo de movimento será o tempo gasto para a abdução do braço e o tempo gasto entre o pico e o 2° vale de cada ciclo será o tempo gasto para a adução do braço. Logo, com a amplitude máxima e o tempo gasto nesses movimentos podem ser calculadas as velocidades angulares de abdução e adução dos braços como na Figura 3.7.

3.4.3 Filtragem de Dados

A filtragem dos dados consiste na realização das seguintes etapas nos ciclos de movimento:

Escalar os ciclos : O conjunto de dados deve possuir a distribuição de \mathbf{M} amostras de vetores de dimensão \mathbf{n} . Como os dados a serem analisados são sinais, deve-se então escalar o sinal para uma dimensão \mathbf{n} para poder realizar o cálculo matricial quadrático de $(\mathbf{M} \times \mathbf{n})$.

Normalizar os ciclos : Em estatística o termo normalização possui diferentes significados

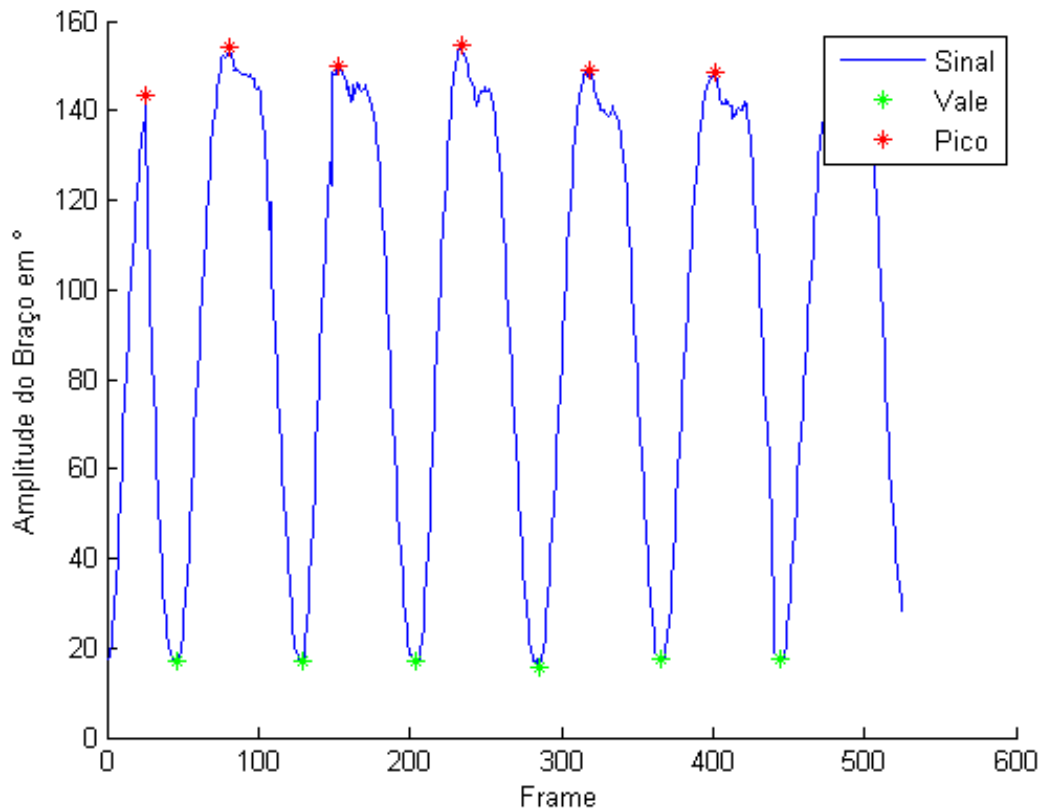


Figura 3.7: Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço

[20]. Neste trabalho, a normalização consiste no ajuste dos valores dos dados em torno do valor máximo. Ou seja o máximo valor obtido dos dados terá o valor 1 e os demais serão o resultado pela divisão do valor máximo. A normalização se faz necessária para que a variação dos dados seja mantida além de facilitar a identificação de similaridades [76].

Calcular Vetor Médio dos Ciclos : Para definir a completude de um ciclo de movimento deve-se inicialmente calcular a média entre todos os ciclos de movimento que é o vetor médio dos ciclos escalonados e normalizados (Figura 3.8). O **vetor médio**, Equação (3.1), chamado de \bar{X} consiste na média aritmética de todos os ciclos de movimento ou seja calcula a centralização dos dados [18].

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)}{(n)} \quad (3.1)$$

Calcular Variância de Cada Ciclo ao Vetor Médio : A variância é uma medida de dispersão estatística, que indica o quão longe os estão de um valor esperado [18]. Neste caso o valor esperado é o vetor médio dos ciclos (\bar{X}) e a variância, Equação (3.2), irá nos

informar o quão distante cada ciclo (C) está em relação a média.

$$var(C) = (C - \bar{X})^2 \quad (3.2)$$

Definir limiar para remoção de ciclos : Essa etapa do processo de filtragem não é trivial, pois deve-se definir uma constante *filtro* que será comparada à variância do ciclo, se esta for menor será aceita, caso contrário removida. Contudo, balancear entre o limiar de dispersão do ciclo de movimento em relação a média é complexo, pois existe uma grande variabilidade de movimento. Logo, um limiar muito alto pode acarretar na remoção de uma grande quantidade de ciclos. Por outro lado, um limiar baixo colocaria ruídos na base ciclos e consequentemente impactaria na classificação dos dados.

Código Fonte 3.1: Filtro dos Ciclos

```

1  filtro = 1;
2  vetorMedio = mean(ciclos);
3  varianciaCiclo = sum(ciclo - (vetorMedio).^2);
4  remocao = varianciaCiclo > filtro;

```

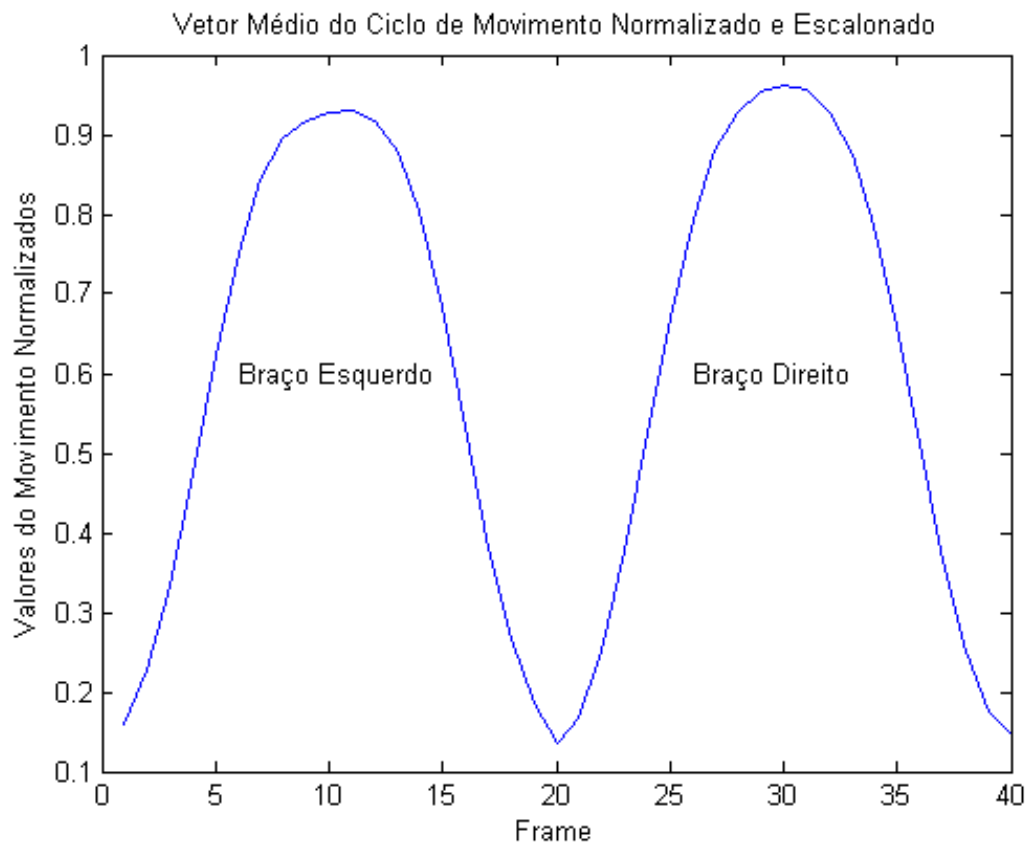


Figura 3.8: Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados

Como exemplo, temos um ciclo de movimento filtrado (Figura 3.9) (*valor do filtro = 1*) e o (*valor da variância = 2,3078*).

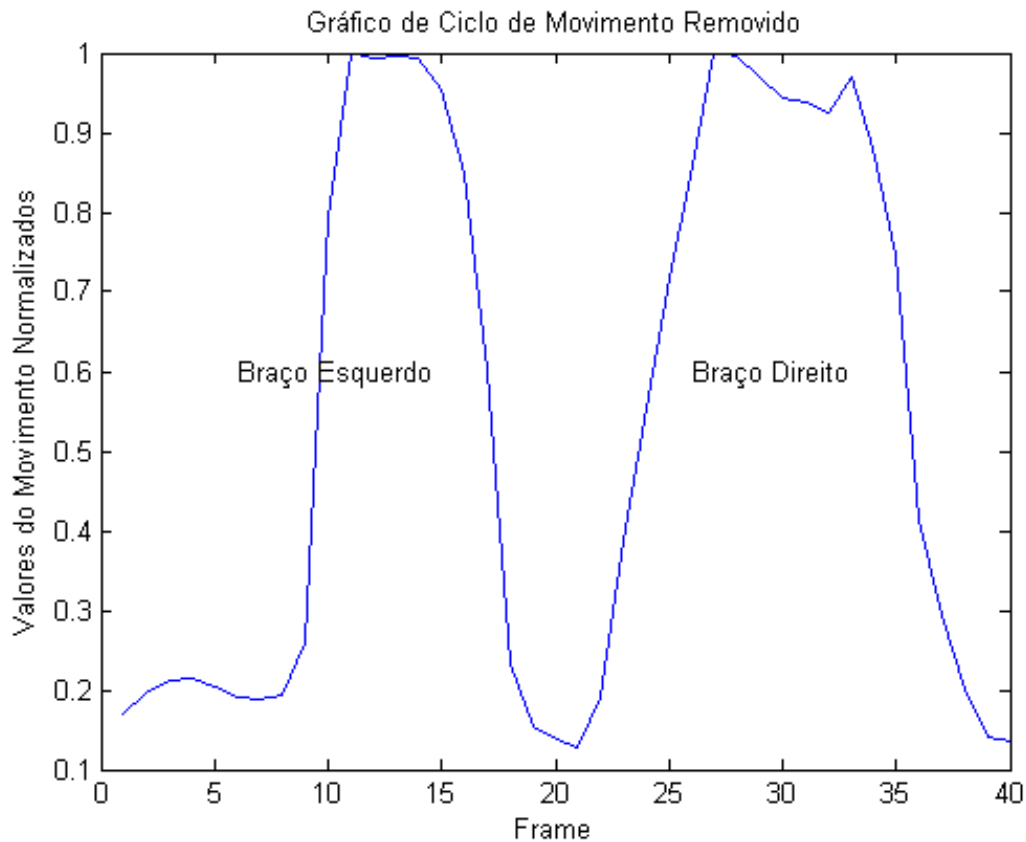


Figura 3.9: Ciclo de Movimento Removido

3.5 Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem

O objetivo de todo esse processo de identificação de ciclos, extração de características e filtragem é justamente facilitar a separação dos dados por máquinas de aprendizagem. A normalização dos ciclos, ficou sendo o resultado do cálculo do Produto Escalar que nos retorna valores entre 0° a 180° do movimento de abdução e adução. O escalonamento de cada ciclo de movimento ficou com 20 *frames* como temos o movimento do braço esquerdo e depois o do direito temos um total de 40 *frames* por ciclo. O motivo que decidimos juntar os ciclos do braço esquerdo e direito lado a lado foi justamente para facilitar a identificação da assimetria do movimento existente nos estágios iniciais da Parkinson. Portanto, o classificador será responsável por identificar os indivíduos diagnosticados com Parkinson por meio das diferenças de movimento existente entre estes e os indivíduos sem o diagnóstico da doença.

O vetor de características é composto dos ciclos de movimento e das características extraídas de cada ciclo conforme explicado na Seção 3.4.2. Ou seja, terá além do ciclo de movimento, os valores da velocidade angular de abdução e adução do braço esquerdo e direito. De posse desse vetor de características e do rótulo sobre a classe do ciclo de movimento (indivíduo diagnosticado com Parkinson e indivíduo sem o diagnóstico estabelecido) esses dados serão repassados juntamente como entrada-saída para o classificador de dados que irá dividir entre grupos de treinamento e teste para realizar sua classificação.

Utiliza-se então o classificador de dados como um identificador de possíveis usuários com problemas motores. Logo, o classificador irá auxiliar o profissional de saúde no acompanhamento de seus pacientes. Pois, supondo um profissional de saúde o qual possui um grande número de pacientes que são usuários da abordagem JOGUE-ME para monitorar seus dados. Um classificador de dados por máquina de aprendizagem seria utilizado para identificar sinais motores nos indivíduos. Caso um indivíduo fosse identificado com um sintoma pelo classificador, o profissional de saúde poderia visualizar os dados quantificados para realizar a sua tomada de decisão. Logo a responsabilidade da tomada de decisão é do profissional, por esse motivo é que a abordagem JOGUE-ME serve como apoio ao diagnóstico e acompanhamento dos sinais motores.

3.6 Visualização dos Dados

O acompanhamento dos sinais motores se faz necessário, principalmente para doenças crônicas de impacto motor e que tenham melhoria nos sinais. Pois desta forma, auxilia-se o médico no acompanhamento motor e consequentemente permite tratar o paciente de acordo com a resposta ao tratamento.

Como exemplo da abordagem, o profissional de saúde poderia visualizar as características do movimento que serviram como dados de entrada para a máquina de aprendizagem. Nesse caso, podemos ver duas tabelas em que é possível identificar as diferenças motoras de uma pessoa diagnosticada com a Parkinson (Tabela 3.1) e um indivíduo sem o diagnóstico da doença (Tabela 3.2).

Como pode ser visto nesses dados a amplitude de de um indivíduo diagnosticado com a Parkinson esta bem menor do que um indivíduo sem o diagnóstico estabelecido. Um valor importante também pode ser identificado na velocidade de adução esquerda do indivíduo com Parkinson possui uma velocidade muito maior do que o indivíduo sem o diagnóstico. Possivelmente porque um paciente da Parkinson perde um pouco o controle sobre o membro fazendo-o descer abruptamente [57]. Desta maneira pretende-se com a abordagem, auxiliar o profissional de saúde com o fornecimento dessa informação para que este venha efetuar o acompanhamento e perceba a evolução do quadro clínico do paciente.

Velocidades %S				Amplitudes	
Abdução Esquerda	Abdução Direita	Adução Esquerda	Adução Direita	Esquerda	Direita
78,95	77,82	83,06	106,42	130,00	124,72
79,94	34,68	104,69	39,98	131,50	132,44
81,05	47,05	107,38	56,52	132,22	123,66
74,73	47,09	109,05	47,75	132,33	122,20
72,01	56,02	102,36	76,00	131,40	119,75

Tabela 3.1: Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da Parkinson

Velocidades %S				Amplitudes	
Abdução Esquerda	Abdução Direita	Adução Esquerda	Adução Direita	Esquerda	Amplitude
129,35	61,59	78,74	176,30	159,39	143,50
115,67	118,15	71,72	79,46	156,37	153,97
120,96	135,27	66,70	78,17	154,30	149,91
125,96	137,43	64,75	81,57	153,18	154,58
139,99	117,60	69,96	84,08	151,68	148,90
120,51	111,92	75,85	75,18	152,58	148,35

Tabela 3.2: Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da Parkinson

Capítulo 4

Arquitetura de Software para *JOGUE-ME*

A arquitetura desenvolvida para o JOGUE-ME busca abstrair das dificuldades existentes no desenvolvimento de um jogos para monitoramento de dados de saúde. Neste projeto foi desenvolvido um arcabouço de software integrada a uma *engine* de jogos bem difundida e utilizada por desenvolvedores de jogos. Devido a essa estrutura buscamos facilitar a programação de jogos para saúde criando Componentes de *Software* sobre a *engine* de jogos Unity 3D [72]. Desta maneira, desenvolvedores de jogos podem criar JOGUE-MEs usando esse arcabouço (Seção 4.1), isto permite o desenvolvedor encapsular os aspectos de processamento de sinal.

4.1 Arquitetura Cliente do *JOGUE-ME*

A arquitetura Cliente/Servidor do JOGUE-ME é uma extensão de um trabalho de Mestrado da UFCG Antônio Santos Jr. [61]. Inicialmente foi proposto um arcabouço para o desenvolvimento de software em cima de uma *engine* de jogos bastante difundida que é o Unity3D [72] é um ambiente de desenvolvimento de jogos multi-plataforma. Este arcabouço possibilita que os desenvolvedores possam abstrair aspectos do Hardware e da complexidade do desenvolvimento de jogos, possibilitando ao desenvolvedor que este se atenha as atividades referentes ao desenvolvimento do jogo.

