

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

Os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) podem melhorar a qualidade de vida dos usuários ao fornecer remotamente informações sobre o estado de saúde. Por outro lado, a concepção de um SMS dados motores não invasivo ainda é um grande desafio multidisciplinar. Estes sistemas, apesar do avanço na tecnologia, ainda são visíveis e estereotipados, o que dificulta sua disseminação. Portanto, o uso destes sistemas não tem sido incorporado na rotina dos usuários, inviabilizando o monitoramento dos sintomas motores.

Diante da dificuldade de desenvolver um sistema com as características descritas, neste trabalho, propõe-se utilizar jogos eletrônicos para motivar e abstrair o monitoramento de dados de saúde. Estatísticas da indústria americana de jogos constataram que, em 2015, os jogadores de videogame possuíam em média 35 anos e, 27% estão acima dos 50 anos. Desde 2005, os jogos eletrônicos utilizam sensores de detecção de movimento para capturar as ações cinéticas do usuário. Desta forma, na abordagem proposta neste trabalho, o usuário executa movimentos específicos, em um jogo eletrônico, para quantificar seus sinais motores e monitorar seu estado de saúde.

A relevância deste trabalho foi validada por meio de pesquisa qualitativa, na qual foi realizada uma entrevista semiestruturada junto a profissionais de saúde. Para a validação da abordagem, foi realizado um estudo analítico de caso-controle para detectar indivíduos diagnosticados com a Doença de Parkinson (Parkinson), utilizando sensores de captura de movimento em jogos eletrônicos. Buscou-se avaliar as possibilidades de aquisição de dados de saúde, baseada nas características de Cinemática Angular do Movimento Humano. Estes dados foram aplicados em uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificação dos dados. Como resultado, foi obtida uma taxa de identificação com acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67%. Desta forma, concluiu-se que a abordagem proposta permite desenvolver jogos eletrônicos que servem como uma forma não invasiva para monitorar dados motores.

## **Abstract**

The Health Monitoring Systems (HMS) can improve users' life quality by remotely providing information regarding their health. On the other hand, developing a non-invasive health monitoring pervasive systems is a multidisciplinary challenge. These systems, despite technology advancements, are still visible and stereotyped which complicates its dissemination. So, these systems have not been applied to the users activity daily living, undermining motor symptoms monitoring.

Given the difficulties of developing such a system, this work proposes using video games to motivate and disregard health monitoring. The American industry stated that, in 2011, video game players averaged 37 years-old and 29% are over 50 years-old. Since 2005, video games use motion detection sensors to capture users' kinetic actions. This way, this work proposes an approach based in video games to quantify motion signals and monitor health.

This work's relevance was assessed through qualitative research where a semi-structured interview with health professionals. To validate the approach, we executed a case-control analytic study to detect individuals diagnosed with Parkinson's Disease (PD) using motion capturing sensors through video games. We evaluated health data acquisition possibilities based on Human Motion Angular Kinetic characteristics. The data was applied in a Support Vector Machine (SVM) to classify the data. As a result, we had an accuracy rate of 86.67% true positive identification and 6.67% rate of false positive. This way, we concluded that the proposed approach allows to develop video games that serves to monitor data motion non-invasively.

# Conteúdo

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Problemática . . . . .                                       | 3         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .  | 3         |
| 1.2.1    | Objetivo Principal . . . . .                                 | 3         |
| 1.3      | Metodologia . . . . .  | 4         |
| 1.3.1    | Etapas da Pesquisa . . . . .                                 | 4         |
| 1.4      | Trabalhos Relacionados . . . . .                             | 5         |
| 1.5      | Contribuições . . . . .                                      | 7         |
| 1.6      | Organização do Documento . . . . .                           | 7         |
| <b>2</b> | <b>Fundamentação Teórica</b>                                 | <b>8</b>  |
| 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        |
| 2.3      | Máquinas de Vetor de Suporte (SVM) . . . . .                 | 13        |
| <b>3</b> | <b>Abordagem <i>JOGUE-ME</i></b>                             | <b>16</b> |
| 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 . . . . .               | 19        |
| 3.4.2    | Extração das Características do Movimento . . . . .          | 22        |
| 3.4.3    | Filtragem de Dados . . . . .                                 | 23        |
| 3.5      | Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem . . . . . | 27        |
| 3.6      | Visualização dos Dados . . . . .                             | 28        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>4</b> | <b>Arquitetura de Software para <i>JOGUE-ME</i></b>   | <b>30</b> |
| 4.1      | Arquitetura Cliente do <i>JOGUE-ME</i>  | 30        |
| 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   | 34        |
| 4.2.2    | Extração das Características do Movimento   | 35        |
| 4.2.3    | Filtragem de Dados  | 35        |
| 4.3      | Classificador de Dados  | 36        |
| <b>5</b> | <b>Avaliação Experimental</b>   | <b>38</b> |
| 5.1      | ETAPA 1 - Entrevista Semiestruturada 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   | 49        |
| 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)   | 55        |
| 5.3      | ETAPA 3 - Avaliação Da Aceitação Da Abordagem Junto aos Pacientes de Doença de Parkinson (Parkinson) Utilizando <i>Goal Question Metric</i>   | 57        |
| 5.3.1    | Aplicação do Método   | 60        |
| 5.3.2    | Resultados  | 60        |
| 5.3.3    | Conclusão   | 62        |
| <b>6</b> | <b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>   | <b>63</b> |
| <b>A</b> | <b>Projeto do Comitê de Ética</b>   | <b>72</b> |
| 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 . . . . .  | 79        |
| A.5.7    | Base de Dados . . . . .  | 79        |
| A.5.8    | Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) . . . . .          | 80        |
| A.5.9    | Confidencialidade . . . . .  | 80        |
| A.5.10   | CrITÉRIOS Para Interromper a Pesquisa . . . . .                      | 80        |
| A.5.11   | RelaÇão Risco Benefício da Pesquisa . . . . .                        | 80        |
| A.5.12   | Infra-Estrutura . . . . .  | 81        |
| 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>B</b> | <b>Questionário Entrevista Semi-Estruturada</b>                      | <b>83</b> |
| 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        |
| <b>C</b> | <b>CrITÉRIOS Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson</b> | <b>86</b> |
| <b>D</b> | <b>Questionário GQM</b>  | <b>88</b> |

# Lista de Símbolos

**CEP** Comitê de Ética em Pesquisa

**Parkinson** Doença de Parkinson

**ER** Engenharia de Requisitos

**GQM** *Goal-Question-Metric*

**OMS** Organização Mundial de Saúde

**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 | Disposição dos Sensores de Movimento (SHIMMER) no corpo no trabalho de Patel . . . . .   | 3  |
| 1.2 | <i>G-Link Wireless Accelerometer</i> - Instrumento usado no trabalho de LeMoyne para quantificar o tremor da Doença de Parkinson . . . . . | 3  |
| 1.3 | Aplicação para <i>smartphone</i> com a finalidade de identificar sinais de tremor . . . . .  | 3  |
| 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 . . . . .   | 24 |
| 3.7 | Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço . . . . .   | 25 |
| 3.8 | Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados . . . . .   | 26 |
| 3.9 | Ciclo de Movimento Removido . . . . .  | 27 |
| 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 . . . . .   | 54 |



---

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.5  | <i>Grid-Search</i> - Acurácia da Classificação . . . . . | 56 |
| 5.6  | <i>Grid-Search</i> - <i>FpRate</i> . . . . .             | 56 |
| 5.7  | O Paradigma GQM © . . . . .                              | 59 |
| 5.8  | Resultado da Pergunta 1 . . . . .                        | 62 |
| 5.9  | Resultado da Pergunta 3 . . . . .                        | 62 |
| 5.10 | Resultado da Pergunta 10 . . . . .                       | 62 |
| A.1  | O jogo <i>Catch the Spheres</i> . . . . .                | 78 |

# Lista de Tabelas

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da Parkinson .      | 29 |
| 3.2 | Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da Parkinson .      | 29 |
| 4.1 | Operações disponibilizadas pelo <i>web service</i> . . . . .                  | 33 |
| 5.1 | Perfil dos Participantes . . . . .  | 40 |
| 5.2 | Matriz Rastreabilidade: Fragmento x Requisitos . . . . .                      | 48 |
| 5.3 | Requisitos Implementados . . . . .  | 49 |
| 5.4 | Detalhamento do vetor de características extraído da coleta de dados. . . . . | 52 |
| 5.5 | Descrição da Matriz de Confusão . . . . .                                     | 55 |
| 5.6 | Results of Arm Abduction Amplitude . . . . .                                  | 58 |
| 5.7 | Resultado da Matriz de Confusão SVM . . . . .                                 | 59 |
| 5.8 | Métricas da Matriz de Confusão . . . . .                                      | 59 |
| 5.9 | Métricas Avaliadas do <i>GQM</i> . . . . .                                    | 61 |
| A.1 | Etapas da Pesquisa . . . . .  | 81 |
| A.2 | Cronograma . . . . .  | 82 |
| 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 . . . . .                                   | 14 |
| 3.1 | Filtro dos Ciclos . . . . .   | 26 |
| 4.1 | Função de Ciclo Periódico . . . . .                                       | 34 |
| 4.2 | Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico . . . . .             | 34 |
| 4.3 | Calcular ângulos relativos do movimento . . . . .                         | 35 |
| 4.4 | Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução . . . . .                    | 35 |
| 4.5 | Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução . . . . .                    | 36 |
| 4.6 | Uso de Máquina de Vetor de Suporte para Classificação dos Dados . . . . . | 37 |

# Capítulo 1

## Introdução

A população mundial envelhece progressivamente e, segundo estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) [57], muito em breve teremos mais idosos do que crianças. Ao considerar que a população idosa possui maior prevalência de doenças crônicas [41], surge a necessidade de monitorar o estado da saúde dessa população. Portanto, diante do crescimento da quantidade de pacientes crônicos, da iminente redução do número de leitos hospitalares disponíveis e, insuficiência de profissionais especializados para atender esta demanda [54]: faz-se necessário transpor serviços de monitoramento dos pacientes crônicos, dos leitos hospitalares para acompanhamento domiciliar [25].

Como objeto de estudo escolhemos o Parkinson por ser uma doença neurodegenerativa crônica, progressiva e com causa desconhecida. É uma doença mais comum em idosos, no entanto, existem casos precoces em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [51]. A incidência da doença é estimada entre 100 a 200 casos por 100.000 habitantes e, com o envelhecimento da população, o contingente de pessoas diagnosticadas com Parkinson tende a aumentar nos próximos anos. Após os 10 anos de tratamento, a doença leva o indivíduo a irreversíveis debilidades: motoras e cognitivas. Logo, a abordagem de monitorar os sinais em diferentes momentos do dia, permite um melhor gerenciamento da doença e, por consequência, melhora a qualidade de vida destes indivíduos.

Na averiguação desta demanda, a computação aplicada à saúde busca prover Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) [54; 13; 6; 12; 1]. Estes SMS permitem ao médico acompanhar a distância o estado de saúde de seus pacientes colaborativamente [54]. Atualmente, os SMS realizam: um tratamento preventivo e pró-ativo do estado de saúde [6]; suporte à reabilitação do paciente [32]; auxilia o paciente a atingir uma melhor qualidade de vida [19]. Referente ao monitoramento dos sinais motores, os SMS quantificam estes sinais e conseguem: quantificar as habilidades motoras [28; 59], efetuar análise da marcha [45] e identificar sinais de bradicinesia [82]. Contudo, o maior desafio dessas abordagens é a aceitação do usuário e consequente inserção na rotina diária [4]. Na averiguação desta demanda, a computação aplicada à saúde busca prover SMS [54; 13; 6; 12;

1]. Estes SMS permitem ao médico acompanhar a distância o estado de saúde de seus pacientes colaborativamente [54]. Atualmente, os SMS realizam: um tratamento preventivo e pró-ativo do estado de saúde [6]; suporte à reabilitação do paciente [32]; auxilia o paciente a atingir uma melhor qualidade de vida [19]. Referente ao monitoramento dos sinais motores, os SMS quantificam estes sinais e conseguem: quantificar as habilidades motoras [28; 59], efetuar análise da marcha [45] e identificar sinais de bradicinesia [82]. Contudo, o maior desafio dessas abordagens é a aceitação do usuário e consequente inserção na rotina diária [4].

Na busca por motivar os usuários, identificamos que os jogos eletrônicos se encontram presentes na rotina diária de 27% da população americana acima dos 50 anos [9]. Com base nesse número, percebemos um público de jogadores idosos beneficiáveis por: uma plataforma de monitoramento de dados de saúde embutida num jogo eletrônico. Aliado a esse estudo, identificamos jogos voltados para o público idoso aplicados à melhora do estado de saúde como: jogo para a persuasão da prática de atividades físicas [16], jogo para a 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 desenvolvido com o objetivo de: adquirir e quantificar sinais motores por meio de sensores de movimento; utilizar dispositivos eletrônicos comerciais para reduzir custos e facilitar a replicação dos experimentos; prover informações da saúde motora dos pacientes com Parkinson por meio de um sistema de monitoramento não invasivo e lúdico. Desta maneira, possibilitamos que o paciente de Parkinson se desvincilhe do contexto do tratamento da doença e forneça dados sobre seu estado de saúde colaborativamente.

