

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

## Monitoramento de Dados Motores Por Intermédio de Jogos Eletrônicos

Leonardo Melo de Medeiros

Proposta de 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, Março de 2014

## **Resumo**

O uso da computação pervasiva aplicada ao contexto de saúde pode melhorar a qualidade de vida dos usuários ao fornecer remotamente informações sobre o estado de saúde. Por outro lado, a concepção de um sistema pervasivo não invasivo de monitoramento de dados motores ainda é um grande desafio multidisciplinar. Estes sistemas, apesar do avanço na tecnologia, ainda são visíveis e estereotipados, dificultando assim 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 2011, os jogadores de videogame possuíam em média 37 anos e 29% 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 semi-estruturada 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, 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 de verdadeiros positivos de 80,00% e falsos positivos de 16,67%. Desta forma, concluiu-se que a abordagem proposta permite desenvolver jogos eletrônicos que servem como uma forma não invasiva para monitorar dados motores.

## **Abstract**

Applying pervasive computing to health's context 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 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 80% rate of true positive identification and 16.67% 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 . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	5
1.2.1	Objetivo Principal . . . . .	5
1.2.2	Objetivos Específicos . . . . .	5
1.3	Metodologia . . . . .	6
1.4	Trabalhos Relacionados . . . . .	7
1.5	Contribuições . . . . .	8
1.6	Organização do Documento . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>10</b>
2.1	Processo de Desenvolvimento de Jogos . . . . .	10
2.2	Doença de Parkinson . . . . .	13
2.2.1	Diagnóstico . . . . .	14
2.2.2	Principais Sintomas da Doença de Parkinson . . . . .	15
2.2.3	Escalas e os Estágios da Doença . . . . .	16
2.3	Cinemetria . . . . .	17
2.3.1	Movimento Cinético . . . . .	18
2.3.2	Movimento Angular . . . . .	18
2.3.3	Análise da Marcha . . . . .	19
2.4	Classificadores de Dados . . . . .	20
2.4.1	Análise dos Componentes Principais . . . . .	21
2.4.2	Máquinas de Vetor de Suporte (SVM) Lineares . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Abordagem GAHME</b>	<b>27</b>
3.1	Definição de Requisitos da Solução . . . . .	27
3.2	Visão geral da solução . . . . .	28
3.3	Aquisição de Dados . . . . .	29
3.4	Processamento de Dados Biomecânicos . . . . .	29
3.4.1	Identificação de Ciclos de Movimento . . . . .	30

3.4.2	Extração das Características do Movimento . . . . .	31
3.4.3	Filtragem de Dados . . . . .	34
3.5	Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem . . . . .	37
3.6	Visualização dos Dados . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Arquitetura de Software para GAHME</b>	<b>41</b>
4.1	Aquisição de Dados . . . . .	41
4.1.1	Arquitetura do Cliente GAHME . . . . .	42
4.1.2	Arquitetura do Servidor GAHME Webservice . . . . .	44
4.1.3	Módulo de Escrita . . . . .	47
4.2	Processador de Dados Biomecânicos . . . . .	48
4.2.1	Identificação dos Ciclos de Movimento . . . . .	48
4.2.2	Extração das Características do Movimento . . . . .	49
4.2.3	Filtragem de Dados . . . . .	50
4.3	Classificador de Dados . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Processo de Desenvolvimento de Jogos Eletrônicos Com Monitoramento de Dados de Saúde</b>	<b>52</b>
5.1	Visão Geral . . . . .	52
5.2	Papéis e Responsabilidades . . . . .	53
5.2.1	Game Designer . . . . .	53
5.2.2	Game Health Designer . . . . .	54
5.2.3	Engenheiro de Software . . . . .	54
5.2.4	Profissional de Saúde . . . . .	55
5.3	Fase: Conceito . . . . .	55
5.3.1	Atividade: Identificar Público Alvo . . . . .	56
5.3.2	Atividade: Estudar Sintomas . . . . .	57
5.3.3	Avaliar Sintomas Monitoráveis . . . . .	58
5.3.4	Reportar Inviabilidade do Projeto . . . . .	58
5.4	Fase: Pré-Produção . . . . .	59
5.4.1	Submeter Projeto ao Comitê de Ética . . . . .	61
5.4.2	Verificar Eficácia do Jogo . . . . .	62
5.4.3	Atividade: Elaborar GAHME Design . . . . .	62
5.5	Artefatos . . . . .	62
5.5.1	Diretrizes Médicas . . . . .	63
5.5.2	GAHME Action Design . . . . .	63
<b>6</b>	<b>Avaliação Experimental</b>	<b>65</b>
6.1	H1 - Entrevista Semi-Estruturada com Profissionais de Saúde . . . . .	65

6.1.1	Objetivo da Pesquisa . . . . .	66
6.1.2	Perfil dos Participantes . . . . .	67
6.1.3	Análise . . . . .	68
6.1.4	Requisitos Identificados . . . . .	74
6.1.5	Conclusão . . . . .	77
6.2	H2 - Estudo de Caso 1: Análise dos Componentes Principais na <i>Parkinson Disease Database</i> . . . . .	77
6.2.1	Materiais . . . . .	78
6.2.2	Aplicação do Método . . . . .	79
6.2.3	Resultados . . . . .	80
6.2.4	Limitações do Método . . . . .	85
6.3	H2 - Estudo de Caso 2: Máquina de Vetor de Suporte para Estudo Analítico de Caso Controle Por Intermédio de Sensor de Movimento Usados em Jogos Eletrônicos . . . . .	85
6.3.1	Estudo analítico de caso-controle . . . . .	86
6.3.2	Aplicação do Método . . . . .	89
6.3.3	Resultados . . . . .	89
6.3.4	Limitações do Método . . . . .	91
6.4	H3 - <i>Goal Question Metric</i> Com Usuários Participantes da Pesquisa . . . .	91
6.4.1	Aplicação do Método . . . . .	93
6.4.2	Resultados . . . . .	93
6.4.3	Conclusão . . . . .	96
<b>7</b>	<b>Estado Atual do Trabalho</b>	<b>97</b>
<b>A</b>	<b>Projeto do Comitê de Ética</b>	<b>108</b>
A.1	Resumo . . . . .	108
A.2	Introdução . . . . .	108
A.3	Problemática . . . . .	112
A.4	Objetivo . . . . .	112
A.4.1	Específicos . . . . .	112
A.5	Material E Metodoo . . . . .	113
A.5.1	Tipo de Estudo . . . . .	113
A.5.2	Local . . . . .	113
A.5.3	Amostra . . . . .	113
A.5.4	Formas de Recrutamento . . . . .	113
A.5.5	Material . . . . .	114
A.5.6	Procedimentos . . . . .	114
A.5.7	Base de Dados . . . . .	115

A.5.8	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	115
A.5.9	Confidencialidade	116
A.5.10	Critérios Para Interromper a Pesquisa	116
A.5.11	Relação Risco Benefício da Pesquisa	116
A.5.12	Infra-Estrutura	116
A.6	Etapas da Pesquisa e Cronograma	117
A.6.1	Etapa da Pesquisa	117
A.6.2	Cronograma	117
A.7	Orçamento Estimado	118
<b>B</b>	<b>Questionário Entrevista Semi-Estruturada</b>	<b>119</b>
B.1	Entrevista com Profissionais de Neurologia	119
B.1.1	Sintomas da Doença de Parkinson	119
B.1.2	Monitoramento de dados Motores	119
B.1.3	Benefícios	120
<b>C</b>	<b>Critérios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson</b>	<b>122</b>
<b>D</b>	<b>Questionário GQM</b>	<b>124</b>

# Lista de Símbolos

**CEP** Comitê de Ética em Pesquisa

**DP** Doença de Parkinson

**ER** Engenharia de Requisitos

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

**SPEM** *Software Process Engineering Metamodel*

**SVM** Máquina de Vetor de Suporte

**FVRS** Força Vertical de Reação do Solo

**PCA** Análise de Componentes Principais



# Lista de Figuras

1.1	<i>G-Link Wireless Accelerometer</i> - Instrumento usado no trabalho de LeMoyne para quantificar o tremor da Doença de Parkinson . . . . .	2
1.2	Disposição dos Sensores de Movimento (SHIMMER) no corpo no trabalho de Patel . . . . .	3
1.3	Aplicação para iPhone que caracteriza sinais de tremor . . . . .	3
1.4	Processo de Identificação do Problema e Proposta da Tese . . . . .	4
2.1	Fases de um processo de desenvolvimento de jogos dirigido a planos © . .	11
2.2	Fases de um processo de desenvolvimento ágil© . . . . .	12
2.3	Movimentos de Abdução e Adução do Braço . . . . .	19
2.4	Subdivisão do ciclo de marcha ilustra as fases de apoio e balanço e períodos de apoio simples e duplo apoio . . . . .	20
2.5	Vetor Médio dos Ciclos da Marcha . . . . .	22
2.6	Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes . . . . .	25
3.1	Visão Geral da Abordagem <i>GAHME</i> . . . . .	29
3.2	Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinnect na Posição Y . . . . .	30
3.3	Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal . .	31
3.4	Remoção de Ruídos . . . . .	32
3.5	Produto Escalar Entre 2 Vetores . . . . .	33
3.6	Amplitude do Movimento de Abdução e Adução . . . . .	33
3.7	Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço . . . . .	34
3.8	Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados . . . . .	36
3.9	Ciclo de Movimento Removido . . . . .	37
3.10	Ciclos de Movimento Abdução e Abdução Usados na Classificação . . . .	38
4.1	Extensão da Arquitetura do Sistema Proposta por Santos Jr. . . . .	41
4.2	Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinnect	43
4.3	Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth . . . . .	43
4.4	O jogo <i>Catch the Spheres</i> . . . . .	44

4.5	Diagrama de Classes do Arcabouço . . . . .	45
5.1	Fase de Conceito do <i>GAHME Process</i> . . . . .	56
5.2	Fase de Pré-Produção do <i>GAHME Process</i> . . . . .	60
6.1	Posição dos sensores . . . . .	78
6.2	<i>Ultraflex Computer Dyno Graphy</i> . . . . .	79
6.3	Projeção das componentes principais no autoespaço dos dados da <i>Parkinson Disease Database</i> . . . . .	80
6.4	Projeção no autoespaço e visualização da mudança de projeção de 1 Indivíduo por grupo . . . . .	81
6.5	Erro estimado em cada etapa da aprendizagem usando o método de validação cruzada <i>10-K-Fold</i> . . . . .	83
6.6	Resultado da classificação indivíduos diagnosticados com parkinson versus indivíduos sem o diagnóstico por meio da distância euclidiana no autoespaço . . . . .	83
6.7	Movimentos de Abdução e Adução . . . . .	88
6.8	Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução . . . . .	90
6.9	O Paradigma GQM © . . . . .	92
6.10	Resultado da Pergunta 1 . . . . .	94
6.11	Resultado da Pergunta 3 . . . . .	95
6.12	Resultado da Pergunta 10 . . . . .	95
A.1	O jogo <i>Catch the Spheres</i> . . . . .	114

# Lista de Tabelas

3.1	Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da Doença de Parkinson (DP) . . . . .	39
3.2	Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da DP . . . . .	39
4.1	Operações disponibilizadas pelo <i>web service</i> . . . . .	46
6.1	Perfil dos Participantes . . . . .	67
6.2	Matriz Rastreabilidade: Fragmento x Requisitos . . . . .	76
6.3	Requisitos Implementados . . . . .	77
6.4	Descrição da Matriz de Confusão . . . . .	84
6.5	Resultado da Matriz de Confusão . . . . .	84
6.6	Métricas da Matriz de Confusão . . . . .	85
6.7	Resultado da Matriz de Confusão SVM . . . . .	90
6.8	Métricas da Matriz de Confusão . . . . .	91
6.9	Métricas Avaliadas do <i>GQM</i> . . . . .	94
7.1	Cronograma de Conclusão . . . . .	98
A.1	Etapas da Pesquisa . . . . .	117
A.2	Cronograma . . . . .	117
A.3	Material Permanente . . . . .	118
A.4	Material de Consumo . . . . .	118
D.1	O Questionário GQM . . . . .	124

# Lista de Códigos Fonte

2.1	Código de Predição da Classes . . . . .	26
3.1	Código do Ângulo Relativo por Produto Escalar . . . . .	33
3.2	Filtro dos Ciclos . . . . .	35
4.1	Função de Ciclo Periódico . . . . .	48
4.2	Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico . . . . .	49
4.3	Calcular ângulos relativos do movimento . . . . .	49
4.4	Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução . . . . .	50
4.5	Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução . . . . .	50
4.6	Uso de Máquina de Vetor de Suporte para Classificação dos Dados . . . . .	51

# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas décadas os jogos eletrônicos estiveram presentes no cotidiano das pessoas e acompanharam o crescimento e amadurecimento de seus usuários, evoluindo para plataformas cada vez mais poderosas como PS3 e Xbox 360 [1]. A *Entertainment Software Association*, que é uma associação formada pelas principais fabricantes americanas de jogos eletrônicos, publicou uma pesquisa constatando que no ano de 2011 os jogadores americanos possuíam em média 37 anos e 29% tinham mais de 50 anos.

Os jogos para a prática de exercício físico doravante *Exergames* se tornaram extremamente populares e estudos já comprovam seus benefícios em relação ao aumento da atividade física [2]. A principal motivação para o seu desenvolvimento se deve ao estilo de vida atual das pessoas, que fazem uso de diversos dispositivos eletrônicos em seu cotidiano diminuindo a atividade física, ocasionando numa redução da qualidade de vida dos indivíduos [3]. Por esse motivo, pretende-se com o uso destes jogos motivar a prática da atividade física através de execução de movimentos específicos que permitem a queima de calorias e consequentemente uma melhora da saúde [4]. A prática da educação física num ambiente controlado como um jogo eletrônico é segura pois permite que as pessoas realizem movimentos específicos. Dependendo do ambiente do jogo é possível inclusive auxiliar na correção postural motivacional para a prática do exercício físico, fornecendo uma avaliação da atividade física desempenhada [5; 6; 4].

Desde 2005 os jogos eletrônicos fazem uso de dispositivos como acelerômetros, giroscópio, dispositivos de captura de movimento possibilitando que o usuário fique mais imerso no universo do jogo através da análise de seus movimentos. Como o uso desses dispositivos se encontra embutido no contexto do jogo, possivelmente o usuário não sentiria desconforto caso os jogos eletrônicos fossem utilizados para monitorar seus dados motores. Desta forma, a abordagem *GAHME* pretende realizar o monitoramento motor por meio de um jogo eletrônico que captura, processa dados e identifica sintomas de distúrbios do movimento.

A presente pesquisa parte do pressuposto que os sintomas motores podem ser capturados por intermédio dos sensores de movimento [7; 8; 9] e que estes podem ser usados dentro

de um cenário de jogo eletrônico. Este trabalho agrega a capacidade de monitorar sintomas motores do usuário dentro de um ambiente de jogo eletrônico e, por meio destes, os usuários podem integrá-lo na rotina aumentando assim a frequência do monitoramento dos dados motores.

## 1.1 Problemática

Os sistemas de monitoramento motor fazem uso de sensores sem fio e vestíveis (*wearable*) que podem ser incorporados na roupa ou no corpo do usuário. Esses sistemas permitem um monitoramento contínuo dos dados motores. Porém, os dispositivos são considerados invasivos e estereotipados [10], pelos usuários o que inibe sua disseminação e uso [11]. Como pode ser visto nos trabalhos que se propõem a monitorar dados motores [12; 8] (Figuras: 1.1,1.2), percebe-se a dificuldade de integrar esses dispositivos à rotina dos usuários, e impacta diretamente na possibilidade de realizar um monitoramento frequente dos sintomas motores.



Figura 1.1: *G-Link Wireless Accelerometer* - Instrumento usado no trabalho de LeMoyne [12] para quantificar o tremor da Doença de Parkinson

Em um trabalho mais recente, LeMoyne [13] conseguiu quantificar os sintomas dos tremores da Doença de Parkinson (DP) usando um Apple iPhone (Figura 1.3). Como os *smartphones* já estão integrados à rotina diária do usuário, poderia ser uma solução para esse contexto. Contudo, essa solução necessita que o usuário abra o aplicativo no telefone e ponha o dispositivo no torso da mão em diferentes momentos do dia. Percebe-se então que, nesse contexto, o usuário modifica sua rotina diária para prover os dados relativos à saúde.

Partindo da necessidade de monitorar dados motores de uma forma não invasiva por intermédio de sensores de movimento, pretende-se neste trabalho usar jogos eletrônicos como forma de **motivar** e abstrair o monitoramento de dados de saúde, pondo o usuário longe do **contexto de tratamento da saúde**. Esse estudo analisa possíveis mecanismos de monitoramento da saúde motora durante um período lúdico e descontraído como um jogo eletrônico.

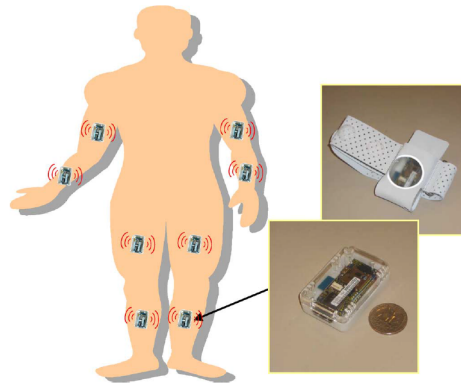


Figura 1.2: *Disposição dos Sensores de Movimento (SHIMMER) no corpo no trabalho de Patel [8]*



Figura 1.3: Aplicação para iPhone que caracteriza sinais de tremor [13]

A Figura 1.4 sumariza os passos usados para a identificação do **problema** e a **Proposta da Tese** que elabora alternativas a esse problema.