Atualmente, desenvolvedores independentes de jogos utilizam Unity3D como ferramenta de desenvolvimento, pois esse ambiente facilita a criação de: cenários dos jogos, terrenos, interação com os objetos usando uma linguagem de *Script*. Desta maneira, nos últimos anos ocorreu uma popularização do desenvolvimento de jogos eletrônicos independentes. Contudo, o desenvolvimento com propósito de monitorar sinais motores possui desafios que não necessariamente precisam ser repassados para os desenvolvedores de jogos. Por esse motivo, criou-se um Arcabouço de *software* herdando de um componente do Unity3D chamado

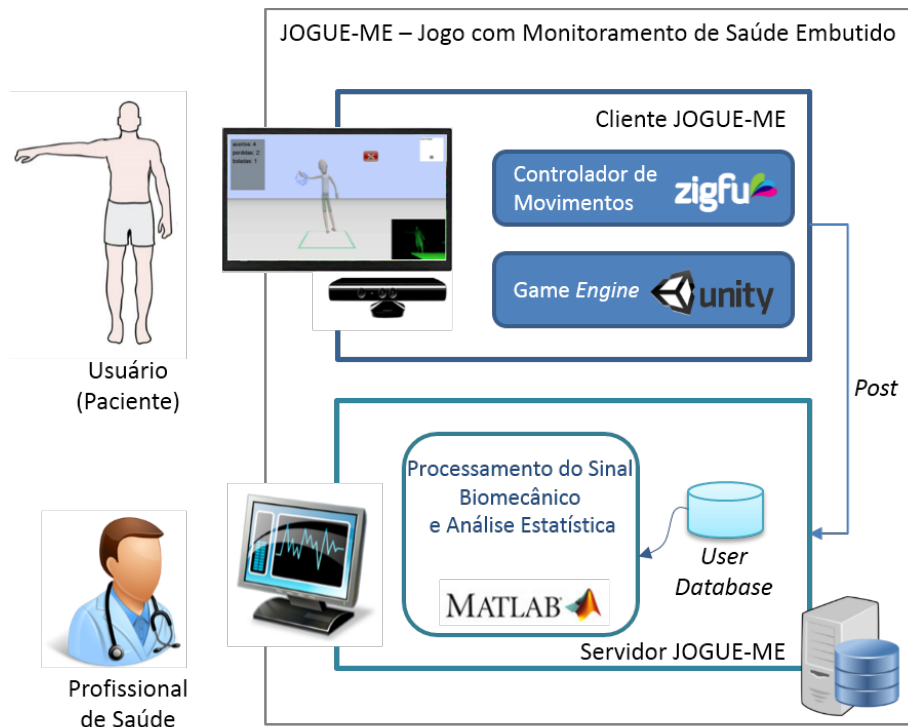


Figura 4.1: Arquitetura do Sistema

Zigfu [78] que permite integrar o Ms-Kinect [48] como controlador do jogo.

O Ms-Kinect [48] é um sensor de captura de movimentos utilizado tanto para o console MS-XBOX 360 quanto para PCs. Ele permite adquirir sinais relativos ao movimento humano e identificar as articulações por meio da posição anatômica do corpo [29], como pode ser visto na Figura 4.2.

O Zigfu [78] é um componente de Software que permite integrar o Ms-Kinect ao Unity3D. O Zigfu faz um mapeamento das articulações adquiridas pelo Ms-Kinect (Figura 4.2) para uma classe chamada *ZigSkeleton* com todas as articulações como podemos ver no Diagrama de Classe (Figura 4.3). No entanto, para adquirir os sinais motores é necessário armazenar os valores das posições das articulações durante as ações dos usuários. Por esse motivo, criamos uma extensão do Zigfu que possa armazenar as posições das articulações além de um mecanismo para habilitar ou desabilitar o monitoramento de modo a reduzir ruídos e sinais não utilizados (métodos *logOn()* e *logOff()* da Classe *ZigSkeletonHealth*).

Jogo: *Catch the Spheres*

Para testar a abordagem JOGUE-ME foi criado o jogo *Catch the Spheres* seguindo os requisitos propostos na Seção 3.1.

O *Catch the Spheres* é um jogo em terceira pessoa onde o jogador, por meio de seu personagem, deverá tocar ou desviar das bolas que vêm em sua direção. Se o jogador tocar as bolas

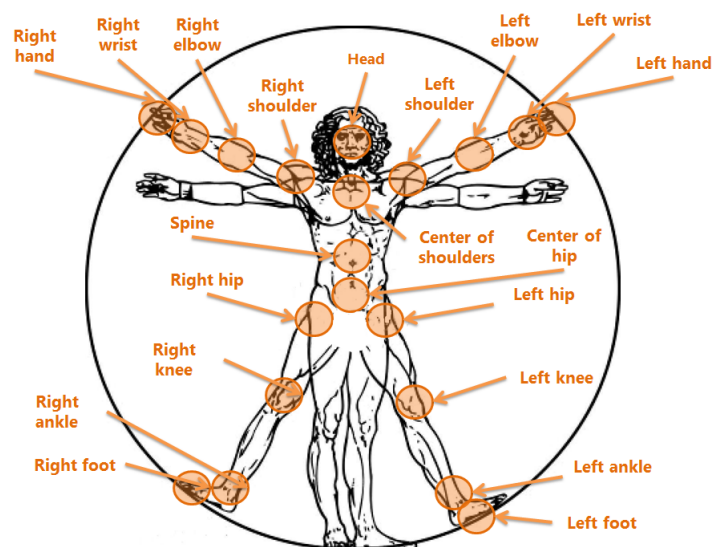


Figura 4.2: ©Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinnect [48]

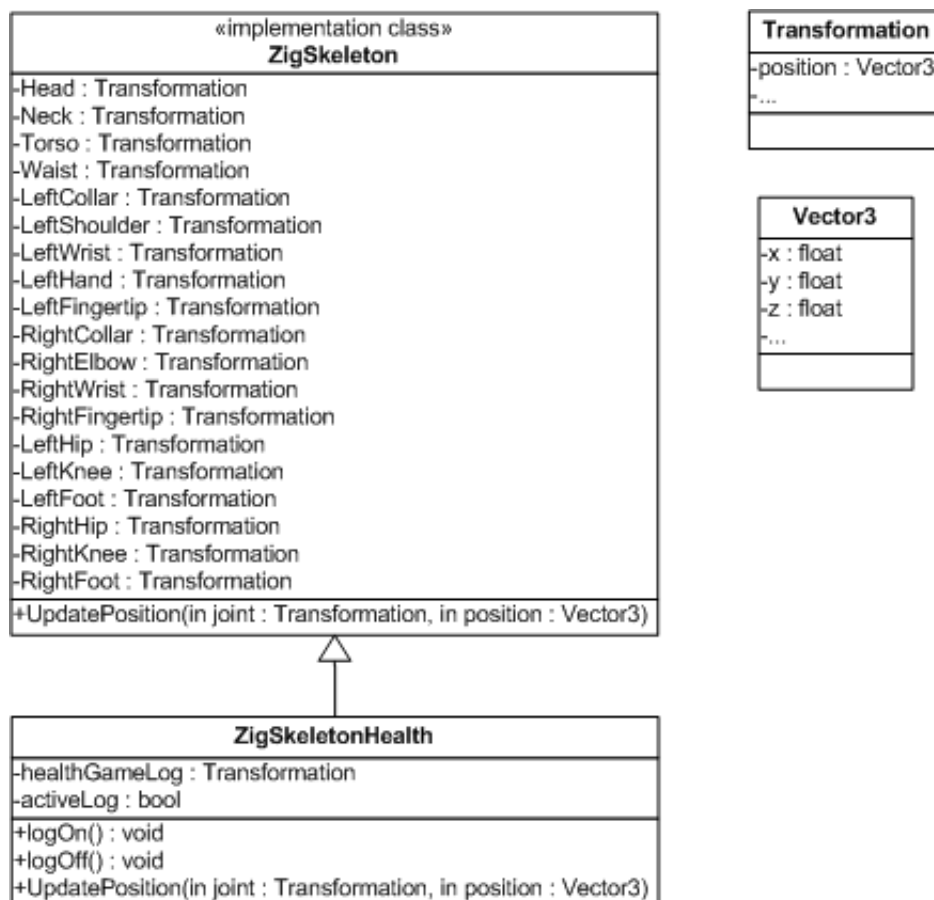


Figura 4.3: Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth

azuis receberá uma pontuação por isso e caso seja atingido pelas bolas vermelhas haverá uma penalização([REQ-JOGUE-ME-01]). Com o progresso do usuário as bolas tornam-se mais rápidas, exigindo uma maior agilidade nos movimentos ([REQ-JOGUE-ME-02]). Este é o principal mecanismo de fluxo do jogo [69] que tem o intuito de atrair a atenção do jogador baseado nos desafios propostos ([REQ-JOGUE-ME-03]).

Houve uma preocupação com a integridade física do jogador ([REQ-JOGUE-ME-04]), mas com numa análise com os usuários foi identificado que o mecanismo de desvio das bolas não é seguro para usuários com problemas de equilíbrio (Seção 5.3) e este foi removido em versões posteriores.

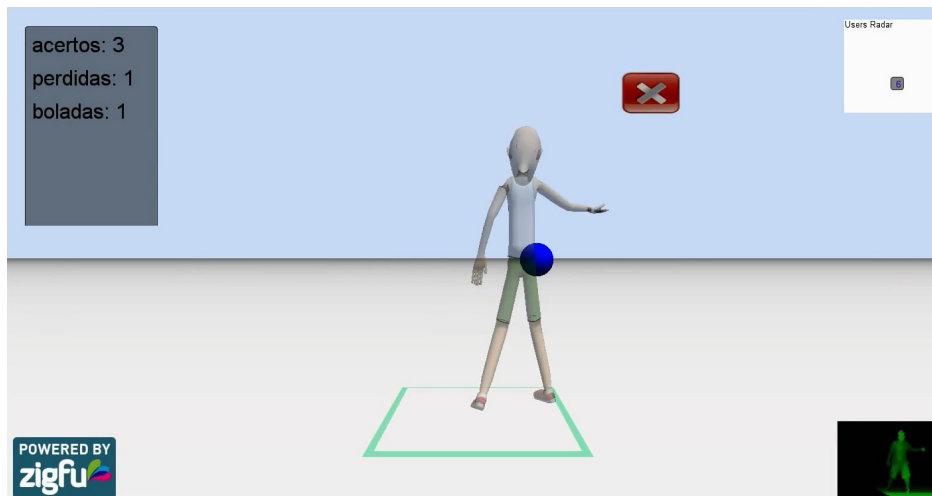


Figura 4.4: O jogo *Catch the Spheres*

4.1.1 Arquitetura do Servidor *JOGUE-ME Webservice*

O mecanismo de aquisição e armazenamento dos sinais motores ([REQ-JOGUE-ME-05]) torna possível o envio de maneira colaborativa desses sinais para um servidor responsável por armazenar as informações. Na abordagem **JOGUE-ME! (JOGUE-ME!)** o servidor poderá ser acessado por um profissional de saúde o qual poderá ter acesso às informações motoras de seus pacientes.

O envio dos dados dos usuários coletados com os dispositivos é feito através de uma requisição POST para o *web service*. Os dados devem ser coletados durante uma sessão completa do jogo, que dura de alguns segundos a alguns minutos, para depois serem estruturados e enviados para o *webservice*. O formato aceito pelas operações é o JSON (JavaScript Object Notation).

Tabela 4.1: Operações disponibilizadas pelo *web service*

Operação	Método	Exemplo
cadastrarUsuario	POST	<pre>{ "id":2, "nome":"Ana", "masculino":false, "nascimento":"2012-11-28" }</pre>
obterToken	GET	-
enviarDados	POST	<pre>{ "leitura":[{ "id":0, "idUserario":1, "x":2.9097333, "y":6.770132, "z":2.0355952, "timestamp":1336134935706 }, { "id":0, "idUserario":1, "x":4.5565815, "y":4.9461093, "z":1.4911331, "timestamp":1336134935706 }] }</pre>

4.2 Processador de Dados Biomecânicos

Os sinais dos usuários ficam armazenados no servidor. Porém, para transformar os sinais em informação tanto para o profissional de saúde quanto para máquinas de aprendizagem é necessário fazer o processamento desse sinal. Neste trabalho, implementamos o *Processador de Dados Biomecânicos* em MATLAB 2011 [44] como definido na 3.4, o qual consiste de três passos: Identificação dos Ciclos, Extração de Características e Filtragem de Dados.

4.2.1 Identificação dos Ciclos de Movimento

A identificação dos ciclos de movimento foi baseada na identificação de picos e vales do sinal motor como explicado na Seção 3.4.1.

Para implementar o mecanismo de detecção de ciclos fez-se o uso da biblioteca *Peak Detection in Matlab* [13]. Essa biblioteca possui uma função chamada *peakdet()* que recebe como parâmetros um vetor contendo o sinal a ser processado, e um valor de limiar para remoção do ruído do sinal. A função retorna dois vetores onde um possui os valores das máximas (picos) e o outro retorna os valores das mínimas (vales).

Usando a função *peakdet()* criou-se a função *cycleperiodic()* que tem o objetivo de identificar os ciclos periódicos de um sinal. Foram adicionados dois parâmetros a essa função para justamente levar em consideração o mínimo e o máximo a amplitude permitida do sinal.

Código Fonte 4.1: Função de Ciclo Periódico

```

1 function [cycleIndex]=cycleperiodic(v, delta, maxAmplitude, minAmplitude)
2 [peaks, valey] = peakdet(v, delta);
3 j = 1;
4 for (i=1:(size(valey,1)-1))
5     initialIndex = valey(i,1);
6     endIndex = valey(i+1,1);
7     amplitude = endIndex - initialIndex;
8     if ((maxAmplitude >= amplitude) & (minAmplitude <= amplitude))
9         cycleIndex(j) = valey(i);
10        j = j + 1;
11    end
12 end

```

De posse dos ciclos pode ser identificado quando começam e onde terminam os movimentos periódicos (Código Fonte 4.2) como por exemplo os movimentos sucessivos de adução e abdução do braço (Seção 2.1).

Código Fonte 4.2: Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico

```

1 function [WindowBeginLeft, WindowLengthLeft, WindowBeginRight,
    WindowLengthRight] = identifyCycles(leftWristJoint, rightWristJoint)
2     signalLeft = leftWristJoint(:,3);
3     signalRight = rightWristJoint(:,3);
4
5     cycleIndexLeft = cycleperiodic(signalLeft, 500, 200, 40);
6     cycleIndexRight = cycleperiodic(signalRight, 500, 200, 40);
7
8     WindowBeginLeft = cycleIndexLeft(1);
9     WindowLengthLeft = cycleIndexLeft(size(cycleIndexLeft,2));
10    WindowBeginRight = cycleIndexRight(1);
11    WindowLengthRight = cycleIndexRight(size(cycleIndexRight,2));

```

4.2.2 Extração das Características do Movimento

Supondo que os ciclos de movimento foram identificados através da posição do punho, é necessário agora extrair as características do movimento. Para isso, o primeiro passo é calcular os ângulos relativos do movimento angular usando os pontos das articulações como pode ser visto no Código Fonte 4.3. A função *ArmRelativeAngleTorso()* realiza o cálculo do produto escalar entre as três articulações.

Código Fonte 4.3: Calcular ângulos relativos do movimento

```

1 leftShoulderJoint = leftShoulderJoint(WindowBeginLeft:WindowLengthLeft,:);
    ;
2 leftWristJoint = leftWristJoint(WindowBeginLeft:WindowLengthLeft,:);

```

```

3 leftHipJoint = leftHipJoint(WindowBeginLeft:WindowLengthLeft,:);
4
5 for (j=1:size(leftHipJoint,1))
6 leftArmAngle(j,1) = leftHipJoint(j,1);
7
8
9 leftArmAngle(j,2) = ArmRelativeAngleTorso(leftHipJoint, leftShoulderJoint,
    leftWristJoint, j);
10 end

```

De posse do sinal dos ângulos relativos do movimento, serão extraídos os picos e os vales desse sinal para extrair a velocidade angular do movimento de abdução e adução do braço (Código Fonte: 4.4).

Código Fonte 4.4: Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução

```

1 distanceup = cycle(peak) - cycle(1);
2 amplitude(identifiedCycles,1) = cycle(peak);
3
4 timestampupsec = (abs(timestampcycle(1) - timestampcycle(peak)))/1000;
5 velocityUp(identifiedCycles,1) = distanceup/timestampupsec;
6
7 distancedown = abs(cycle(end) - cycle(peak));
8 timestampdownsec = (abs(timestampcycle(peak) - timestampcycle(end)))/1000;
9 velocityDown(identifiedCycles,1) = distancedown/timestampdownsec;

```

4.2.3 Filtragem de Dados

O filtro de dados tem o objetivo de remover os ciclos de movimento incompletos ou com problemas na aquisição dos dados, como explicado na Seção 3.4.3. Nessa etapa os ciclos são: normalizados, escalonados e rótulos do usuário (*labels*). De posse de todos os dados é calculado um vetor médio dos ciclos normalizados para que seja possível definir um limiar (*threshold*) de remoção dos ciclos (Código Fonte: 4.5).

Código Fonte 4.5: Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução

```

1 function [ KinectData, processedCycles, labels ] = filterCyclesAndLabels
    (T, labels, otherFeatures, scaledLength)
2
3     normalization = T;
4     for i=1:size(T,1)
5         normalization(i,1:scaledLength) = T(i,1:scaledLength) ./ max(T(i,1:
            scaledLength));
6         normalization(i,scaledLength+1:scaledLength*2) = T(i,scaledLength
            +1:scaledLength*2) ./ max(T(i,scaledLength+1:scaledLength*2));

```

```

7      normalization(isnan(normalization(i,1:scaledLength*2))) = min(
          normalization(i,1:scaledLength*2));
8  end
9
10     normalization(isnan(normalization)) = 0;
11
12     if(size(T,2) > scaledLength*2)
13         normalization(:,scaledLength*2 + 1:end) = T(:,scaledLength*2+1 :
            end) ./ max(T(:,scaledLength*2 + 1:end));
14     end
15
16     threshold = 1;
17     meanOfNormalization = mean(normalization);
18     u = ones(size(normalization,1),1);
19     filterTestVector = sum((normalization - (u*meanOfNormalization))
        .^2,2);
20     filterVector = filterTestVector < threshold;
21
22
23     KinectData = [T(filterVector,:) otherFeatures(filterVector,:)];
24     processedCycles = T(filterVector,:);
25     labels = labels(filterVector,:);
26 end

```

4.3 Classificador de Dados

Para avaliar os requisitos de identificação dos sinais motores ([REQ-JOGUE-ME-06]) é necessário um teste com seres humanos para avaliar a aquisição e classificação dos sinais. A abordagem de classificação dos dados é baseada em máquinas de aprendizagem como explicado na Seção 3.5. O Código Fonte 4.6 demonstra como fazer a classificação dos dados utilizando o *Matlab Statistics Toolbox* [44], o qual possui uma máquina de vetor de suporte disponível em sua biblioteca.

Primeiramente, separa-se o grupo de treinamento para realizar a aprendizagem da máquina utilizando o método *svmtrain()*; depois utiliza-se o método *svmclassify()* para predizer os valores usando a máquina de aprendizagem e por fim calculam-se as diferenças entre os valores reais e os que foram classificados. Então, é calculada a taxa de erro para poder avaliar o resultado do classificador.

Código Fonte 4.6: Uso de Máquina de Vetor de Suporte para Classificação dos Dados

```

1  realValues; %Classe Atual
2  SVMStruct = svmtrain(trainingData,trainningClassification,
    Kernel_Function','linear','BoxConstraint',0.10);

```

```
3 class = svmclassify(SVMStruct, testData, 'showplot', true); %Classe  
    Preditiva  
4 classificationRate = sum(class~=realValues);  
5 errorRate = classificationRate / size(classereal, 2);
```


Capítulo 5

Avaliação Experimental

Neste capítulo são descritos os experimentos realizados para a validação deste trabalho.