A validação ocorreu em duas etapas: na primeira, avaliamos a capacidade de monitoramento dos indivíduos com Parkinson em um estudo analítico de caso-controle; na segunda, avaliamos a possibilidade de adequar este monitoramento na rotina diária dos pacientes. O estudo analítico de caso-controle foi realizado com 30 sujeitos de pesquisa (15 grupo controle e 15 diagnosticados com Parkinson). Como resultado, identificamos e quantificamos o sintoma da bradicinesia [60], que consiste na lentidão da execução dos movimentos. Para distinguir os grupos (caso-controle e diagnosticados com Parkinson) utilizamos uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificação dos dados [79], no qual obtemos uma acurácia de 86,66%. Avaliamos a adequação da abordagem de monitoramento dos sinais motores usando jogos eletrônicos, aplicando a técnica *Goal-Question-Metric* (GQM) [68]. Como resultado, 90,00% dos avaliados consideraram a abordagem não-invasiva e incorporável à rotina diária.

## 1.1 Problemática

Atualmente, os SMS dos sinais motores utilizam sensores vestíveis (*wearable*), que comumente, são incorporados à roupa ou ao corpo do usuário (Figuras: 1.2,1.1). De acordo com a perspectiva do usuário [1], são considerados invasivos e estereotipados [1]. No entanto, o gerenciamento medicamentoso do Parkinson, necessita de um cuidado acurado e diário [22]. Por esta razão, buscou-se nesta tese: **desenvolver um SMS dos sinais motores do Parkinson, integrada à rotina diária dos usuários, em um ambiente lúdico como um jogo eletrônico**. Nossa perspectiva é que este ambiente venha a fornecer informações sobre os sinais motores de uma maneira: colaborativa, não invasiva e no conforto do lar.

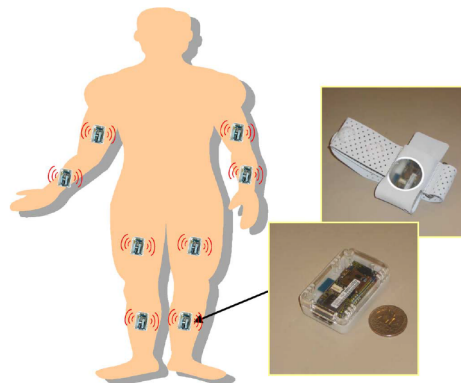


Figura 1.1: *Disposição dos Sensores de Movimento (SHIMMER) no corpo no trabalho de Patel [59]*



Figura 1.2: *G-Link Wireless Accelerometer* - Instrumento usado no trabalho de LeMoyne [42] para quantificar o tremor da Doença de Parkinson

Em trabalhos relacionados, LeMoyne [43] quantificou os sinais de tremores do Parkinson usando um *smartphones* (Figura 1.3). LeMoyne [43] considerou que: os *smartphones* estão presentes na rotina dos pacientes e que estes iriam mensurar seus tremores em diferentes momentos do dia. No entanto, o principal problema em mensurar o tremor usando *smartphones* é que o tremor do Parkinson é de repouso [37]. Logo, os pacientes reduzem drasticamente

o sinal o que impacta diretamente na coleta dos dados. Deve-se considerar também que LeMoyne [43] não realizou avaliações com pacientes ou estudo de caso-controle.



Figura 1.3: Aplicação para iPhone com a finalidade de identificar sinais de tremor [43]

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Principal

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

Para atingir esse objetivo, pretende-se desenvolver um SMS capaz de: armazenar, processar sinais biomecânicos e identificar a presença do sinal de bradicinesia do Parkinson.

Para atingir o objetivo principal da pesquisa subdividimos em etapas:

**ETAPA 1** Qual o benefício 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 utilizando sensores de movimento para monitorar os sinais do Parkinson?

**ETAPA 3** Avaliar a perspectiva dos usuários quanto: a abordagem de quantificar os sinais motores de uma maneira não-invasiva e aplicável à rotina diária.

## 1.3 Metodologia

A metodologia de pesquisa deste trabalho possui aspectos qualitativos e quantitativos. Referente ao aspecto qualitativo, buscou-se identificar a importância desta tese junto à comunidade de especialistas da área de saúde. Nos aspectos quantitativos, demonstramos 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 do trabalho avaliamos a aceitabilidade da proposta na perspectiva do usuário utilizando uma análise GQM [68].

### 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. Analisar a perspectiva dos profissionais de saúde em relação ao acompanhamento dos sinais motores dos pacientes com Parkinson (os profissionais foram indagados sobre a melhora na tomada de decisão quanto ao acompanhamento dos sinais) e, verificar se os parâmetros motores, como velocidade angular e amplitude do movimento dos braços, são importantes para realizar o acompanhamento dos sinais parkinsonianos. Procurou-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**, que consiste em 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 de: classificar os sinais motores adquiridos por sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos. A classificação consistiu em: aplicar os sinais numa SVM para distinguir indivíduos do grupo controle ante indivíduos diagnosticados com Parkinson; O resultado dessa pesquisa, demonstrou a viabilidade da abordagem e, conseqüentemente validou a **ETAPA 2** do trabalho.
5. Definir a arquitetura de software que viabilizou tecnicamente a abordagem JOGUE-ME. Nesta etapa, definimos um arcabouço de software para encapsular 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 ao 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 avaliação, buscamos validar a **ETAPA 3** da pesquisa.

## 1.4 Trabalhos Relacionados

Devido ao estilo de vida mais sedentário e ao aumento da população obesa, as pesquisas para a promoção da atividade física tem se tornado tópico de interesse para a comunidade científica [47; 14; 48]. Estudos demonstram que uma atividade física regular traz benefícios: físicos, cognitivos e emocionais [48]. Com o surgimento dos jogos comerciais como o *Wii Sports* da Nintendo <sup>1</sup> em 2006, que aumentou a prática de atividade física de jogadores considerados sedentários [40], é que pesquisadores da área de jogos para saúde buscaram apoiar essa prática com desenvolvimento de aplicações que motivassem a prática de atividade física [33]. 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 o bem-estar [58].

Os jogos pervasivos móveis motivam a atividade física de forma mais direta, jogos como: *Transe*, *Feeding Yoshi*, e *Nokia Wellness Diary and Sports Tracker* promovem a saúde com a prática de atividade física [70] e, melhoram as condições de saúde por serem: divertidos, imersivos e engajados. Para o público idoso, foram desenvolvidos diferentes jogos para a melhora da saúde como: sistemas para reabilitação motora dos idosos [16] e, também para pacientes com Parkinson [10; 72; 32].

Atkinson e Narasimhan [10] desenvolveram um jogo que utiliza um sensor de toque para quantificar a habilidade motora do paciente com Parkinson. Teoricamente, esta abordagem auxilia no diagnóstico do Parkinson. No entanto, não foi realizado nenhum estudo com os pacientes para avaliar sua eficácia. Synnott *et al.* [72] desenvolveu um sistema de gerenciamento medicamentoso e um jogo, utilizando um sensor de captura de movimentos, para identificar o sinal de tremor do Parkinson. No entanto, o tremor do Parkinson é de repouso [35]. Logo, quando o usuário está concentrado, entra no estado de ação e reduz drasticamente o tremor.

Papastergiou *et al.* [58] 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, 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

---

<sup>1</sup><http://www.nintendo.com>

e saúde com as tecnologias de sensores, para a personalização e adaptação dos jogos. Paraskevopoulos *et al.* [32] propõe um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento de jogos com o objetivo de: acompanhar o tratamento fisioterápico dos pacientes com Parkinson e, dar suporte à reabilitação destes.

Sinclair *et al.* [67] 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.

Nesta tese, propomos monitorar os pacientes de Parkinson de uma forma: não invasiva, por intermédio de sensores de movimento, usamos jogos eletrônicos para motivar a aquisição dos dados e, fazer com que os usuários abstraíam do tratamento. Logo, nosso principal objetivo foi: prover um mecanismo de monitoramento dos sinais motores, em um ambiente lúdico e descontraído como um jogo eletrônico.

## 1.5 Contribuições

Atualmente, os jogos são aplicados para melhora da saúde em diferentes contextos. No entanto, nenhum dos trabalhos relacionados pretendem identificar sinais para monitorar o estado de saúde. Logo, este trabalho visa desenvolver um ambiente de jogo que motive a execução de movimentos específicos, com o propósito de quantificar os sinais motores dos usuários.

No entanto, alinhar a jogabilidade e a capacidade de monitoramento dos sinais de saúde não é trivial. Pois 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 SMS dos sinais motores usando jogos, necessita de um acompanhamento de um profissional de saúde para: supervisionar, auxiliar nas definições dos movimentos e ações dos usuários.

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. Onde 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 ao possuir a informação poderia gerenciar melhor a dosagem medicamentosa e, consequentemente, prolongar a qualidade de vida do paciente [53].

## **1.6 Organização do Documento**

O restante deste documento está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 2 está descrita a fundamentação teórica relacionada ao trabalho.
- No Capítulo 3 está definida a abordagem JOGUE-ME de monitoramento de dados motores não invasivo usando jogos eletrônicos.
- No Capítulo 4 é demonstrada uma implementação da abordagem.
- No Capítulo 5 são apresentados os experimentos realizados para validar a tese.
- No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e, propostos temas para trabalhos futuros.

# 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 o Parkinson seus sinais motores e os estágios da doença; 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, 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 ao Parkinson [60] 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 [51]. 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.

O Parkinson é uma doença progressiva e incapacitante e, após os 10 anos de tratamento: o custo operacional, impacto social e financeiro aumentam vertiginosamente. Estima-se, que o custo anual mundial com medicamentos antiparkinsonianos esteja em torno de 11 bilhões de dólares, tornando-se de 3 a 4 vezes mais caro nas fases avançadas da doença [60]. Outro fator crucial para a escolha do Parkinson 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, o que requer um aumento progressivo das dosagens ou uso de outros tratamentos associados. Isto acarreta num gerenciamento complexo entre drogas e seus respectivos efeitos colaterais. Portanto, ao buscar prolongar a qualidade de vida dos pacientes com o uso deste tratamento, é recomendável um gerenciamento medicamentoso com uma dosagem mínima [35] para: reduzir os sinais motores e prolongar a qualidade de vida do paciente. Como o gerenciamento medicamentoso é de responsabilidade do neurologista, este o faz de acordo com as visitas clínicas do paciente, quando estes ou seus cuidadores fazem relatos sobre o progresso do tratamento. Contudo, esta avaliação clínica é realizada de forma esporádica e de forma subjetiva [60; 22]. Desta maneira, é necessário uma quantificação destes sinais para um tratamento mais adequado e preciso.

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 [53]. 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 [53]. 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 [60]. Estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [35]. 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 [60].

### 2.1.1 Diagnóstico

Os mais característicos do Parkinson e que são frequentemente usados para diagnosticar a doença são [62]: 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 à alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [53; 75].

A evolução da doença, a gravidade e a progressão dos sinais variam de um paciente para outro. Atualmente, 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 [60]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [60]. Os protocolos clínicos [60; 35] sugerem que o diagnóstico do Parkinson está diretamente relacionado à resposta satisfatória ao levodopa. No entanto, uma resposta satisfatória à levodopa não confirma o diagnóstico do Parkinson [62], porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomáticos e, muitas formas de síndromes de Parkinson, que em seus estágios iniciais, respondem bem ao levodopa.

Atualmente, os critérios estabelecidos pelo Banco de Cérebros da Sociedade de Parkinson do Reino Unido, são os mais utilizados para diagnosticar a doença [60] (Apêndice C).

### 2.1.2 Principais Sinais do Parkinson

Nesta seção serão descritos sintomas motores mais frequentes do Parkinson [60] e que foram objetos deste estudo.

#### **Tremor**

O tremor é o sintoma mais frequente e mais perceptível [46] do Parkinson, embora não seja o mais incapacitante. No entanto, para a maioria dos pacientes, este sinal é o principal motivo que os leva à procurar ajuda médica. Apresentando-se de forma característica: rítmico, relativamente lento quando comparado a 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 [37].

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. Por esse motivo, não foi possível desenvolver um jogo que quantificasse 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 [23].

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 robótica devido a redução da velocidade dos músculos das cordas vocais

e membros(superiores e inferiores) [23]. Normalmente, nos estágios iniciais da doença, a bradicinesia é acompanhada de: rigidez dos músculos, assimetria dos movimentos entre os membros e dificuldade nos movimentos (levantar de uma cadeira, virar na cama ou andar). Os sinais bradicinéticos são avaliados por intermédio da parte motora da tabela de avaliação UPDRS [26], 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 [26; 36]. 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 [26; 31]. Por conseguinte, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (*Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS*) [26] que é amplamente utilizada para monitorar o progresso da doença e a eficácia do tratamento. Segundo Goulart [31], as escalas de estágios de incapacidade representadas por: *Hoehn/Yahr* [36] e a *UPDRS* [26], 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 [26]:

- **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 à cadeira de rodas.