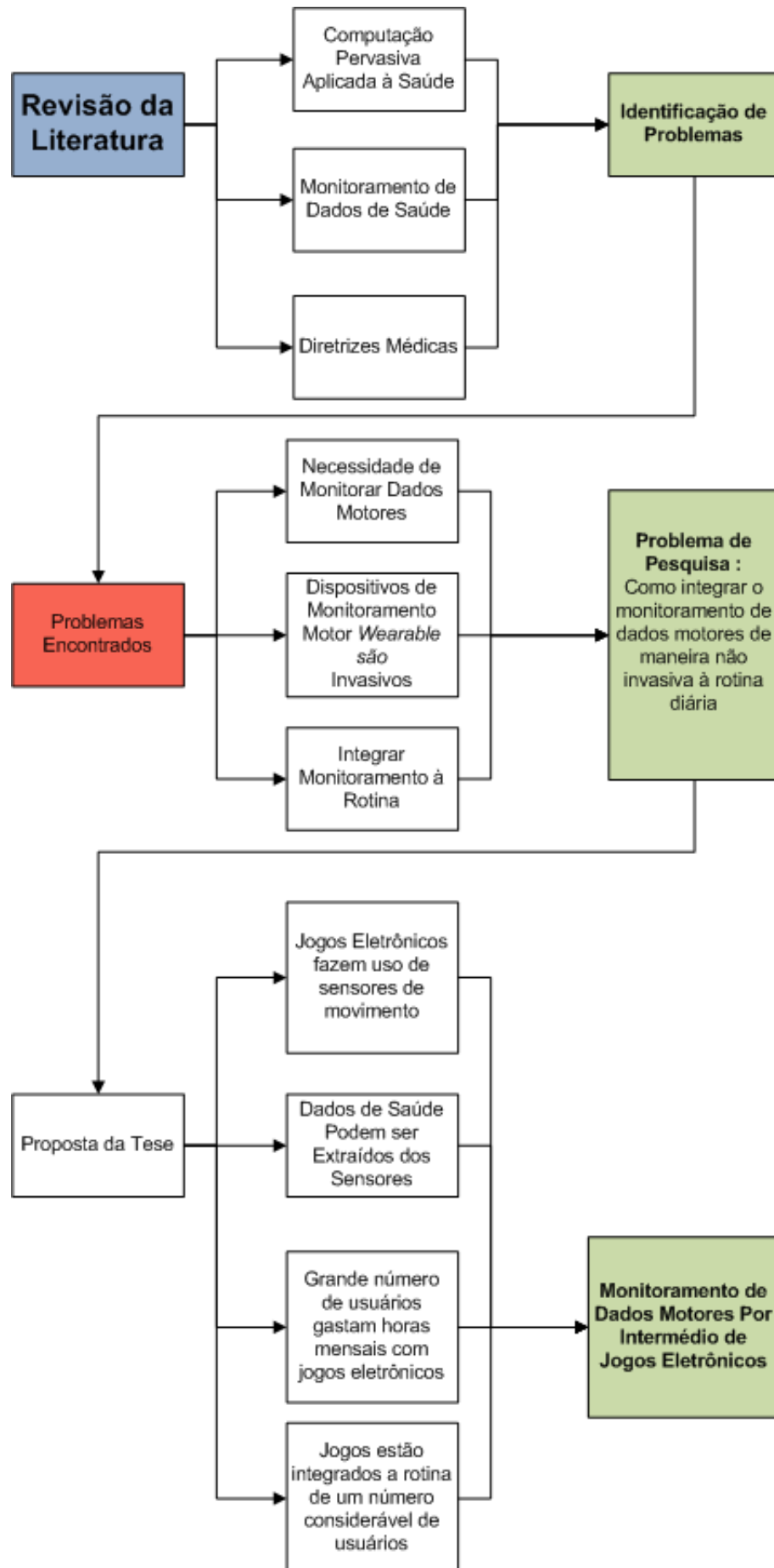


Figura 1.4: Processo de Identificação do Problema e Proposta da Tese



## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Principal

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

Nesta pesquisa, pretende-se identificar mecanismos que permitam monitorar a saúde durante um período divertido e descontraído, usando jogos eletrônicos que capturem, armazenem e processem esses dados. Essa pesquisa tem como objetivo demonstrar a alternativa de realizar o monitoramento de dados de saúde por intermédio de jogos eletrônicos.

Para atingir estes objetivos, foram elencadas e testadas as seguintes hipóteses:

- H1** O acompanhamento de sintomas motores, integrados à rotina diária do paciente traz benefícios ao tratamento e qualidade de vida do mesmo do ponto de vista do profissional da saúde.
- H2** É possível capturar dados motores por meio de sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos. Esses dados auxiliam no acompanhamento de doenças com comprometimento motor.
- H3** É possível desenvolver um jogo que tenha mecanismos de captura de dados motores embutidos, e que permita monitorar e quantificar esses dados de maneira não-invasiva.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar a importância de realizar monitoramento de dados de saúde em diferentes momentos do dia junto a uma comunidade de profissionais de saúde.
2. Usar algoritmos de classificação em base de dados de saúde já consolidadas, para desenvolver e testar novas abordagens de monitoramento, além de aumentar o número de casos pesquisados.
3. Identificar viabilidade técnica para mensurar dados de saúde por meio de sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos.
4. Definir e implementar a arquitetura de software de uma abordagem que consiga: adquirir, processar, classificar e transformar em informações de saúde motora os sinais biomecânicos de usuários obtidos a partir de um arcabouço de desenvolvimento de jogos eletrônicos.
5. Realizar experimentos no sentido de validar as hipóteses descritas anteriormente.

## 1.3 Metodologia

A metodologia de pesquisa deste trabalho possui aspectos qualitativos que permitem identificar a importância da pesquisa junto à comunidade de especialistas da área de saúde. Além disso, usam-se aspectos quantitativos que demonstram que a abordagem definida consegue diferenciar indivíduos diagnosticados com a DP, perante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido por meio de dados capturados por sensores de movimento usados em jogos. Ao final, é avaliado o resultado de um questionário *Goal-Question-Metric* (GQM) junto a possíveis usuários. Logo, o desfecho da pesquisa se fez com resultados qualitativos e quantitativos.

1. Realizar revisão bibliográfica e coleta de requisitos junto a profissionais de saúde.
2. Definir a abordagem *GAHME - Health Monitor Environment*, baseada em captura de dados motores através de sensores de movimento utilizando jogos eletrônicos e processamento dos dados para transformar dados motores em informações.
3. Validar o uso de sensores para classificação dos dados através:
  - Base de dados contendo a Força Vertical de Reação do Solo (FVRS) capturada por sensores de movimento que contém duas classes de dados indivíduos diagnosticados com a DP e o grupo de controle. Esses dados foram classificados utilizando-se da Análise dos Componentes Principais (PCA).
  - Estudo analítico de caso-controle com indivíduos diagnosticados com a doença de parkinson, e sem o diagnóstico estabelecido capturados por sensores de movimento de usados em jogos eletrônicos. Esses dados foram classificados utilizando de Máquina de Vetor de Suporte (SVM) com Kernel Linear.
  - O resultado dessa pesquisa demonstra que é possível adquirir dados motores utilizando esta abordagem e consequentemente valida a hipótese *H2*.
4. Definir a arquitetura de software que viabiliza tecnicamente a abordagem *GAHME* onde foi possível definir um arcabouço de software que encapsula o desenvolvimento de jogos com essa abordagem.
5. Validar a solução *GAHME* 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.

6. A importância da entrevista semi-estruturada junto a profissionais de saúde é alinhar a teoria junto à prática do acompanhamento de pacientes com *déficit* motor. Os profissionais foram indagados sobre a melhora na tomada de decisão quanto ao acompanhamento dos sintomas, caso fosse possível visualizar parâmetros motores como velocidade angular, amplitude do movimento dos braços e dessa maneira acompanhar a evolução dos pacientes. Procurou-se encontrar, do ponto de vista do 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 hipótese *H1* que consiste de verificar a importância do acompanhamento de sintomas motores integrados à rotina diária do paciente.
7. Definir um conjunto de atividades que permitam o desenvolvimento de jogos voltados para o monitoramento de dados de saúde (*GAHME*). Desta maneira, pretende-se com esse trabalho disseminar o conhecimento adquirido a partir de um conjunto de passos que tornem exequível o desenvolvimento de um *GAHME*.

## 1.4 Trabalhos Relacionados

O estilo de vida atual possui diversos dispositivos eletrônicos e formas de entretenimento que não privilegiam a atividade física por esse motivo houve uma diminuição de indivíduos que praticam exercícios físicos e consequentemente tenham uma vida mais saudável [3]. Com o objetivo de usar a tecnologia para motivar a execução de exercícios físicos, pesquisadores da área de jogos para saúde buscam apoiar a essa prática com o uso de jogos para exercício físico, como também tentam mudar a consciência dos usuários em relação a terem uma vida mais saudável [4]. Através dos dispositivos de sensores de movimento é possível usar os jogos para promover a saúde e bem estar de forma promissora. Por esse motivo, o número de jogos comerciais bem como serviços de relacionados à saúde e bem-estar cresceram repentinamente nos últimos anos [14]. Logo, os *exergames* (jogos que usam exercícios físicos) foram tópicos de pesquisa na promoção da atividade física e consequentemente da saúde.

Atualmente, os jogos pervasivos móveis motivam a atividade física de forma mais direta, protótipos de jogos como *Transe*, *Feeding Yoshi*, e *Nokia Wellness Diary and Sports Tracker* promovem a saúde com a prática de atividade física. Para Suhonnen [4], esses jogos pretendem melhorar as condições de saúde por serem: divertidos, imersivos e engajados.

Outra grande área em que os jogos eletrônicos são aplicados é na mudança de comportamento, diversos autores defendem o uso de jogos eletrônicos nesse contexto para conscientizar, educar os usuários para o seguimento de terapias ou até mesmo melhorar o conhecimento sobre as doenças, com o intuito de adequar o tratamento para um prolongamento da qualidade de vida. Os expoentes nessa área são Baranowski [2] e Kato [15] que conseguiram testar e provar os efeitos positivos quando os jogos são utilizados para modificar o comportamento

dos jogadores.

Papastergiou [14] identificou efeitos positivos para a reabilitação através do uso do jogo *Wii Sports* e um potencial mecanismo de prevenção e reeducação motora com o uso do *Wii Fit*. Porém, esses jogos possuem suas limitações e não são substitutos dos esportes reais. Ainda assim, o autor salienta que um ambiente mais controlado e que permite a execução de atividades físicas inibe a ocorrência de situações de risco como um movimento brusco e que venha causar um dano físico maior. Baseado nessas observações, esse trabalho primou por demonstrar as dificuldades e efeitos positivos em combinar os jogos sérios de esportes e saúde com as tecnologias de sensores, para a personalização e adaptação dos jogos.

Segundo o trabalho de Sinclair [16] os jogos comerciais de *exergames* não devem ser usados apenas como um motivador para a prática de exercícios físicos, mas também podem ser usados para monitorar sinais vitais como batimento cardíaco e reconhecer atividades via acelerômetros. Arntzen se preocupou com os aspectos cognitivos e físicos da aprendizagem baseada em jogos para idosos [17]. Esse trabalho veio a corroborar com requisitos que dessem o suporte ao desenvolvimento do jogo nesse contexto. A pesquisa de Arntzen consistiu em analisar jogos já existentes desenvolvidos para *Wii*, *PSP* ou *XBOX*. O autor contribuiu no levantamento de requisitos para o desenvolvimento de jogos para idosos. O propósito desse projeto foi desenvolver um sistema de jogo que contribuísse para o melhoramento cognitivo e as habilidades físicas dos desabilitados e idosos. Contudo, para desenvolver um jogo para esse público é necessário identificar quais habilidades cognitivas e físicas que precisam ser desenvolvidas levando em consideração suas limitações, para que os mesmos não efetuem movimentos bruscos e venham sofrer injúrias.

## 1.5 Contribuições

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

Contudo, 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 quais movimentos ou ações permitem a identificação dos sintomas. 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 para uma possível classificação dos dados conforme os trabalhos já existentes que realizam essas atividades [18; 19; 9; 7; 8].

Como possível cenário de uso para a pesquisa, supondo que um paciente de uma doença crônica como a DP faz uso de algum medicamento antiparkinsoniano e possui um jogo de monitoramento de sinais da doença de parkinson em sua residência. Caso o mesmo faça uso do jogo em diferentes momentos do dia, os sintomas poderiam ser identificados e quantificados sem a presença de um profissional de saúde, o qual poderia posteriormente visualizar a melhora ou piora do estado de saúde do paciente ao longo dos dias. A partir da presente abordagem o médico de posse da informação poderia identificar a ocorrência dos sintomas motores em diferentes momentos do dia e consequentemente gerenciar melhor a dosagem medicamentosa. Isso corrobora com estudos que defendem que uma dosagem medicamentosa alinhada com as necessidades do paciente melhoram a qualidade de vida e prolongam a efetividade do medicamento utilizado [20].

## 1.6 Organização do Documento

O restante deste documento está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica relacionada ao trabalho.
- No Capítulo 3, é apresentada a abordagem *GAHME* de monitoramento de dados motores não invasivo usando jogos eletrônicos.
- No Capítulo 4, é apresentada uma implementação da abordagem.
- No Capítulo 5, é apresentado um processo de desenvolvimento de jogos eletrônicos para monitoramento de dados de saúde.
- No Capítulo 6, são apresentados os experimentos para validar as hipóteses do trabalho.
- No Capítulo 7, é mostrado o estado atual do trabalho e propostos temas para discussão e finalização do mesmo.

# 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, descrevem-se as dificuldades encontradas no desenvolvimento de jogos relacionadas ao processo de desenvolvimento; uma explanação sobre a Doença de Parkinson seus sintomas e os estágios da doença; o uso da cinemática como ferramenta para medir parâmetros cinemáticos do movimento humano; classificadores de dados para a identificação de padrões.

### 2.1 Processo de Desenvolvimento de Jogos

Os processos de desenvolvimento de *software*, são categorizados como: dirigidos a planos e processos ágeis. Processos dirigidos a planos são aqueles em que todas as atividades são planejadas com antecedência, e o progresso é avaliado por comparação com o planejamento inicial. Em processos ágeis, o planejamento é gradativo, e é mais fácil alterar o processo de maneira a refletir as necessidades de mudança do cliente [21]. A indústria de jogos eletrônicos adota processos tradicionais de desenvolvimento como os dirigidos a planos [22; 23]. Bethke [23] defende a adoção do *The Unified Process*, por ter sido aplicado na indústria e por estar vinculado ao desenvolvimento orientado a objetos desde sua concepção. Porém o processo de desenvolvimento defendido por Bethke é bastante semelhante ao modelo de desenvolvimento em cascata [21].

Neste trabalho serão propostas práticas de engenharia de software e de desenvolvimento de jogos que permitam um monitoramento frequente de dados motores de saúde. Essas práticas poderão ser aplicadas em processos de desenvolvimento dirigidos a planos e ágeis, caberá ao desenvolvedor do jogo adequar essas práticas ao próprio processo.

As empresas de desenvolvimento de jogos desenvolvem seus próprios processos e os aperfeiçoam conforme suas necessidades. Porém, devido a competitividade, não expõem ao público o conhecimento adquirido com a melhoria dos seus processos [24]. Por outro lado, algumas produtoras de jogos, disponibilizam em sites especializados de jogos como

o Gamasutra <sup>1</sup> *postmortems* que são relatos do que ocorreu durante o desenvolvimento do projeto, como: práticas utilizadas, pontos positivos, pontos negativos, sucessos e fracassos.

Para o desenvolvimento de pesquisa na área de jogos [25; 26] os trabalhos recorrem ao uso dos *postmortems* como base de conhecimento para a avaliação das técnicas usadas na indústria de jogos. Petrillo [25], selecionou as práticas mais utilizadas das metodologias ágeis e comparou com o que foi utilizado no desenvolvimento dos jogos, após a comparação ele analisou quais das práticas utilizadas foram positivas e negativas durante o desenvolvimento. Ao término da fase de análise ele propôs um processo de desenvolvimento ágil de jogos.

A indústria de jogos busca melhorar as práticas de engenharia de software para tornar o desenvolvimento de jogos mais eficiente [26]. Um dos maiores responsáveis por essas práticas é a divisão das fases de desenvolvimento. Pois cada fase são definidos marcos de desenvolvimento que precisam ser respeitados [27; 28]. A maioria dos processos de desenvolvimento de jogos (dirigidos a planos ou ágeis) dividem o desenvolvimento do jogo em quatro fases distintas (Concepção, Pré-Produção, Produção e Pós-Produção) [26; 28; 27; 1]. Como ilustrado nas Figuras (2.1, 2.1) tanto um processo ágil dirigido a planos [27] quanto um processo ágil [28], dividem o desenvolvimento de jogos nas mesmas fases.

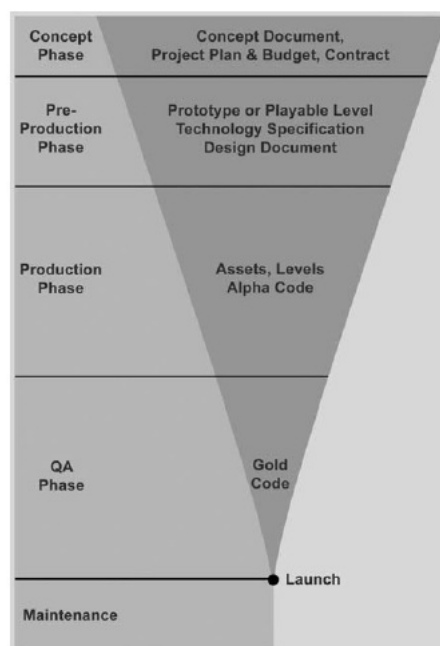


Figura 2.1: Fases de um processo de desenvolvimento de jogos dirigido a planos © [27]

Para Fullerton [27] no início do projeto as possibilidades criativas são grandes e por esse motivo durante essa fase ocorrem suscetíveis mudanças, porém ao longo do projeto devido a convergência de ideias e o progresso do desenvolvimento do jogo existe uma redução natural dessas modificações resultando no produto final [27] (Figura 2.1).