A realização do monitoramento dos sinais motores de uma maneira não-invasiva é um desafio, logo esta tese fornece uma forma lúdica de monitorar os dados de saúde por meio de jogos eletrônicos que podem ser integrados à rotina diária dos usuários.

5.1 ETAPA 1 - Entrevista Semi-Estruturada com Profissionais de Saúde

A interpretação de dados é o cerne da pesquisa qualitativa, esse método tem como função desenvolver a teoria, servindo ao mesmo tempo de base para a decisão sobre quais dados adicionais devem ser coletados, por meio de codificação seletiva [23]. Esta técnica, permite elaborar uma categorização nos dados, demonstrando ao pesquisador quais são os fenômenos mais preponderantes da pesquisa. O procedimento da interpretação dos dados, assim como a integração de material adicional são encerrados quando se atinge a "saturação teórica", ou seja quando o avanço na codificação não resulta na aquisição de novos conhecimentos [23].

Para análise dos textos provenientes da pesquisa foram transcritos as entrevistas com: neurologistas e fisioterapeutas especialistas em neurologia. Com a codificação seletiva foi possível categorizar os as ocorrências de acordo com o conteúdo de cada texto. Ou seja, as respostas de cada participante foram analisadas incluídas na árvore de categorias como sugere o método de pesquisa [23].

Para auxiliar no processo de: análise, seleção e codificação. Foi utilizado uma ferramenta de suporte à pesquisa qualitativa (*QDA Miner* [58]), por meio desta, foi possível categorizar e reformular a árvore de categorias [23] diversas vezes durante o processo de análise [23].

5.1.1 Objetivo da Pesquisa

O objetivo da entrevista semi-estruturada [23] foi entender como é feito o acompanhamento do paciente com sintomatologia do Parkinson, juntamente aos profissionais de saúde: neurologistas que prescrevem a dosagem medicamentosa e fisioterapeutas que fazem o tratamento de reabilitação e acompanhamento motor do paciente. Esses profissionais de saúde, foram indagados se haveria melhora na tomada de decisão caso estes pudessem acompanhar os sinais motores diariamente. Procurou-se encontrar dentro do contexto de estudo, a importância do monitoramento de dados de saúde e os benefícios trazidos por este.

As entrevistas foram realizadas presencialmente, com perguntas não estruturadas e, com uma maior estruturação no decorrer da entrevista preocupando-se em evitar a referência do entrevistador sobre os pontos de vista do entrevistado, conforme sugere o método científico [23].

Instrumento de Análise dos Dados da Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa assistida por computador permite uma melhor categorização das informações obtidas em modo texto. O *software* QDA Miner [58] auxilia o pesquisador na organização dos registros da pesquisa e das interpretações dos mesmos, justificando-se o uso da ferramenta devido a dificuldade de classificar e analisar os dados obtidos. Nessa análise, foram consideradas as atividades referentes ao acompanhamento dos sinais motores em pacientes com Parkinson. Buscou-se durante a pesquisa avaliar se um cenário de monitoramento dos sinais motores por meio de jogos eletrônicos auxiliaria os profissionais de saúde quanto ao tratamento de seus pacientes.

Nesta seção, faz-se um detalhamento do resultado da entrevista semi-estruturada, descrevendo a opinião dos entrevistados e coletando requisitos baseado nas necessidades expostas pelos mesmos. Por meio desta etapa da pesquisa foi avaliada a **ETAPA 1** da pesquisa: *Quais os benefícios de acompanhar diariamente os sinais motores do paciente do ponto de vista do profissional da saúde.*

5.1.2 Perfil dos Participantes

O perfil dos participantes é composto por quatro profissionais da saúde, dos quais: dois são fisioterapeutas com especialização em neurologia, e dois são médicos neurologistas. A escolha desse perfil se fez de acordo com seus ofícios e responsabilidades e complementaridade quanto ao tratamento do paciente. Os neurologistas realizam o diagnóstico e acompanham os sinais motores juntamente com as informações obtidas do paciente ou de seu cuidador, e baseado nas informações realiza o gerenciamento da dosagem medicamentosa da doença. Por outro lado, os fisioterapeutas fazem o acompanhamento dos sinais motores em sessões de fisioterapia promovendo a aprendizagem motora desses pacientes. Logo, esses profissionais

possuem visões e preocupações distintas e inerentes a seu ofício.

Para manter a confidencialidade de informação, os entrevistados receberam uma **LEGENDA** que identifica o perfil profissional seguido por um número sequencial, o qual identifica o entrevistado mas preserva sua identidade (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Perfil dos Participantes

LEGENDA	PROFISSÃO	IDADE (ANOS)	EXPERIÊNCIA (ANOS)
FIS_01	Fisioterapia em Neurologia	40	10
FIS_02	Fisioterapia em Neurologia	39	10
NEU_01	Médico Neurologista	42	15
NEU_02	Médico Neurologista	67	30

Questionário de Pesquisa

Para a formulação do questionário foram realizadas análises nas diretrizes médicas [57; 30] e na tabela UPDRS [22] sobre o progresso da Parkinson e dos sinais monitoráveis por sensores de movimento. Para a entrevista foram elaboradas 15 perguntas agrupadas em 3 seções (Apêndice B) com os seguintes temas: sinais do Parkinson, monitoramento da saúde motora e os benefícios advindos do monitoramento. Onde o entrevistador selecionou as questões de acordo com o perfil profissional.

5.1.3 Análise

Durante a análise das entrevistas foram extraídos fragmentos, e a nomenclatura utilizada contém o prefixo **FRAGMENTO** mais um número sequencial identificando o mesmo. Esse procedimento permite identificar **requisitos** que orientem a proposta de monitoramento de dados motores por intermédio de jogos eletrônicos. Logo, os requisitos extraídos nesta abordagem foram obtidos a partir da perspectiva do profissional de saúde em relação ao tratamento e acompanhamento da Parkinson.

Diagnóstico

Na entrevista junto aos neurologistas, foi indagado como o diagnóstico da Parkinson é realizado. A entrevista corroborou com a literatura médica [73; 75] em relação ao diagnóstico de exclusão do Parkinson [57; 30].

Todos os profissionais informaram que o sintoma mais comum é o tremor de repouso, e que este inicialmente é unilateral e seguido de uma bradicinesia como podemos perceber nos ([FRAGMENTO-01][FRAGMENTO-02]). Ainda no ([FRAGMENTO-01]), existe uma

ocorrência do [NEU_01] em que o mesmo evoca sobre a importância da técnica de *Finger Taps* [22] para avaliação da bradicinesia.

[FRAGMENTO-01][NEU_01] - *O diagnóstico da doença de Parkinson é quando o paciente chega se queixando de tremor. Esse sintoma começa com um tremor unilateral geralmente pelas mãos, lentamente progressivo e de repouso. Além do tremor esse paciente exibe também uma lentidão que a gente consegue detectar pelo Finger Taps. Essa técnica consiste em tocar o polegar ao primeiro e segundo dedo simultaneamente para ver se há ou não lentidão. Faz-se uma comparação sempre com o outro lado para visualizar possíveis diferenças. Existe também uma rigidez no braço, quando faz-se uma flexão e extensão do membro e percebe-se que o tônus desse paciente comparado com o outro lado exibe uma diferença.*

[FRAGMENTO-02][NEU_02] - *O diagnóstico da doença de Parkinson é feito com uma das queixa iniciais do paciente é um tremor de repouso, geralmente associado a uma dificuldade na marcha. Então normalmente os pacientes reclamam de uma perna presa e um tremor de repouso.*

Uma ocorrência no ([FRAGMENTO-03]) que deve ser ressaltado, é o que o entrevistado referiu como “*boa resposta ao prolopa*”. Essa ocorrência é denominada de diagnóstico diferencial da Parkinson [57], consiste na redução dos sinais parkinsonianos em decorrência da resposta ao tratamento medicamentoso.

[FRAGMENTO-03][NEU_01] - *Então os sinais é o tremor em repouso, a lentidão e a rigidez. Inicialmente apenas de um lado, por exemplo começa no braço direito e depois vai para a perna direita, depois para o braço esquerdo e depois a perna esquerda. Isso lentamente progressivo, a gente faz a exclusão com outras doenças através de outros exames como tomografia, ressonância ou a uma boa resposta ao prolopa.*

Sintomas

Nesta seção estão expostos sinais para o acompanhamento da sintomatologia da Parkinson.

O sintoma de tremor, além de ter sido referenciado durante o diagnóstico da doença na Seção 5.1.3 por todos os entrevistados, possui particularidades como a dificuldade de controlar o sintoma por intermédio do tratamento medicamentoso ([FRAGMENTO-04]), e não é tão incapacitante quanto a bradicinesia Parkinson. No ([FRAGMENTO-05]) o [NEU_01] reforçou sobre a importância de controlar os sinais de lentidão do movimento ante os de tremor [19].

[FRAGMENTO-04][NEU_01] - *Mas a gente tem que ver, porque as vezes o tremor é muito mais difícil de você controlar. Porque está relacionada ao emocional do paciente. Quanto mais emocionalmente desequilibrado o paciente tiver, mais tremor ele tem.*

[FRAGMENTO-05][NEU_01] - *O controle do tremor é um pouco complicado porque é um sintoma mais difícil de ser controlado com as medicações que temos hoje. Então você poderia ver nesse seu projeto a lentidão. Porque o paciente quer tremer mas ele não quer ficar lento.*

O pesquisador indagou se o sintoma da bradicinesia era considerado o mais debilitante da Parkinson e como resposta ele obteve a afirmação de que a bradicinesia impacta diretamente na qualidade de vida do paciente, privando-o de realizar atividades diárias ([FRAGMENTO-06]).

[FRAGMENTO-06][NEU_01] - *É ele atrapalha né, principalmente no levantar no andar, para você se levantar, pentear o cabelo o tremor é prejudicial. Porém mais prejudicial ainda é a lentidão do movimento.*

Ao indagar se o movimento de adução e abdução do braço seria relevante para a identificação da Parkinson, o [NEU_01] informou que a bradicinesia é um sintoma que traz lentidão em todo o corpo e possivelmente seria afetada por este movimento. Pois, devido à redução dos movimentos automáticos ([FRAGMENTO-07]), traz outros impactos físicos ao paciente ([FRAGMENTO-08]).

[FRAGMENTO-07][NEU_01] - *Na verdade o movimento em si, vai ver o quão lento está. Porque você não tem um déficit motor. O comprometimento na doença de Parkinson está no comprometimento piramidal, o comprometimento extra-piramidal não vai estar alterando a força motora. O que vai estar vai ser exatamente a lentidão. Por exemplo, é um paciente que está andando você que os movimentos dele automáticos estão reduzidos, principalmente no balançar dos braços. Você vai andando, vai andando, você vê aquele paciente que está com a força, ele está com toda a estrutura piramidal tudo normal. Mas ela anda lento em consequência da lentidão do movimento porque os movimentos automáticos estão reduzidos.*

[FRAGMENTO-08][FIS_01] - *Os sinais mais frequentes a gente tem a bradicinesia que é a lentificação do movimento, a gente tem um padrão postural que começa a ficar bem nítido que o paciente apresentar o Parkinson. Você percebe uma perda da movimentação automática da cintura escapular e aí ele começa a apresentar uma diminuição no volume da voz que é uma diplofonia, e apresenta uma maior rigidez muscular. Eles reclamam bastante e a bradicinesia que tornam os movimentos cada vez mais lentos.*

Monitoramento Motor

Nesta seção está exposta a importância do monitoramento dos sinais capturados no estudo analítico de caso controle definido no método de pesquisa na Seção 5.2.1. Nesse estudo também pretende-se identificar as características dos movimentos que possam ser extraídos desses sinais, e que venham fornecer subsídios para diferenciar indivíduos diagnosticados com Parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico.

Ao indagar ao [FIS_02] se o movimento de adução e abdução do braço seria relevante para a identificação da Parkinson, este informou que mesmo não sendo um teste específico para a identificação da doença, existem diferenças significativas encontradas em indivíduos diagnosticados com parkinson [FRAGMENTO-11].

[FRAGMENTO-11][FIS_02]- *Sim. Existe alterações sim, mas eu nunca vi especificamente esse teste como sendo usado para diagnóstico da doença. Mas que realmente existem mudanças no movimento de adução e abdução de uma pessoa normal ante a um parkinsoniano.*

O [FIS_01], explicou os motivos que levam a perda da mobilidade no movimento de adução e abdução ([FRAGMENTO-12]) e conseqüentemente, reforça que esse movimento poderia ser monitorado para verificar o comprometimento da doença. Em um outro fragmento ([FRAGMENTO-13]) o mesmo fisioterapeuta menciona a importância de monitorar a amplitude do movimento, pois permite visualizar a resposta do paciente ao tratamento oferecido.

[FRAGMENTO-12][FIS_01]- *Têm, porque uma das grandes perdas que eles apresentam é na cintura escapular e conseqüentemente é pegando a parte de ombro. Pois caso ela seja mais fixa, porque geralmente o paciente de Parkinson abduz o ombro. O ombro fica abduzido junto ao tronco e aí ele perde a mobilidade do cotovelo e punho e também o movimento fica comprometido por conta disso.*

[FRAGMENTO-13][FIS_01]- *Mesmo sabendo que a tendência é uma lentificação (bradicinesia). As outras doenças também, porque um dos objetivos nossos é o aumento da amplitude. Então é um meio interessante para a gente conseguir visualizar se o tratamento está dando certo ou não.*

Velocidade do Movimento De Adução e Abdução dos Braços

Um ponto de convergência, entre os profissionais entrevistados, é a importância de monitorar a velocidade angular dos pacientes. Os profissionais tentam associar o tratamento fisioterápico e medicamentoso para a melhora da bradicinesia. Logo, para estes profissionais

a melhora está condicionada a um aumento na velocidade do movimento ([FRAGMENTO-14],[FRAGMENTO-15])

[FRAGMENTO-14][NEU_01] - *É como eu falei para mim seria melhor se capturássemos se ele está mais lento. Se através dessa amplitude você conseguir por intermédio do computador identificar que ele está mais lento de um lado do que do outro, e conseguir visualizar a velocidade de um lado e do outro. Então isso é interessante.*

[FRAGMENTO-15][FIS_01] - *É e consequentemente a velocidade, porque nesse caso o tratamento é diretamente relacionado a isso quanto mais veloz o parkinsoniano é melhor para a gente melhor prognóstico a gente pode ter lá na frente. Mesmo sabendo que a tendência é uma lentificação.*

A assimetria do movimento acomete os pacientes que estão nos estágios iniciais da doença. Por esse motivo, geralmente ela é identificada durante o diagnóstico [FRAGMENTO-03]. Porém, alguns pacientes parkinsonianos apresentam a assimetria do movimento quando um dos lados é mais comprometido que o outro. Por essa razão é que o [NEU_01] afirmou “Se através dessa amplitude você conseguir por intermédio do computador identificar que ele está mais lento de um lado do que do outro”. Pois, a tendência natural da evolução da Parkinson é a redução na assimetria do movimento conforme a opinião do [NEU_01] no [FRAGMENTO-16] e na tabela UPDRS [22] em sua escala de avaliação do progresso da doença (Seção 2.1.3).

[FRAGMENTO-16][NEU_01]- *No início. Geralmente o paciente se queixa de uma diminuição de força de um lado do corpo. Mas na progressão, ele vai sentir dificuldade global. Mas aqueles parkinsonianos iniciais geralmente eles se queixam na diminuição do movimento de um dos lados.*

Benefícios Advindos do Monitoramento

Em relação aos benefícios advindo do monitoramento pudemos identificar: a quantificação dos sinais motores, amplitude de movimento de adução e abdução do braço, velocidade angular destes movimentos. Essa análise trouxe dois grupos de respostas: o primeiro reconhecia da importância da quantificação dos dados para identificar a melhora ou piora do paciente [FRAGMENTO-17], e outro relatava que essa informação tinha mais validade científica do que prática [FRAGMENTO-18]. Todavia, caso esses profissionais tivessem acesso a um sistema que permitisse o monitoramento motor, possivelmente eles iriam perceber os benefícios da abordagem e modificar sua prática atual ao adotar uma nova proposta.

[FRAGMENTO-17][FIS_02]- *É preciso ter parâmetros sim. Pois atualmente usamos muito o olho clínico e aí vai de cada profissional. Se tivermos números facilitam bastante porque se tornam fatos e basearmos nossas conclusões em números é bem melhor.*

[FRAGMENTO-18][FIS_01]- *É interessante em termos de pesquisa. Em termos de clínica a geralmente a gente vai no geral. Por exemplo: Eu faço uma flexão de ombro com bastão e anotei no meu exame que ele ia até mais ou menos 70° e após 15 dias eu vejo que ele está levantando acima de 90°. Então está marcado a minha evolução. Então eu faço a avaliação nesse sentido. Então esse sistema seria bom para pesquisa mesmo.*

Indagou-se aos profissionais se o monitoramento dos sinais motores auxiliaria no gerenciamento da dosagem medicamentosa. Os profissionais informaram que sentem a necessidade de visualizar a eficácia do tratamento diante do paciente. O [FIS_01] no [FRAGMENTO-19] cita a importância de avaliar tanto o tratamento medicamentoso quanto se a sua atividade fisioterápica traz benefícios ao paciente. Os neurologistas citam ([NEU_01] e [NEU_01]) a importância de reajustar a dosagem medicamentosa e que a quantificação do sintoma identifica o resultado do efeito medicamentoso. Outra opinião bastante pertinente é que o agravamento da Parkinson é bastante sutil do ponto de vista do [NEU_01] no [FRAGMENTO-21]. Logo se for possível, mostrar a evolução da doença em períodos mais longos, o tratamento seria mais efetivo e, conseqüentemente, traria uma melhor qualidade de vida aos pacientes.

[FRAGMENTO-19][FIS_01] - *É interessante porque teremos uma ideia de até que ponto a medicação está sendo efetiva, até quando a patologia está progredindo e também avaliar se o nosso tratamento fisioterápico está dando resultados ao tentar frear a evolução da doença.*

[FRAGMENTO-20][NEU_02] - *Sim. Dentro do que você propõe. Com certeza sim. Essa avaliação desses movimentos. Porque a gente consegue visualizar se a medicação está surtindo efeito, se precisa ser reajustada.*

[FRAGMENTO-21][NEU_01] - *Se esse mecanismo acontecesse. Você poderia avaliar a dosagem de um paciente por exemplo. Veja avalie durante uma semana, não melhorou. Então a gente poderia fazer um teste com tremor, lentidão e a rigidez, se houvesse esse aspecto. A gente poderia aumentar a dosagem e visualizaria a eficácia da dosagem com o decorrer do tempo, com o decorrer da evolução. E verificaria se realmente o paciente está melhorando. Porque o paciente da doença de Parkinson ele piora lentamente, as vezes é tão sutil que o*

próprio paciente não consegue. Então é como eu disse, cada paciente a evolução é diferente num existe. Mas poderia assim, se você conseguisse detectar as amplitudes do tremor por exemplo.