A *UPDRS* é composta por 42 itens, divididos em quatro partes: atividade mental; comportamento e humor; atividades de vida diária; exploração motora e complicações da terapia medicamentosa. Estes itens, são avaliados por auto-relato ou observação clínica. Desta

maneira, subjetiva, é realizada a classificação do estágio da doença no paciente. 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 quantificar os sinais motores do paciente [39; 72; 59].

A identificação dos sinais do Parkinson durante a rotina diária, permite um diagnóstico mais precoce da doença e, conseqüentemente, obter os benefícios de um tratamento mais duradouro. Além disso, o monitoramento dos efeitos da medicação junto ao paciente, permite um melhor gerenciamento medicamentoso e, assim reduz os efeitos colaterais do tratamento e prolonga sua qualidade de vida [62].

## 2.2 Cinemetria

A **Cinemetria** consiste em 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 [29].

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 do 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 [34].



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 [34]. 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 mensuradas em  $^{\circ}/s$ .

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

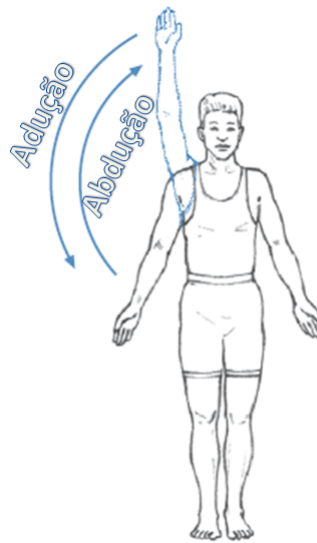


Figura 2.1: ©Movimentos de Abdução e Adução do Braço [50]

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 [34]. 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  $90^{\circ}$  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 [34]. Dessa forma, os ângulos absolutos devem ser medidos na mesma direção a partir de uma única referência, seja ela horizontal ou vertical.

## 2.3 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 [76]. 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 e busca maximizar a acurácia. Normalmente, a SVM é aplicada para classificação binária, ou seja, permite classificar os dados em duas classes. No entanto, essa técnica, também tem sido aplicada em dados com mais de duas classes [18].

Um classificador SVM foi inicialmente desenvolvido para problemas de aprendizagem linearmente separáveis e, utiliza vetores de separação, através de uma técnica de hiperplano de separação ótima [76]. O hiperplano tenta separar as diferentes classes, maximizando a margem entre os pontos extremos de cada classe [30]. O melhor hiperplano de uma SVM é aquele que possui a maior margem entre as duas classes como pode ser visto na Figura 2.2.

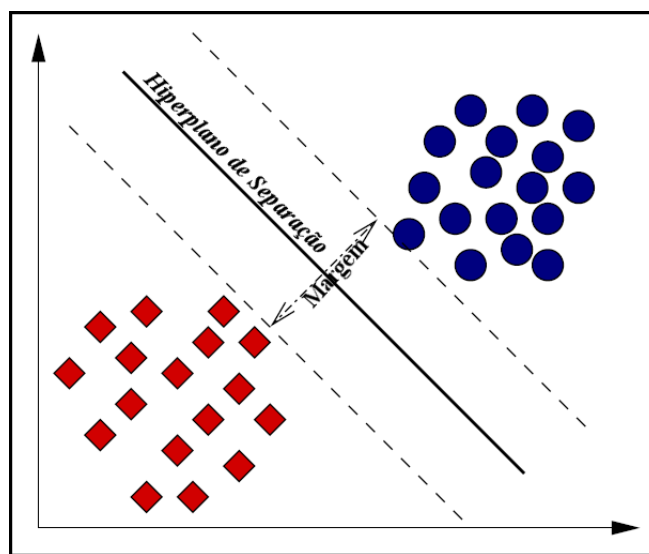


Figura 2.2: Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes

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. Desta maneira, 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 [30] 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  $w$  é denominado de peso e a constante parâmetro  $b$  é chamada de *bias* ou desvio.

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

Se  $u$  e  $v$  são dois padrões e  $f(x)$  é a função discriminante, então os valores de  $f(u)$  e  $f(v)$  irá auxiliar em determinar se os valores de  $u$  e  $v$  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 [27] 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 [70; 66].

**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 [70].

**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 [71].

**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; 66].

**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.

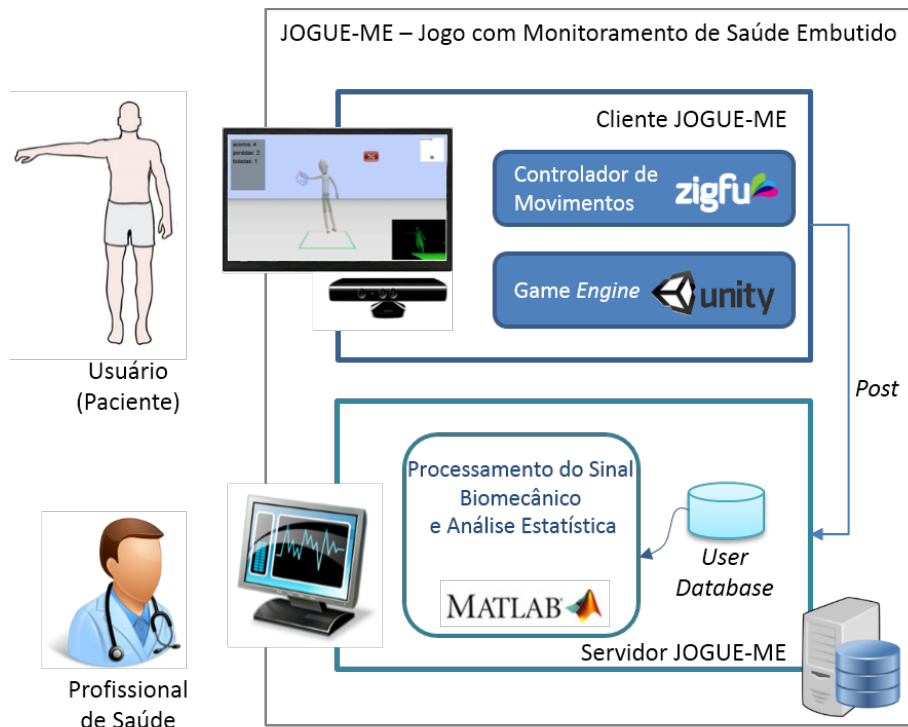


Figura 3.1: Visão Geral da Abordagem *JOGUE-ME*

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.

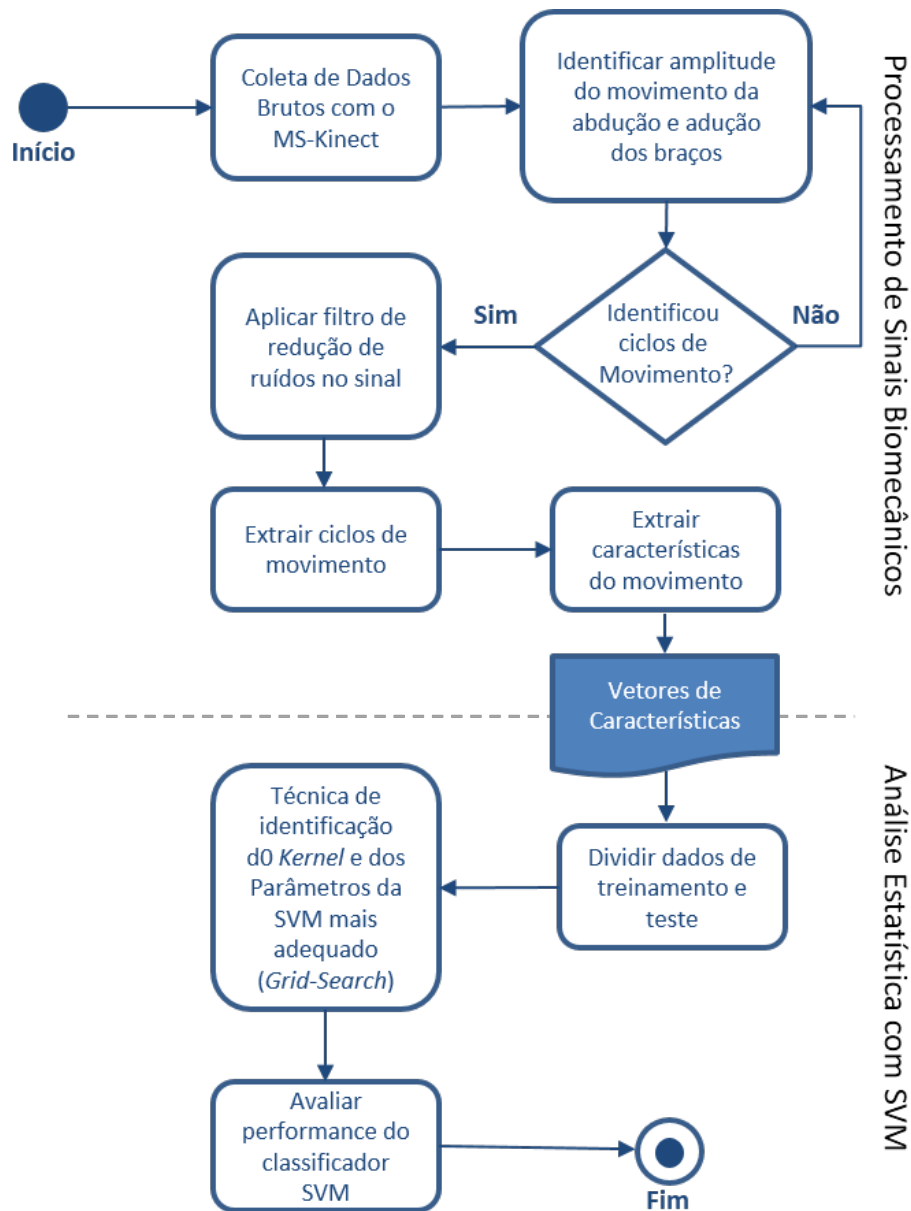


Figura 3.2: Processamento de sinais biomecânicos.

### 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 [15].

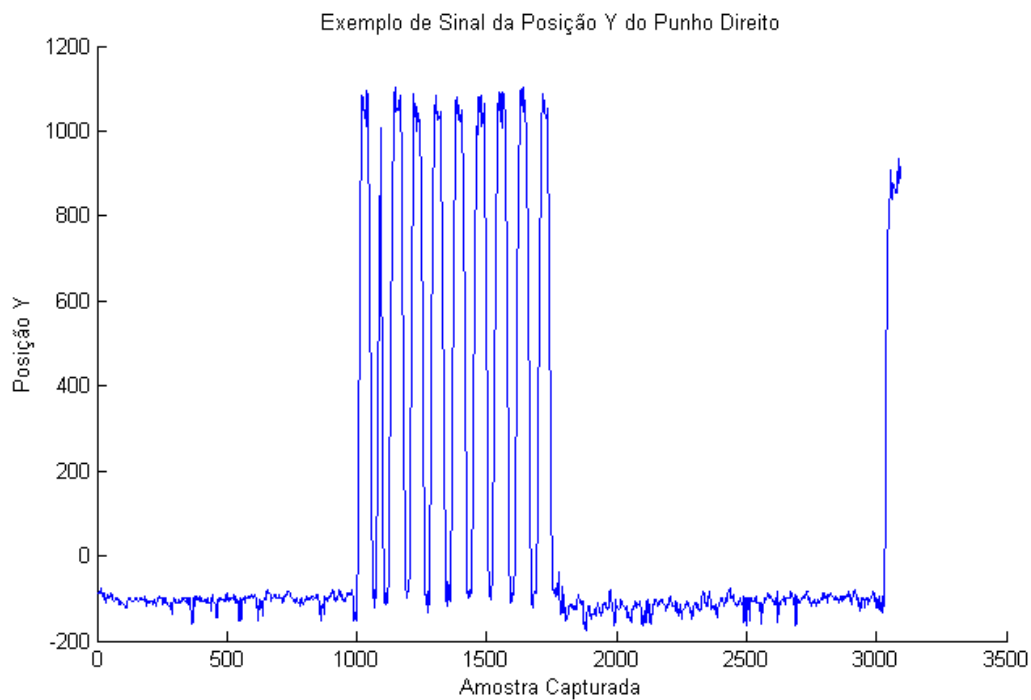


Figura 3.3: Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinect na Posição Y

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  $\delta$  (*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 [15]. A técnica é aplicada no sinal da Figura 3.3 com um  $\delta$  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;