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

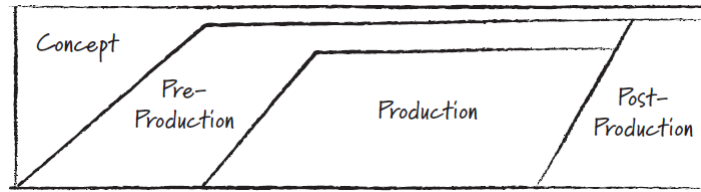


Figura 2.2: Fases de um processo de desenvolvimento ágil© [28]

No desenvolvimento de um jogo tradicional, o principal objetivo da fase de conceito é conseguir o consenso entre todos os envolvidos com o primeiro marco de desenvolvimento. Infelizmente, o desenvolvimento de um jogo é uma atividade que possui muitos riscos devido sua complexidade, equipes de desenvolvimento mais experientes são mais indicadas para esses projetos [27]. No entanto, o desenvolvimento de um jogo com o objetivo de monitoramento de saúde possui um propósito específico logo na fase de conceito é necessário o apoio de profissionais especializados na área em que se pretende atuar. Incorporar esse profissional na equipe de desenvolvimento é necessário por permitir identificar quais serão os instrumentos e movimentos utilizados para a captura dos dados e como a coleta deve ser realizada para permitir uma melhor classificação dos dados.

Para o sucesso da abordagem deve-se pensar no público alvo e na equipe de desenvolvimento para mitigar os riscos do desenvolvimento de um jogo [27]. É durante a fase de conceito, em que serão testadas as tecnologias a serem utilizadas durante o desenvolvimento.

Abordagens tradicionais da engenharia de software sugerem que na fase inicial, sejam desenvolvidos protótipos de software com o objetivo de testar a tecnologia e verificar a viabilidade do projeto.

Na fase de pré-produção, um time pequeno faz um estudo de viabilidade da ideia. Esse time irá criar normalmente um ambiente jogável, focando nas possibilidades e riscos da tecnologia [27]. A entrega de uma versão inicial que demonstre: a relevância da ideia, capacidade técnica da equipe de desenvolvimento e os elementos de jogabilidade e diversão do jogo são fatores cruciais para o prosseguimento nas demais etapas do processo de desenvolvimento [27]. Por se tratar de um jogo para o monitoramento, os desenvolvedores devem avaliar a capacidade de aquisição e classificação dos dados de saúde. O jogo deve ser divertido mas com o objetivo principal de adquirir dados de saúde. Como o estágio de pré-produção não é uma fase de construção de *software*, é importante refinar o *game design* do jogo, para que a documentação não fique desatualizada reduzindo os riscos potenciais do produto final [27].

A fase de produção é a mais demorada e onerosa do desenvolvimento, o seu objetivo é desenvolver o que foi pré-estabelecido no *game design*. Nesse processo, o refinamento e melhoria do *game design* é inevitável, pois os desenvolvedores passam mais tempo pensando nas soluções e consequentemente as reflete no *game design* [27]. Nesse estágio os desenvolvedores escrevem o código criando as funcionalidades do jogo, os *art designers* criam as



artes e animação e os engenheiros de som criam as músicas e os efeitos sonoros, os responsáveis pelo enredo criam os diálogos e todo o contexto do jogo. A produção do jogo deve trabalhar de forma comunicativa e colaborativa para que todos percebam o progresso do desenvolvimento do jogo [27].

Na fase final do processo de desenvolvimento de jogos tradicionais a pós-produção é responsável por fazer o refinamento e últimos testes. Essa fase deve garantir que o jogo seja entregue com qualidade e sem erros de execução e que venha a impactar na jogabilidade. Nesse momento o jogo será testado nas diferentes plataformas para aprovar e e por fim disponibilizá-lo [28].

## 2.2 Doença de Parkinson

A DP foi escolhida inicialmente como fonte de estudo, por apresentar uma diversidade de sintomas (alterações na voz, tremores, posturais, marcha velocidade do movimento) e como veremos no decorrer do capítulo elencamos dois destes sintomas para mensurá-los por intermédio dos sensores utilizados na pesquisa.

A DP 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 [29]. A sua 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 DP tende a aumentar. Por ser uma doença progressiva de evolução incapacitante após os 10 a 15 anos de tratamento, possui um enorme impacto social e financeiro. 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 [30]. Outro fator crucial para a escolha da doença como estudo de caso é a variação dos sintomas parkinsonianos ao longo do dia, devido a resposta ao tratamento medicamentoso. Logo, a abordagem de monitorar os sintomas em diferentes momentos do dia permitiria um melhor gerenciamento da doença e como consequência uma melhora na qualidade de vida dessa população.

Com o surgimento do tratamento para DP é possível manter uma melhor mobilidade funcional durante anos e aumentar a expectativa de vida dos pacientes tratados [20]. Os fármacos do grupo dos antiparkinsonianos como a levodopa permitem 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 as atividades diárias do paciente [20]. A natureza progressiva da DP 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 [30]. Estima-

se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [31]. Consequentemente, com o passar do tempo, a sintomatologia parkinsoniana tende a evoluir o que aumenta a necessidade de uma maior dosagem medicamentosa, pois nível de resposta aos medicamentos vai decrescendo com a progressão da doença [30].

Na evolução da doença e pela tomada do medicamento pode existir alternância entre momentos em que a medicação surte efeito e momentos em que se torna ineficaz são os chamados estados *on* e *off*. Alternar entre os estados *on* ("normal") e *off* ("com os sintomas parkinsonianos") podem depender 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 indetermina o momento em que o paciente entrará no estado *on* ou *off* e esse efeito causa impacto direto nas avaliações objetivas do profissional [32; 8].

### 2.2.1 Diagnóstico

O termo Parkinsonismo é genérico e designa uma série de doenças com causas diferentes e que têm em comum a presença de sintomas frequentemente encontrados na DP. Esta doença é uma das muitas formas de parkinsonismo, correspondendo a cerca de 75% dos casos. A DP é uma afecção do sistema nervoso central, a qual é expressa de forma crônica e progressiva, 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 dificuldade na marcha), rigidez muscular (aumento da resistência ao movimento passivo dos membros), perda de reflexos posturais que leva a alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [33; 20].

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 os estudos comprovam dificuldade na diferenciação clínica entre DP e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concordam que o diagnóstico da DP requer a identificação de alguma combinação de sinais motores cardinais (tremor de repouso, bradicinesia, rigidez tipo roda dentada, alterações posturais), porém uma classificação clínica padrão ainda não foi obtida [30]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [30]. Os pacientes com DP 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 [34] uma resposta à levodopa não confirma o diagnóstico de DP porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomático e muitas formas de síndrome de Parkinson em seus estágios iniciais que também respondem à levodopa.

Estudos demonstram as dificuldades na diferenciação clínica entre DP e outros tipos de parkinsonismos. No entanto, através da revisão de diagnósticos patológicos e clínicos, um grupo de neurologistas especializados em distúrbios de movimento do *National Hospital for Neurology and Neurosurgery* de Londres, conseguiu um valor preditivo de diagnóstico da doença em 98,6%. Os critérios do Banco de Cérebros da Sociedade de Parkinson do Reino Unido são os mais utilizados para diagnosticar a doença [30] (Apêndice C).

### 2.2.2 Principais Sintomas da Doença de Parkinson

Nessa seção são descritos dois sintomas recorrentes na DP e que podem ser identificados por meio de sensores de movimento.

#### **Tremor**

O tremor é o sintoma mais frequente e mais perceptível [35], embora não seja o mais incapacitante. Para a maioria dos pacientes, o tremor é o principal motivo que os leva a procurar ajuda médica. Apresentando-se de forma característica: rítmico, relativamente lento quando comparado com outros tipos de tremor (4 a 7 ciclos por segundo) e sua maior frequência é quando o membro está em repouso sendo denominado de tremor de repouso. Ao fazer qualquer movimento no membro, o tremor ali presente cessa de imediato para retornar logo após o fim do movimento.

No início da enfermidade, o tremor ocorre em um lado (tremor assimétrico) e assim permanece por períodos variáveis de tempo. Após algum tempo, o outro lado também é acometido podendo aparecer na cabeça, mandíbula, lábio, queixo e nos membros inferiores. Situações de estresse emocional ou a sensação de ser observado aumentam visivelmente a intensidade do tremor.

#### **Bradicinesia**

Enquanto que o sintoma de tremor é mais visível da DP, 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 [36].

A bradicinesia pode estar presente nos sintomas iniciais da DP, em diferentes partes do corpo: olhos com a redução do movimento de piscar, face com a redução das expressões faciais, voz pela redução da velocidade dos músculos das cordas vocais e membros [36]. Normalmente nos estágios iniciais da doença a bradicinesia é acompanhada de uma rigidez dos músculos, apresentando uma assimetria dos movimentos entre os membros, ocasionando dificuldade em levantar de uma cadeira, virar na cama ou andar. Os sintomas bradikinéticos

são avaliados por intermédio da parte motora da tabela de avaliação UPDRS [37], através de exercícios como tocar as pontas dos dedos, pronação e supinação do antebraço.

### 2.2.3 Escalas e os Estágios da Doença

A partir dos tratamentos para a DP, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [37; 38]. 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 [37; 39]. Sendo assim, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS) [37] 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 da DP [39]. Segundo Goulart [39] as escalas de estágios de incapacidade representadas por: Hoehn/Yahr [38] e a UPDRS [37], foram consideradas as de maior confiabilidade, podendo ser usadas por fisioterapeutas para melhor avaliação do estado clínico-funcional do paciente.

Na UPDRS a evolução da DP é classificada nas seguintes fases [37]:

- **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 análise do estágio da doença e propõem alternativas para avaliação dos itens motores de forma quantitativa através de sensores, os quais permitem monitorar o estágio do paciente [32; 40; 8].

Alguns sintomas parkinsonianos são consequências do longo período do uso da medicação seja ela levodopa ou dopaminérgicos [30]. No início do tratamento, o levodopa irá melhorar consideravelmente a qualidade de vida do paciente e poderá permanecer nesse estado por anos. Mas com o passar dos anos a efetividade do levodopa diminuirá e o paciente irá alternar entre os estados *on* e *off*. Por esse motivo, a detecção das alterações dos estágios da doença dentro de curtos períodos é complicada, em particular porque os testes a partir das escalas são aplicados de forma objetiva por um profissional, que avalia evolução do quadro periodicamente de três a seis meses. Isso se torna um obstáculo tanto para o paciente quanto a disponibilidade do profissional, deve ser mencionado também que a precisão da avaliação dependerá das capacidades motoras e do tempo em que o medicamento foi ingerido.

A identificação dos sintomas da DP 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 prolongando a qualidade de vida do paciente.

## 2.3 Cinemetria

A **Cinemetria** consiste de um conjunto de métodos que buscam medir os parâmetros cinemáticos do movimento como: posição, orientação, velocidade e aceleração [41]. Os instrumentos básicos para medidas cinemáticas são baseados em câmeras de vídeo que registram a imagem do movimento e então através de software específico calculam as variáveis cinemáticas de interesse. 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 [42].

A cinemetria relaciona técnicas e métodos para o processamento de grandezas cinemáticas, entre elas destacamos as técnicas de medição direta [41], utilizadas para:

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

### 2.3.1 Movimento Cinético

Movimento Cinético é o estudo das forças e momentos que resultam no movimento do corpo e seus segmentos, incluindo a mensuração da FVRS e análise cinética. A Medição Cinética é realizada das forças presentes entre o pé e o solo, a qual é medida por intermédio de sensores de força que permitem adquirir a pressão do pé em relação ao solo. Estudos indicam que por meio da análise do movimento cinético é possível avaliar o desempenho do corpo durante a execução das atividades diárias [43].

Nos últimos anos com os sensores de movimento vestíveis, foi possível evoluir os estudos sobre a análise de marcha em ambientes que não fossem somente os laboratórios e clínicas, os quais possuíam placas de força e esteiras eletrônicas que permitem realizar o estudo [43]. Pode ser salientado também, que por meio destes dispositivos o monitoramento contínuo da marcha pode ser possível mensurar e quantificar os ciclos de movimento de cada usuário na sua rotina diária e consequentemente identificar sintomas relativos a marcha.

### 2.3.2 Movimento Angular

O movimento angular ocorre quando todas as partes do corpo se movem pelo mesmo ângulo mas não realizam o mesmo deslocamento linear. A subdivisão da cinemática que trata com o movimento angular é chamada de cinemática angular, que permite examinar o movimento angular a partir de segmentos de um movimento, divididos em partes identificáveis que aumentam a compreensão do movimento humano [44]. 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 [44]. No movimento angular, a unidade de medida utilizada é o grau ( $^{\circ}$ ) e a unidade de tempo é o segundo (s). Logo as velocidades angulares calculadas são medidas em  $^{\circ}/s$ .

A anatomia funcional consiste no estudo dos componentes do corpo necessários desempenhar um movimento ou função humana como por exemplo a abdução ou adução do braço (Figura 2.3).

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

- **Ângulo Relativo:** é formado entre os eixos longitudinais de segmentos corporais adjacentes [44]. 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:** identifica a orientação angular de um segmento corporal em relação a uma linha fixa de referência [44]. Logo, os ângulos absolutos devem ser medidos na mesma direção a partir de uma única referência seja ela horizontal ou vertical.

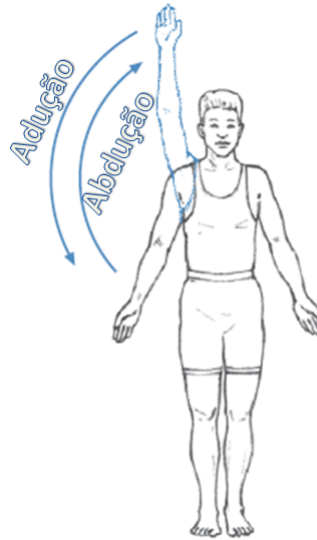


Figura 2.3: ©Movimentos de Abdução e Adução do Braço [45]

### 2.3.3 Análise da Marcha

A Análise da Marcha <sup>2</sup> tradução do inglês “*Gait Analysis*”, é objeto de estudo para pesquisas sobre o andar humano em termo de ângulos, posições, força e momento. É um estudo sistemático da locomoção humana, envolvendo: medição, descrição e avaliação das características da locomoção. Através da análise da marcha, podem ser identificados eventos cinéticos que permitem uma avaliação quantitativa da marcha [43]. Tornando possível a identificação/classificação da marcha de indivíduos considerados saudáveis ante pessoas com problemas de locomoção [43; 47].

A análise da marcha dos pacientes de DP [48] demonstra que estes possuem uma enorme variabilidade de movimento quando comparadas a indivíduos sem o diagnóstico da doença. A característica de marcha mais comum entre os parkinsonianos consiste em: lentidão, tempo de movimento mais longo, passos mais curtos e uma redução da amplitude das articulações. Esse padrão específico de marcha é denominado de festinação ou *freezing* da marcha que são amplamente aceitos como características proeminentes da DP [7; 39].

Normalmente, a marcha humana é um movimento periódico de todo o segmento do corpo que inclui a repetição dos movimentos para sua execução. Para entender o movimento periódico é importante entender as fases do ciclo de movimento, onde cada ciclo de movimento de marcha [46] é composto por dois períodos: Fase de Apoio (*Stance Phase*) e Fase de Balanço (*Swing Phase*).

O ciclo de marcha começa quando pé inicia o contato com o chão e termina quando os pés tocam no chão novamente iniciando o próximo ciclo de movimento. Assim, cada ciclo

<sup>2</sup>Os termos relacionados a análise de movimento estão definidos na "Análise Da Tradução De Termos Técnicos Relacionados Ao Estudo Da Marcha Dentro Da Obra *Motor Control*- Gaino [46]

começa no contato inicial com a fase de apoio e passa por uma fase de balanço até que o ciclo termina com o próximo contato inicial do membro. Nos ciclos de movimento a Fase de Apoio possui aproximadamente 60% do ciclo, e a Fase de Balanço possui 40%, de um único ciclo da marcha [49].

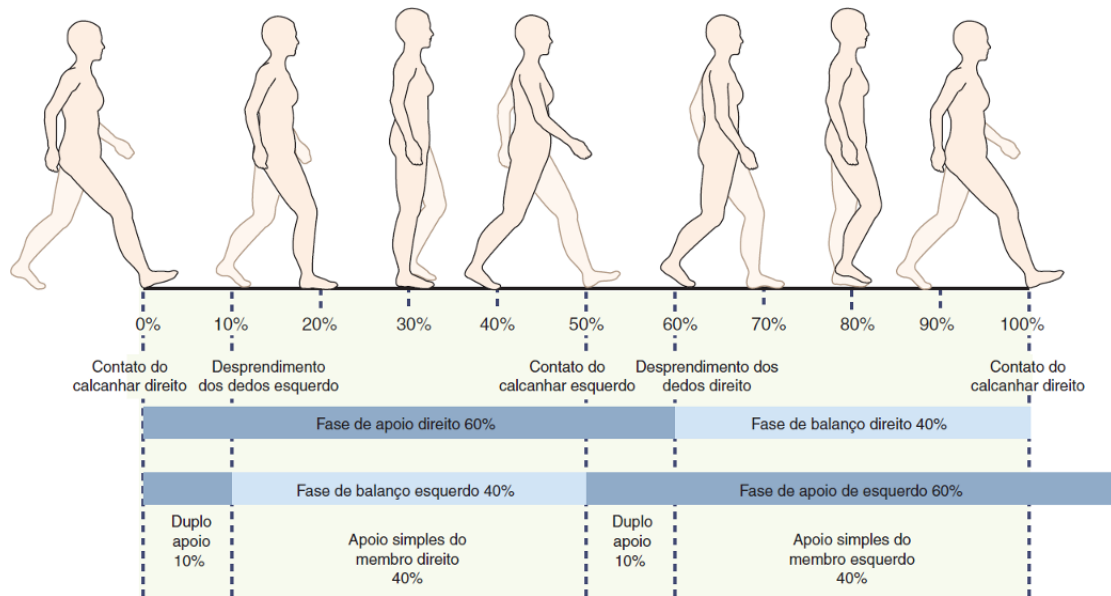


Figura 2.4: ©Subdivisão do ciclo de marcha ilustra as fases de apoio e balanço e períodos de apoio simples e duplo apoio [49]

Segundo Neumann [49], dentro de um ciclo da marcha, o corpo experimenta dois períodos de duplo apoio do membro (quando ambos os pés estão em contato com o solo simultaneamente) e dois períodos de apoio simples do membro (quando apenas um pé está no chão). Observa-se o primeiro período de duplo apoio de zero a 10% do ciclo. Durante esse período, o peso do corpo é transferido da esquerda para o membro inferior direito. O membro inferior direito está então em apoio simples, até 50% do ciclo da marcha ser atingido. Durante esse tempo, o membro inferior esquerdo está em sua Fase de Balanço e é avançado para a frente. O segundo período do duplo apoio dos membros ocorre 50 a 60% do ciclo e tem a finalidade de transferir o peso do corpo do membro inferior direito para o esquerdo. Finalmente, 60 a 100% do ciclo da marcha, o corpo encontra-se novamente em um apoio simples do membro, desta vez sobre o membro inferior esquerdo. Esse período de apoio simples do membro esquerdo corresponde à Fase de Balanço do membro inferior direito.