5.1.4 Requisitos Identificados

A Engenharia de Requisitos (ER) é o processo de descobrir o propósito do software, identificando os principais envolvidos do sistema com suas respectivas necessidades e documentando a análise para uma implementação posterior [52]. Contudo, é um processo que deve ser continuamente repetido para que as necessidades dos envolvidos sejam satisfeitas. As técnicas para identificação de requisitos são derivadas principalmente das ciências sociais, que se baseiam em pesquisa qualitativa onde são analisados a teoria do objeto de estudo com a experiência prática dos envolvidos na pesquisa [53; 79].

A identificação dos requisitos de um sistema representa o início da elicitação das necessidades da solução proposta. Então, os requisitos definem quais serão os serviços que o sistema deve prover além de um conjunto de restrições existentes na operação do mesmo [66]. A técnica utilizada para a identificação dos requisitos desta pesquisa é baseada em pesquisa qualitativa, onde usou-se a entrevista semi-estruturada na qual o entrevistador possui um conjunto de perguntas pré-definidas e guia a entrevista de acordo com a opinião do entrevistado [23]. Ficou definido, que cada requisito deve ser importante para os entrevistados e a nomenclatura estabelecida é de **REQ-ENTREVISTAS** seguida por um número sequencial correspondente à sua apresentação. Para demonstrar a relevância dos requisitos, a teoria foi confrontada com o que é aplicado na prática pelos profissionais de saúde, por esse motivo, foram citadas referências científicas que corroboram com a análise.

REQ-ENTREVISTAS-01 : Identificar e quantificar o tremor parkinsoniano [73; 33; 38].

REQ-ENTREVISTAS-02 : Identificar a bradicinesia [56].

REQ-ENTREVISTAS-03 : Avaliar bradicinesia usando *finger-tapping* [60].

REQ-ENTREVISTAS-04 : Considerar e identificar a assimetria do movimento nos estágios iniciais [30].

REQ-ENTREVISTAS-05 : Fornecer mecanismos para possibilitar o Diagnóstico Diferencial [57] da Doença de Parkinson.

REQ-ENTREVISTAS-06 : Analisar a Marcha [71]. Medir a marcha e comparar o padrão do movimento com indivíduos com e sem o diagnóstico da Parkinson para classificar a marcha como saudável ou parkinsoniana.

REQ-ENTREVISTAS-07 : Calcular e armazenar a amplitude do movimento de adução e abdução dos braços, para realizar o monitoramento da saúde motora e poder acompanhar o tratamento.

REQ-ENTREVISTAS-08 : Calcular e armazenar a velocidade angular do movimento de adução e abdução dos braços. Para poder avaliar o sintoma da bradicinesia.

REQ-ENTREVISTAS-09 : Avaliar estado emocional baseado na ocorrência e comprometimento do tremor.

Inviabilidade Técnica

Alguns requisitos identificados não podem ser implementados com a tecnologia de sensor de movimento usada nesse trabalho. A importância destes requisitos é reconhecida e pode ser implementada em trabalhos futuros, desde que as barreiras tecnológicas sejam resolvidas como descrito:



Figura 5.1: Teste de um jogo usando acelerômetro para quantificação do sinal de tremor do Parkinson

- O **REQ-ENTREVISTAS-01**, o tremor de repouso é um dos principais sinais do Parkinson. Sabíamos da sua importância, inclusive foi desenvolvido um jogo para *Smartphone* que pudesse quantificar o tremor (Figura 5.1). Porém, no teste junto aos

usuários, foi percebido que no momento do uso os pacientes parkinsonianos cessavam o tremor, inviabilizando assim sua quantificação.

- O [REQ-ENTREVISTAS-03], a técnica de *finger-tapping* não pode ser avaliadas utilizando o MS-Kinnect 1.0, pois nessa versão não existe a captura do movimento dos dedos, conforme ilustrado na Figura 4.2.
- O REQ-ENTREVISTAS-09, por envolver estado emocional e parâmetros que não estamos levando em consideração nesse trabalho, esse requisito está fora do escopo. Entretanto, com mecanismos de detecção de batimentos cardíacos presente em versões mais atuais do MS-Kinnect, pode ser averiguada a relação dos batimentos cardíacos com o tremor.

Matriz de Rastreabilidade - Fragmento x Requisitos

A Matriz de Rastreabilidade (Fragmento x Requisitos) mapeia os **REQUISITOS** aos **FRAGMENTOS** que de forma direta ou indireta estejam correlacionados (Tabela 5.2). Ao final, é obtido um campo de quantidade de ocorrências quantificando a sua ocorrência nos fragmentos.

Matriz de Rastreabilidade - Requisitos x Implementação

A Matriz de Rastreabilidade (Tabela 5.3) mapeia os **REQUISITOS** implementados neste trabalho e, os que devido a restrições técnicas, ainda estão em aberto. Isso demonstra também o estado atual do trabalho e pode direcionar os trabalhos futuros.

5.1.5 Conclusão

Como dito no início do capítulo, o intuito dessa entrevista foi verificar junto aos profissionais de saúde os benefícios trazidos pelo monitoramento em relação a qualidade de vida e na promoção da eficácia terapêutica de seus usuários.

Com base na rastreabilidade dos fragmentos da entrevista, pode-se concluir que existiram muitas ocorrências nos requisitos de Identificação de sinais como: tremores ([REQ-ENTREVISTAS-01]), bradicinesia [REQ-ENTREVISTAS-02] e análise da marcha [REQ-ENTREVISTAS-06]. Para o acompanhamento e monitoramento da doença, os profissionais de saúde citaram a importância de calcular, tanto a amplitude dos movimentos de abdução e adução dos braços ([REQ-ENTREVISTAS-07]), quanto a velocidade angular ([REQ-ENTREVISTAS-08]). Baseado nessas considerações, podemos validar qualitativamente a ETAPA 1 da pesquisa.

Tabela 5.2: Matriz Rastreabilidade: Fragmento x Requisitos

FRAGMENTOS / REQUISITOS	01	02	03	04	05	06	07	08	09
01	x	x	x	x					
02	x					x			
03	x	x		x	x				
04	x								x
05	x	x							
06		x				x			
07		x				x	x	x	
08		x				x	x	x	
09				x		x			
10						x			
11							x		
12		x					x	x	
13							x		
14		x							
15		x		x				x	
16				x					
17									
18	x		x	x		x	x	x	x
19	x				x	x	x	x	
20	x				x	x	x	x	
21	x				x	x	x	x	
QTD. OCORRÊNCIAS	9	9	2	6	4	10	9	8	2

5.2 ETAPA 2: Máquina de Vetor de Suporte para Estudo Analítico de Caso Controle Por Intermédio de Sensor de Movimento Usados em Jogos Eletrônicos

Partindo da importância de identificar o sintoma da bradicinesia e, conseqüentemente, avaliar a dificuldade do movimento (Seção 2.1.2), nessa pesquisa buscou-se avaliar esse sintoma com o movimento de adução e abdução dos braços (ver Figura 5.2). A abordagem de aprendizagem de máquina foi utilizada para classificar portadores do Parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico. Partiu-se do princípio que os indivíduos com Parkinson teriam mais dificuldade ao levantar o Braço e a velocidade angular do mesmo seria reduzida ante os indivíduos que não desenvolveram a doença.

Tabela 5.3: Requisitos Implementados

REQUISITO	IMPLEMENTADO	INVIABILIDADE TÉCNICA
REQ-ENTREVISTA-01		X
REQ-ENTREVISTA-02	X	
REQ-ENTREVISTA-03		X
REQ-ENTREVISTA-04	X	
REQ-ENTREVISTA-05	X	
REQ-ENTREVISTA-06	X	
REQ-ENTREVISTA-07	X	
REQ-ENTREVISTA-08	X	
REQ-ENTREVISTA-09		X

5.2.1 Estudo analítico de caso-controle

Esta etapa da pesquisa foi pautada pelo protocolo de pesquisa submetido à avaliação do Comitê de Ética da UFCG. Somente após a aprovação deste (CAAE: 14408213.9.1001.5182) é que os dados foram coletados.

Os resultados que se pretendem alcançar com a pesquisa são mecanismos para a identificação e classificação de pessoas saudáveis ante os portadores do Parkinson. Durante a pesquisa também analisou-se o sensor de movimento MS-Kinnect [48] para avaliar a possibilidade de aquisição de dados de saúde baseada na Cinemática Linear do Movimento Humano [46]. A partir dos resultados obtidos, pretende-se avaliar e classificar a normalidade e dificuldade na execução de movimentos como, por exemplo, levantar um braço [46].

A coleta de dados foi realizada no Hospital Universitário da UFAL, e na Fundação Pestalozzi em Maceió, ambas sob a tutela da Profa. e Neurologista Dra. Cícera Pontes; e na Clínica de Fisioterapia do CESMAC, sob a tutela do Prof. de Fisioterapia Jean Charles Santos. As coletas foram realizadas em local reservado e de forma individual, com a anuência do sujeito pesquisado através da assinatura do Termo de Consentimento.

Amostra

Foram selecionados por disponibilidade um total de 30 sujeitos da pesquisa. O grupo previamente diagnosticado por neurologistas com Parkinson consistiu de 15 indivíduos, 10 homens e 5 mulheres, entre 51 e 65 anos (média: 58 anos). O grupo controle foi composto por 15 indivíduos sem diagnóstico PD, 11 homens e 4 mulheres, entre 50 e 65 anos (média: 57 anos). Todos os indivíduos fizeram uso da abordagem de monitoramento baseada em jogos proposta neste trabalho. Os sujeitos da pesquisa foram solicitados a executarem os movimentos de abdução e adução dos braços de acordo com a proposta do jogo onde todas as sessões foram feitas sob supervisão de um neurologista e fisioterapeuta onde foi

verificado o estado de saúde do indivíduo continuamente. Durante as coletas, não houve a necessidade de nenhuma interrupção da coleta devido a problemas de saúde ou qualquer outra eventualidade.

Recrutamento dos Sujeitos e Aquisição do Consentimento Livre e Esclarecido

A forma de recrutamento deste protocolo será circunscrita por intermédio de um profissional de saúde. O profissional conhecia a história clínica do paciente e obteve a permissão do mesmo para que a equipe de pesquisa entrasse em contato. A equipe de pesquisa explicitou os riscos e benefícios da participação da pesquisa buscando a arbitrariedade e espontaneidade da decisão. Depois foi oferecido para assinatura o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

CrITÉRIOS de Inclusão

Foram inclusos na pesquisa, os indivíduos do grupo diagnosticados com Parkinson no estágio 3 segundo a UPDRS [22], sem distinção de gênero ou cor. Os indivíduos, ficaram dentro das facilidades da clínica onde a coleta foi realizada e aceitaram participar do estudo. O grupo de indivíduos que não possuíam diagnóstico do Parkinson, informaram que nunca receberam o diagnóstico da doença e que aceitariam participar do estudo como grupo controle.

CrITÉRIOS de Exclusão

Foram excluídos das pesquisas os indivíduos com sinais motores e que tivessem problemas de equilíbrio ou questionamento de dores ao executar os procedimentos. Foram excluídos também, o indivíduo que por qualquer motivo se negou a participar do estudo.

Materiais

Para a presente pesquisa, foram coletados movimentos de abdução e adução dos braços [46], os quais poderiam ser incorporados a um jogo eletrônico. Foi utilizado um jogo com o arcabouço de software de captura de dados desenvolvido por um aluno de Mestrado da Universidade Federal de Campina Grande [61], juntamente a um aluno de iniciação científica do Instituto Federal de Alagoas.

Durante a execução da coleta, houve uma preocupação com a integridade física dos participantes. Então, os movimentos utilizados no jogo foram apenas de adução e abdução dos braços [46], proporcionado a segurança dos participantes.

Métodos

Nesta pesquisa foi realizada uma análise de um sensor de movimento utilizado em jogos eletrônicos, e avaliada a possibilidade de aquisição de dados de saúde baseada na Cinemática

Angular do Movimento Humano [29]. Através dos resultados obtidos avaliou-se a possibilidade de classificar a normalidade e dificuldade na execução de movimentos como abdução e adução dos braços.

A coleta de dados foi realizada no próprio espaço de tratamento do indivíduo em local reservado e de forma individual. A participação do indivíduo foi consentida por meio da assinatura do Termo de Consentimento. Devido as restrições de tempo (1 minuto e 30 segundos) e da execução de um mesmo movimento por todos os participantes, foram solicitados dos voluntários a execução dos seguintes procedimentos:

1. O voluntário se posiciona a uma distância de 2 metros do sensor de movimento, de modo a conseguir capturar toda a extensão superior do braço durante o movimento de abdução;
2. O voluntário inicia o jogo *Catch the Spheres* usando a mão esquerda conforme a interface da aplicação;
3. O voluntário abduz e aduz 10 vezes o braço esquerdo, e depois o braço direito o mais alto e o mais rápido que consegue, de modo a permitir que fossem capturadas a amplitude de movimento e a velocidade angular do mesmo.
4. O voluntário fecha a aplicação e esta realiza o armazenamento dos dados.

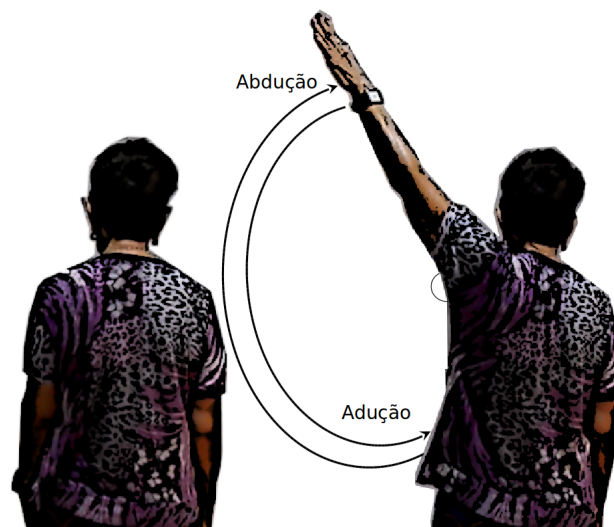


Figura 5.2: Movimentos de Abdução e Adução

Durante a análise foram comparados os Ângulos Relativos do Tronco e do Levantamento de Braços dos Indivíduos. As grandezas cinemáticas coletadas nesses estudo foram:

1. Do movimento de abdução, a máxima amplitude atingida pelos membros superiores;
2. velocidade angular de abdução membros esquerdo e direito;

3. velocidade angular de adução membros esquerdo e direito.

Os dados capturados desta fase resultaram na extração de características do movimento incluindo: a amplitude do movimento dos braços do lado esquerdo e direito, a velocidade angular dos movimentos de adução e abdução. A descrição dos vetores de características estão descritos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Detalhamento do vetor de características extraído da coleta de dados.

Característica	Descrição
MaxAmpEsquerdo	Amplitude máxima do braço esquerdo.
MaxAmpDireito	Amplitude máxima do braço direito.
AngVelAbdEsquerdo	Velocidade angular do movimento de abdução do braço esquerdo.
AngVelAbdDireito	Velocidade angular do movimento de abdução do braço direito.
AngVelAdEsquerdo	Velocidade angular do movimento de adução do braço esquerdo.
AngVelAdDireito	Velocidade angular do movimento de adução do braço direito.

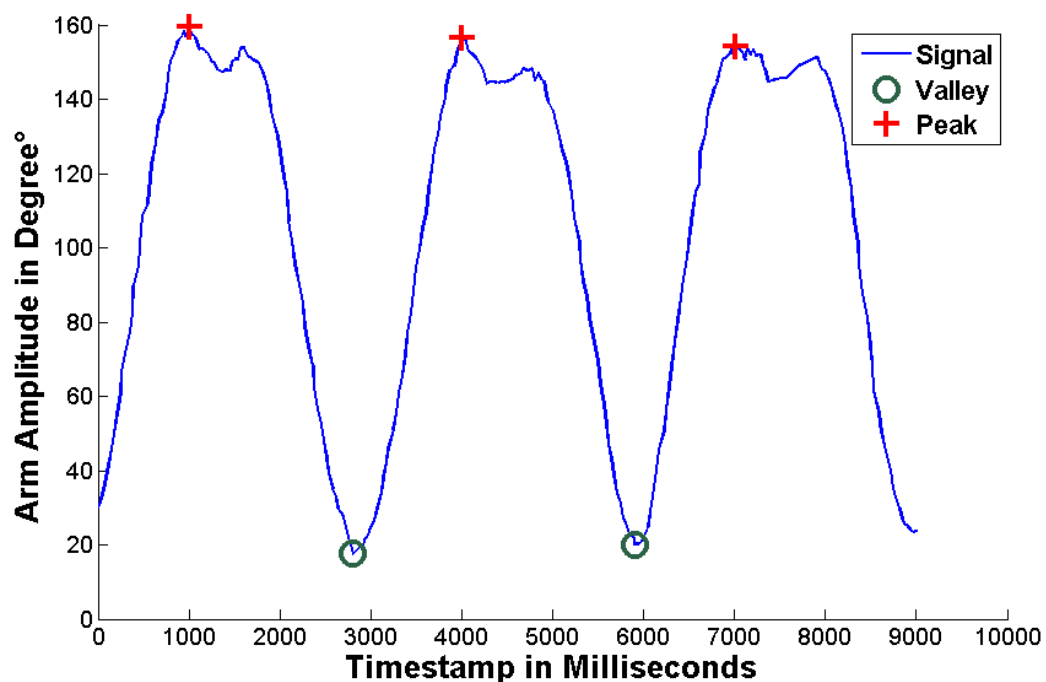


Figura 5.3: Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo

A partir da extração das características do movimento, a próxima etapa da pesquisa é classificar os dados de movimento e identificar a ocorrência do sintoma de bradicinesia. Por meio das teorias estatísticas de aprendizagem de máquina, foi realizado uma análise dos dados para aquisição de conhecimento utilizando técnicas de aprendizagem supervisionada.

Relação Risco e Benefício da Pesquisa

Os riscos inerentes podem decorrer da exposição de dados dos sujeitos da pesquisa, o que pode acarretar danos morais e/ou psicológicos. Logo, teve-se um cuidado de preservar a integridade física e psicológica dos sujeitos da pesquisa, garantindo assim, a privacidade e confidencialidade das informações.

Caso houvesse algum constrangimento por parte do sujeito da pesquisa, ao não conseguir realizá-la ou responder alguma pergunta devido ao comprometimento da doença, os pesquisadores prestaram total assistência, orientando-o adequadamente para prosseguir ou encerrar o procedimento.