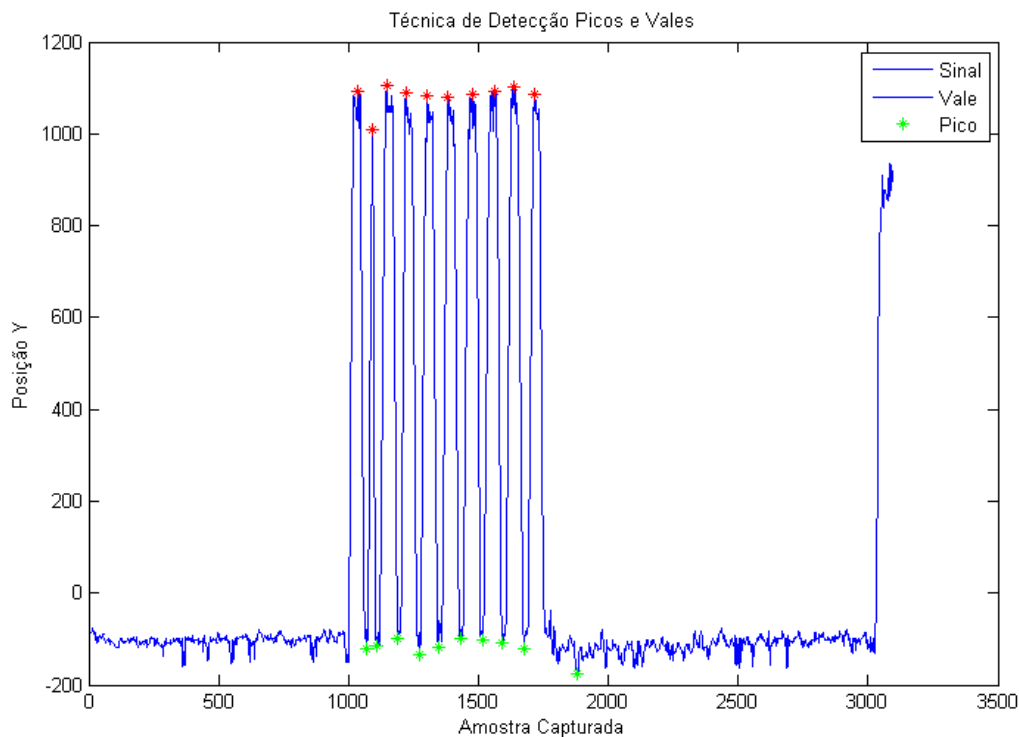


Figura 3.4: Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal

- 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

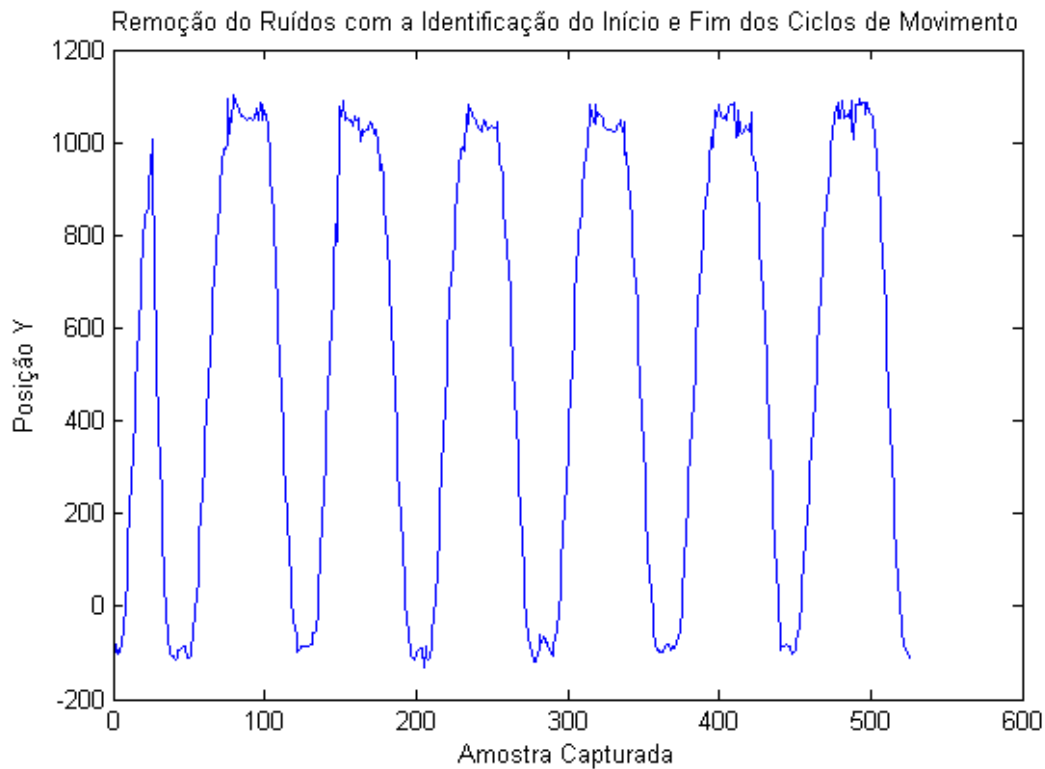


Figura 3.5: Remoção de Ruídos

[34]. 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 [17]. 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  $\theta$  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

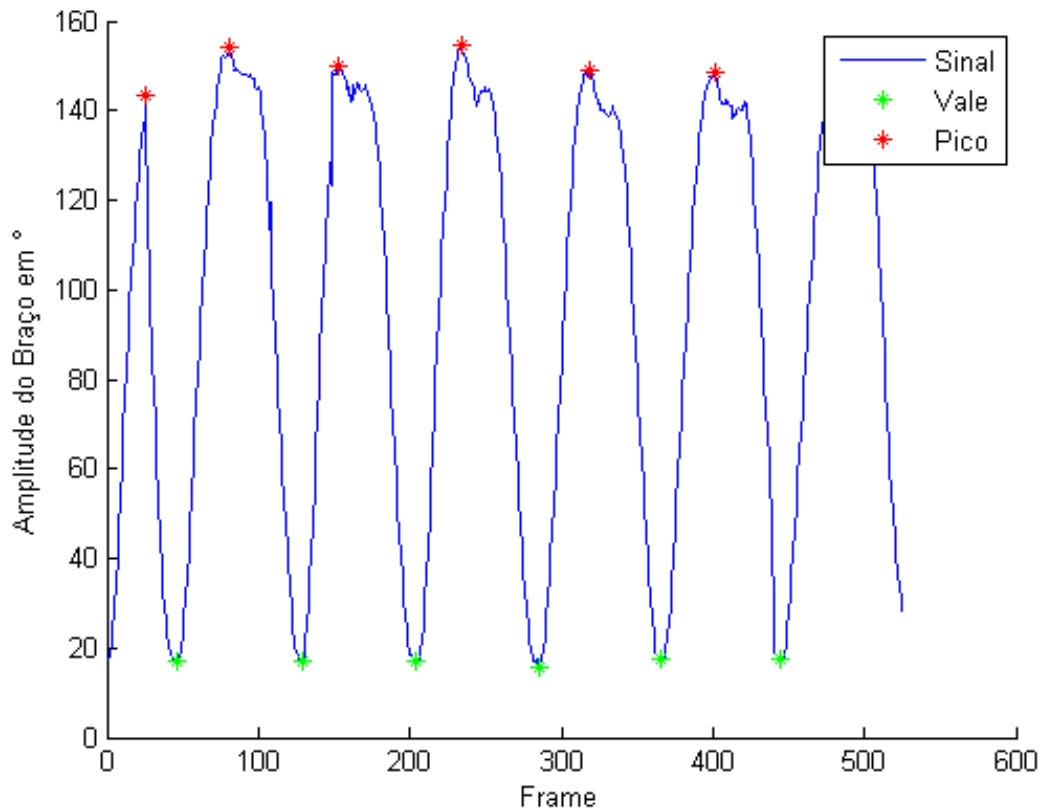


Figura 3.7: Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço

[24]. 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 [78].