## 2.4 Classificadores de Dados

Nessa seção serão apresentados os dois classificadores utilizados nesse trabalho: o Análise de Componentes Principais (PCA) classificador utilizado para o estudo da análise da marcha e SVM aplicado na classificação do movimento de adução e abdução do braço.



### 2.4.1 Análise dos Componentes Principais

A Análise de Componentes Principais - ACP ou PCA (do inglês *Principal Component Analysis*), é um método que tem o propósito de analisar os dados por meio da redução e eliminação de redundâncias. Desta maneira o método pretende identificar as características mais proeminentes nos dados a partir de combinações lineares dos dados originais. A PCA consiste em aplicar uma transformação linear nos dados de modo que o resultado desta transformação demonstre suas componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, nos eixos denominados principais.

Por meio da técnica de PCA, é possível identificar padrões nos dados, após sua identificação estes podem ser reduzidos e consequentemente facilitar na análise dos dados. Essa técnica estatística (PCA) pode ser aplicada em diferentes áreas como: reconhecimento facial [50], compressão de imagem e bastante utilizada para o reconhecimento de padrões [7].

A **componente principal** é o arranjo que melhor representa a distribuição dos dados e a **componente secundária** é perpendicular a componente principal.

Para realizar a Análise de Componentes Principais é necessário seguir os seguintes passos:

1. Obter dados;
2. Subtrair a média;
3. Calcular a matriz de covariância;
4. Calcular autovalores e autovetores da matriz de covariância;
5. Escolher os componentes e formar os vetores de características.

#### Obter dados

Neste estudo, os dados foram normalizados com a variação dos valores entre 0 e 1 e o escalonamento do ciclo ficou com a dimensão de 80 *frames* em cada pé como pode ser visto na Figura 2.5.

#### Vetor Médio

O **vetor médio** consiste na média aritmética de cada variável e a matriz de covariância é a variância dessas variáveis em uma diagonal de covariância entre as elas [51]. Após o cálculo do **vetor médio** deve-se realizar uma subtração desse vetor na matriz de dados, essa etapa uma parte fundamental no cálculo da análise de componentes principais, pois desta forma haverá uma minimização dos erros de aproximação dos dados além de uma centralização dos mesmos em torno da média.

Se o vetor médio for subtraído de todas as amostras (Equação 3.2), haverá uma nova matriz, que contém somente as variações de cada amostra em torno da média e como consequência, uma matriz cuja média é zero e a variância é máxima.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)}{(n)} \quad (2.1)$$

Desta forma podemos afirmar que o **vetor médio** representa a centralização dos dados e a covariância contém a dispersão dos mesmos.

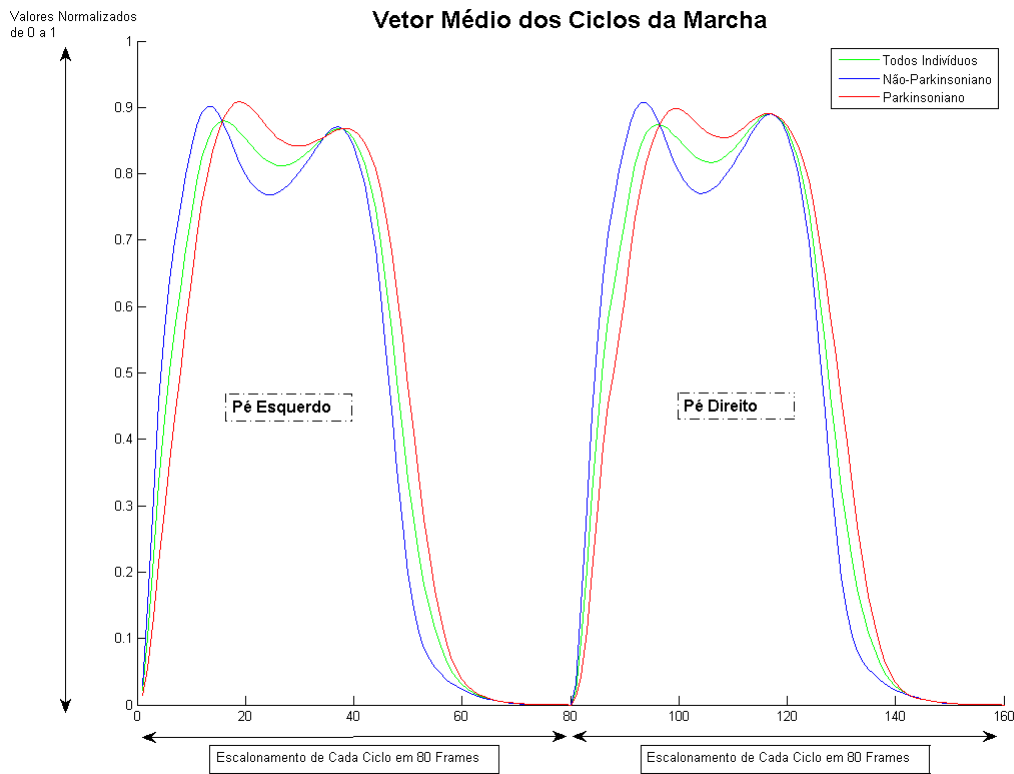


Figura 2.5: Vetor Médio dos Ciclos da Marcha

### Calcular a matriz de covariância

Nas análises estatísticas, existem diferentes formas de analisar um conjunto de dados, como a **média aritmética**, o **desvio padrão** e a **variância**. Esses dois últimos mensuram o quanto os dados estão afastados em relação a média. Contudo, essas medidas consideram os tipos de dados de forma separada. Por outro lado, a **covariância** perfaz a medida entre duas dimensões (calcular a covariância entre uma dimensão e ela mesma resulta na variância). Na fórmula da covariância na Equação (2.2), ( $X$  e  $Y$ ) são listas de dados, onde  $X$  é a primeira e  $Y$  é a segunda dimensão.

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{n - 1} \quad (2.2)$$

Os elementos com uma barra sobre eles  $\bar{X}$  e  $\bar{Y}$ , são as médias das listas e  $X_i$  e  $Y_i$  são cada um dos elementos das listas nas duas direções ( $X$  e  $Y$ ), na  $i$ -ésima posição. A variável  $n$  representa o número de itens de dados obtidos. Quando os dados representam uma amostra (que inicia no índice 0), usa-se  $n - 1$  no denominador e no somatório. Quando os dados representam o conjunto total da "população", usa-se simplesmente  $n$  no denominador.

A covariância mensura o grau da relação linear entre as duas variáveis. Porém, para a análise de dados multivariados é necessário calcular o vetor médio e a variância do mesmo por intermédio da matriz de covariância. Como exemplo, considere uma Matriz (5 x 3). Onde o conjunto de 5 observações, mensurações de 3 variáveis, podem ser descritos por um **vetor médio** e a variância da matriz de covariância. Estas três variáveis, da esquerda para direita podem ser, por exemplo: distância, tamanho e peso de um determinado objeto. Cada linha do vetor  $X_i$  é uma observação destas três variáveis ou componentes [51]. Onde, a diagonal principal da matriz irá conter as variâncias e as demais posições a correlação entre as direções.

Se os dados tiverem mais de duas dimensões, é necessário ter a covariância entre cada par de dimensões. A partir dessa idéia, surge a matriz de covariância. Como exemplo, colocamos a fórmula para calcular uma matriz de covariância na Equação ( 2.2) de três dimensões:

$$matrizcov = \begin{bmatrix} cov(x, x) & cov(x, y) & cov(x, z) \\ cov(y, x) & cov(y, y) & cov(y, z) \\ cov(z, x) & cov(z, y) & cov(z, z) \end{bmatrix}$$

### Auto-espacos, autovetores e autovalores

O **autovetor** com o maior **autovalor** associado, correspondem à componente principal do conjunto de dados. Ou seja, esse é o relacionamento mais significativo entre as dimensões dos dados [52]. Logo, essas componentes principais encontradas podem ser utilizadas para o reconhecimento das principais características dos dados.

Nesse caso,  $\lambda$  é o chamado **autovalor** de  $M$  associado ao **autovetor**  $v$ . Uma propriedade dos autovetores é que eles são perpendiculares (ortogonais) entre si, essa propriedade é importante porque torna possível expressar os dados em termos dos autovetores, ao invés dos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$  [53]. Para matrizes de dimensões 2 x 2 ou também 3 x 3, os autovalores podem ser calculados usando a Equação ( 2.3) equação característica de  $M$  [53].

$$\det(M - \lambda.I) = 0 \quad (2.3)$$

Onde  $I$  é a matriz identidade,  $M$  a matriz dada e os escalares não nulos,  $\lambda$ , que a solucionam serão os **autovalores** [53].

De forma equivalente, os **autovetores** associados aos **autovalores** serão os vetores não-nulos no espaço de solução  $(\lambda I - M)v = 0$ . Este espaço é chamado de **auto-espaco** de

$M$  associado a  $\lambda$ . As bases para cada um destes **autovalores** são chamadas de **bases de auto-espço** [53].

Para diagonalizar uma matriz  $M$  [53]:

1. Encontrar seus autovetores linearmente independente:  $v'_1, v'_1, \dots, v'_n$
2. Formar uma Matriz  $P$  com estes vetores como colunas
3. O produto  $P^{-1}MP$  será uma matriz diagonal, com elementos iguais aos autovalores na diagonal principal.

### Escolhendo os Componentes e a Classificação dos Dados

A análise dos componentes principais é um método de análise multivariada que permite projetar dados  $n$ -dimensionais em um espaço de menor dimensão. Durante a escolha dos componentes para a criar o vetor de características é que percebemos a noção de compressão dos dados e de sua capacidade de redução da dimensionalidade.

A distância euclidiana é a medida de dissimilaridade mais usada na PCA [54] para a análise de classes. Considerando o caso em que existem  $n$  indivíduos, onde cada um possuem valores para  $p$  variáveis, a distância euclidiana (Equação 2.4) entre eles é obtida mediante o teorema de Pitágoras no *auto-espço* projetado:

$$D_{a,b} = \sqrt{(X_{a1} - X_{b1})^2 + (X_{a2} - X_{b2})^2} \quad (2.4)$$

A partir desse método de projeção de vetores de características e da distância euclidiana do grupo de treinamento para os grupo de testes é que o método de PCA foi aplicado para a análise da marcha 2.3.3. Foram treinados e testados grupos de indivíduos que utilizaram sensores de força localizados nos pés. Esse grupo foi dividido em duas classes: indivíduos diagnosticados com a DP e sem o diagnóstico estabelecido como grupo de controle. O resultado da classificação está exposto na Seção 6.2.

### 2.4.2 Máquinas de Vetor de Suporte (SVM) Lineares

A teoria da aprendizagem estatística, fornece um conjunto de técnicas para a análise de dados a qual permite a aquisição de conhecimento [55]. As máquinas SVM, fazem uso de um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionada para classificação de dados. Ou seja, SVM é uma ferramenta de predição de classificação que usa a teoria da aprendizagem de máquina que busca maximizar a acurácia. Normalmente, a SVM é aplicada para classificação binária, ou seja permite classificar os dados em duas classes, porém essa técnica pode ser aplicada para em dados e que possuam mais de duas classes.

Um classificador SVM foi inicialmente desenvolvido para problemas de aprendizagem linearmente separáveis. Utilizando vetores de separação através de uma técnica de hiperplano de separação ótima [55]. O hiperplano tenta separar as diferentes classes, maximizando a margem entre os pontos extremos de cada classe [56]. O melhor hiperplano de uma SVM significa é aquele que possui a maior margem entre as duas classes como pode ser visto na Figura 2.6.

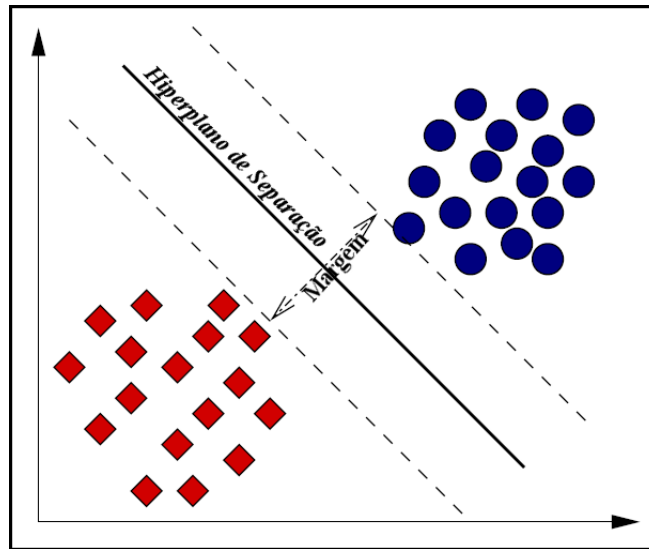


Figura 2.6: Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes

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

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

Formalmente, classificadores que separam os dados por meio de um hiperplano utilizam um discriminante linear [57] de Equação 2.5. 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.

$$f(x) = w^T x + b = 0 \quad (2.5)$$

Se  $u$  e  $v$  são dois padrões e  $f()$  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 a DP ante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido. Na Seção 3.4, será explicado como são extraídos os pontos usando os vetores de características para por fim obter a classificação exposta na Seção 6.3.

# Capítulo 3

## Abordagem *GAHME*

A abordagem *GAHME* é um modelo de monitoramento de dados motores de saúde por meio de jogos eletrônicos. Para essa abordagem tornar-se viável, é necessário primeiramente realizar um estudo sobre quais os movimentos e ações o usuário deve exercer para que os sinais motores sejam capturados corretamente e torne possível a identificação dos sintomas. 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 detecção do sintoma.

### 3.1 Definição de Requisitos da Solução

Com base no levantamento bibliográfico e em entrevistas preliminares com profissionais de saúde, os seguintes requisitos funcionais foram definidos para a solução *GAHME*:

**REQ-GAHME-01 - Pontuação e Taxa de Acerto** : O jogador percebe os objetivos e visualiza o sucesso ou fracasso alcançado. O jogo pontua o jogador de acordo com seus erros e acertos [4; 58].

**REQ-GAHME-02 - Progresso e Evolução do Jogador e dos Desafios** : O jogador percebe seu progresso e evolução no jogo. Os desafios tornam-se mais complexos no decorrer do tempo [4].

**REQ-GAHME-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 autotélica, ou seja o usuário não vislumbra um benefício imediato ou futuro [59].

**REQ-GAHME-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 [58; 17].

**REQ-GAHME-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-GAHME-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-GAHME-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 *GAHME* faz uso de jogos eletrônicos como interface de captura, tornando os usuários mais motivados a fornecer os dados motores, em comparação ao uso dos dispositivos vestíveis. Desta forma, o profissional de saúde poderá visualizar os dados motores capturados em um momento em que o usuário está descontraído sem a preocupação de estar participando de um exame motor.

Com o uso dos jogos eletrônicos é possível alcançar requisitos de pervasividade e não invasividade. Pois através dos dispositivos de sensores de movimento usados nesses ambientes, é possível desenvolver um jogo que motive o usuário a executar ações específicas que permitam o monitoramento de dados 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.

Baseado em técnicas de processamento de sinais e reconhecimento de padrões, será possível identificar sintomas motores. Esta abordagem consiste em realizar o processamento dos dados com o objetivo de filtrar ciclos de movimento que permitam identificar sinais motores e como consequência seja possível extrair as características desse movimento. Após a extração das características, os dados são repassados para Máquinas de Aprendizagem que classificam os dados por meio das evidências estatísticas. Caso a máquina identifique algum usuário com distúrbio motor, ela poderá notificar o Profissional de Saúde e este poderá visualizar os dados para uma melhor tomada de decisão, como pode ilustrado na Figura 3.1.

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.



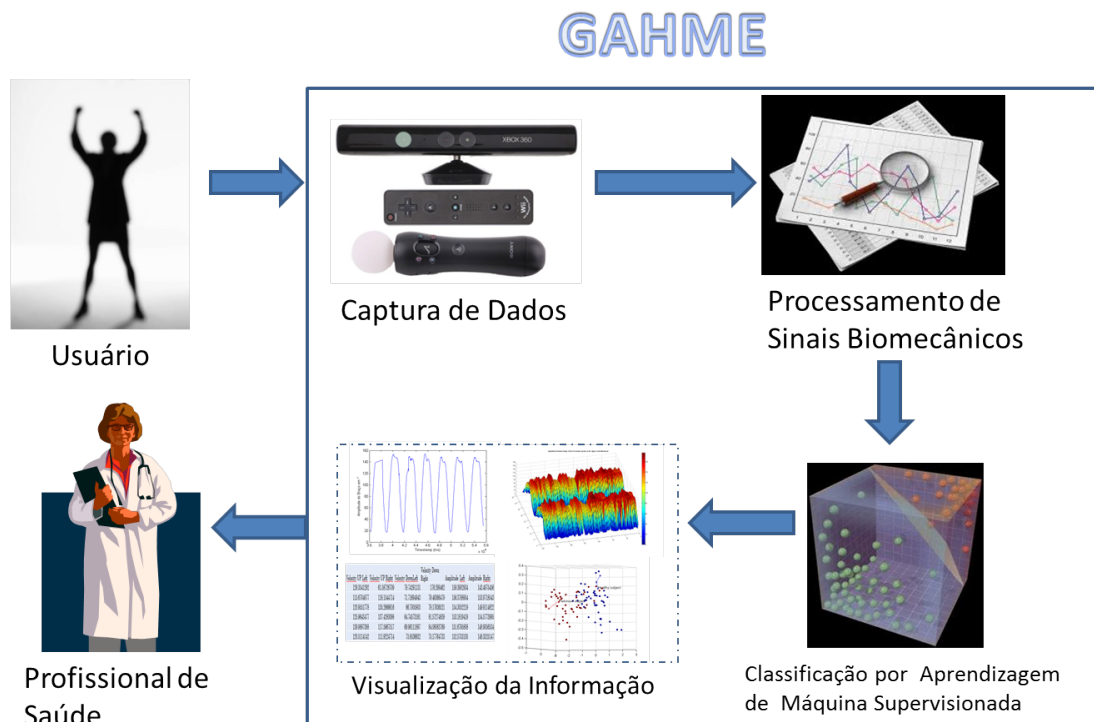


Figura 3.1: Visão Geral da Abordagem *GAHME*

### 3.3 Aquisição de Dados

O propósito de um *GAHME* 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 captura de dados motores por meio dos sensores de movimento utilizados.