5.2.2 Aplicação do Método

O propósito da classificação é explorar a possibilidade de obter dados de saúde de forma contínua e não invasiva a partir de um sensor de captura de movimento usado em jogos eletrônicos (Ms-Kinnect). Durante a coleta dos dados foi indagado junto aos voluntários sua condição física e possíveis riscos e desconfortos que o voluntário pudesse ter ao realizar o procedimento.

Durante a pesquisa, partiu-se do princípio, que através da análise do movimento de abdução e adução do braço, seria possível avaliar a biomecânica da amplitude do movimento dos braços e velocidade angular dos mesmos. Então, por intermédio desses dados biomecânicos, seria possível identificar a ocorrência do sintoma de bradicinesia em indivíduos portadores do Parkinson.

5.2.3 Resultados

Conforme a abordagem JOGUE-ME apresentada no Capítulo 3, os dados adquiridos foram processados, extraídas as características do movimento angular, filtrados e postos em uma Máquina de Vetor de Suporte, para realizar a classificação entre as duas classes de dados. Para a classificação dos dados foi utilizado um *kernel* Linear (Seção 2.2.2) por ter obtido os melhores resultados dentre os *kernels* presentes no Matlab [44]: Polinomial, Radial e de MLP. O resultado do *kernel* linear foi o mais expressivo entre os demais devido a separação linear ter dividido bem as duas classes.

Vetor Médio

Nessa etapa da pesquisa foi calculado o Vetor Médio (Seção 3.4.3), para entender melhor a diferença de movimento entre os sujeitos diagnosticados com a Parkinson e sujeitos sem o diagnóstico. Como pode ser visto na Figura 5.4, a amplitude de movimento de um indivíduo diagnosticado com Parkinson é bem menor do que a de um indivíduo sem o diagnóstico.

Entretanto, por ter sido escalonado em 20 *frames*, esse vetor médio perdeu a informação da velocidade do movimento.

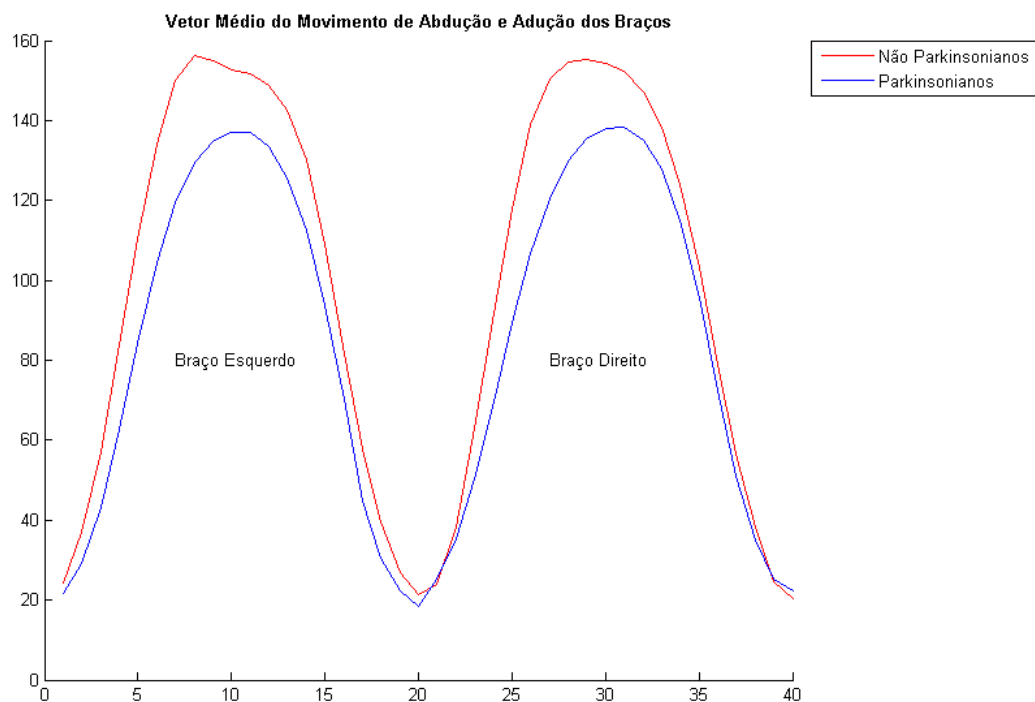


Figura 5.4: Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução

Matriz de Confusão e Suas Métricas

Para avaliar o resultado da classificação, será apresentada a **matriz de confusão** [77], que permite comparar os valores reais da classe com os valores obtidos no modelo de predição.

A matriz de confusão para duas classes consiste numa matriz 2 x 2 contendo os *Verdadeiros Positivos (TP)* e *Verdadeiro Negativo (TN)*, que são as classificações corretas. Os *Falsos Negativos (FN)* contém a predição incorreta de um valor que deveria ser positivo e os *Falsos Positivos (FP)* contém os valores positivos quando deveriam ser negativos como pode ser visto na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Descrição da Matriz de Confusão

		<i>Classe Preditiva</i>	
		Parkinson	Não Parkinson
<i>Classe Atual</i>	Parkinson	Verdadeiros Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)
	Não Parkinson	Falsos Positivo (FP)	Verdadeiros Negativos (VN)

5.2.4 Aprendizagem de Máquina (SVM)

Para uma base de dados pequena contendo 30 indivíduos, o método de Validação Cruzada escolhido deve tentar maximizar o conjunto de treinamento para atingir um melhor resultado de teste. Por esse motivo, foi escolhido o método de validação cruzada *leave-one-out*.

O método *leave-one-out* é um método de validação cruzada *k-fold* com o mesmo número de n indivíduos. Logo, apenas um indivíduo será considerado teste e os demais serão de treinamento. Desta maneira não existe estratificação nos dados, tornando o processo determinístico e repetível com a mesma base de dados, pois não existe o problema de viés na seleção dos dados. A taxa de erro obtida da classificação é a taxa de erro do modelo para aquela base de dados.

Otimização dos Parâmetros da SVM - Método Grid-Search

Para identificar os melhores parâmetros SVM, foi aplicada a técnica [39] usando validação cruzada *Leave-One-Out* (LOOCV) [77]. Esta técnica avalia a precisão do modelo prevista, evita o problema superajuste na classificação binária e é um método prático para identificar os parâmetros SVM. Neste estudo, para reduzir a taxa de erro, nós aplicamos uma abordagem minimax para maximizar a margem sobre os coeficientes hiperplano ea classificação correta. Os valores dos parâmetros de pesquisa do *grid-search* foi de: $C = [2^5, \dots, 2^2]$ e $\gamma = [2^{15}, \dots, 2^3]$ usando assim uma exponencial de base 2. Por meio desta técnica foi possível identificar uma região em que o classificador possuía a melhor acurácia e menor taxa de *FpRate*. Após identificar essa região realizamos uma busca mais detalhada utilizando a técnica de *grid-search* com os seguintes parâmetros: $C = [0.25, 0.5, \dots, 2.5]$; e $\gamma = [1, 2, \dots, 10]$ como pode ser visto na Figura 5.5.

Como pode ser analisado na Figura 5.5, nós conseguimos uma classificação nos dados em que a pior seleção obteve uma acurácia de 70,00% e melhor de 86,67%. Conseguimos também um baixo valor de *FpRate* com 6,67% no melhor dos casos (Figura 5.6). Usando a técnica de *grid-search* nós encontramos como melhor valor para os parâmetros: $C = 2$ and $\gamma = 3$. Como podemos analisar nos nossos resultados, por meio da técnica *grid-search* foi possível identificar parâmetros para o classificador SVM com uma boa generalização e que foi capaz de identificar a maior *acurácia* e e menor nível de *FpRate*.

Resultados Obtidos

A Matriz de Confusão obtida indica que existem três indivíduos classificados como “Não-Parkinson” e que possuem a doença, no entanto analisando as características do movimento desses indivíduos “Parkinsonianos” percebemos que eles possuíam uma amplitude de movimento e uma velocidade angular bastante próximas dos indivíduos do Grupo Controle. Logo, estes não apresentam o sintoma de bradicinesia, o que pode indicar que o indivíduo

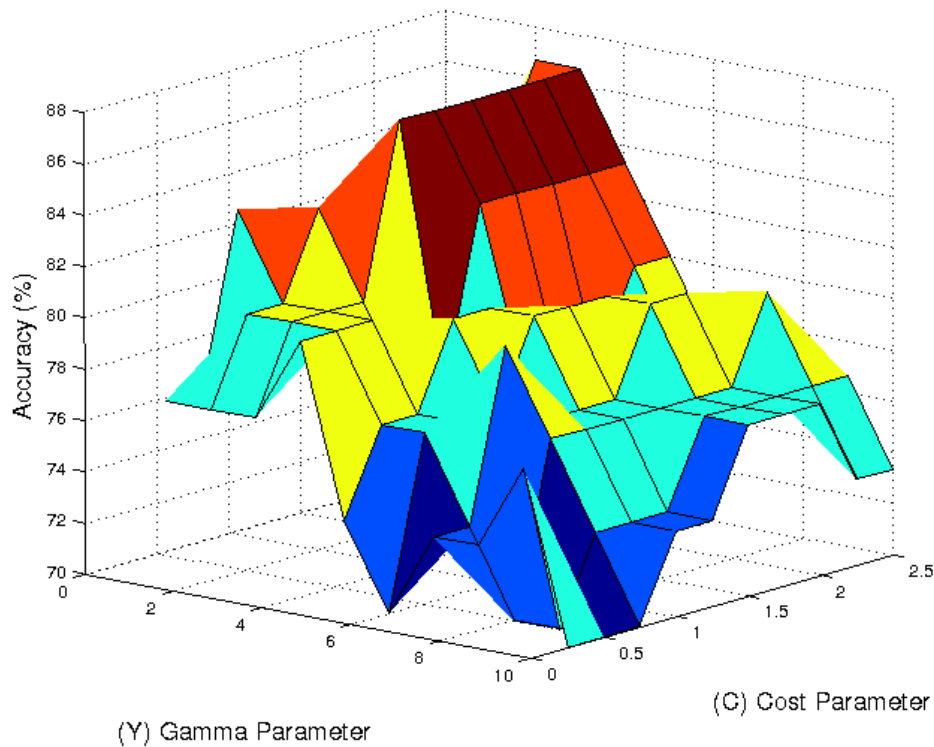


Figura 5.5: *Grid-Search* - Acurácia da Classificação

esteja no início da doença, ou bem medicado, ou inclusive não apresentar este sinal motor o que está adequada a sintomatologia do Parkinson. Um resultado, que não era esperado nesta pesquisa é a ocorrência de um indivíduo que não possui Parkinson mas mesmo assim foi classificados com o sintoma. Analisando seus dados foi percebido que ele possuía sinais muito próximos do grupo dos indivíduos com Parkinson, logo ele possivelmente apresenta algum déficit motor o que condiz com o resultado da classificação.

Tabela 5.6: Resultado da Matriz de Confusão SVM

	<i>Classe Preditiva</i>	
	Parkinson	Não-Parkinson
Parkinson	12	3
Não Parkinson	1	14

Para demonstrar a avaliação do modelo de forma quantitativa usou-se um conjunto de métricas derivadas da matriz de confusão [77].

TpRate taxa de acerto obtido: $TpRate = TP/P$;

FpRate : taxa de falso alarme obtido: $FpRate = FP/N$;

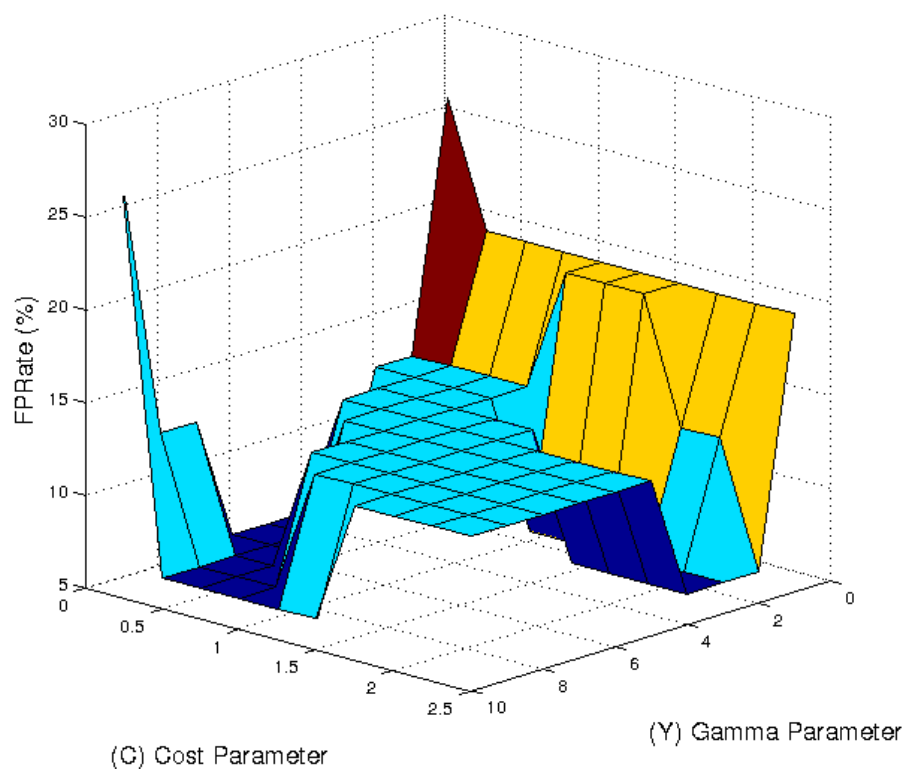


Figura 5.6: Grid-Search - FpRate

Precision : taxa de acerto de uma instância em determinada classe: $Precision = TP / (TP + FP)$;

Accuracy : taxa de acerto de todo o classificador: $Accuracy = (TP + TN) / (P + N)$;

F-Measure : análise de classificador binário que mede a acurácia do teste. Considerando a média harmônica da taxa de *precision* e do *tp rate*: $F - Measure = 2 * (Precision * TpRate) / (Precision + TpRate)$.

Tabela 5.7: Métricas da Matriz de Confusão

Métricas	
TpRate	80,00%
FpRate	6,67%
Precision	92,31%
Accuracy	86,67%
F-Measure	85,71%

Limitações do Método

O método utilizado para diferenciar os movimentos executados de indivíduos diagnosticados com Parkinson ante os indivíduos sem o diagnóstico estabelecido, foi uma técnica estatística de aprendizagem denominada de SVM. Nesse estudo não se pretende estabelecer um diagnóstico da Parkinson, ou até mesmo provar que os movimentos utilizados pelos participantes da pesquisa servem para um diagnóstico. Contudo, este trabalho demonstra que existem diferenças entre essas duas classes, e estas podem ser capturadas por um sensor de movimento usado em jogos eletrônicos, e que essas diferenças podem ser classificadas utilizando uma abordagem de aprendizagem de máquina.

5.3 ETAPA 3 - Avaliação Da Aceitação Da Abordagem Junto aos Pacientes de Parkinson Utilizando Goal Question Metric

Com o objetivo de averiguar a possibilidade de integrar o monitoramento da saúde do jogador através de jogos eletrônicos à sua rotina diária, foi utilizada a abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM) [65]. Essa abordagem é um paradigma de pesquisa utilizado na Engenharia de Software para medição de processos de software e melhoria contínua dos produtos [62; 53]. A qualidade do produto de software [62] pode ser compreendida como a adequação a um conjunto de características atingidas em maior ou menor grau para que o produto final venha atender as necessidades do usuário final, identificadas na fase de elicitação de requisitos [53].

O GQM é um paradigma de avaliação orientado por metas e tem como componentes elementares: objetivos, questionamentos e a métricas [62]. Nesse paradigma de pesquisa é definido um objetivo principal, onde são refinados em perguntas que venham extrair as métricas da pesquisa que fornecem informações. De posse das respostas baseada em métricas, estas são comparadas com o objetivo da pesquisa no intuito de identificar se ele foi alcançado. Logo, o paradigma GQM busca definir métricas partindo de uma perspectiva de “de cima para baixo”; analisa, interpreta e mensura dados de maneira “de baixo para cima” como pode ser graficamente visualizado na Figura 5.7 [65].

Segundo Saraiva [62], numa análise da aplicação do método de GQM para o contexto de avaliação de usabilidade de software, os componentes elementares do paradigma GQM são:

- **Objetivo:** Sua definição envolve o propósito da avaliação, o que deve ser avaliado, a perspectiva e o ambiente proposto.

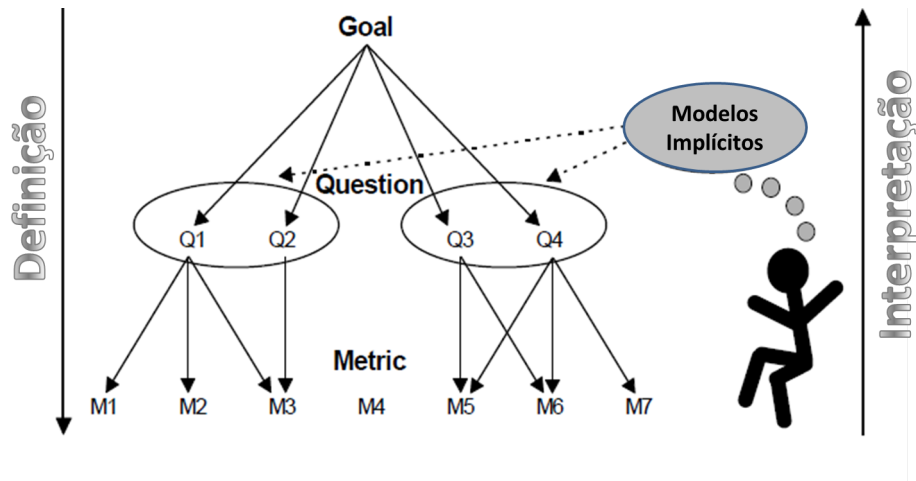


Figura 5.7: O Paradigma GQM © [65]

- **Questão:** A questão anuncia a necessidade de se obter informações em linguagem natural, podendo formular uma ou mais questões para cada categoria. Logo, sua resposta deve estar condicionada ao objetivo proposto.
- **Métrica:** Sua função é especificar os dados que se deseja obter durante as avaliações em termos quantitativos, podendo ter mais de uma métrica para cada questão.

Baseado nos componentes elementares do paradigma, foi elaborado um questionário GQM (Apêndice D) com o objetivo principal de avaliar a possibilidade de monitorar dados motores, de forma não invasiva e integrada a rotina diária dos usuários. Para elaboração de métricas para atingir esse objetivo foram formuladas duas questões de pesquisa com o intuito de avaliar:

1. se o usuário integraria a abordagem JOGUE-ME à sua rotina diária;
2. se a segurança com a integridade física está de acordo com a faixa etária do usuário.