**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 [21].

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

**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 [21]. 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;

```

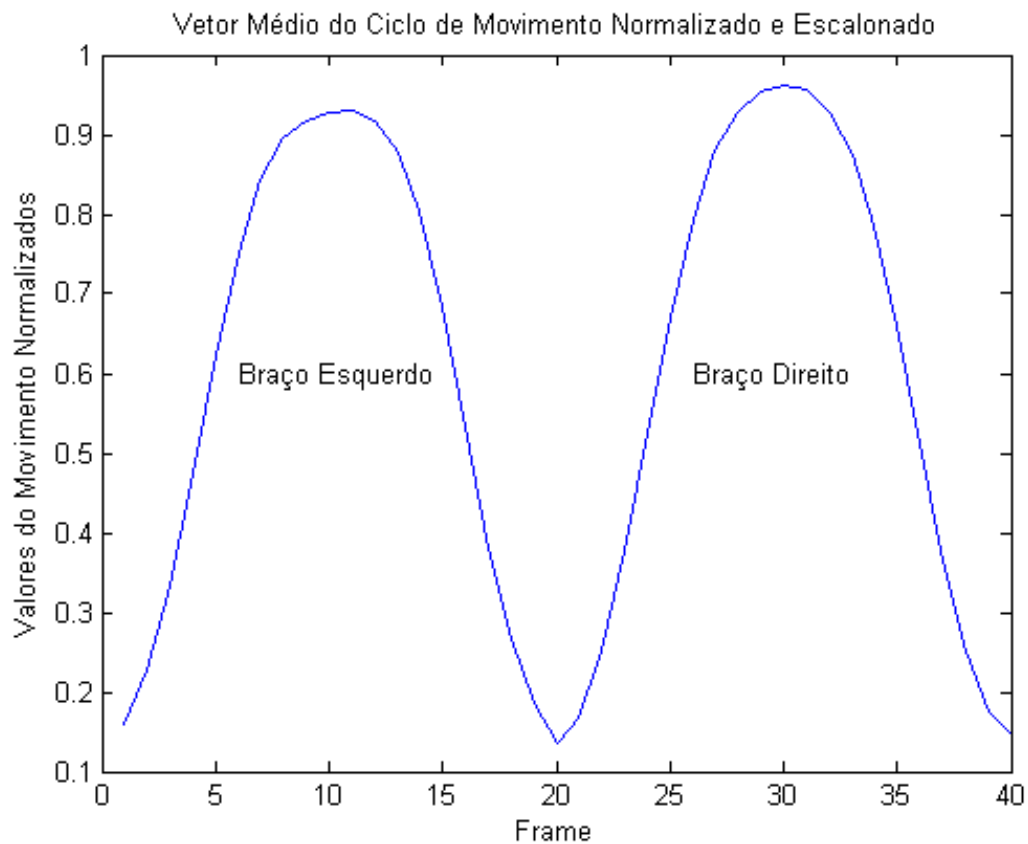


Figura 3.8: Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados

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

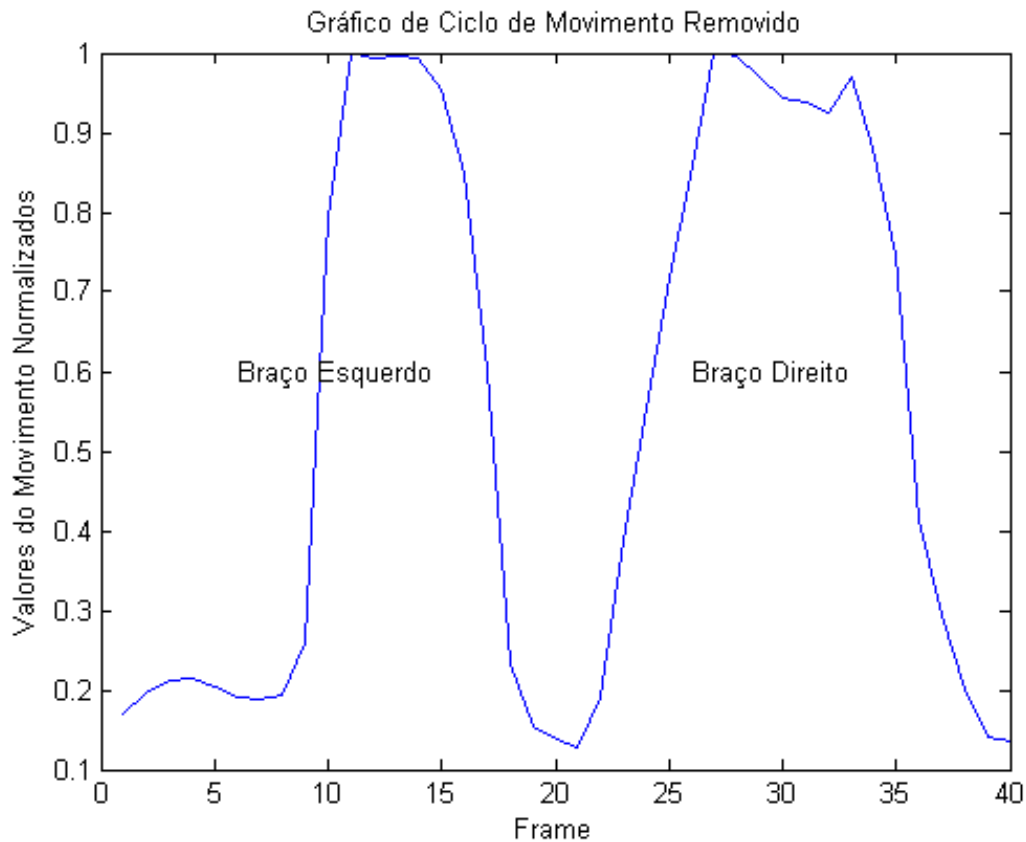


Figura 3.9: Ciclo de Movimento Removido

### 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  $0^\circ$  a  $180^\circ$  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 [60]. 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      |                |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|
| <b>Abdução Esquerda</b> | <b>Abdução Direita</b> | <b>Adução Esquerda</b> | <b>Adução Direita</b> | <b>Esquerda</b> | <b>Direita</b> |
| 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      |                  |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| <b>Abdução Esquerda</b> | <b>Abdução Direita</b> | <b>Adução Esquerda</b> | <b>Adução Direita</b> | <b>Esquerda</b> | <b>Amplitude</b> |
| 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 [74]. 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. [64]. Inicialmente foi proposto um arcabouço para o desenvolvimento de software em cima de uma *engine* de jogos bastante difundida que é o Unity3D [74] 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 [80] que permite integrar o Ms-Kinect [52] como controlador do jogo.

O Ms-Kinect [52] 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 [34], como pode ser visto na Figura 4.2.

O Zigfu [80] 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

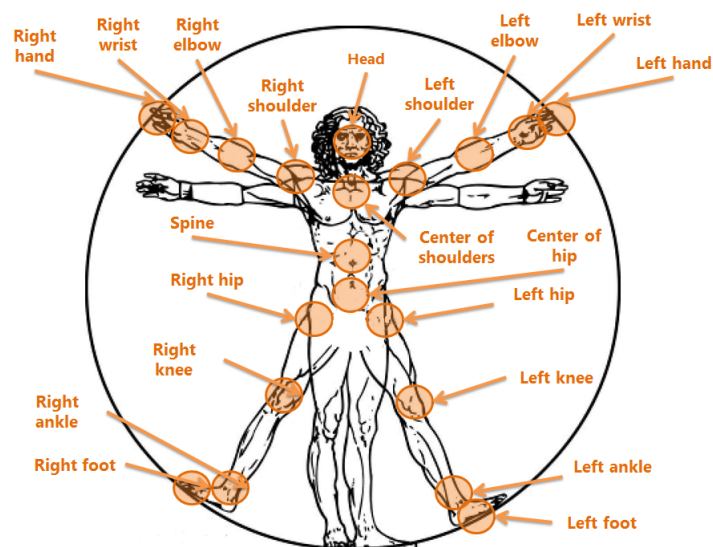


Figura 4.2: ©Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinnect [52]

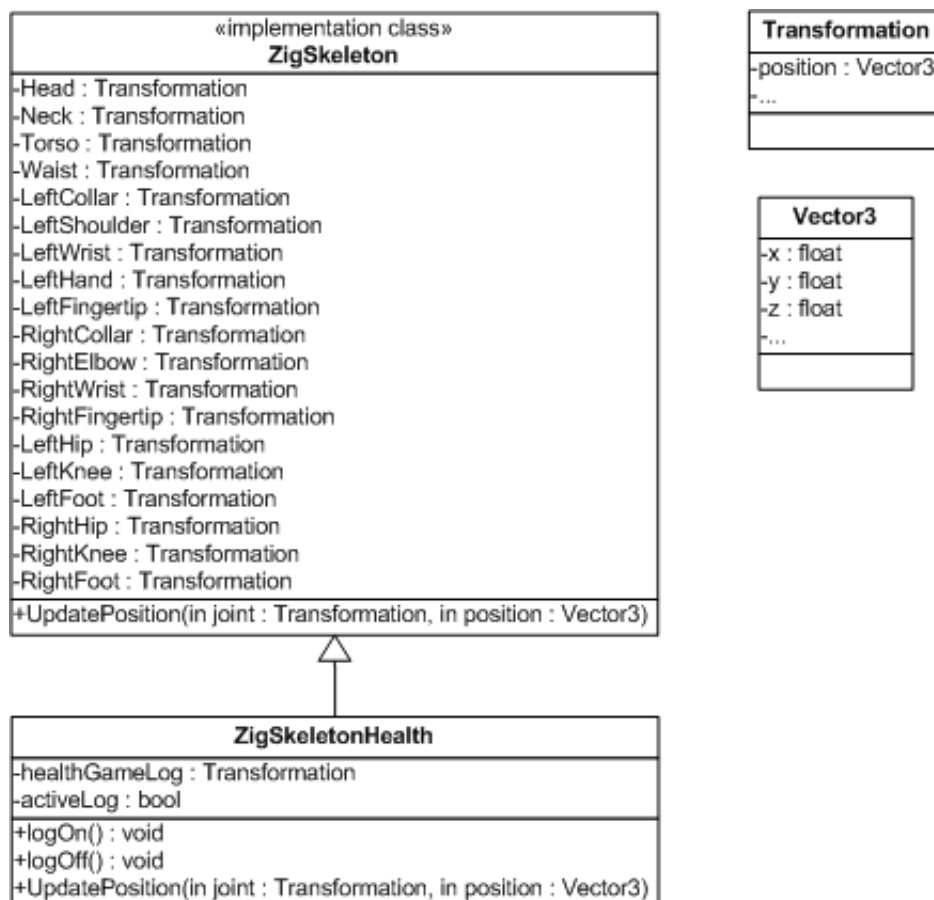


Figura 4.3: Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth

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 [71] 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.

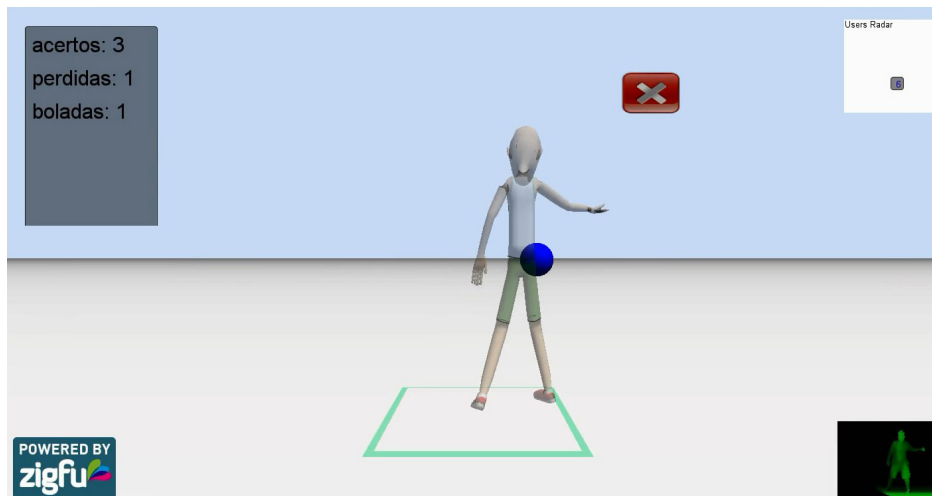


Figura 4.4: O jogo *Catch the Spheres*

#### 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, "idUsuario":1, "x":2.9097333, "y":6.770132, "z":2.0355952, "timestamp":1336134935706}, {"id":0, "idUsuario":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 [49] 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* [15]. 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,
2         WindowLengthRight] = identifyCycles(leftWristJoint, rightWristJoint)
3     signalLeft = leftWristJoint(:,3);
4     signalRight = rightWristJoint(:,3);
5
6     cycleIndexLeft = cycleperiodic(signalLeft, 500, 200, 40);
7     cycleIndexRight = cycleperiodic(signalRight, 500, 200, 40);
8
9     WindowBeginLeft = cycleIndexLeft(1);
10    WindowLengthLeft = cycleIndexLeft(size(cycleIndexLeft,2));
11    WindowBeginRight = cycleIndexRight(1);
12    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* [49], 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 Semiestruturada 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 [27]. 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 [27].

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 [27].

Para auxiliar no processo de: análise, seleção e codificação. Foi utilizado uma ferramenta de suporte à pesquisa qualitativa (*QDA Miner* [61]), por meio desta, foi possível categorizar e reformular a árvore de categorias [27] diversas vezes durante o processo de análise [27].

### 5.1.1 Objetivo da Pesquisa

O objetivo da entrevista semiestruturada [27] 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 [27].

### 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 [61] 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 semiestruturada, 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 [60; 35] e na tabela UPDRS [26] 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 [75; 77] em relação ao diagnóstico de exclusão do Parkinson [60; 35].

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* [26] 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 [60], 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 [23].

**[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 [26] 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 [55]. 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 [56; 81].

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 [69]. A técnica utilizada para a identificação dos requisitos desta pesquisa é baseada em pesquisa qualitativa, onde usou-se a entrevista semiestruturada na qual o entrevistador possui um conjunto de perguntas pré-definidas e guia a entrevista de acordo com a opinião do entrevistado [27]. 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 [75; 38; 43].

**REQ-ENTREVISTAS-02 :** Identificar a bradicinesia [59].

**REQ-ENTREVISTAS-03 :** Avaliar bradicinesia usando *finger-tapping* [63].

**REQ-ENTREVISTAS-04 :** Considerar e identificar a assimetria do movimento nos estágios iniciais [35].

**REQ-ENTREVISTAS-05 :** Fornecer mecanismos para possibilitar o Diagnóstico Diferencial [60] da Doença de Parkinson.

**REQ-ENTREVISTAS-06 :** Analisar a Marcha [73]. 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

O intuito dessa entrevista foi verificar junto aos profissionais de saúde, os benefícios trazidos pelo monitoramento em relação: a qualidade de vida e acompanhamento do tratamento do paciente.

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  |    |
| <b>QTD. OCORRÊNCIAS</b> | 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 [52] para avaliar a possibilidade de aquisição de dados de saúde baseada na Cinemática Linear do Movimento Humano [50]. A partir dos resultados obtidos, pretende-se avaliar e classificar a normalidade e dificuldade na execução de movimentos como, por exemplo, levantar um braço [50].

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 [26], 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 [50], 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 [64], 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 [50], 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 [34]. 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.

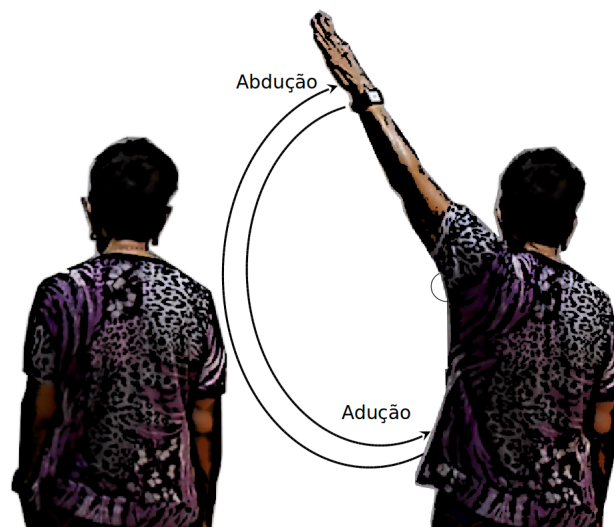


Figura 5.2: Movimentos de Abdução e Adução

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.   |

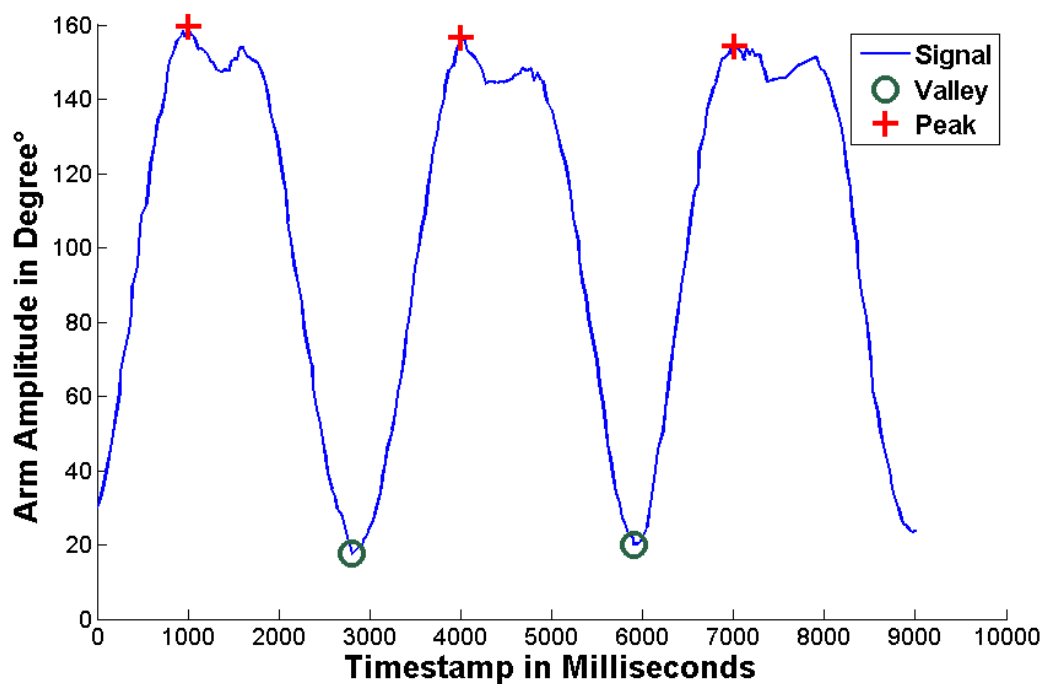


Figura 5.3: Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo

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 2.3) por ter obtido os melhores resultados dentre os *kernels* presentes no Matlab [49]: 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.

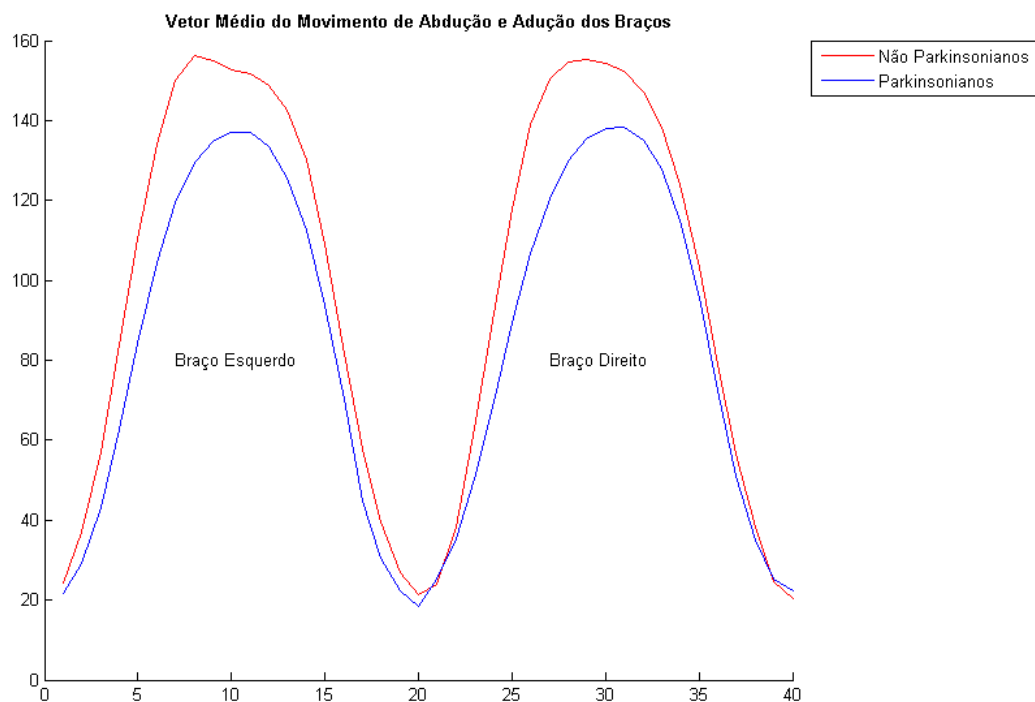


Figura 5.4: Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução

### Matriz de Confusão e Suas Métricas

Para avaliar o resultado da classificação, será apresentada a **matriz de confusão** [79], 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                  | Controle                   |
| <i>Classe Atual</i> | Parkinson | Verdadeiros Positivos (VP) | Falsos Negativos (FN)      |
|                     | Controle  | 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 [44] usando validação cruzada *Leave-One-Out* (LOOCV) [79]. 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 “Controle” e que possuem a doença, no entanto analisando as características do movimento dos indivíduos com Parkinson percebemos que eles apresentaram 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 esteja no iní-

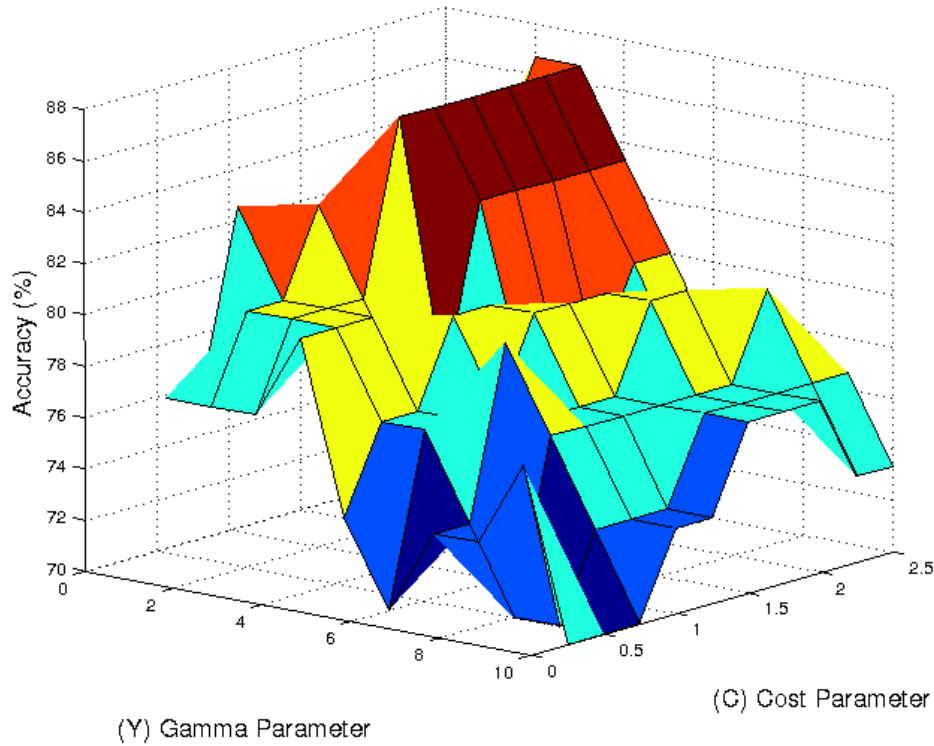


Figura 5.5: *Grid-Search* - Acurácia da Classificação

cio da doença, ou bem medicado, ou não apresentar este sinal motor o que corrobora com 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.

We assessed bradykinesia by measuring the amplitude and angular velocities in the adduction and abduction movements of the subjects. Therefore, the amplitude and angular velocities were the feature vectors for data classification [?]. In Table 5.6, we show the severity of motor disorder caused by bradykinesia, in which PD's patients present lower amplitudes. Notice that subject Control 10 presents amplitude values similar to the PD's patients. In this case, we checked that this subject has an uninformed motor disorder that caused the incorrect classification. Furthermore, some PD's patients, namely Parkinson 3,8 and 12, did not present the bradykinesia symptom. In this case, we assumed that these subjects did not have the symptom or it was successfully suppressed by medication.