O cliente *GAHME* 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. A partir dos dados processados, aplicam-se técnicas de aprendizagem de máquina para obter a classificação dos dados e consequentemente testar as hipóteses apresentadas nesta proposta.

### 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 3.2 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 [60].

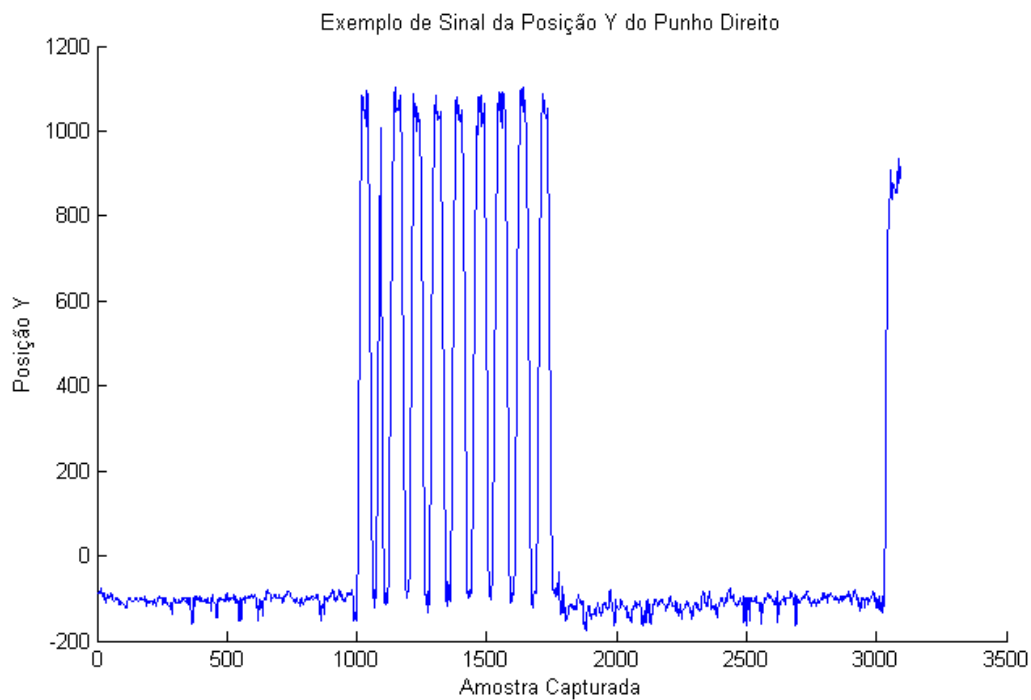


Figura 3.2: Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinect na Posição Y

Em casos de análise de dados 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 [60]. A técnica é aplicada no sinal da Figura 3.2 com um  $\delta$  de 500 e teve como resultado os picos e os vales identificados como pode ser visto na Figura 3.3.

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;

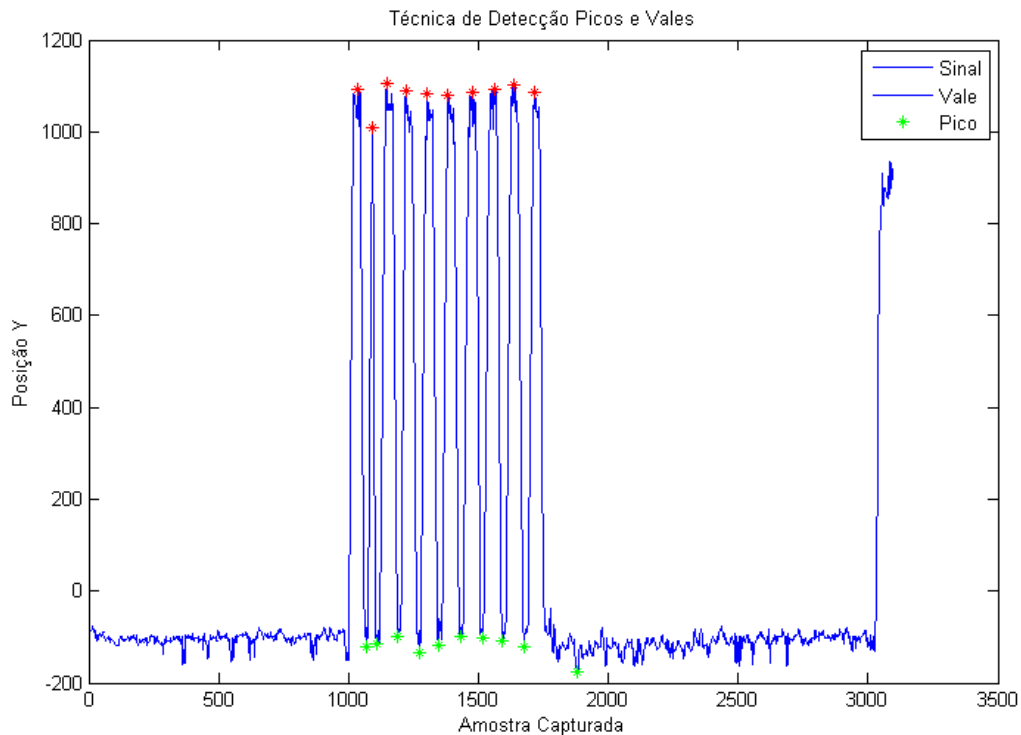


Figura 3.3: Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal

- 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 3.4) 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

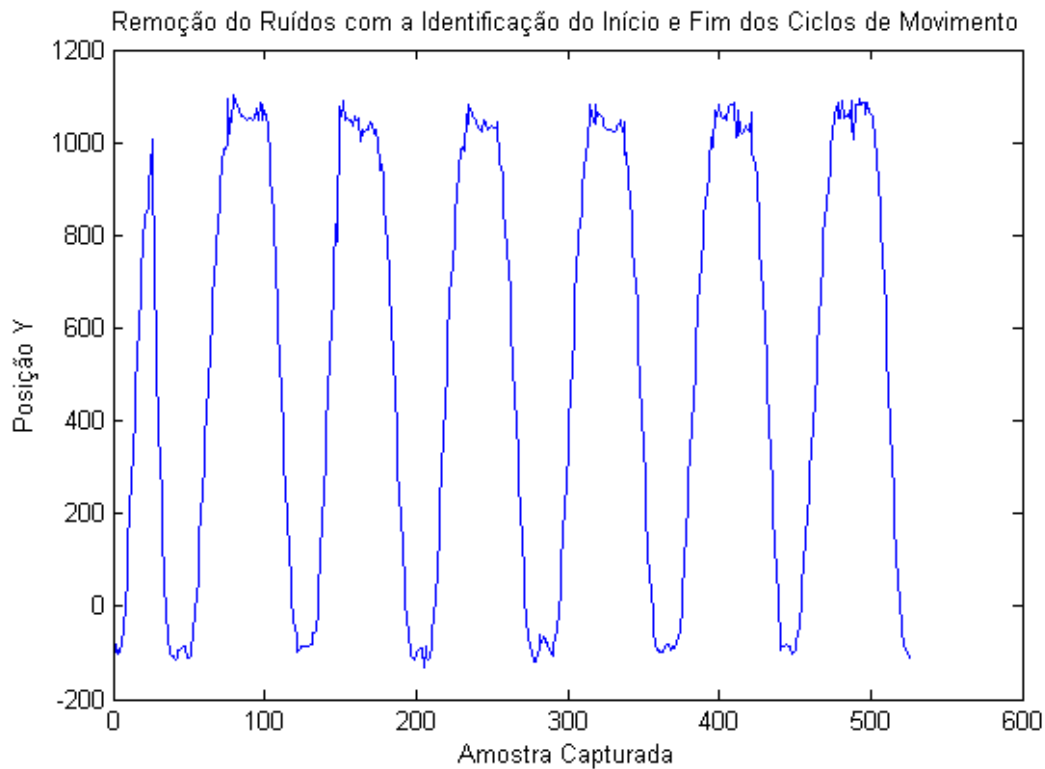


Figura 3.4: Remoção de Ruídos

[44]. De posse do tempo de ocorrência de cada ciclo (*Timestamp*) 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 (Equação 3.1) 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 [61]. 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  $w$  (Figura 3.5).

$$\cos(\theta) = (v.w)/(|v||w|) \quad (3.1)$$

No movimento de abdução e adução do braço (Figura 2.3), o ângulo relativo pode ser calculado com as Posições ( $x, y, z$ ) das articulações (*bacia, ombro e punho*). O código fonte em *Matlab* [62] realiza o cálculo do Produto Escalar dessas articulações e converte o valor escalar em  $^\circ$ , para podermos extrair as características do movimento nessa unidade.

Com o cálculo do produto escalar (Código Fonte 3.1) usando as três articulações, quantifica-se em  $^\circ/\text{ms}$  o movimento de adução e abdução do braço em relação ao tempo

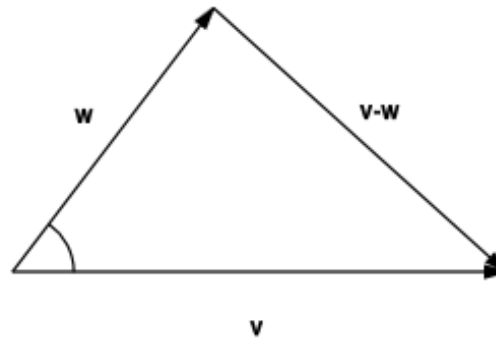


Figura 3.5: Produto Escalar Entre 2 Vetores

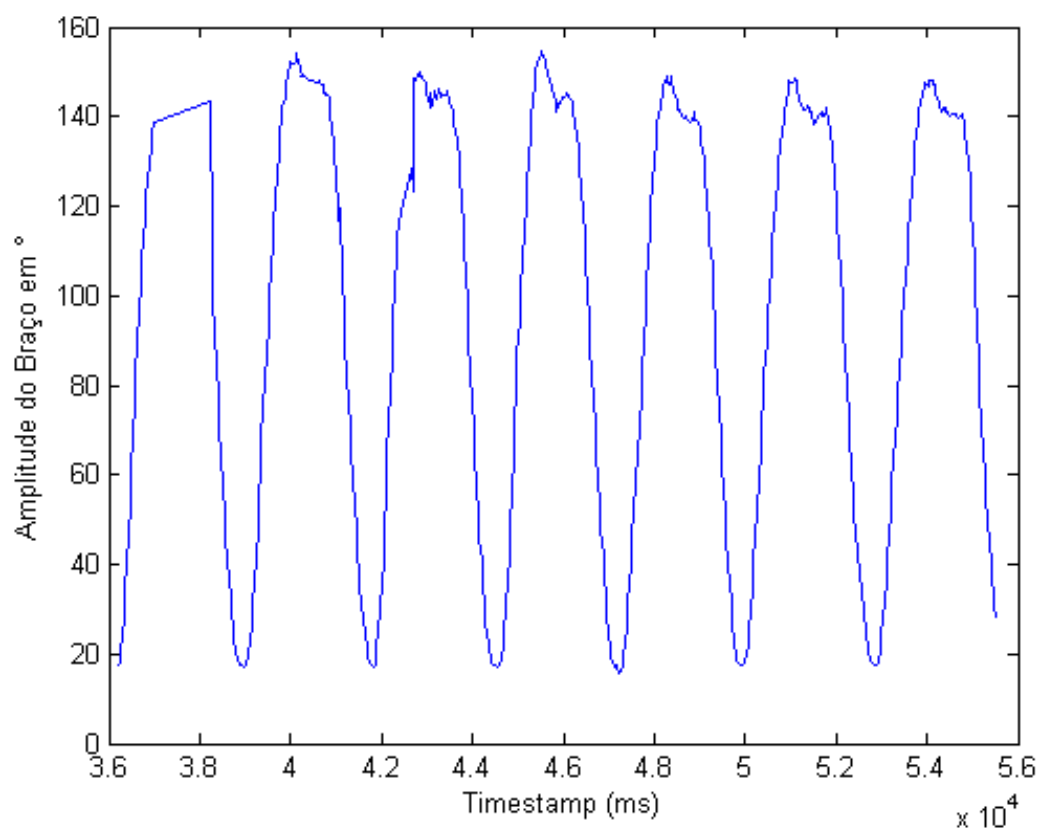


Figura 3.6: Amplitude do Movimento de Abdução e Adução

criando o sinal desse movimento como na Figura 3.6.

#### Código Fonte 3.1: Código do Ângulo Relativo por Produto Escalar

```

1 Ombro = [ articulacaoOmbro(PosicaoX), articulacaoOmbro(PosicaoY),
           articulacaoOmbro(PosicaoZ) ];
2 Punho = [ articulacaoPunho(PosicaoX), articulacaoPunho(PosicaoY),
           articulacaoPunho(PosicaoZ) ];
3
4 w = Bacia-Ombro;
```

```

5 | v = Punho-Ombro;
6 |
7 | CosTheta = dot(w,v)/(norm(w)*norm(v));
8 | ThetaEmGraus = acos(CosTheta)*180/pi;

```

### 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 1º 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 2º 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.

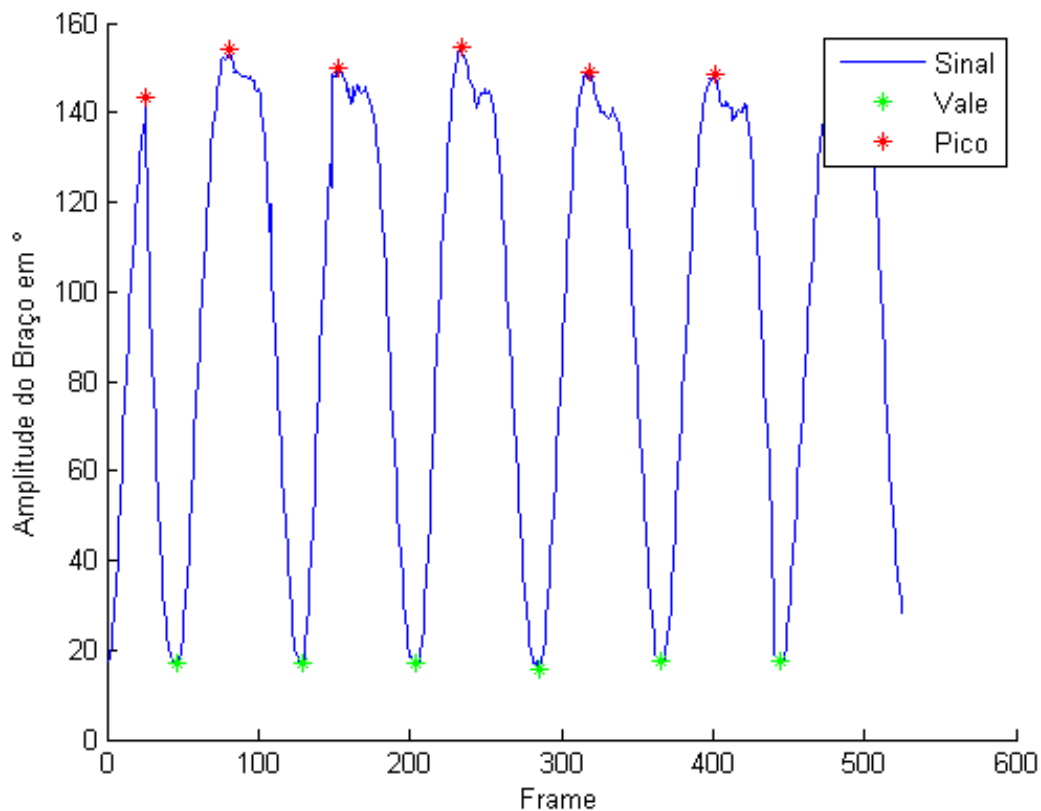


Figura 3.7: Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço

### 3.4.3 Filtragem de Dados

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

**Escalonar 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 escalonar 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 [63]. 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 será 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 [54].

**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 (3.2), chamado de  $\bar{X}$  consiste na média aritmética de todos os ciclos de movimento ou seja calcula a centralização dos dados [51].

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)}{(n)} \quad (3.2)$$

**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 [51]. Neste caso o valor esperado é o vetor médio dos ciclos ( $\bar{X}$ ) e a variância, Equação (3.3), irá nos informar o quão distante cada ciclo ( $C$ ) está em relação a média.

$$var(C) = (C - \bar{X})^2 \quad (3.3)$$

**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 pode colocar na base ciclos com ruídos e consequentemente impactar na classificação dos dados.