O questionário consistiu de um conjunto de 10 questões de resposta fechada (quantitativa) [53], e o entrevistado deve escolher uma resposta dentre as alternativas dadas. Esse método foi escolhido para contribuir por uma maior uniformidade nas respostas e consequentemente facilitar sua análise. Porém, este método impede a expressão das opiniões dos entrevistados [53].

5.3.1 Aplicação do Método

Nessa etapa da pesquisa foram entrevistadas 24 pessoas do Laboratório Embedded da Universidade Federal de Campina Grande, do Instituto Federal de Alagoas, e em pacientes da

Fundação Pestalozzi e da clínica de Fisioterapia do CESMAC (ambas em Maceió). Os usuários foram selecionados para jogar o *Catch the Spheres* (Seção 4.1), testaram e responderam o questionário para verificar a aceitabilidade da solução junto aos usuários.

O procedimento para executar as sessões de teste foi:

1. O usuário se posicionou a uma distância de 2 metros do sensor de movimento, de modo a adquirir toda a extensão superior do braço;
2. O usuário iniciou o jogo *Catch the Spheres*, conforme a interface da aplicação;
3. O usuário utilizou o jogo *Catch the Spheres* por volta de 00:01:30s;
4. O usuário fechou a aplicação.

5.3.2 Resultados

Os resultados do questionário são apresentados na Tabela 5.8 contendo as respostas binárias “Sim/Não” e nas Figuras 5.8,5.9,5.10 nas perguntas de questões com múltipla escolha.

Questão 1 - O usuário poderia integrar a abordagem JOGUE-ME à sua rotina diária ?: os 24 usuários deram as seguintes respostas nas Métricas (1.1, 1.2, 1.3,1.4,1.5 e 1.6): 75% dos usuário atribuíram ao menos nota 4 (de 1 a 5) ao grau de diversão do jogo; 91,67% sentiram motivados com o jogo; 58% dos usuários jogariam 3 vezes por semana, 25% jogariam todos os dias e apenas 17% jogariam uma vez por semana.

Então, tem-se um percentual de 83% de usuários que poderiam integrar o monitoramento motor a sua rotina; 91,67% consideraram o jogo simples e de fácil entendimento, e isso permite o uso de um maior número de usuários. Uma métrica desfavorável foi que apenas 41,67% dos usuários possuem o costume de usar jogos casuais em casa. Mas, devido a expectativa de melhora do estado de saúde, 75% dos usuários responderam que agregariam o jogo a sua rotina diária.

Questão 2 - A segurança com a integridade física está de acordo com a faixa etária do usuário ?: nesta questão percebe-se uma grande preocupação dos usuários quanto a risco de quedas. Inicialmente, a pesquisa seria destinada para o movimento de braços e pernas. Devido aos riscos, foi modificada para movimentação somente dos braços, reduzindo a preocupação dos usuários. Mesmo assim, as métricas obtidas demonstraram que o jogo é seguro para crianças e adultos. No caso dos idosos, 75% dos usuários consideraram o jogo seguro para essa faixa etária, muito embora os mesmos usuários classificaram o jogo com a faixa etária “livre”, com 88% de ocorrência.

Tabela 5.8: Métricas Avaliadas do GQM

Métrica	Sim	Não
1.2: O jogo traz motivação ao usuário?	91,67%	8,33%
1.4: O usuário considera o jogo simples, sem muitas regras e de fácil entendimento? Ele pode ser aplicado em diferentes idades?	91,67%	8,33%
1.5: O usuário tem o costume de jogar esses jogos casuais em casa?	41,67%	58,33%
1.6: O usuário agregaria um jogo desse estilo em sua rotina diária?	75%	25%
2.1: Uma criança estaria segura jogando esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços?	100%	0%
2.2: Um adulto estaria seguro ao jogar esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços?	100%	0%
2.3: Um idoso estaria seguro ao jogar esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços?	75%	25%

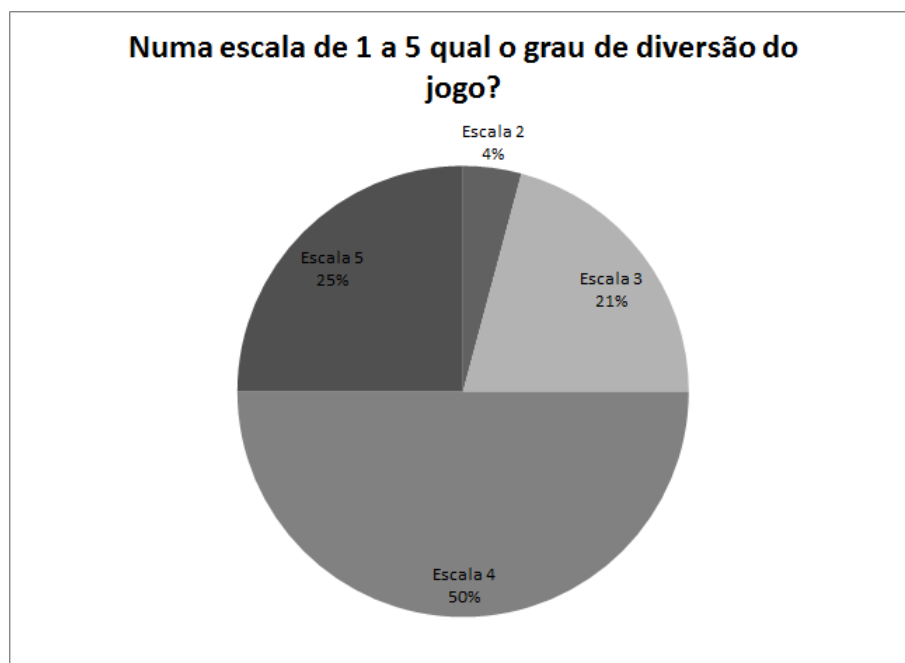


Figura 5.8: Resultado da Pergunta 1

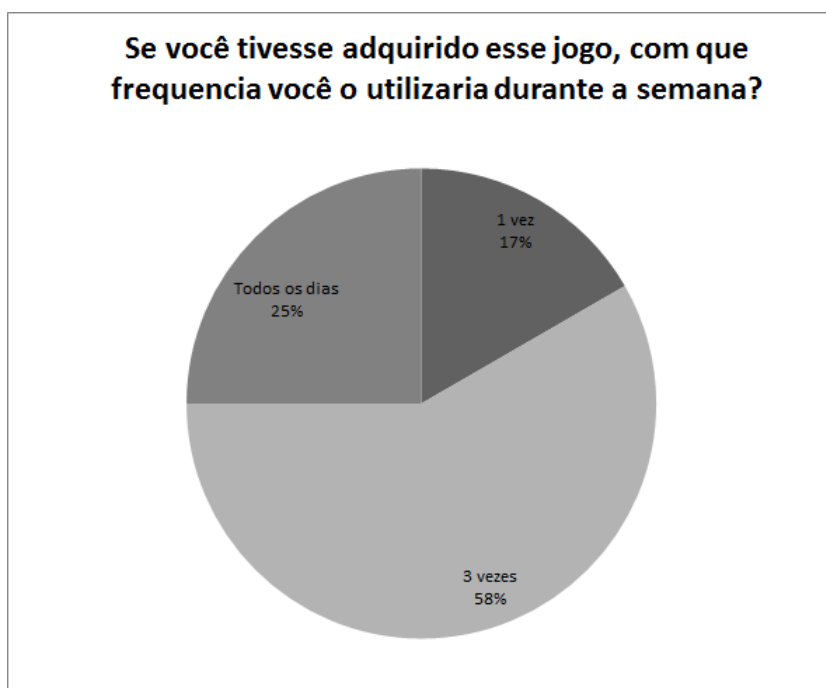


Figura 5.9: Resultado da Pergunta 3

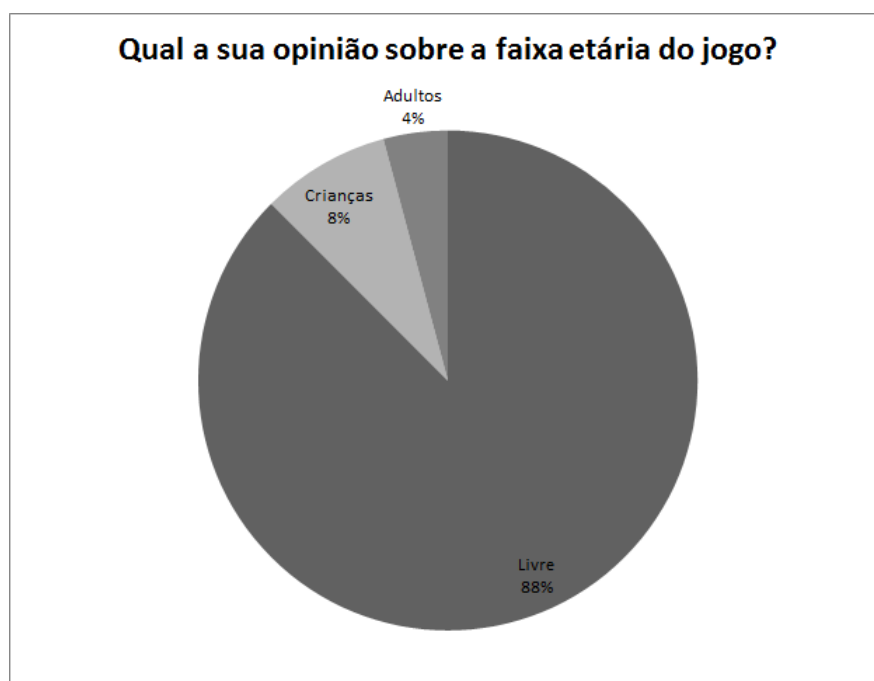


Figura 5.10: Resultado da Pergunta 10

5.3.3 Conclusão

Nessa etapa, buscou-se demonstrar que podemos desenvolver um jogo com mecanismos de captura de dados motores embutidos e que permita monitorar e quantificar sinais do Parkinson de uma maneira não-invasiva.

Apesar do questionário ter avaliado a opinião dos jogadores quanto ao jogo apresentado, pode-se generalizar que as opiniões são válidas para outros jogos usando a abordagem JOGUE-ME. Deve-se levar em consideração, também, que as métricas obtidas nessa pesquisa foram extraídas de um jogo na fase de protótipo. Caso ele fosse aperfeiçoado é possível que sua aceitabilidade seria ainda maior. Por esse motivo, o resultado obtido com a pesquisa GQM foi positivo, e considera-se que é viável desenvolver um jogo com o objetivo de monitorar dados motores, de forma não invasiva, e integrada à rotina diária dos usuários.

Bibliografia

- [1] Aarhus, Rikke e Stinne Aaløkke Ballegaard: *Negotiating boundaries: managing disease at home*. Em *International Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2010.
- [2] Albanese, Alberto e Joseph Jankovic: *Hyperkinetic Movement Disorder - Differential Diagnosis and Treatment*. Wiley-Blackwell, 2012.
- [3] Alemdar, Hande e Cem Ersoy: *Wireless Sensor Networks for Healthcare: A Survey*. Computer Networks, 2010.
- [4] Alemdar, Hande, Can Tunca e Cem Ersoy: *Daily Life Behaviour Monitoring for Health Assessment Using Machine Learning: Bridging the Gap Between Domains*. Personal Ubiquitous Computing, 2015.
- [5] Amadio, Armando, Paulo Costa, Isabel Sacco, Júlio Serrão, Rubens Araujo e Luiz Mochizuki: *Introdução à Biomecânica para Análise do Movimento Humano*. Revista Brasileira De Fisioterapia, 1999.
- [6] Arnrich, Bert, Oscar Mayora, Jakob Bardram e Gerhard e Tröster: *Pervasive Healthcare - Paving the Way for a Pervasive, User-Centered and Preventive Healthcare Model*. Methods of Information in Medicine, 2010.
- [7] Arntzen, Aurelie Aurilla Bechina: *Game based Learning to Enhance Cognitive and Physical Capabilities of Elderly People: Concepts and Requirements*. World Academy of Science Engineering and Technology, 2011.
- [8] Association, Entertainment Software: *Essential Facts about the U.S. Computer and Video Game Industry*, 2011.
- [9] Bachlin, M., M. Plotnik, D. Roggen, N. Inbar, N. Giladi, J. Hausdorff e G. Tröster: *Parkinsons disease patients perspective on context aware wearable technology for auditive assistance*. Em *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. IEEE, 2009.

- [10] Ballegaard, Stinne Aaløkke, Thomas Riisgaard Hansen e Morten Kyng: *Healthcare in everyday life: designing healthcare services for daily life*. Em *Conference on Human factors in computing systems*. ACM, 2008.
- [11] Barger, Tracy, Donald Brown e Majd Alwan: *Health status monitoring through analysis of behavioral patterns*. Em *Congress of the Italian Association for Artificial Intelligence on Ambient Intelligence*. Springer-Verlag, 2003.
- [12] Bartolome, N.A., A.M. Zorrilla e B.G. Zapirain: *Can game-based therapies be trusted? Is game-based education effective? A systematic review of the Serious Games for health and education*. Em *International Conference on Computer Games*. ACM, 2011.
- [13] Billauer, Eli: *Peak Detection in Matlab*. Software, Disponível em: <http://www.billauer.co.il/peakdet.html>, 2012.
- [14] Brox, E., L.F. Luque, G.J. Evertsen e J.E.G. Hernandez: *Exergames for elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity*. Em *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. IEEE, 2011.
- [15] Callioli, Carlos, Hygino Domingues e Roberto Costa: *Álgebra Linear E Aplicações*. Atual, 1990.
- [16] Chen, Huan, Guo Tan Liao, Yao Chung Fan, Bo Chao Cheng, Cheng Min Chen e Ting Chun Kuo: *Design and Implementation of a Personal Health Monitoring System with an Effective SVM-based PVC Detection Algorithm in Cardiology*. Em *Symposium On Applied Computing*. ACM, 2014.
- [17] Cho, Chien Wen, Wen Hung Chao, Sheng Huang Lin e You Yin Chen: *A vision-based analysis system for gait recognition in patients with Parkinson's disease*. *Expert Syst. Appl.*, 2009.
- [18] Cleraux, Charline, Carroll Croarkin, James Filliben, Will Guthrie, Alan Heckert, Mark Reeder, Tom Ryan, Jolene Splett e Nien Fan Zhang: *Nist/Sematech Engineering Statistics Handbook*. 2003.
- [19] Do, Stewart e William Weiner: *Parkinson's Disease: Diagnosis Clinical Management*. Demos Medical Publishing, 2007.
- [20] Dodge, Yadolah, David Cox, Daniel Commenges, Anthony Davison, Patty Solomon e Suzan Wilson: *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. Oxford University Press, 2006.

- [21] Elaine Thumé, Luiz Augusto Facchini, Grace Wyshak e Paul Campbell: *The Utilization of Home Care by the Elderly in Brazil's Primary Health Care System*. Am J Public Health, 2011.
- [22] Fahn, S. e R. Elton: *Unified Parkinson's disease rating scale*. Em *Recent developments in Parkinson's disease*. Macmillan Health Care Information, 1987.
- [23] Flick, Uwe: *Pesquisa Qualitativa*. Bookman, 2004.
- [24] Friedman, N., J.B. Rowe, D.J. Reinkensmeyer e M. Bachman: *The Manometer: A Wearable Device for Monitoring Daily Use of the Wrist and Fingers*. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2014.
- [25] Gabel, Moshe, Ran Gilad-Bachrach, Erin Renshaw e Assaf Schuster: *Full body gait analysis with Kinect*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2012.
- [26] Gonçalves, Valter Filipe Carnim: *Análise Comparativa dos classificadores Máquinas de Suporte Vectorial e Redes Neurais Artificiais: Aplicação na detecção de Peões e Veículos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2010.
- [27] Goulart, Fátima e Luciana Xavier Pereira: *Uso de escalas para avaliação da doença de Parkinson em fisioterapia*. Fisioterapia e Pesquisa, 2005.
- [28] Guy, Stacey, Alexandria Ratzki-Leewing e Femida Gwadry-Sridhar: *Moving Beyond the Stigma: Systematic Review of Video Games and Their Potential to Combat Obesity*. International Journal of Hypertension, 2011.
- [29] Hamill, Joseph e Kathleen Knutzen: *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. 2012.
- [30] Health, National Institute for e Clinical Excellence: *Parkinson's Disease: Diagnosis and Management in Primary and Secondary Care*. 2006.
- [31] Hoehn, M M e M D Yahr: *Parkinsonism: onset, progression, and mortality*. 1967. Neurology, 2001.
- [32] Jankovic, J: *Parkinson's disease: clinical features and diagnosis*. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 2008.
- [33] Keijsers, N. L., M. W. Horstink e S. C. Gielen: *Ambulatory motor assessment in Parkinson's disease*. Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society, 2006.

- [34] Kostek, Bozena, Katarzyna Kaszuba, Pawel Zwan, Piotr Robowski e Jaroslaw Slawek: *Automatic assessment of the motor state of the Parkinson's disease patient - a case study*. Diagn Pathol, 2012.
- [35] L Graves, G Stratton, ND Ridgers e NT Cable.: *Energy expenditure in adolescents playing new generation computer games*. Br J Sports Med, 2008.
- [36] Leite-Cavalcanti, Christiane, Maria da Conceição Rodrigues-Gonçalves, Luiza Sonia Rios-Asciutti e Alessandro Leite-Cavalcanti: *Prevalência de doenças crônicas e estado nutricional em um grupo de idosos brasileiros*. Rev. salud pública., 2009.
- [37] LeMoyne, R., C. Coroian e T. Mastroianni: *Quantification of Parkinson's disease characteristics using wireless accelerometers*. Em *International Conference on Complex Medical Engineering*. CME, 2009.
- [38] LeMoyne, R., T. Mastroianni, M. Cozza, C. Coroian e W. Grundfest: *Implementation of an iPhone for characterizing Parkinson's disease tremor through a wireless accelerometer application*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2010.
- [39] Li, Cheng Hsuan, Chin Teng Lin, Bor Chen Kuo e H. H. Ho: *An Automatic Method for Selecting the Parameter of the Normalized Kernel Function to Support Vector Machines*. Em *International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence*. IEEE, 2010.
- [40] Liao, Chien Ke, Chung Dial Lim, Ching Ying Cheng, Cheng Ming Huang e Li Chen Fu: *Vision based gait analysis on robotic walking stabilization system for patients with Parkinson's Disease*. Em *International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*. IEEE, 2014.
- [41] Limongi, João Carlos Papaterra: *Conhecendo Melhor A Doença De Parkinson: Uma Abordagem Multidisciplinar Com Orientações Práticas Para O Dia-A-Dia*. 2001.
- [42] Maitland, Julie e Katie A. Siek: *Technological Approaches to Promoting Physical Activity*. Em *Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group*. ACM, 2009.
- [43] Mandryk, ReganL., KathrinM. Gerling e KevinG. Stanley: *Designing Games to Discourage Sedentary Behaviour*. Em *Playful User Interfaces*. Springer Singapore, 2014.
- [44] Mathworks: *Matlab R2011a. Software*, Disponível em: <http://mathworks.com/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.