Para demonstrar a avaliação do modelo de forma quantitativa usou-se um conjunto de métricas derivadas da matriz de confusão [79].

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

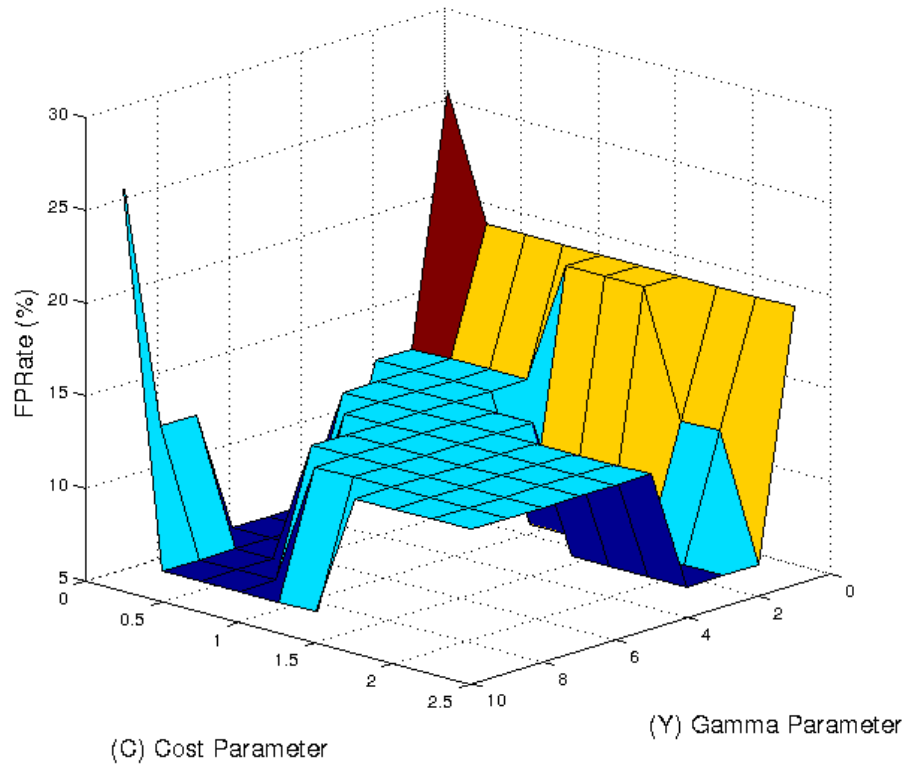


Figura 5.6: Grid-Search - FpRate

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

**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*:  $F - Measure = 2 * (Precision * TpRate)/(Precision + TpRate)$  .

### 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

Tabela 5.6: Results of Arm Abduction Amplitude

| Indivíduo    | Média da Amplitude Braço Esquerdo(°) | Média da Amplitude Braço Direito(°) | Classe Preditiva |
|--------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| Controle 1   | 153.62                               | 151.14                              | Controle         |
| Controle 2   | 165.31                               | 151.84                              | Controle         |
| Controle 3   | 155.44                               | 163.31                              | Controle         |
| Controle 4   | 169.12                               | 169.39                              | Controle         |
| Controle 5   | 157.20                               | 162.72                              | Controle         |
| Controle 6   | 162.99                               | 167.25                              | Controle         |
| Controle 7   | 166.90                               | 166.93                              | Controle         |
| Controle 8   | 154.68                               | 159.13                              | Controle         |
| Controle 9   | 162.31                               | 158.17                              | Controle         |
| Controle 10  | 135.22                               | 131.85                              | <b>Parkinson</b> |
| Controle 11  | 162.13                               | 167.61                              | Controle         |
| Controle 12  | 161.69                               | 166.78                              | Controle         |
| Controle 13  | 160.47                               | 155.05                              | Controle         |
| Controle 14  | 174.37                               | 167.66                              | Controle         |
| Controle 15  | 155.08                               | 167.83                              | Controle         |
| Parkinson 1  | 125.80                               | 119.73                              | Parkinson        |
| Parkinson 2  | 131.28                               | 123.49                              | Parkinson        |
| Parkinson 3  | 156.66                               | 149.46                              | <b>Controle</b>  |
| Parkinson 4  | 139.90                               | 142.83                              | Parkinson        |
| Parkinson 5  | 147.37                               | 153.13                              | Parkinson        |
| Parkinson 6  | 115.32                               | 123.56                              | Parkinson        |
| Parkinson 7  | 129.75                               | 133.04                              | Parkinson        |
| Parkinson 8  | 166.62                               | 165.63                              | <b>Controle</b>  |
| Parkinson 9  | 143.95                               | 140.45                              | Parkinson        |
| Parkinson 10 | 136.86                               | 151.03                              | Parkinson        |
| Parkinson 11 | 156.87                               | 142.93                              | Parkinson        |
| Parkinson 12 | 166.59                               | 157.81                              | <b>Controle</b>  |
| Parkinson 13 | 147.99                               | 142.02                              | Parkinson        |
| Parkinson 14 | 141.95                               | 150.60                              | Parkinson        |
| Parkinson 15 | 125.69                               | 140.62                              | Parkinson        |

usado em jogos eletrônicos, e que essas diferenças podem ser classificadas utilizando uma abordagem de aprendizagem de máquina.

Tabela 5.7: Resultado da Matriz de Confusão SVM

|                  | <i>Classe Preditiva</i> |                 |
|------------------|-------------------------|-----------------|
|                  | <b>Parkinson</b>        | <b>Controle</b> |
| <b>Parkinson</b> | 12                      | 3               |
| <b>Controle</b>  | 1                       | 14              |

Tabela 5.8: Métricas da Matriz de Confusão

| <b>Métricas</b>  |        |
|------------------|--------|
| <b>TpRate</b>    | 80,00% |
| <b>FpRate</b>    | 6,67%  |
| <b>Precision</b> | 92,31% |
| <b>Accuracy</b>  | 86,67% |
| <b>F-Measure</b> | 85,71% |

### 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) [68]. Essa abordagem é um paradigma de pesquisa utilizado na Engenharia de Software para medição de processos de software e melhoria contínua dos produtos [65; 56]. A qualidade do produto de software [65] 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 [56].

O GQM é um paradigma de avaliação orientado por metas e tem como componentes elementares: objetivos, questionamentos e a métricas [65]. 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 [68].

Segundo Saraiva [65], numa análise da aplicação do método de GQM para o contexto de avaliação de usabilidade de software, os componentes elementares do paradigma GQM são:



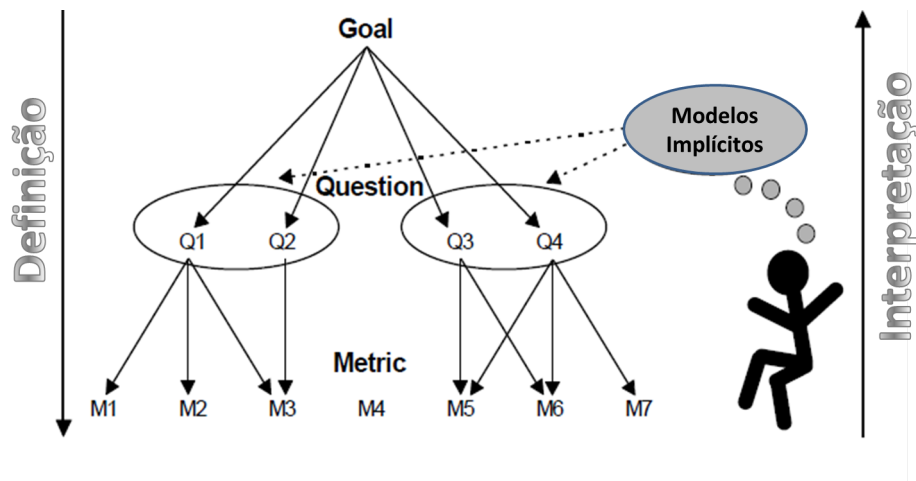


Figura 5.7: O Paradigma GQM © [68]

- **Objetivo:** Sua definição envolve o propósito da avaliação, o que deve ser avaliado, a perspectiva e o ambiente proposto.
- **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) [56], 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 [56].

### 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 5.9 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 5.9: 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%    |

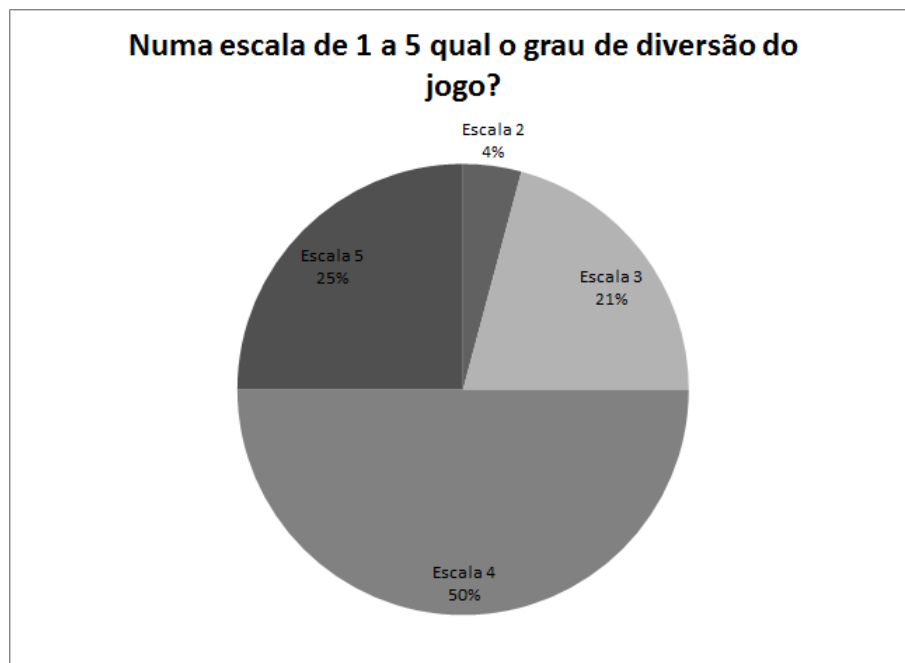


Figura 5.8: Resultado da Pergunta 1

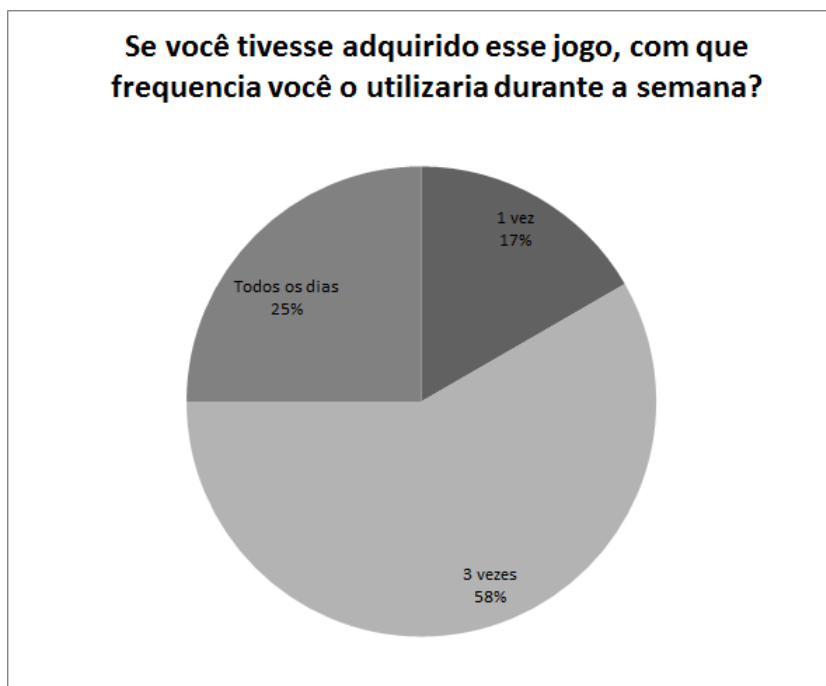


Figura 5.9: Resultado da Pergunta 3

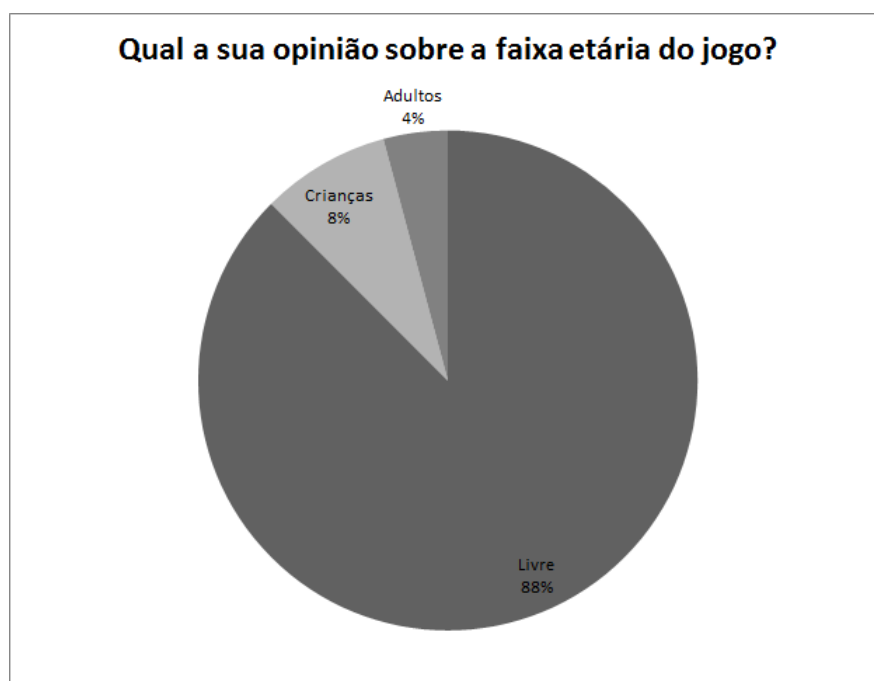


Figura 5.10: Resultado da Pergunta 10

### 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.

## Capítulo 6

### Conclusões e Trabalhos Futuros

Nos experimentos realizados, conseguimos demonstrar a importância do acompanhamento dos sinais motores, integrados à rotina diária do paciente do ponto de vista do profissional de saúde. Identificou-se nessa pesquisa: a importância de acompanhar a amplitude do movimento e a velocidade angular para acompanhamento da saúde motora.

A aquisição de dados motores usando sensores de movimento usados em jogos eletrônicos, Os estudos de aprendizagem de máquina com os dados motores adquiridos por meio de sensores de movimento usados em jogos eletrônicos, identificou a viabilidade do desenvolvimento de jogos para o monitoramento. Pois, obtivemos uma taxa de acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67% .

The biomechanical analysis of human movement is part of the diagnosis and treatment process for PD, where the patients are asked to lift their arms, one after the other, at the highest amplitude and velocity they are able to, in order to check the bradykinesia progress. The movement of abduction and adduction are joint actions which involve wrist, shoulder, and hip joints. To identify the movement of adduction and abduction of the arms, it is necessary to use a reference joint. Here, we focus on the wrist joint because its signal has higher amplitude when compared to the other joints. We used the *peaks and valleys* technique to identify the beginning and the end of the movement cycle (Fig. 5.3). After the cycle identification, we extract a window length with the cycle movement and transform the MS-Kinect data into angles. Thus, we calculate the angular motion of the movement and consequently the angle displacement of the adduction and abduction movements.

A análise GQM forneceu indícios de que a abordagem JOGUE-ME apresentada nessa Proposta permite o monitoramento de dados de forma não invasiva, e factível de integrar a solução a rotina diária dos usuários. Entretanto, o tempo utilizado para jogar foi insuficiente para aplicar as técnicas de processamento dos dados apresentados nesta abordagem, pois os jogadores tiveram bastante liberdade de movimento e poucos efetuaram os movimentos de abdução e adução do braço. Caso, os mesmos indivíduos participassem de um tempo maior no jogo, consequentemente eles poderiam efetuar o movimento e seria possível adquirir