Código Fonte 3.2: Filtro dos Ciclos

```

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

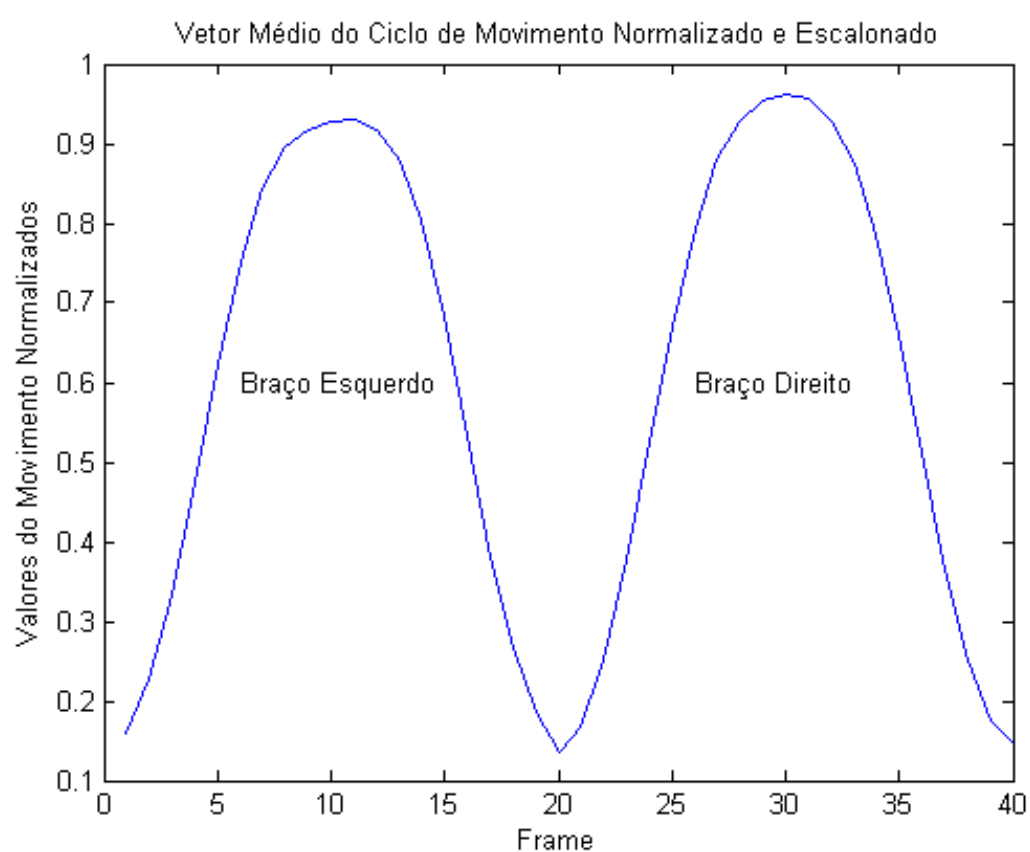


Figura 3.8: Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados



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

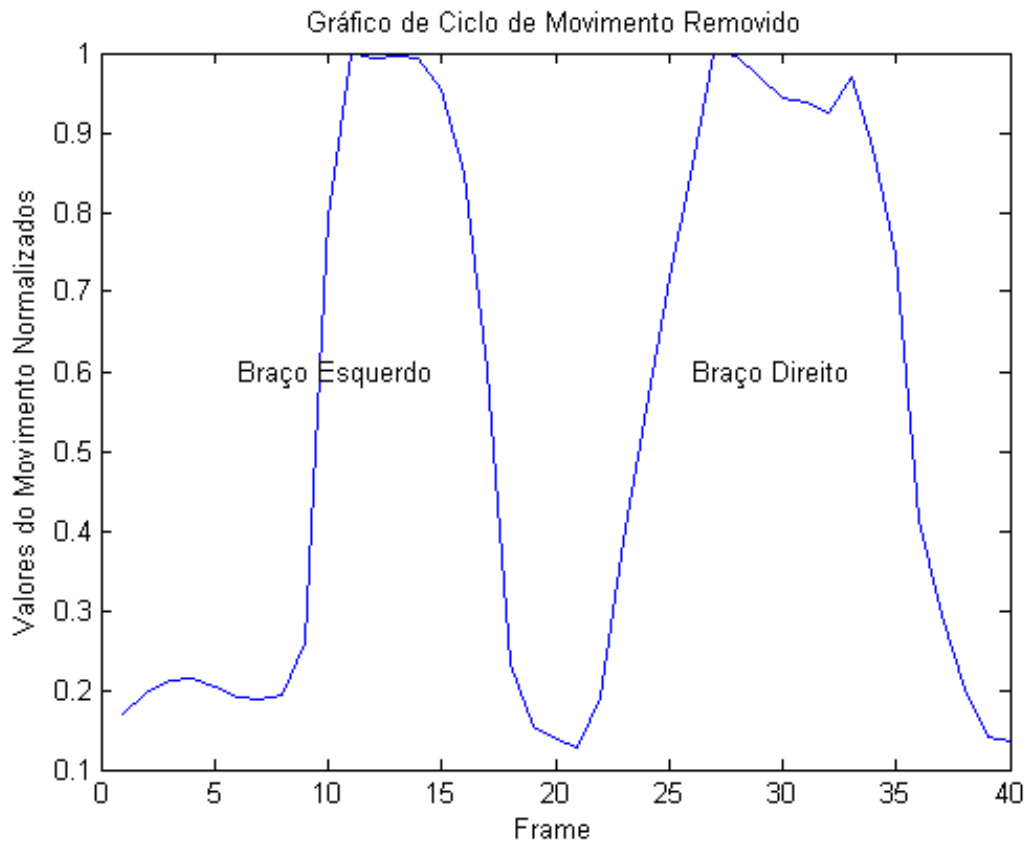


Figura 3.9: Ciclo de Movimento Removido

### 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. O resultado desta etapa resulta num conjunto de ciclos de movimento processados onde podemos visualizar na Figura 3.10. Percebamos na mesma figura a grande variabilidade de movimento existente entre os indivíduos diagnosticados com a Doença de Parkinson e Indivíduos sem o diagnóstico da doença. 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 DP.

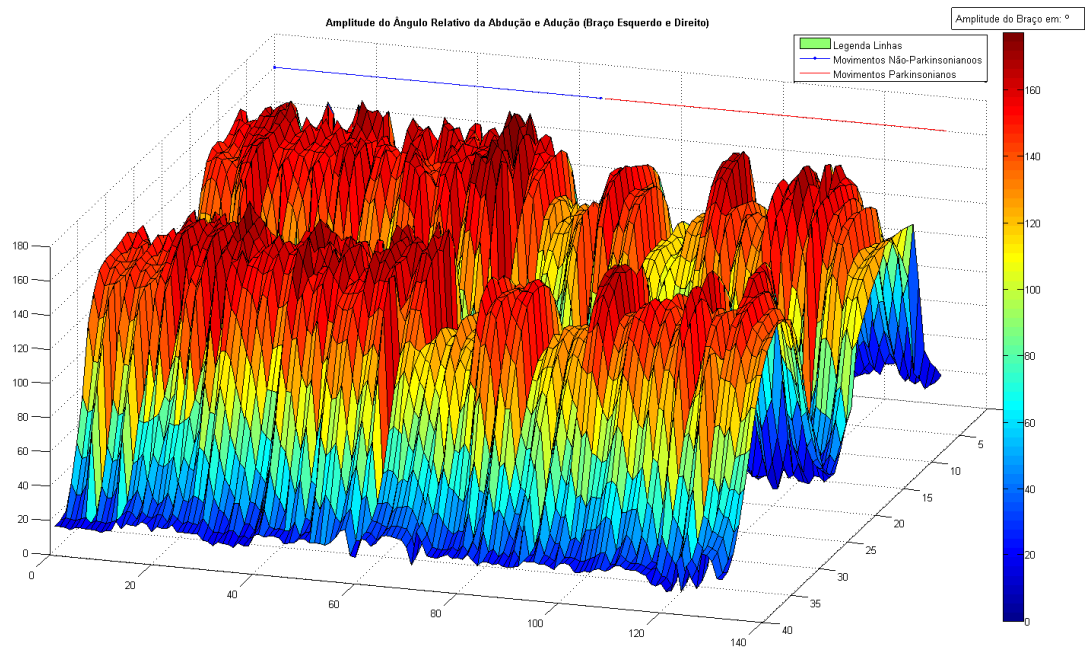


Figura 3.10: Ciclos de Movimento Abdução e Adução Usados na Classificação

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 a DP 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 *GAHME* para monitorar seus dados. Um classificador de dados por máquina de aprendizagem seria utilizado para identificar sintomas 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 *GAHME* serve como apoio ao diagnóstico e acompanhamento dos sintomas motores.

## 3.6 Visualização dos Dados

O acompanhamento de sintomas motores se faz necessário, principalmente para doenças crônicas de impacto motor e que tenham melhoria nos sintomas. 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 diagnóstica com a DP (Tabela ) e um indivíduo sem o diagnóstico da doença (Tabela 3.1).

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 DP

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 DP

Como pode ser visto nesses dados a amplitude de de um indivíduo diagnosticado com a DP 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 DP possui uma velocidade muito maior do que o indivíduo sem o diagnóstico. Possivelmente porque um paciente da DP perde um pouco o controle sobre o membro fazendo-o descer

abruptamente [30]. 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.

## Capítulo 4

### Arquitetura de Software para *GAHME*

A arquitetura do sistema faz uso de diferentes tecnologias conforme a Figura 4.1. Essa arquitetura facilita o desenvolvimento de um jogo para monitoramento de dados por criar uma camada de *software* integrada a uma *engine* de jogos bem conhecida e bastante utilizada pelas desenvolvedoras de jogos. Com o propósito de facilitar a programação de jogos para saúde e ser aplicados em outros contextos, foi criado um Componente de *Software* sobre a *engine* de jogos Unity 3D [64]. Desta maneira, desenvolvedores de jogos podem criar *GAHMEs* usando esse arcabouço (Seção 4.1.1) abstraindo da complexidade existente no processamento do sinal dos dados e na identificação dos sintomas motores.

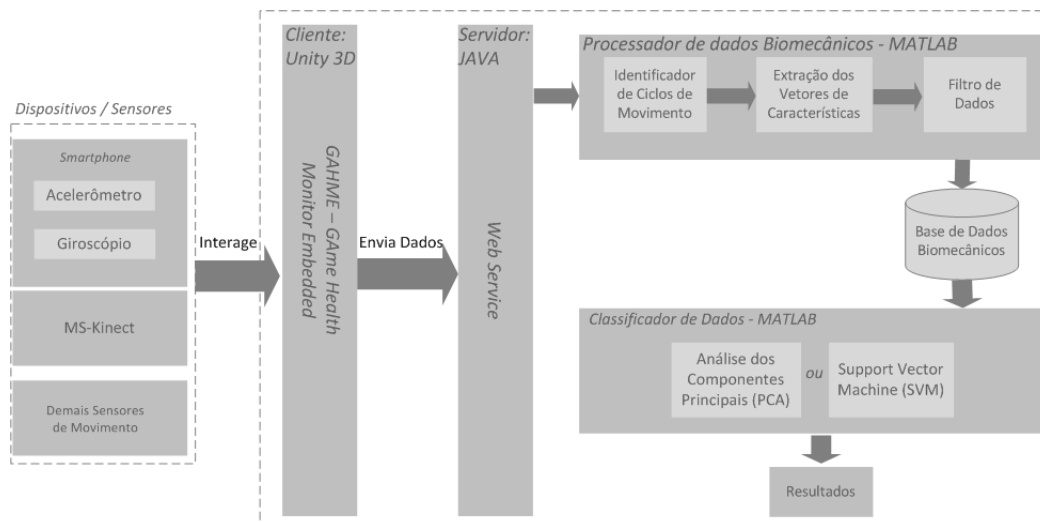


Figura 4.1: Extensão da Arquitetura do Sistema Proposta por Santos Jr. [65]

#### 4.1 Aquisição de Dados

A arquitetura Cliente e Servidor do *GAHME* foi realizada com a colaboração de um ex-aluno de Mestrado da UFCG Antônio Santos Jr. [65] esta seção contém parte de seu trabalho.

### 4.1.1 Arquitetura do Cliente *GAHME*

O Unity3D [64] é um ambiente de desenvolvimento de jogos multi-plataforma. Isso permite que os desenvolvedores possam abstrair aspectos do Hardware em que o jogo será executado tendo a preocupação somente com o desenvolvimento do jogo, após desenvolvido eles podem ser portados para *Web*, *Desktop*, PCs, *Smartphone* e até mesmo consoles de jogos eletrônicos [66].

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 dados 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 Zigfu [67] que permite integrar o Ms-Kinnect [68] como controlador do jogo.

Os jogos eletrônicos que fazem uso dos movimentos do corpo permitem a liberdade de movimento, logo o movimento exercido nestes possibilitam muita variabilidade. Logo, é necessário que o desenvolvedor tenha a informação de quais ações o jogador precisa executar para que estas sejam monitoráveis. As ações de um *GAHME* devem estar descritas no *GAHME Action Design* (Seção 5.5.2) como estabelecido no processo de desenvolvimento proposto no Capítulo 5.

O Ms-Kinnect [68] é um sensor de captura de movimentos utilizado tanto para o console MS-XBOX 360 quanto para PCs. Ele consegue capturar o movimento do corpo humano, e identificar as articulações por meio da posição anatômica do corpo humano [44], como pode ser visto na Figura 4.2.

O Zigfu [67] é um componente de Software que permite integrar o Ms-Kinnect ao Unity3D. O Zigfu faz um mapeamento das articulações adquiridas pelo Ms-Kinnect (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*

Criamos o jogo *Catch the Spheres* com a abordagem *GAHME*. Seu desenvolvimento seguiu os Requisitos da Solução definidos na Seção 3.1.

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

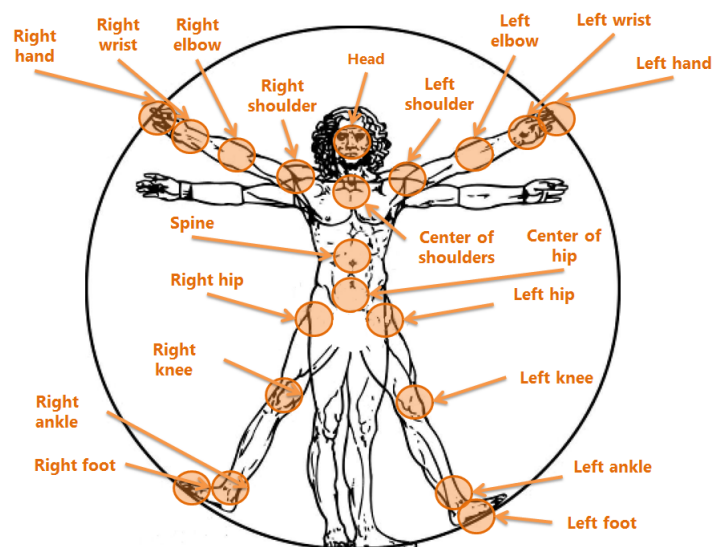


Figura 4.2: ©Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinnect [68]

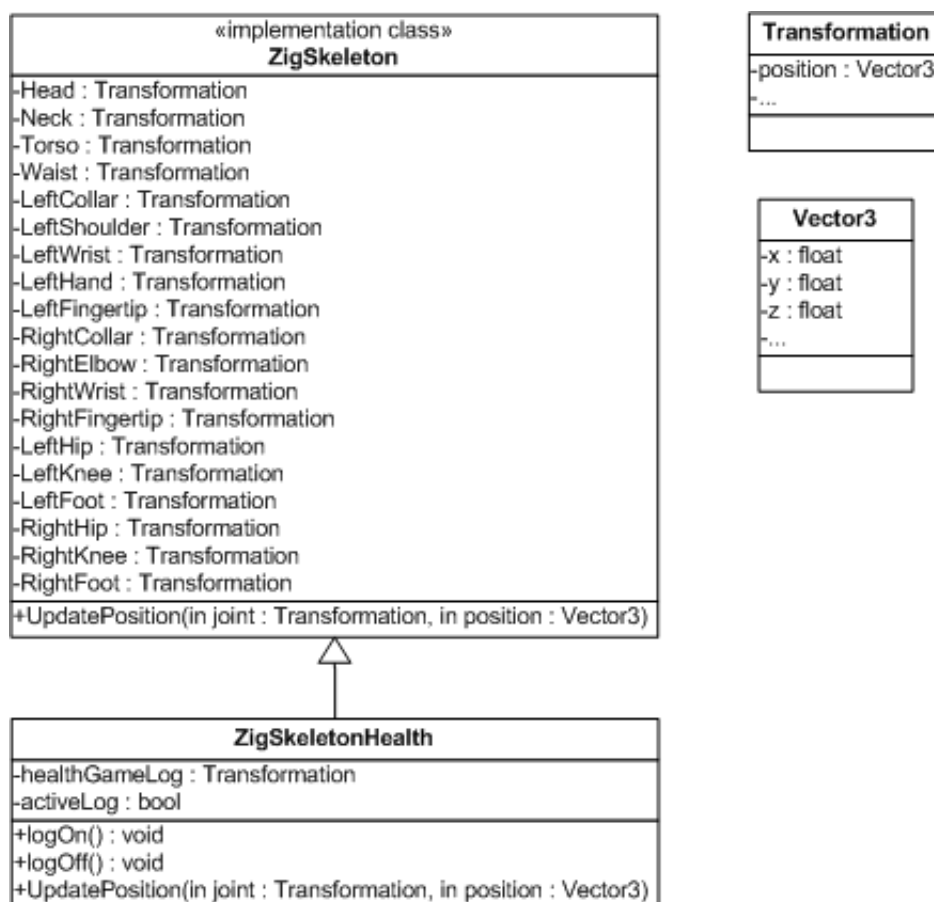


Figura 4.3: Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth

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

Houve uma preocupação com a integridade física do jogador ([REQ-GAHME-04]), mas com numa análise com os usuários foi identificado que o mecanismo de desvio das bolas não é indicado para usuários com problemas de equilíbrio (Seção 6.4) e este será removido em versões posteriores.

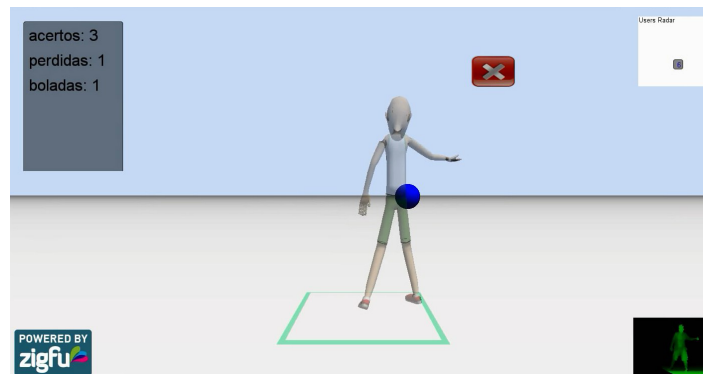


Figura 4.4: O jogo *Catch the Spheres*

#### 4.1.2 Arquitetura do Servidor *GAHME Webservice*

O mecanismo de aquisição e armazenamento dos sinais motores ([REQ-GAHME-05]) torna possível a análise dos dados motores do usuário no qual o jogo armazena as informações e as envia para o servidor de dados.

O *GAHME Webservice* foi desenvolvido em colaboração com Antônio Santos Jr. em sua dissertação de mestrado [65]. Do arcabouço do *webservice* definido em seu trabalho (Figura 4.5), foram aproveitados os módulos de criação de usuário, recebimento de dados, gerenciador de arquivos e o módulo de escrita para gerar os arquivos a serem exportados e processados no MATLAB 2011 [62] conforme a Arquitetura exposta na Figura 4.1.

O processo inicia com a aquisição dos dados dos sensores, que podem ser enviados para o *webservice* e processados pela classe `ReadingResource` ou enviados por arquivos e processados pela classe `FileManager`, acessada através do `DataManager`. O `ReadingResource` envia os dados recebidos para o `DatabaseManager`, também acessado através do `DataManager`, para armazená-los no *banco de dados* [65]. Na Tabela 4.1, ilustram-se as operações disponibilizadas pelo *webservice* e um exemplo de como os dados devem ser estruturados para cada operação.