- [45] Mazilu, Sinziana, Ulf Blanke, Moran Dorfman, Eran Gazit, Anat Mirelman, Jeffrey M. Hausdorff e Gerhard Tröster: *A Wearable Assistant for Gait Training for Parkinson's Disease with Freezing of Gait in Out-of-the-Lab Environments*. ACM Transactions Interactive Intelligent Systems, 2015.
- [46] McGinnis, Peter: *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, 2013.
- [47] Meneses, Murilo e Hélio Teive: *Doença De Parkinson*. Guanabara Koogan, 2003.
- [48] Microsoft: *Ms-Kinect*. Disponível em: <http://www.xbox.com/pt-BR/kinect>.
- [49] Milena Rodrigues, Luciane Costa Campos: *Estratégia Para O Tratamento Com Levodopa Na Doença De Parkinson*. Revista Analytica, 2006.
- [50] Mobyen Uddin Ahmed, Hadi Banaee e Amy Loutfi: *Health Monitoring for Elderly: An Application Using Case-Based Reasoning and Cluster Analysis*. ISRN Artificial Intelligence, 2013.
- [51] Moore, Michael: *Basics of Game Design*. Taylor & Francis Group, 2011.
- [52] Nuseibeh, Bashar e Steve Easterbrook: *Requirements Engineering: A Roadmap*. Em *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. ACM, 2000.
- [53] Oliveira Bastos Junior, Paulo Roberto de: *Elicitação de Requisitos de Software Através da Utilização de Questionários*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.
- [54] Organization, World Health: *Global Health and ageing*. Relatório Técnico, Who; US National Institute of Aging, 2011.
- [55] Papastergiou, Marina: *Exploring the potential of computer and video games for health and physical education: A literature review*. Computation Education, 2009.
- [56] Patel, S., K. Lorincz, R. Hughes, N. Huggins, J. Growdon, D. Standaert, M. Akay, J. Dy, M. Welsh e P. Bonato: *Monitoring Motor Fluctuations in Patients With Parkinson's Disease Using Wearable Sensors*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009.
- [57] Picon, Paulo, Maria Gadelha e Alberto Beltrame: *Protocolo Clínico E Diretrizes Terapêutica - Doença de Parkinson*. Ministério da Saúde, 2010.
- [58] Research, Provalis: *QDA MINER Lite v1.2.2. Software*, Disponível em: <http://provalisresearch.com/products/qualitative-data-analysis-software/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.
- [59] Rowland, Lewis: *Tratado De Neurologia*. Guanabara Koogan, 2011.

- [60] Sano, Y., A. Kandori, T. Miyoshi, T. Tsuji, K. Shima, M. Yokoe e S. Sakoda: *Severity estimation of finger-tapping caused by Parkinson's disease by using linear discriminant regression analysis*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*,. EMBC, 2012.
- [61] Santos Júnior, Antônio Dias dos: *Arcabouço de Software para a Aquisição de Dados de Saúde Através de Jogos Eletrônicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- [62] Saraiva, Alessandra Vilches: *Utilização da Abordagem Goal-Question-Metrics (GQM) Na Elaboração e Execução de Planos de Avaliação de Usabilidade de Software: Um Estudo Empírico Sobre Um Software Agropecuário*. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista De Piracicaba, 2006.
- [63] Sinclair, Jeff, Philip Hingston e Martin Masek: *Considerations for the design of exergames*. Relatório Técnico, ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2007.
- [64] Sinclair, Jeff, Philip Hingston, Martin Masek e Kazunori (Ken) Nosaka: *Using a Virtual Body to Aid in Exergaming System Development*. IEEE Computer Graphics Applications, 2009.
- [65] Solingen, Rini e Egon Berghout: *The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*. McGraw-Hill, 1999.
- [66] Sommerville, Ian: *Engenharia de software*. Pearson, 2011.
- [67] Storni, Cristiano: *Design Challenges for Ubiquitous and Personal Computing in Chronic Disease Care and Patient Empowerment: A Case Study Rethinking Diabetes Self-monitoring*. Personal Ubiquitous Computing, 2014.
- [68] Suhonen, Katja, Heli Väättäjä, Tytti Virtanen e Roope Raisamo: *Seriously fun: exploring how to combine promoting health awareness and engaging gameplay*. Em *International Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era*. ACM, 2008.
- [69] Sweetser, Penelope e Peta Wyeth: *GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games*. Computation Entertainment, 2005.
- [70] Synnott, J., Liming Chen, C.D. Nugent e G. Moore: *WiiPD Objective Home Assessment of Parkinson's Disease Using the Nintendo Wii Remote*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2012.
- [71] Tao, Weijun, Tao Liu, Rencheng Zheng e Hutian Feng: *Gait Analysis Using Wearable Sensors*. Sensors, 2012.

- [72] Technologies, Unity: *Unity 3D 3.0. Software*, Disponível em: <http://unity3d.com/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.
- [73] Tolosa, Eduardo, Gregor Wenning e Werner Poewe: *The Diagnosis Of Parkinson's Disease*. The Lancet Neurology, 2006.
- [74] Vapnik, Vladimir: *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag New York, Inc., 1995.
- [75] Vedolin, Leonardo: *Avaliação da doença de Parkinson pela ressonância magnética*. Radiologia Brasileira, 2003.
- [76] Vicini, Lorena: *Análise Multivariada Da Teoria À Prática*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [77] Witten, Ian e Eibe Frank: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011.
- [78] Zigfu: *Zigfu 4.0. Software*, Disponível em: <http://zigfu.com/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.
- [79] Zowghi, Didar e Chad Coulin: *Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Approaches, and Tools*. Em *Engineering and Managing Software Requirements*. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [80] Zwartjes, D.G.M., T. Heida, J.P.P. van Vugt, J.A.G. Geelen e P.H. Veltink: *Ambulatory Monitoring of Activities and Motor Symptoms in Parkinson's Disease*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2010.

Apêndice A

Projeto do Comitê de Ética

A.1 Resumo

Com os recentes avanços na tecnologia de sensores sem fio, é possível incorporá-los na roupa ou no corpo (*wearable*) do usuário e isso proporciona uma monitorização contínua dos sinais vitais. Contudo a concepção de um sistema de monitoramento *wearable* que não seja invasivo ainda é um grande desafio. Por outro lado, a necessidade de integrar diferentes sensores em uma única solução dificulta essa atividade, pois os dispositivos são considerados pesados, visíveis e estereotipados pelos próprios usuários [1], por esse motivo esses dispositivos são refutados, inviabilizando o monitoramento contínuo da saúde nesses casos. Contudo, desde 2005 os jogos eletrônicos fazem uso de dispositivos como acelerômetros, giroscópio, dispositivos de captura de movimento possibilitando ao usuário estivesse uma maior imersão no universo do jogo através da análise de seus movimentos. Esses sensores usados em jogos eletrônicos permitem capturar sinais de tremores [?; 38] e posturais que são sintomas presentes na Parkinson. Como o uso desses dispositivos já está embutido no contexto do jogo, possivelmente o usuário não iria sentir desconforto caso fossem usados para monitorar os sintomas da Parkinson enquanto estivesse num momento de descontração ao usar um jogo eletrônico.

A.2 Introdução

A Parkinson é uma das doenças mais comum nos idosos. Apesar dos sintomas clássicos o diagnóstico clínico não é específico, não há exames laboratoriais, diagnósticos e existem outras doenças que se manifestam como a Parkinson [75; 73]. A Parkinson é uma afecção do sistema nervoso central, a qual é expressa de forma crônica e progressiva. Ela é causada pela degeneração dos neurônios produtores de dopamina presente na substância negra e caracterizada pelos sintomas parkinsonianos: tremor em repouso (que diminui durante movimentos voluntários); bradicinesia ou hipocinesia (lentidão e escassez de movimentos, além de di-

ficuldade na marcha), rigidez muscular (aumento da resistência ao movimento passivo dos membros), perda de reflexos posturais que leva a alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [73; 49].

Parkinsonismo é um termo genérico que designa uma série de doenças com causas diferentes e que têm em comum a presença de sintomas frequentemente encontrados na doença de Parkinson. Esta doença é uma das muitas formas de parkinsonismo, correspondendo a cerca de 75% dos casos. A evolução da doença a gravidade e a progressão dos sintomas variam de um paciente para outro. No momento não existe teste diagnóstico para a doença e estudos comprovam dificuldade na diferenciação clínica entre Parkinson e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concorda que o diagnóstico da Parkinson requer a identificação de alguma combinação de sinais motores cardinais (tremor de repouso, bradicinesia, rigidez tipo roda denteada, alterações posturais), porém uma classificação clínica padrão ainda não foi obtida [57]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [57]. Os pacientes com Parkinson quase sempre apresentam uma resposta satisfatória a esse medicamento, e no caso de não responder satisfatoriamente à levodopa, é provável que o diagnóstico seja de outra forma de parkinsonismo. Porém, na literatura [59] uma resposta à levodopa não confirma o diagnóstico de Parkinson porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomático e muitas formas de síndrome de Parkinson em seus estágios iniciais que também respondem à levodopa.

A Parkinson é uma doença mais comum em idosos, porém existem casos precoces de início da doença em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [47]. A incidência da doença é estimada de 100 a 200 casos por 100.000 habitantes, com o avanço da idade a probabilidade do desenvolvimento da doença tende a aumentar. Por se tratar de uma doença progressiva, sua evolução acarreta em incapacidade grave após 10 a 15 anos, ocasionando em impacto social e financeiro, principalmente na população mais idosa. Estima-se que o custo anual mundial com medicamentos antiparkinsonianos esteja em torno de 11 bilhões de dólares, sendo o tratamento cerca de 3 a 4 vezes mais caro para pacientes na fase avançada da doença [57].

Com o surgimento do tratamento para Parkinson torna possível manter uma boa mobilidade funcional durante anos e aumenta a expectativa de vida dos pacientes tratados [49]. Os fármacos do grupo dos antiparkinsonianos como a levodopa permitiram restaurar a atividade dopaminérgica que pode se encontrar reduzida, desta forma as drogas utilizadas são bem sucedidas no alívio de sintomas característicos da doença. Entretanto, devido aos efeitos colaterais frequentes induzidos pelos fármacos, é preciso iniciar o tratamento com esses medicamentos somente quando os sintomas estiverem prejudicando o desempenho profissional ou das atividades diárias do paciente [49].

A natureza progressiva da Parkinson e suas manifestações clínicas (motoras e não motoras), associadas a efeitos colaterais precoces e tardios da intervenção terapêutica, tornam o

tratamento da doença bastante complexo [57] e estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [30]. Consequentemente, com o passar do tempo a sintomatologia parkinsoniana piora necessitando aumentar as doses da medicação, logo com a progressão da doença, a eficácia do tratamento diminui e os pacientes passam a não responder ao tratamento medicamentoso [57].

Alternar entre os estados *on* (“normal”) e *off* (“com os sintomas parkinsonianos”). As mudanças dos estados *on* para *off* dependerá do horário da ingestão do medicamento que tornará previsível a mudança para o estado *on*. Contudo, alguns pacientes podem ter mudanças abruptas para o estado *off*, sem qualquer correlação com o tempo em que a medicação foi ingerida. Essa irregularidade de não conseguir determinar o momento em que o paciente entrará no estado *on* ou *off* impacta diretamente nas avaliações objetivas do profissional que irá avaliar a evolução da doença [34; 56].

Outro efeito colateral no uso do medicamento bastante conhecido é o surgimento da discinesia (movimentos involuntários de contorção) em 80% dos pacientes que recebem a levodopa como tratamento prolongado. Esse sintoma pode ser aliviado com a diminuição da dose, por outro lado, os sintomas da doença tendem a retornar. Com o surgimento de discinesia intensa é necessário otimizar o gerenciamento do tratamento medicamentoso, levando a adicionar novos medicamentos para reduzir os sintomas incapacitantes a longo prazo [49].

A partir dos tratamentos para a Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [22; 31]. Essas escalas permitem avaliar: a condição clínica geral, incapacidades, funções motoras e mentais e até mesmo a qualidade de vida dos pacientes. Esses instrumentos são importantes tanto no nível clínico quanto no científico, pois permitem monitorar a progressão da doença e a eficácia do tratamento medicamentoso [22; 27]. Sendo assim, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale – UPDRS) [22] que é amplamente utilizada para monitorar a progressão da doença e a eficácia do tratamento, sendo considerada confiável, válida e qualificada como um método adequado para a avaliação do Parkinson [27].

Na UPDRS a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [22]:

- **ESTÁGIO 0:** Nenhum sinal da doença;
- **ESTÁGIO 1:** Doença unilateral;
- **ESTÁGIO 1,5:** Envolvimento unilateral e axial;
- **ESTÁGIO 2:** Doença bilateral sem déficit de equilíbrio;
- **ESTÁGIO 2,5:** Doença bilateral leve, com recuperação no “teste do empurrão”;
- **ESTÁGIO 3:** Doença bilateral leve a moderada; alguma instabilidade postural; capacidade para viver independente;

- **ESTÁGIO 4:** Incapacidade grave, ainda capaz de caminhar ou permanecer de pé sem ajuda;
- **ESTÁGIO 5:** Confinado à cama ou cadeira de rodas a não ser que receba ajuda.

A UPDRS é composta por 42 itens, divididos em quatro partes (atividade mental, comportamento e humor, atividades de vida diária e exploração motora e complicações da terapia medicamentosa) e através da avaliação desses sintomas, por intermédio do auto-relato e da observação clínica, é possível classificar em que estágio da doença o paciente se encontra. Contudo, justamente por ser baseada em auto-relato e observação clínica a qual é realizada eventualmente com a presença de um profissional, pesquisadores questionam a efetividade da avaliação do estágio da doença e propõem alternativas para avaliação dos itens motores de forma quantitativa através de sensores, os quais permitem monitorar o estágio do paciente [34; 70; 56].

A identificação dos sintomas da Parkinson durante a rotina diária permite um diagnóstico mais precoce da doença e consequentemente obter seus benefícios de um tratamento mais duradouro. Além disso, o monitoramento dos efeitos da medicação usada pelo paciente permite um gerenciamento da medicação e consequentemente reduz os sintomas indesejáveis da doença e prolongando a qualidade de vida do paciente.

Com os recentes avanços na tecnologia de sensores sem fio, é possível incorporá-los na roupa ou no corpo (*wearable*) do usuário e isso proporciona uma monitorização contínua dos sinais vitais. Contudo a concepção de um sistema de monitoramento *wearable* que não seja invasivo ainda é um grande desafio [3]. Por outro lado, a necessidade de integrar diferentes sensores em uma única solução dificulta essa atividade, pois os dispositivos são considerados pesados, visíveis e estereotipados pelos próprios usuários [1], por esse motivo esses dispositivos são refutados, inviabilizando o monitoramento contínuo da saúde nesses casos. Contudo, desde 2005 os jogos eletrônicos fazem uso de dispositivos como acelerômetros, giroscópio, dispositivos de captura de movimento possibilitando ao usuário estivesse uma maior imersão no universo do jogo através da análise de seus movimentos. Como visto na literatura científica, esse sensores usados em jogos eletrônicos permitem capturar sinais de tremores [70; 38] e posturais que são sintomas presentes na Parkinson. Como o uso desses dispositivos já está embutido no contexto do jogo, possivelmente o usuário não iria sentir desconforto caso fossem usados para monitorar os sintomas da Parkinson enquanto estivesse num momento de descontração ao usar um jogo eletrônico.

Os jogos eletrônicos não são usados somente por crianças e adolescente, em uma pesquisa da Entertainment Software Association, associação formada pelas principais fabricantes americanas de jogos eletrônicos “*Essential Facts About the Computer and Video Game Industry*” [8] demonstra que em 2011 os jogadores de videogame dos Estados Unidos possuem, em média, 37 anos e 29% dos jogadores de videogame possuem mais de 50 anos. Logo, temos uma parcela bastante significativa de usuários que podem ser beneficiados com

o monitoramento de dados de saúde por intermédio dos jogos eletrônicos.

Como visto, o objetivo principal deste trabalho é possibilitar meios de monitorar o usuário e tentar identificar sintomas da Parkinson em diferentes momentos do dia com o propósito de possibilitar um diagnóstico precoce e melhorar no gerenciamento da dosagem medicamentosa contribuindo para um prolongamento da qualidade de vida dos pacientes de Parkinson.

A.3 Problemática

Alinhar a jogabilidade e a possibilidade de monitoramento dos dados de saúde não é uma tarefa trivial. Pois deve ser levado em consideração o uso dos dispositivos e pensar na execução de movimentos ou ações que permitam esse monitoramento. Os movimentos não podem ser repetitivos pois, levaria o usuário jogar por um curto período e como consequência abandonaria o monitoramento [68]. Para propor um jogo que consiga obter um monitoramento dos dados de saúde, deve ser realizado um estudo sobre quais os movimentos e ações que o usuário deve executar. Posteriormente, na posse dessas ações, deverá ser testada a execução dessas atividades e sua captura e possível classificação conforme os trabalhos já existentes que realizam essas atividades [10; 2; 9; 17; 56]. De posse dos movimentos e da captura dos dados será feito um levantamento de um *game design* que permita executar os movimentos em um ambiente lúdico e divertido como um jogo para entretenimento [69].

A.4 Objetivo

Essa pesquisa tem como objetivo identificar sintomas motores da doença de parkinson (tremores, bradicinesia e discinesia) através de um jogo eletrônico, dentro de um grupo de casos com doença de parkinson em diferentes estágios da doença segundo a UPDRS [22].

A.4.1 Específicos

- Capturar a manifestação clínica de bradicinesia em casos de parkinson ao mover-se de um lado para o outro, levantar o braço e a perna através do uso de um dispositivo de captura de vídeo e reconhecimento de movimentos;
- Capturar os movimentos do grupo controle ao mover-se de um lado para o outro, levantar o braço e a perna através do uso de um dispositivo de captura de vídeo e reconhecimento de movimentos;

- Verificar a relação entre a manifestação do sintoma de bradicinesia em efeito com o medicamento antiparkinsoniano através do uso de um dispositivo de captura de vídeo e reconhecimento de movimentos;

A.5 Material E Metodoo

A.5.1 Tipo de Estudo

Estudo analítico de caso-controle.