esses dados. Para chegarmos a resultados semelhantes aos apresentados na Seção 5.2 em um espaço de tempo menor, é necessário desenvolver um novo jogo com as ações específicas de realização do movimento de adução e abdução do braço, além de realizar uma nova coleta de dados.

Ao final desta tese, concluímos que a abordagem de ac baseada em jogos para acompanhar os sinais do Parkinson. Conseguiu, motivar o usuário a fornecer sinais motores, permitindo o acompanhamento do tratamento a partir dos dados biomecânicos fornecidos. Nesta tese, foi possível monitorar o sintoma da bradicinesia do Parkinson usando os movimentos de adução e abdução. No qual, foi calculada a amplitude e respectiva velocidade angular deste movimento para avaliar o sintoma de bradicinesia. Este método é normalmente utilizado por neurologistas para distinguir os movimentos normais e anormais. Logo, conseguimos atingir o principal objetivo da tese, ao permitir que os pacientes do Parkinson pudessem ser monitorados de maneira não-invasiva e no conforto de seus lares.

Como trabalhos futuros pretendemos: identificar o progresso do Parkinson de acordo com as fases da doença [60], monitorar um indivíduo em diferentes momentos do dia e realizar estudos de multiclassificação com outras doenças motoras.

# Bibliografia

- [1] Aarhus, Rikke and Stinne Aaløkke Ballegaard: *Negotiating boundaries: managing disease at home*. In *International Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2010.
- [2] Albanese, Alberto and Joseph Jankovic: *Hyperkinetic Movement Disorder - Differential Diagnosis and Treatment*. Wiley-Blackwell, 2012.
- [3] Alemdar, Hande and Cem Ersoy: *Wireless sensor networks for healthcare: A survey*. Computer Networks, 2010.
- [4] Alemdar, Hande, Can Tunca, and 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, J  lio Serr  o, Rubens Araujo, and Luiz Mochizuki: *Introdução   biomecânica para análise do movimento humano*. Revista Brasileira De Fisioterapia, 1999.
- [6] Arnrich, Bert, Oscar Mayora, Jakob Bardram, and Gerhard e Tr  ster: *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] Association, Entertainment Software: *Essential facts about the u.s. computer and video game industry: Sales, demophahy and usage data*, 2015.
- [10] Atkinson, S.D. and V.L. Narasimhan: *Design of an introductory medical gaming environment for diagnosis and management of parkinson's disease*. In *Trendz in Information Sciences Computing*, 2010.



- [11] Bachlin, M., M. Plotnik, D. Roggen, N. Inbar, N. Giladi, J. Hausdorff, and G. Tröster: *Parkinsons disease patients perspective on context aware wearable technology for auditive assistance*. In *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. IEEE, 2009.
- [12] Ballegaard, Stinne Aaløkke, Thomas Riisgaard Hansen, and Morten Kyng: *Healthcare in everyday life: designing healthcare services for daily life*. In *Conference on Human factors in computing systems*. ACM, 2008.
- [13] Barger, Tracy, Donald Brown, and Majd Alwan: *Health status monitoring through analysis of behavioral patterns*. In *Congress of the Italian Association for Artificial Intelligence on Ambient Intelligence*. Springer-Verlag, 2003.
- [14] Bartolome, N.A., A.M. Zorrilla, and 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*. In *International Conference on Computer Games*. ACM, 2011.
- [15] Billauer, Eli: *Peak detection in matlab*. Software, Disponível em: <http://www.billauer.co.il/peakdet.html>, 2012.
- [16] Brox, E., L.F. Luque, G.J. Evertsen, and J.E.G. Hernandez: *Exergames for elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity*. In *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. IEEE, 2011.
- [17] Callioli, Carlos, Hygino Domingues, and Roberto Costa: *Álgebra Linear E Aplicações*. Atual, 1990.
- [18] Chamasemani, F. F. and Y. P. Singh: *Multi-class support vector machine (svm) classifiers – an application in hypothyroid detection and classification*. In *Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), 2011 Sixth International Conference on*, pages 351–356, Sept 2011.
- [19] Chen, Huan, Guo Tan Liao, Yao Chung Fan, Bo Chao Cheng, Cheng Min Chen, and Ting Chun Kuo: *Design and implementation of a personal health monitoring system with an effective svm-based pvc detection algorithm in cardiology*. In *Symposium On Applied Computing*. ACM, 2014.
- [20] Cho, Chien Wen, Wen Hung Chao, Sheng Huang Lin, and You Yin Chen: *A vision-based analysis system for gait recognition in patients with parkinson's disease*. *Expert Syst. Appl.*, 2009.

- [21] Cleraux, Charline, Carroll Croarkin, James Filliben, Will Guthrie, Alan Heckert, Mark Reeder, Tom Ryan, Jolene Splett, and Nien Fan Zhang: *Nist/Sematech Engineering Statistics Handbook*. 2003.
- [22] Das, S., L. Trutoiu, A. Murai, D. Alcindor, M. Oh, F. De la Torre, and J. Hodgins: *Quantitative measurement of motor symptoms in parkinson's disease: A study with full-body motion capture data*. In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*, pages 6789–6792, September 2011.
- [23] Do, Stewart and William Weiner: *Parkinson's Disease: Diagnosis Clinical Management*. Demos Medical Publishing, 2007.
- [24] Dodge, Yadolah, David Cox, Daniel Commenges, Anthony Davison, Patty Solomon, and Suzan Wilson: *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. Oxford University Press, 2006.
- [25] Elaine ThumÃ©, Luiz Augusto Facchini, Grace Wyshak and Paul Campbell: *The utilization of home care by the elderly in brazil's primary health care system*. Am J Public Health, 2011.
- [26] Fahn, S. and R. Elton: *Unified parkinson's disease rating scale*. In *Recent developments in Parkinson's disease*. Macmillan Health Care Information, 1987.
- [27] Flick, Uwe: *Pesquisa Qualitativa*. Bookman, 2004.
- [28] Friedman, N., J.B. Rowe, D.J. Reinkensmeyer, and M. Bachman: *The manumeter: A wearable device for monitoring daily use of the wrist and fingers*. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2014.
- [29] Gabel, Moshe, Ran Gilad-Bachrach, Erin Renshaw, and Assaf Schuster: *Full body gait analysis with kinect*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2012.
- [30] GonÃ§alves, Valter Filipe Carnim: *AnÃ¡lise comparativa dos classificadores mÃ¡quinas de suporte vectorial e redes neuronais artificiais: AplicaÃ§Ã£o na detecÃ§Ã£o de peÃ§as e veÃculos*. DissertaÃ§Ã£o de mestrado, Universidade de Coimbra, 2010.
- [31] Goulart, FÃ¡tima and Luciana Xavier Pereira: *Uso de escalas para avaliaÃ§Ã£o da doenÃ§a de parkinson em fisioterapia*. Fisioterapia e Pesquisa, 2005.
- [32] Graziadio, S., R. Davison, K. Shalabi, K. M. A. Sahota, G. Ushaw, G. Morgan, and J. A. Eyre: *Bespoke video games to provide early response markers to identify the optimal strategies for maximizing rehabilitation*. In *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing, SAC '14*, 2014.

- [33] Guy, Stacey, Alexandria Ratzki-Leewing, and Femida Gwadry-Sridhar: *Moving beyond the stigma: Systematic review of video games and their potential to combat obesity*. International Journal of Hypertension, 2011.
- [34] Hamill, Joseph and Kathleen Knutzen: *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. 2012.
- [35] Health, National Institute for and Clinical Excellence: *Parkinson's Disease: Diagnosis and Management in Primary and Secondary Care*. 2006.
- [36] Hoehn, M M and M D Yahr: *Parkinsonism: onset, progression, and mortality*. 1967. Neurology, 2001.
- [37] Jankovic, J: *Parkinson's disease: clinical features and diagnosis*. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 2008.
- [38] Keijsers, N. L., M. W. Horstink, and S. C. Gielen: *Ambulatory motor assessment in parkinson's disease*. Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society, 2006.
- [39] Kostek, Bozena, Katarzyna Kaszuba, Pawel Zwan, Piotr Robowski, and Jaroslaw Slawek: *Automatic assessment of the motor state of the parkinson's disease patient - a case study*. Diagn Pathol, 2012.
- [40] L Graves, G Stratton, ND Ridgers and NT Cable .: *Energy expenditure in adolescents playing new generation computer games*. Br J Sports Med, 2008.
- [41] Leite-Cavalcanti, Christiane, Maria da Conceição Rodrigues-Gonçalves, Luiza Sonia Rios-Asciutti, and Alessandro Leite-Cavalcanti: *Prevalência de doenças crônicas e estado nutricional em um grupo de idosos brasileiros*. Rev. salud pública., 2009.
- [42] LeMoyne, R., C. Coroian, and T. Mastroianni: *Quantification of parkinson's disease characteristics using wireless accelerometers*. In *International Conference on Complex Medical Engineering*. CME, 2009.
- [43] LeMoyne, R., T. Mastroianni, M. Cozza, C. Coroian, and W. Grundfest: *Implementation of an iphone for characterizing parkinson's disease tremor through a wireless accelerometer application*. In *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2010.
- [44] Li, Cheng Hsuan, Chin Teng Lin, Bor Chen Kuo, and H. H. Ho: *An automatic method for selecting the parameter of the normalized kernel function to support vector machines*. In *International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence*. IEEE, 2010.

- [45] Liao, Chien Ke, Chung Dial Lim, Ching Ying Cheng, Cheng Ming Huang, and Li Chen Fu: *Vision based gait analysis on robotic walking stabilization system for patients with parkinson's disease*. In *International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*. IEEE, 2014.
- [46] Limongi, João Carlos Papaterra: *Conhecendo Melhor A Doença De Parkinson: Uma Abordagem Multidisciplinar Com Orientações Práticas Para O Dia-A-Dia*. 2001.
- [47] Maitland, Julie and Katie A. Siek: *Technological approaches to promoting physical activity*. In *Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group*. ACM, 2009.
- [48] Mandryk, ReganL., KathrinM. Gerling, and KevinG. Stanley: *Designing games to discourage sedentary behaviour*. In *Playful User Interfaces*. Springer Singapore, 2014.
- [49] Mathworks: *Matlab r2011a. Software*, Disponível em: <http://mathworks.com/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.
- [50] McGinnis, Peter: *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, 2013.
- [51] Meneses, Murilo and Hélio Teive: *Doença De Parkinson*. Guanabara Koogan, 2003.
- [52] Microsoft: *Ms-kinnect*. Disponível em: <http://www.xbox.com/pt-BR/kinect>.
- [53] Milena Rodrigues, Luciane Costa Campos: *Estratégia para o tratamento com levodopa na doença de parkinson*. Revista Analytica, 2006.
- [54] Mobyen Uddin Ahmed, Hadi Banaee and Amy Loutfi: *Health monitoring for elderly: An application using case-based reasoning and cluster analysis*. ISRN Artificial Intelligence, 2013.
- [55] Nuseibeh, Bashar and Steve Easterbrook: *Requirements engineering: A roadmap*. In *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. ACM, 2000.
- [56] Oliveira Bastos Junior, Paulo Roberto de: *Elicitao de requisitos de software através da utilizao de questionrios*. Dissertao de mestrado, PUC-Rio, 2005.
- [57] Organization, World Health: *Global health and ageing*. Technical report, Who; US National Institute of Aging, 2011.
- [58] Papastergiou, Marina: *Exploring the potential of computer and video games for health and physical education: A literature review*. Computation Education, 2009.

- [59] Patel, S., K. Lorincz, R. Hughes, N. Huggins, J. Growdon, D. Standaert, M. Akay, J. Dy, M. Welsh, and P. Bonato: *Monitoring motor fluctuations in patients with parkinson's disease using wearable sensors*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2009.
- [60] Picon, Paulo, Maria Gadelha, and Alberto Beltrame: *Protocolo Clínico E Diretrizes Terapêutica - Doença de Parkinson*. Ministério da Saúde, 2010.
- [61] 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.
- [62] Rowland, Lewis: *Tratado De Neurologia*. Guanabara Koogan, 2011.
- [63] Sano, Y., A. Kandori, T. Miyoshi, T. Tsuji, K. Shima, M. Yokoe, and S. Sakoda: *Severity estimation of finger-tapping caused by parkinson's disease by using linear discriminant regression analysis*. In *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*,. EMBC, 2012.
- [64] Santos Júnior, Antônio Dias dos: *Arcabouço de software para a aquisição de dados de através de jogos eletrônicos*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- [65] 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 agropecuario*. Dissertação de mestrado, Universidade Metodista De Piracicaba, 2006.
- [66] Sinclair, Jeff, Philip Hingston, and Martin Masek: *Considerations for the design of exergames*. Technical report, ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2007.
- [67] Sinclair, Jeff, Philip Hingston, Martin Masek, and Kazunori (Ken) Nosaka: *Using a virtual body to aid in exergaming system development*. IEEE Computer Graphics Applications, 2009.
- [68] Solingen, Rini and Egon Berghout: *The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*. McGraw-Hill, 1999.
- [69] Sommerville, Ian: *Engenharia de software*. Pearson, 2011.
- [70] Suhonen, Katja, Heli Väättäjä, Tytti Virtanen, and Roope Raisamo: *Seriously fun: exploring how to combine promoting health awareness and engaging gameplay*. In *International Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era*. ACM, 2008.

- [71] Sweetser, Penelope and Peta Wyeth: *Gameflow: a model for evaluating player enjoyment in games*. Computation Entertainment, 2005.
- [72] Synnott, J., Liming Chen, C.D. Nugent, and G. Moore: *Wiipd objective home assessment of parkinson's disease using the nintendo wii remote*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2012.
- [73] Tao, Weijun, Tao Liu, Rencheng Zheng, and Hutian Feng: *Gait analysis using wearable sensors*. Sensors, 2012.
- [74] Technologies, Unity: *Unity 3d 3.0. Software*, Disponível em: <http://unity3d.com/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.
- [75] Tolosa, Eduardo, Gregor Wenning, and Werner Poewe: *The diagnosis of parkinson's disease*. The Lancet Neurology, 2006.
- [76] Vapnik, Vladimir: *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag New York, Inc., 1995.
- [77] Vedolin, Leonardo: *Avaliação da doença de parkinson pela ressonância magnética*. Radiologia Brasileira, 2003.
- [78] Vicini, Lorena: *Análise multivariada da teoria e prática*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [79] Witten, Ian and Eibe Frank: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011.
- [80] Zigfu: *Zigfu 4.0. Software*, Disponível em: <http://zigfu.com/>. Último acesso: 23 de Novembro de 2015.
- [81] Zowghi, Didar and Chad Coulin: *Requirements elicitation: A survey of techniques, approaches, and tools*. In *Engineering and Managing Software Requirements*. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [82] Zwartjes, D.G.M., T. Heida, J.P.P. van Vugt, J.A.G. Geelen, and 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 [?; 43] 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 [77; 75]. 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 [75; 53].

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 [60]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [60]. 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 [62] 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 [51]. 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 [60].

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 [53]. 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 [53].

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 [60] e estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [35]. 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 [60].

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 [39; 59].

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 [53].

A partir dos tratamentos para a Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [26; 36]. 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 [26; 31]. Sendo assim, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale – UPDRS) [26] 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 [31].

Na UPDRS a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [26]:

- **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 [39; 72; 59].

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 [72; 43] 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 [70]. 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 [12; 2; 11; 20; 59]. 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 [71].

## 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 [26].

### 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 [26], 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.

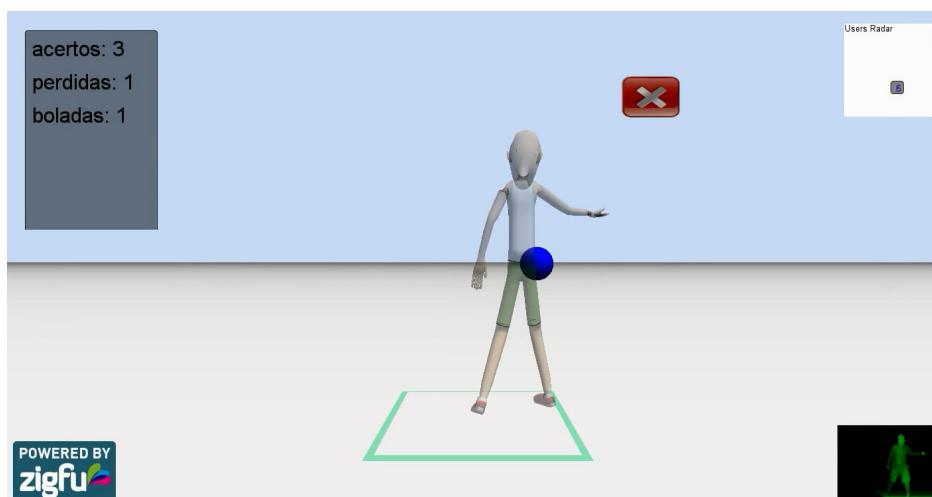


Figura A.1: O jogo *Catch the Spheres*

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 [68]. 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 [35]. 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 [68].

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

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