A.5.2 Local

Grupo de pacientes da Clínica de Fisioterapia Dr. Rodrigo Ramalho pertencente ao Centro Universitário Cesmac.

A.5.3 Amostra

A técnica de amostragem utilizada para seleção, será por conveniência onde será composta por todos indivíduos que estejam diagnosticado com Parkinson e indivíduos da mesma faixa etária como grupo de controle.

A.5.4 Formas de Recrutamento

A forma de recrutamento deste protocolo será Circunscrita por intermédio de um profissional de saúde da própria Clínica de Fisioterapia. O profissional deverá conhecer a história clínica do paciente e obterá a permissão do mesmo para que a equipe de pesquisa possa entrar em contato. A equipe de pesquisa deverá explicitar os riscos e benefícios da participação da pesquisa buscando a espontaneidade da decisão e depois fornecer o Termo De Consentimento Livre E Esclarecido.

Critério de inclusão

Casos com a Parkinson diagnosticada até o estágio 3 segundo a UPDRS [22], sem distinção de sexo ou raça, que esteja com participação ativa na Clínica de Fisioterapia Dr. Rodrigo Ramalho e que aceitem participar do estudo.

Critério de exclusão

Pessoas com sintomas motores que não sejam de Parkinson e que tenham problemas em equilíbrio além daqueles que se neguem a participarem do estudo.

A.5.5 Material

Para a presente pesquisa serão testados dois jogos desenvolvidos por alunos do Instituto Federal de Alagoas (IFAL) e da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Jogo: *Catch the Spheres*

O jogo *Catch the Spheres* é em terceira pessoa no qual o jogador, por meio de seu personagem, deverá capturar ou desviar de bolas que vêm em sua direção. Existem dois tipos de bolas: azuis e vermelhas. Inicialmente, todas as bolas são vermelhas e algumas destas mudam para a cor azul ao se aproximarem do jogador. O tempo para a bola mudar de cor pode ser menor ou maior, a depender do nível de dificuldade selecionado. Um personagem no centro do cenário replica todos os movimentos executados pelo jogador e capturado através do dispositivo de captura de vídeo. Deve-se tocar as bolas azuis com os pés ou as mãos e desviar das bolas vermelhas.

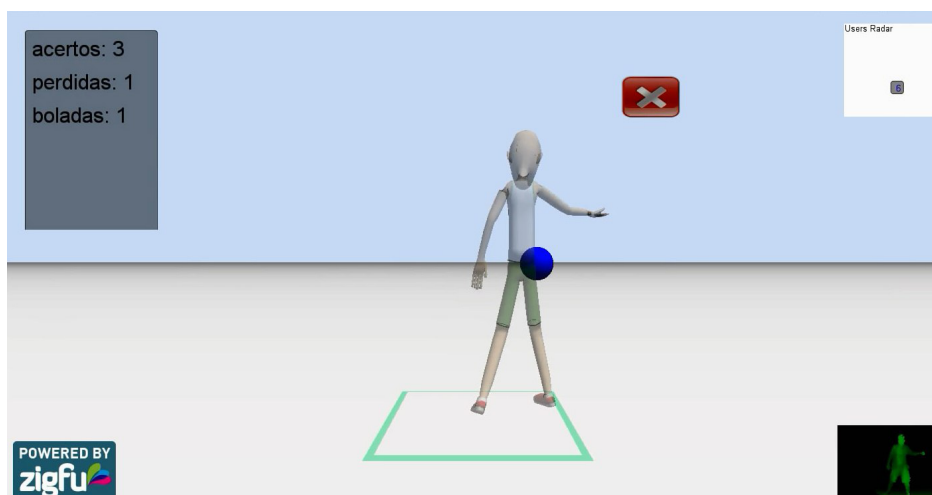


Figura A.1: O jogo *Catch the Spheres*

A finalidade do jogo é capturar dados do movimento do jogador enquanto ele executa as ações específicas do jogo. O intervalo de tempo entre o momento em que a bola muda de cor e o momento em que a bola é capturada pelo jogador mede o reflexo do jogador, enquanto que a velocidade dos seus membros é calculada através da distância percorrida pelas mãos ou pés para capturar as bolas. Com a execução desse jogo, pretende-se colher dados para conseguir identificar os sintomas da Parkinson como bradicinesia.

A.5.6 Procedimentos

Este protocolo de pesquisa será submetido à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisa do Centro Universitário Cesmac, somente depois da aprovação deste é que os dados serão coletados.

Para identificar a possibilidade de integrar o monitoramento da saúde do jogador por intermédio de jogos eletrônicos à sua rotina diária, será utilizada a abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM). GQM é uma abordagem hierárquica que inicia com objetivo principal e o divide em atividades que podem ser mensuradas durante a execução do projeto. É uma abordagem para integrar objetivos a modelos de processos de software, produtos e perspectivas de qualidade de interesse, baseado nas necessidades do projeto e da organização [65]. Os participantes da pesquisa serão convidados a responder o questionário GQM para avaliar se o jogo permite monitorar dados motores de forma não invasiva podendo estar integrado a rotina diária das pessoas.

Essa pesquisa também fará uma análise de jogos que fazem uso de sensores de movimento e avaliará as possibilidades de aquisição de dados de saúde baseada na Cinemática Angular do Movimento Humano. Através dos resultados obtidos pretendemos avaliar e classificar a normalidade e dificuldade na execução de movimentos como levantar um braço.

A coleta de dados será feita no próprio espaço sendo realizada em local reservado e de forma individual e permitindo sua participação por meio do Termo de Consentimento.

Os voluntários da pesquisa deverão executar os seguintes procedimentos:

1. O voluntário irá jogar o jogo *Catch the Spheres* por aproximadamente 1 minuto e 30 segundos;
2. Responder o questionário GQM.

ANÁLISE DE DADOS

A.5.7 Base de Dados

Todos os dados coletados através do acelerômetro e dispositivos de vídeo serão disponibilizados para pesquisa futura, permitindo o uso para pesquisa a todas Instituições envolvidas (CESMAC, UFCG, UFAL e IFAL). Contudo, conforme informado no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, será preservada a identidade do participante na pesquisa e todos os dados que possibilitem sua identificação serão omitidos.

A.5.8 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

O participante consentirá com sua participação através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O mesmo receberá todas as informações necessárias quanto à realização do estudo em todas as suas etapas. Estará ciente de que sua participação será de acordo com sua vontade, podendo desistir quando lhe aprouver. O termo de consentimento livre e esclarecido se baseia na Resolução N° 196/96, do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde (CNS/MS), devendo ser assinado pelo mesmo antes de ser inserido no estudo, procedimento este realizado pelo pesquisador responsável.

A.5.9 Confidencialidade

Os dados do estudo em questão serão considerados propriedade conjunta das partes envolvidas, não devendo ser comunicados a terceiros por uma das partes sem prévia autorização da outra parte interessada. No entanto, torna-se expresso, o comprometimento em tornar público os resultados da pesquisa, sejam eles favoráveis ou não.

A.5.10 Critérios Para Interromper a Pesquisa

Os critérios específicos de interrupção ocorrerão de forma individual para cada sujeito. A pesquisa será interrompida caso os participantes desistam de fazerem parte do estudo, ou caso seja desrespeitado algum preceito ético.

A.5.11 Relação Risco Benefício da Pesquisa

Os riscos inerentes podem decorrer da exposição de dados dos sujeitos da pesquisa, o que pode acarretar danos morais e/ou psicológicos. Assim, serão tomados todos os cuidados para que a identidade do sujeito da pesquisa não seja revelada, garantindo assim, privacidade e confidência das informações. Assim todos os dados do estudo serão manipulados apenas principais pesquisadores, todos os dados serão armazenados sob criptografia, mitigando a possibilidade de vazamento da informação.

Caso surja algum constrangimento por parte do sujeito da pesquisa, ao não conseguir realizar a pesquisa ou responder alguma pergunta devido ao comprometimento da doença. Os pesquisadores prestarão total assistência, orientando adequadamente os sujeito da pesquisa.

O risco se justifica pelos benefícios que a pesquisa poderá trazer com a possibilidade de monitoramento dos sintomas da Parkinson. A identificação dos sintomas motores e classificação desses dados através do computador permitirá avanços para um melhor acompanhamento da evolução da doença além de permitir que os pacientes possam ser monitorados de forma não invasiva através de um jogo eletrônico. Os pacientes deverão ter o seu estágio da Parkinson previamente diagnosticada por um médico para ser possível comparar os dados do monitoramento com o diagnóstico obtido.

A.5.12 Infra-Estrutura

A pesquisa será realizada na Clínica de Fisioterapia Dr. Rodrigo Ramalho, onde são realizados tratamentos fisioterápicos juntamente com estudantes do curso de fisioterapia do CESMAC. O espaço físico oferece condições favoráveis e adequadas para aplicação dos jogos e também resposta do questionário GQM propostos para este estudo. Para a realização da pesquisa serão utilizados:

- Jogo rodando em notebook com Sistema Operacional Windows 7.0 e Unity 3d 3.0;

Etapa I	Elaboração Projeto
Etapa II	Entrega à Coordenação para análise do Comitê de Ética
Etapa III	Coleta dos dados*
Etapa IV	Apuração e análise dos dados*
Etapa V	Identificação e Classificação dos Sintomas*
Etapa VI	Disponibilização dos Resultados*

Tabela A.1: Etapas da Pesquisa

Abril	X					
Maio		X				
Junho			0	0		
Junho				0	0	
Julho					0	
Agosto					0	
Setembro						0

Tabela A.2: Cronograma

- Caneta esferográfica;
- Papel;
- Pranchetas;
- Pastas arquivadoras;

A.6 Etapas da Pesquisa e Cronograma

A.6.1 Etapa da Pesquisa

As datas previstas neste cronograma estão sujeitas a modificação, a depender da aprovação do CEP, onde só após esta serão iniciadas.

A.6.2 Cronograma

Legenda: [0] Planejado [X] Executado

ITEM	VALOR UNITÁRIO(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
1 Smartphone Samsung Gallaxy S3	1200,00	1200,00
1 Notebook com Windows 7	2000,00	2000,00

Tabela A.3: Material Permanente

ITEM	VALOR UNITÁRIO(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
1 Resma de Papel	17,00	17,00
1 Tonnner Impressora a Laser	50,00	50,00
4 Canetas esferográficas	2,00	8,00
2 Pranchetas	10,00	20,00
1 Pasta Arquivadora	3,00	3,00

Tabela A.4: Material de Consumo

A.7 Orçamento Estimado

Todo o material permanente que será utilizado nesta pesquisa já é de posse do pesquisador principal. O material de consumo será adquirido com recursos próprios dos pesquisadores, que não irão honorários específicos para esta pesquisa.

TOTAL R\$: 1.782,00

Todos os gastos acima relacionados serão custeados pelos pesquisadores responsáveis pelo estudo.

Apêndice B

Questionário Entrevista Semi-Estruturada

B.1 Entrevista com Profissionais de Neurologia

Esse documento contém um conjunto de perguntas a serem respondidas em entrevistas semi-estruturadas, a profissionais que trabalham diretamente com doenças neurológicas envolvidos no acompanhamento de pacientes com a doença de parkinson. A pretensão dessa pesquisa é a identificação de mecanismos que auxiliem no monitoramento dos sintomas da doença para auxiliar os neurologistas no gerenciamento da dosagem do medicamento anti-parkinsoniano.

B.1.1 Sintomas da Doença de Parkinson

- Como é realizado o diagnóstico da doença de parkinson ?
- Quais são os sintomas mais frequentes ?
- Quais sintomas são amenizados pela dosagem medicamentosa ?

B.1.2 Monitoramento de dados Motores

- O movimento de adução e abdução do braço, é um movimento relevante para a identificação da doença de parkinson.
- É importante que o profissional de saúde acompanhe a amplitude máxima desses movimentos?
- Quão importante é monitorar a velocidade angular do movimento de adução em °/s para a avaliação do sintoma de bradicinesia da doença de parkinson ? Esse sintoma pode ser avaliado em outras doenças ? Cite exemplos.

- A doença de parkinson apresenta assimetria do movimento como um dos seus sintomas. Ou seja um lado do braço tem uma amplitude maior do que o outro lado.
- Demonstrar a amplitude máxima do movimento de abdução poderia ser aplicado para outras doenças que impactam na mobilidade? Cite exemplos ?
- Um mecanismo que pudesse monitorar os sintomas da doença de parkinson como: tremor, bradicinesia e discinesia. Poderia auxiliar na eficácia da medicação?
- Qual a relação do tremor com o uso dos medicamentos antiparkinsonianos ?
- A bradicinesia e discinesia são influenciadas pelos medicamentos antiparkinsonianos ?
- As diretrizes médicas citam tabelas de evolução da doença de Parkinson como a UPDRS, você as utiliza na sua prática clínica?

B.1.3 Benefícios

- A literatura informa que a doença de parkinson é progressiva e devido ao uso de medicação estas passam a não surtir efeito necessitando aumentar a dosagem medicamentosa além de efeitos colaterais incapacitantes causados pelo uso da medicação. Diante desses problemas como a dosagem medicamentosa é definida para o paciente ?
- Como profissional, seria importante acompanhar: amplitude do movimento, velocidade angular de abdução, velocidade angular de adução?
- Esses valores permitiriam visualizar a melhora ou o comprometimento do paciente?
- Você acha interessante ser auxiliado por uma máquina de aprendizagem que analise esses dados para facilitar o seu trabalho e melhorar na avaliação dos pacientes ?
- Sabendo que muitos indivíduos usam jogos eletrônicos em sua rotina, supondo que dentro desses jogos que são usados em momentos de descontração ou para entretenimento. Se dentro desses jogos houvesse mecanismos de monitoramento de sintomas de parkinson como tremor, bradicinesia e discinesia. Será que o monitoramento desses sintomas identificados durante a rotina diária viria auxiliar na melhora da qualidade de vida do paciente, já que o profissional teria acesso ao surgimento dos sintomas ao longo do dia?
- Qual a importância do uso de uma dosagem mínima dos medicamento antiparkinsonianos na qualidade de vida do paciente ?

- Dado que a doença de parkinson é incapacitante, qual a importância de um diagnóstico precoce da doença de parkinson?

Apêndice C

Critérios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson

Critérios estabelecidos para diagnóstico da Doença de Parkinson pela National Hospital for Neurology and Neurosurgery de Londres [30]. O paciente será diagnosticado com Parkinson se apresentar lentidão no movimento (bradicinesia) e pelo menos 3 critérios de suporte positivo.

- Critérios necessários para diagnóstico do Parkinson
 - bradicinesia (e pelo menos um dos seguintes sintomas abaixo);
 - rigidez muscular;
 - tremor de repouso (4-6 Hz) avaliado clinicamente
 - instabilidade postural não causada por distúrbios visuais, vestibulares, cerebelares ou proprioceptivos.
- Critérios negativos (excludentes) para o Parkinson
 - história de AVC de repetição;
 - história de trauma craniano grave;
 - história definida de encefalite;
 - crises oculogíricashistória de AVC de repetição;
 - história de trauma craniano grave;
 - história definida de encefalite;
 - crises oculogíricas;
 - tratamento prévio com neurolépticos;
 - remissão espontânea dos sintomas;

-
- quadro clínico estritamente unilateral após 3 anos;
 - paralisia supranuclear do olhar;
 - sinais cerebelares;
 - sinais autonômicos precoces;
 - demência precoce;
 - liberação piramidal com sinal de Babinski;
 - presença de tumor cerebral ou hidrocefalia comunicante;
 - resposta negativa a altas doses de levodopa;
 - exposição a metilfeniltetraperidínio.
- Critérios de suporte positivo para o diagnóstico do Parkinson (3 ou mais são necessários para o diagnóstico)
 - início unilateral;
 - presença de tremor de repouso;
 - doença progressiva;
 - persistência da assimetria dos sintomas;
 - boa resposta a levodopa;
 - presença de discinesias induzidas por levodopa;
 - resposta a levodopa por 5 anos ou mais;
 - evolução clínica de 10 anos ou mais.

Apêndice D

Questionário GQM

Para identificar a possibilidade de integrar o monitoramento da saúde do jogador através de jogos eletrônicos à sua rotina diária, foi utilizada a abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM). GQM [?] é uma abordagem hierárquica que inicia com objetivo principal e o divide em atividades que podem ser mensuradas durante a pesquisa. É uma abordagem para integrar objetivos a produtos e perspectivas de qualidade de interesse, baseado nas necessidades do produto [65].

Foi preparado o questionário GQM mostrado na Tabela D.1 para avaliar a possibilidade de monitorar dados motores de forma não invasiva e integrada a rotina diária das pessoas.

Tabela D.1: O Questionário GQM

Objetivo principal: Avaliar a possibilidade de monitorar dados motores de forma não invasiva e integrada a rotina diária das pessoas.
Questão 1: O usuário poderia integrar a abordagem <i>JOGUE-ME</i> à sua rotina diária ?
Métrica 1.1: Numa escala de 1 a 5 qual o grau de diversão do jogo?
Métrica 1.2: O jogo traz motivação ao usuário (Sim/Não)
Métrica 1.3: Se o usuário tivesse adquirido esse jogo, com que frequência o utilizaria durante a semana? (1 vez/3 vezes/Todos os dias/Nunca usaria)
Métrica 1.4: O usuário considera o jogo simples, sem muitas regras e de fácil entendimento ? Ele pode ser aplicado em diferentes idades? (Sim/ Não)
Métrica 1.5: O usuário tem o costume de jogar esses jogos casuais em casa? (Sim/ Não)
Métrica 1.6: Você agregaria um jogo desse estilo em sua rotina diária? (Sim/ Não)
Questão 2: A segurança com a integridade física está de acordo com a faixa etária do usuário ?
Métrica 2.1: Uma criança estaria segura jogando esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços?

Continua na próxima página

Tabela D.1 – *Continuação da página anterior*

<i>Métrica 2.2:</i> Um adulto estaria seguro ao jogar esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços?
<i>Métrica 2.3 :</i> Um idoso estaria seguro ao jogar esse jogo, ao efetuar os movimentos dos braços?
<i>Métrica 2.4:</i> Qual opinião do usuário sobre a faixa etária do jogo? (Livre/Crianças/Adultos/Idosos)

A preocupação principal dessa pesquisa é avaliar se os uso grau de entretenimento dos jogadores, a possibilidade de integrar jogos para monitoramento na rotina dos jogadores, motivação para jogar, segurança e opinião do jogador em relação ao monitoramento da saúde.