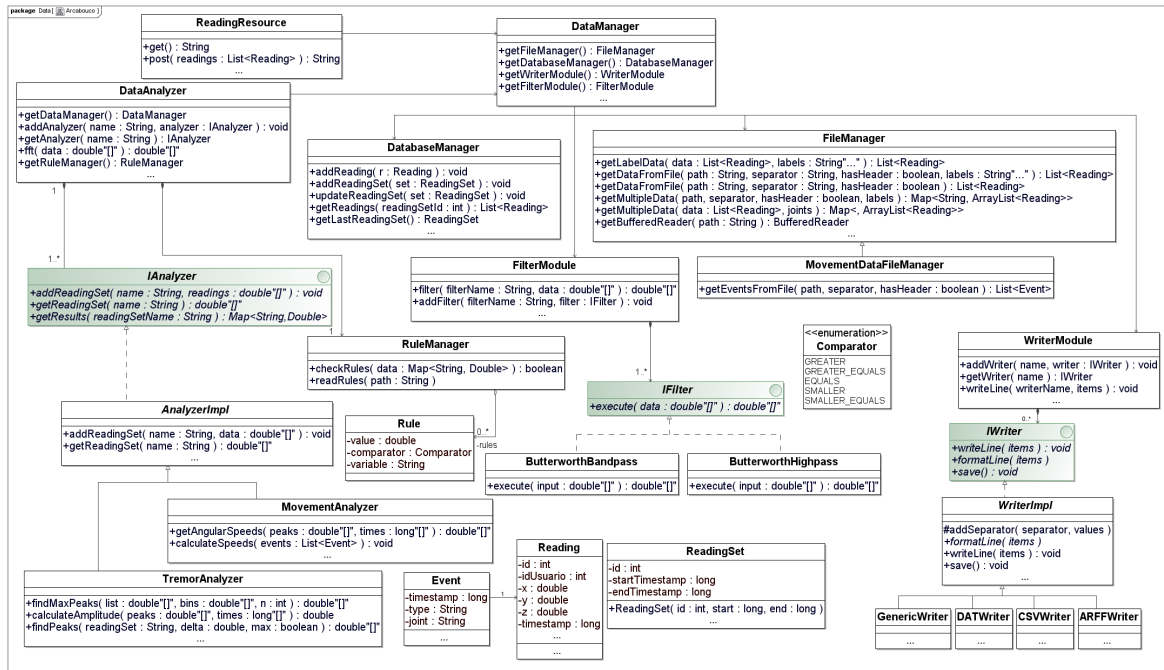


Figura 4.5: Diagrama de Classes do Arcabouço [65]

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).

## Gerenciador de Dados

O *Gerenciador de Dados* possui submódulos responsáveis por fazer leitura, separação e filtragem dos dados, além do gerenciamento destes no Banco de Dados com a escrita dos resultados disponibilizados pelo *Analizador de Dados*. A classe `DataManager` implementa as funcionalidades do *Gerenciador de Dados*, referenciando os quatro módulos: *Gerenciador de Arquivos*, *Módulo de Escrita*, *Módulo de Filtragem* e *Gerenciador do Banco de Dados*. Estes módulos serão explicados nas subseções a seguir. A classe `DataManager` possui um construtor `DataManager(DatabaseManager, FileManager, WriterModule, FilterModule)`, que recebe como parâmetros os quatro módulos. Dessa forma, é possível aumentar a funcionalidade de cada um dos módulos estendendo suas respectivas classes por herança e adicionando a elas novos métodos. A classe `MovementDataFileManager`, tratada mais adiante, é um exemplo de extensão do `FileManager`.

O *webservice*, implementado utilizou a biblioteca Jersey<sup>1</sup>, que facilita o desenvolvimento

<sup>1</sup>Disponível em: <http://jersey.java.net/>

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>

de *RESTful webservices*. As requisições são enviadas para serem processadas pela classe `ReadingResource`, que é um *web resource*, uma entidade que recebe requisições HTTP e envia respostas. Esta classe possui dois métodos, o `get()` que trata requisições *GET*, retornando o identificador do último conjunto de leituras para controle do armazenamento no banco de dados; e o método `post(List<Reading> readings)` processa os dados das leituras enviados através de requisições *POST*, e convertidos de JSON para objetos Java pela biblioteca Jersey. A classe `ReadingResource` está acoplada à classe `DataManager` e, através dela, tem acesso ao *Gerenciador do Banco de Dados*. O *webservice* pode ser instalado em qualquer *web container*, como o Apache Tomcat<sup>2</sup> e o GlassFish<sup>3</sup>.

### Gerenciador de Arquivos

A classe `FileManager` implementa o módulo *Gerenciador de Arquivos*, que processa as operações de abertura de arquivos de dados delegadas pelo *Gerenciador de Dados*. Esse módulo processa os dados recebidos, armazenando-os em dados estruturados para serem processados posteriormente pelo *Analizador de Dados*. O dado estruturado aceito pelo *Analizador de Dados* é composto por um rótulo identificador do dado, uma marca de tempo com precisão de milissegundos, e coordenadas x, y e z, cujo significado depende do tipo de sensor

<sup>2</sup>Disponível em: <http://tomcat.apache.org/>

<sup>3</sup>Disponível em: <http://glassfish.java.net/>

que as gera.

Os métodos da classe `FileManager` são:

1. `getLabelData(List<Reading> data, String... labels)` filtra os dados da lista de leituras `data`, retornando uma nova lista `List<Reading>` contendo apenas os dados com os rótulos definidos em `labels`.
2. `getDataFromFile(String path, String separator, boolean hasHeader)` lê os dados de um arquivo localizado no caminho `path`, cujos dados estão separados pelo separador `separator` e definidos linha a linha. O parâmetro `hasHeader` indica se o método deve procurar por uma linha de cabeçalho na primeira linha do arquivo. Retorna uma `List<Reading>` com os dados.
3. `getDataFromFile(String path, String separator, boolean hasHeader, String... labels)` estende a funcionalidade do método anterior, retornando uma `List<Reading>` com os dados que possuem os rótulos definidos em `labels`.
4. `getMultipleData(String path, String separator, boolean hasHeader, String... labels)` possui a mesma função que o método 3, mas, diferente deste, retorna um `Map<String, List<Reading>` onde cada chave do mapa é um rótulo e indexa uma lista de eventos identificados pelo rótulo.
5. `getBufferedReader(String path)` retorna um `BufferedReader` para manipular o arquivo cujo caminho é especificado em `path`.

A classe `MovementDataFileManager` estende as funcionalidades do `FileManager`, adicionando um método para leitura de eventos oriundos de jogos. Os eventos marcam o início ou fim de um momento específico do jogo no qual o jogador estará executando um movimento que será enviado para análise.

### 4.1.3 Módulo de Escrita

O *Módulo de Escrita* é implementado pela classe `WriterModule`, que é responsável pela saída dos dados processados pelo *Analizador de Dados*. Os dados podem ser estruturados para serem mostrados em um programa de plotagem de gráficos, como o `GNUPlot`<sup>4</sup>, ou para servirem como entrada para mecanismos de aprendizado de máquina. Os dados são escritos em CSV (*Comma-separated Values*) ou em qualquer outro formato definido pelo usuário do arcabouço. O módulo de escrita também suporta a escrita de arquivos ARFF, para serem processados pelo `Weka`<sup>5</sup>. O *Módulo de Escrita* é extensível para permitir a geração de um

<sup>4</sup>Disponível em: <http://www.gnuplot.info/>

<sup>5</sup>Disponível em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

formato de arquivo específico. A criação de um novo arquivo de dados é feita através da extensão da classe `WriterImpl` pela classe que se está criando.

A interface `IWriter` define três métodos para manipular arquivos de dados:

1. `formatLine(Object... items)` formata os itens `items` adicionando separadores ou qualquer outra formatação adicional definida na classe específica de escrita que implementa `IWriter` ou estende `WriterImpl`.
2. `writeLine(Object... items)` escreve uma nova linha no arquivo, seguindo a formatação definida pelo método 1.
3. `save()` fecha a *stream* de escrita dedicada ao arquivo e salva o arquivo em disco.

A classe `WriterImpl` implementa os métodos comuns a todas as classes de escrita, definidos pela interface `IWriter`, fornecendo um método adicional para incluir separadores entre os elementos de uma linha. Para definir um comportamento diferente daquele implementado por `WriterImpl`, deve-se implementar diretamente a interface `IWriter`.

## 4.2 Processador de Dados Biomecânicos

O Processador de Dados Biomecânicos, foi implementado em MATLAB 2011 [62] e como definido na 3.4 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* [60]. 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 ciclos de marcha (Seção 2.3.3 ou movimentos sucessivos de adução e abdução do braço (Seção 2.3).

Código Fonte 4.2: Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico

```

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

```

## 4.2.2 Extração das Características do Movimento

Supondo que os ciclos de movimento foram identificados através da posição do punho, é necessário agora extrair as características do movimento. Para isso, o primeiro passo é calcular os ângulos relativos do movimento angular usando os pontos das articulações como pode ser visto no Código Fonte 4.3. A função *ArmRelativeAngleTorso()* realiza o cálculo do produto escalar entre as três articulações (Código Fonte: 3.1).

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 :
14             end) ./ max(T(:,scaledLength*2 + 1:end));
15     end
16
17     threshold = 1;
18     meanOfNormalization = mean(normalization);
19     u = ones(size(normalization,1),1);
20     filterTestVector = sum((normalization - (u*meanOfNormalization))
21         .^2,2);
22     filterVector = filterTestVector < threshold;
23
24     KinectData = [T(filterVector,:) otherFeatures(filterVector,:)];
25     processedCycles = T(filterVector,:);
26     labels = labels(filterVector,:);
27 end

```

### 4.3 Classificador de Dados

Para avaliar os requisitos de identificação dos sintomas motores ([REQ-GAHME-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* [62], 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 prever 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, trainingClassification, '
    Kernel_Function', 'linear', 'BoxConstraint', 0.10);
3 class = svmclassify(SVMStruct, testData, 'showplot', true); %Classe
    Preditiva
4 classificationRate = sum(class~=realValues);
5 errorRate = classificationRate / size(classreal,2);

```

## Capítulo 5

# Processo de Desenvolvimento de Jogos Eletrônicos Com Monitoramento de Dados de Saúde

Para a elaboração deste processo foi realizada uma revisão da literatura sobre processos de desenvolvimento de jogos tradicionais [28; 1; 69; 26], com o objetivo de identificar necessidades inerentes ao desenvolvimento de jogos voltados para saúde como pode ser visto em [70; 71; 72; 58; 5; 73]. Este capítulo define um processo de desenvolvimento de jogos para entretenimento que permita o monitoramento de dados de saúde de modo não invasivo.

O processo proposto, pode ser customizado posteriormente em outros contextos, desde que a equipe de desenvolvimento faça uma análise do processo e o instancie de acordo com suas necessidades.

A modelagem deste processo utiliza a semântica do meta-modelo *Software Process Engineering Metamodel* (SPEM) na Versão 2.0 [74], que permite modelar: métodos, atividades de processos de software através da notação gráfica UML.

### 5.1 Visão Geral

O processo proposto chamado de *GAHME Process*, tem como objetivo principal guiar o desenvolvimento de jogos eletrônicos com o objetivo monitorar dados de saúde (*GAHME*). Desta maneira, pode-se dizer que a principal contribuição deste processo é fornecer um conjunto coerente de atividades e artefatos direcionados para o desenvolvimento de um *GAHME*, mas que mantém a generalidade de um processo de desenvolvimento de *software*, e pode ser aplicado no contexto de desenvolvimento de jogos. Atualmente, o *GAHME Process* contempla duas fases distintas com responsabilidades definidas:

1. **Conceito:** responsável em definir o público alvo do jogo, identificar a população bene-



ficiada, e avaliar o impacto do desenvolvimento do jogo. É de responsabilidade desta fase avaliar os sintomas monitoráveis bem como a existência de sensores capacitados. O término da fase será um estudo da viabilidade do monitoramento dos sintomas por meio dos jogos eletrônicos.

2. **Pré-Produção:** definir as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do jogo, e testar a aquisição do sinal pelos sensores utilizando um protótipo desenvolvido. Na Pré-Produção são elaborados cenários de jogos que permitam o monitoramento de dados, depois faz-se testes com os protótipos para a elaborar um artefato que define as ações monitoráveis dos jogadores (*GAHME Action Design* Seção 5.5.2).

## 5.2 Papéis e Responsabilidades

A descrição dos papéis presentes no processo é importante para um melhor entendimento das atividades realizadas no processo. Nesta seção serão descritos os papéis previstos assim como suas principais habilidades e atribuições.

### 5.2.1 *Game Designer*

O projeto de um jogo eletrônico é uma atividade multidisciplinar e requer a contribuição de diversos perfis e habilidades. O *Game Designer* deve trabalhar em colaboração com todos os membros da equipe de desenvolvimento como Engenheiro de Software, *Art Designer* e saber dos anseios do jogador [75]. Um bom *Game Designer* está disposto a escutar as diferentes opiniões e sugestões, para selecionar aquelas que melhorem a experiência do jogo [1]. Esse papel é responsável pela concepção, passando por atividades de: análise, melhorar o *game design* e verificar o produto final.

#### Habilidades

Para desempenhar este papel é necessário que o integrante tenha as seguintes habilidades:

- Entender dos anseios e ponto de vista do jogador em relação ao jogo [75];
- compreender as ações monitoráveis do jogador definidos no *GAHME Action Design* (Seção 5.5.2);
- conceber o jogo o que confere narrativa, regras e objetivos [75; 1; 23].

#### Abordagens de Atribuição

O *Game Designer* precisa conhecer as capacidades técnicas da equipe e das ações que monitoráveis do jogo, documentadas no *GAHME Action Design*.

### 5.2.2 *Game Health Designer*

O *Game Health Designer* tem um papel bem parecido com o do *Game Designer* (Seção 5.2.1), mas com a responsabilidade de trabalhar em colaboração com o Profissional de Saúde e com o Engenheiro de Software para verificar a viabilidade do jogo.

O *Game Health Designer* elabora o *GAHME Action Design* (Seção 5.5.2) que é o artefato que faz o mapeamento das ações monitoráveis e sua relação com os dados de saúde.

#### Habilidades

Para desempenhar este papel é preciso:

- Compreender as diretrizes médicas (Seção 5.5.1);
- extrair sintomas monitoráveis com o auxílio do Profissional de Saúde;
- analisar as possibilidades de monitoramento por meio dos sensores disponíveis com o auxílio do Engenheiro de Software;
- verificar a viabilidade do monitoramento dos dados de saúde por meio de um jogo eletrônico;
- conceber um artefato de *GAHME Action Design* que auxilie na concepção de um jogo.

#### Abordagens de Atribuição

O *Game Health Designer* deve ter conhecimento tanto da área de saúde quanto das tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos jogos.

### 5.2.3 *Engenheiro de Software*

Esse papel é responsável por desenvolver o sistema. Os engenheiros de software utilizam como entrada o *GAME Design* e o *GAHME Action Guideline* gerado pelos Designers. É de extrema importância que esse perfil compreenda o *GAME Design* para que o jogo desenvolvido esteja de acordo com sua especificação.

#### Habilidades

Para desempenhar este papel é preciso:

- Definir e criar soluções técnicas através das tecnologias utilizadas no projeto.
- Comunicar e repassar a arquitetura da aplicação para os demais integrantes.

### **Abordagens de Atribuição**

O perfil do engenheiro de software é mais técnico. Esse profissional deve dominar a tecnologia de desenvolvimento de jogos utilizada além de compreender a capacidade dos sensores utilizados no projeto.

### **5.2.4 Profissional de Saúde**

O profissional de saúde representa o grupo interessado em receber os dados dos usuários, os quais serão monitorados. O entendimento das necessidades e interesses desse profissional são elementos chave para o desenvolvimento de uma solução efetiva.

#### **Habilidades**

O papel de Profissional de Saúde detém o expertise da doença e dos sintomas monitorados.

### **Abordagens de Atribuição**

O Profissional de Saúde, presente no processo de desenvolvimento, deve fornecer o conhecimento sobre os sintomas referentes a sua especialidade de formação. Auxiliando na compreensão dos sintomas e das ações dos usuários, que devem possibilitar o monitoramento.

Algumas doenças são acompanhadas por diferentes Profissionais de Saúde, sejam médicos e fisioterapeutas ou até mesmo médicos com diferentes especializações. Nestes casos, é necessário a participação dos diferentes perfis de profissionais de saúde para que sejam colhidas informações com mais detalhes e possa envolver a opinião dos diferentes profissionais.

## **5.3 Fase: Conceito**

A fase de Conceito tem como papéis principais para sua execução o *Game Health Designer* e o *Profissional de Saúde*. Estes perfis fazem a análise da viabilidade do monitoramento. Terminada essa atividade, o *Game Designer* elabora cenários de jogos que permitem o monitoramento. Baseado nos cenários, o Engenheiro de *Software* implementa protótipos de jogos para testar a abordagem.

Por se tratar de um jogo voltado para o monitoramento da saúde, as diretrizes médicas possibilitará o suporte científico para interpretação dos dados. Podem ser analisados e reproduzidos os trabalhos científicos da área, para verificar a viabilidade de um jogo a ser desenvolvido.

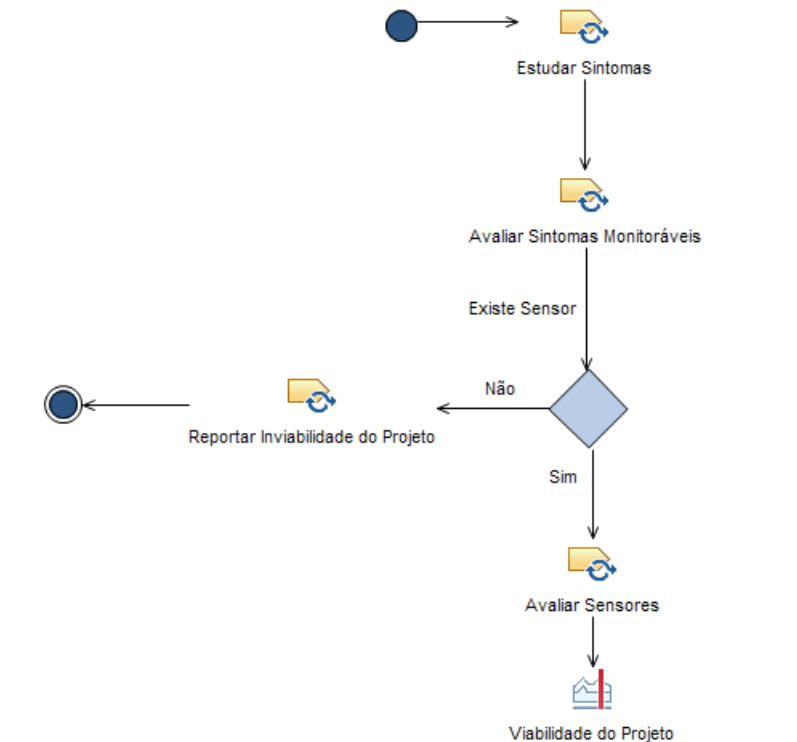


Figura 5.1: Fase de Conceito do *GAHME Process*

### 5.3.1 Atividade: Identificar Público Alvo

O *Game Health Designer* define o perfil do jogador, essa é uma questão importante, pois define o público alvo do jogo. Isso ocasiona em avaliar a faixa etária a que se destina o jogo, pois jogos desenvolvidos para um público infantil tem um perfil bastante diferente dos voltados para adultos [76]. Por isso, o público alvo impacta diretamente na elaboração do *Game Design* do projeto, pois o perfil do usuário pode necessitar de ambientes mais lúdicos em caso de crianças [77], ou uma maior preocupação com situações de risco para caso o jogo seja direcionado para os idosos [78; 17].

#### Papéis Responsáveis

- *Game Health Designer*;
- Profissional de Saúde.

#### Passos para Execução da Atividade

- Avaliar faixa etária;
- avaliar necessidade de monitoramento;
- avaliar sintomas a serem monitorados.

**Artefatos de Entrada**

- Diretrizes Médicas.

**Artefatos de Saída**

- Seção de Análise de Impacto do documento de *GAHME Design*.

**5.3.2 Atividade: Estudar Sintomas**

O objetivo principal dessa atividade é identificar sintomas monitoráveis usando as Diretrizes Médicas como base científica para a execução desta atividade e a opinião do Profissional de Saúde para melhor entendimento do sintoma e das práticas exercidas para a sua identificação. O *Game Health Designer* faz um mapeamento dos sintomas e possíveis valores que identifiquem a sua ocorrência.

O objetivo dessa atividade é identificar os sintomas monitoráveis sem levar em consideração a existência ou as especificações técnicas dos sensores que possibilite o monitoramento dos dados.

**Papéis Responsáveis**

- *Game Health Designer*;
- Profissional de Saúde.

**Passos para Execução da Atividade**

- Identificar sintomas;
- avaliar necessidade de monitoramento dos sintomas;
- Descrever sintomas passíveis de monitoramento.

**Artefatos de Entrada**

- Diretrizes Médicas.

**Artefatos de Saída**

- Seção de Sintomas Passíveis de Monitoramento do documento de *GAHME Design*.

### 5.3.3 Avaliar Sintomas Monitoráveis

Baseado na Seção de Sintomas Passíveis de Monitoramento do documento de *GAHME Design* e na Especificação dos Sensores existentes o *Game Health Designer* irá identificar e descrever quais são os sintomas monitoráveis. Para a elaboração deste artefato faz-se necessária a colaboração do Engenheiro de *Software* por ter habilidades em tecnologia e este ser mais habilitado a compreender as especificação do sensor. O Profissional de Saúde tem papel auxiliar para esclarecer dúvidas sobre os sintomas e como o monitoramento deve ser efetuado.

O *Game Health Designer* participa das discussões de saúde e tecnológicas, pois ele irá conceber quais serão as ações executadas pelo jogador, logo ele necessita entender tanto das limitações técnicas dos sensores quanto dos movimentos que o jogador efetua.

#### Papéis Responsáveis

- *Game Health Designer*;
- Engenheiro de *Software*;
- Profissional de Saúde.

#### Passos para Execução da Atividade

- Analisar os sintomas monitoráveis;
- coletar sensores que possibilitem o monitoramento;
- estudar os principais sensores;
- mapear sintomas e sensores que possibilitem o monitoramento dos dados.

#### Artefatos de Entrada

- Seção de Sintomas Monitoráveis do documento de *GAHME Design*

#### Artefatos de Saída

- Seção de Sintomas Monitorados do documento de *GAHME Design*

### 5.3.4 Reportar Inviabilidade do Projeto

A inviabilidade do projeto pode ter diferentes fatores, essa atividade ficará a cargo do Engenheiro de *Software*, para a tomada de decisão, ele faz a captura dos sinais e verifica se o sensor tem a precisão necessária para identificar os sintomas. Caso o sensor ou as ações não

sejam monitoráveis o Engenheiro de *Software* elabora um documento justificando a inviabilidade do projeto.

#### **Papéis Responsáveis**

- Engenheiro de *Software*.

#### **Papéis Auxiliares**

- Profissional de Saúde.

#### **Passos para Execução da Atividade**

- Analisar precisão dos sensores e comparar com os sintomas monitoráveis;
- explicar motivos que tornaram o monitoramento inviável.

#### **Artefatos de Entrada**

- Seção de Sintomas Monitorados do documento de *GAHME Design*;

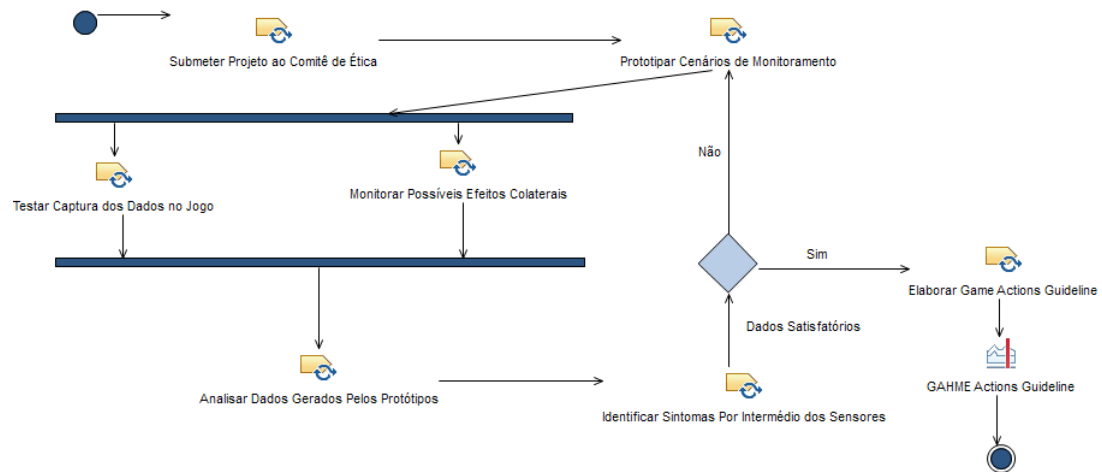
#### **Artefatos de Saída**

- Seção de Inviabilidade de Monitoramento do documento de *GAHME Design*

## **5.4 Fase: Pré-Produção**

Os jogos para saúde precisam passar por pesquisa entre seres humanos e testado com grupo de controle para verificar sua eficácia [73]. Na pré-produção (Figura 5.2), deve ser desenvolvido um protótipo do jogo para verificar sua viabilidade. Logo, se o protótipo desenvolvido for testado com seres humanos e os dados forem testados com uma boa eficácia finaliza-se a pré-produção. De posse dos artefatos deste processo, pode-se executar o ciclo de desenvolvimento de um jogo tradicional como definido em [27].

A fase de Pré-Produção tem como papéis principais para sua execução o *Game Designer* e o Engenheiro de *Software* e como resultado final a comprovação da eficácia do protótipo do jogo em relação ao monitoramento dos dados de saúde.

Figura 5.2: Fase de Pré-Produção do *GAHME Process*



### 5.4.1 Submeter Projeto ao Comitê de Ética

O objetivo dessa atividade é submeter o protótipo do jogo às normas regulamentadoras previstas para a pesquisa envolvendo seres humanos segundo a Resolução 196/96 [79]. Segundo o Conselho Nacional de Saúde [80], o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) é um colegiado interdisciplinar e independente, que deve existir nas instituições que realizam pesquisas envolvendo seres humanos no Brasil, criado para defender os interesses dos sujeitos da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos (Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos - Res. CNS 196/96 [79]).

O CEP é responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. Este papel está bem estabelecido nas diversas diretrizes éticas internacionais (Declaração de Helsinque, Diretrizes Internacionais para as Pesquisas Biomédicas envolvendo Seres Humanos – CIOMS) e Brasileiras (Res. CNS 196/96 e complementares [79]), diretrizes estas que ressaltam a necessidade de revisão ética e científica das pesquisas envolvendo seres humanos, visando a salvaguardar a dignidade, os direitos, a segurança e o bem-estar do sujeito da pesquisa [80].

Os pesquisadores elegem os riscos da pesquisa, principalmente danos físicos, psíquicos, moral, intelectual, cultural do ser humano em qualquer fase de uma pesquisa dela decorrente [79]. Sendo necessária a anuência do sujeito da pesquisa ou de um representante por intermédio do Consentimento livre e esclarecido, onde será explicado a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, formulada em um termo de consentimento, autorizando sua participação voluntária na pesquisa [79]. Caso o sujeito da pesquisa se enquadre nos critérios estabelecidos para interromper a pesquisa, essa deverá ser finalizada assegurando a integridade do mesmo. Como o Profissional de Saúde possui em sua formação a natureza da pesquisa além de conhecer os métodos que serão aplicados durante a pesquisa ele possui o perfil mais habilitado para desempenhar essa atividade.

Atualmente no Brasil para poder testar o jogo com monitoramento de dados de saúde junto a pacientes, e conseqüentemente testar sua eficácia, é necessário passar por esse processo e obter a aprovação de um CEP. Este é um processo demorado e pode impactar a entrega final.

#### Papéis Responsáveis

- Profissional de Saúde.

#### Passos para Execução da Atividade

- Analisar os sintomas a serem monitorados;

- Identificar objetivo da pesquisa;
- Identificar potenciais riscos e estabelecer critérios para interromper a pesquisa;
- Identificar benefícios previstos.

#### **Artefatos de Entrada**

- Diretrizes Médicas;
- Seção de Sintomas Monitorados do documento de *GAHME Design*.

#### **Artefatos de Saída**

- Projeto Submetido ao Comitê de Ética Médica;
- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

### **5.4.2 Verificar Eficácia do Jogo**

A eficácia do jogo será verificada através de um estudo analítico de caso-controle [81], dentro de um ambiente aprovado pelo CEP que permitirá recrutar sujeitos de pesquisa. Uns sujeitos deverão apresentar os sintomas a serem monitorados e outros não terão tais sintomas. Os dados serão coletados e ao final deverá ser verificado se os sintomas foram corretamente identificados.

Kato [73] defende que para essa verificação é necessário obter um número adequado de participantes para conseguir avaliar o impacto do jogo. Contudo, determinados sintomas possuem poucos sujeitos de pesquisa disponíveis reduzindo a abrangência da pesquisa.

### **5.4.3 Atividade: Elaborar *GAHME Design***

De posse dos movimentos e da captura dos dados descritos no *Game Action Guideline*. É elaborado um *game design* inclui os movimentos no contexto do jogo eletrônico [59], este jogo possui mecanismos de monitoramento dos dados de saúde embutidos. Para a execução desta atividade, leva-se em consideração um processo iterativo, que precisa é: protipar, testar e refinar continuamente até concluir [76].

## **5.5 Artefatos**

Os artefatos de software servem como documentos de entrada e saída da execução de atividades dentro do próprio processo [21].

### 5.5.1 Diretrizes Médicas

O principal propósito da atividade médica é o cuidado com o paciente, e isso traz enormes desafios de forma coletiva ou individual. Com o intuito de auxiliar na tomada de decisões, a comunidade médica mundial tem elaborado e divulgado um extenso número de informações [82; 83], muito mais acessíveis do que era no passado, redefinindo o universo do conhecimento médico, tornando-o livre e acessível para críticas e demais propósitos científicos [84].

Partindo do princípio que o conhecimento médico atual está presente nas diretrizes médicas e que através do seu conteúdo é possível extrair informações que permitam: identificar, avaliar a presença e evolução de sintomas de doenças.

#### Propósito

As diretrizes médicas permitem identificar sintomas monitoráveis, bem como parâmetros relevantes a esses sintomas. Este documento é escrito pela comunidade médica e é considerado como base científica sobre o tema abordado. Para o *GAHME Process* este artefato servirá de artefato de entrada para fundamentar quais sintomas serão monitorados e de que forma serão avaliados.

### 5.5.2 GAHME Action Design

#### Documento de Sintomas Monitoráveis

Esse artefato é o principal artefato da fase de *Concepção*, é através dele que será decidida a viabilidade do desenvolvimento do jogo nas fases seguintes do processo de desenvolvimento. Contudo, mesmo sendo um artefato elaborado na primeira fase do processo de desenvolvimento, este não será descartado nas demais fases pois deverá ser testado e refinado nas fases seguintes do processo.

#### Cenário de Jogo

A fase de conceito do cenário do jogo para muitos autores é definida como crucial para conseguir um jogo de sucesso e atingir elementos difíceis de serem mensurados como por exemplo a diversão. O uso de protótipos nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento permitem anteceder o comportamento do jogo e auxiliar na definição do mesmo durante a elaboração do *Game Design*, pois os jogadores podem experimentar o jogo nas etapas iniciais e permite que estes tenham suas opiniões [85].

Para conceber os cenários iniciais, não precisa necessariamente desenvolver um jogo. Estudos indicam que mecanismos de prototipagem rápida ou de baixo custo [85; 27] permitem

o entendimento da ideia proposta e habilita aos participantes a discussões logo no início do projeto, reduzindo o custo com modificações em fases mais adiantadas do desenvolvimento.

# Capítulo 6

## Avaliação Experimental

Neste capítulo são descritos os experimentos realizados para verificar as hipóteses deste trabalho.

A realização do monitoramento de dados motores de uma maneira não-invasiva é um desafio, esta proposta fornece um mecanismo de monitoramento contínuo de dados de saúde por meio de jogos eletrônicos integrados à rotina diária dos usuários e de maneira lúdica. Pois, a partir de um *GAHME* é possível capturar, processar e classificar os movimentos cinéticos exercidos pelos usuários.

Para atingir os objetivos da pesquisa as seguintes hipóteses foram elencadas e testadas:

- H1** O acompanhamento de sintomas motores, integrados à rotina diária do paciente, traz benefícios ao tratamento e qualidade de vida do mesmo, do ponto de vista do profissional da saúde.
- H2** É possível capturar dados motores por meio de sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos. Esses dados auxiliam no acompanhamento de doenças com comprometimento motor.
- H3** É possível desenvolver um jogo que tenha mecanismos de captura de dados motores embutidos, e que permita monitorar e quantificar esses dados de maneira não-invasiva.

### 6.1 H1 - Entrevista Semi-Estruturada com Profissionais de Saúde

A interpretação de dados é o cerne da pesquisa qualitativa. Esse método tem como função desenvolver a teoria, servindo ao mesmo tempo de base para a decisão sobre quais dados adicionais devem ser coletados [86], através de técnicas de codificação seletiva. Esta técnica, permite elaborar uma categorização nos dados, demonstrando ao pesquisador quais são

os fenômenos salientes da pesquisa para que este possa ponderá-los. 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 em novos conhecimentos [86].

Para análise dos textos provenientes da pesquisa (transcrição da entrevista com os neurologistas e fisioterapeutas especialistas em neurologia) foi utilizada a codificação seletiva através de criação de categorias *a posteriori*. As categorias foram criadas e organizadas de acordo com o conteúdo de cada texto. As respostas de cada participante foram analisadas, e a partir da identificação das categorias, incluídas na árvore de categorias do QDA Miner [87], que pôde armazenar a transcrição de cada entrevista. Admitindo-se que uma classificação, para ser adequada, não pode ser feita arbitrariamente, a categorização da árvore foi criada e reformulada várias vezes durante o processo de análise de acordo com o método de pesquisa qualitativa [86].

### 6.1.1 Objetivo da Pesquisa

O objetivo da entrevista semi-estruturada foi entender como é feito o acompanhamento do paciente com sintomatologia da doença de parkinson, juntamente aos profissionais de saúde: neurologistas que prescrevem a dosagem medicamentosa e fisioterapeutas que fazem o acompanhamento motor do paciente, ao longo de seu tratamento. Os mesmos foram indagados se poderia haver melhora na tomada de decisão caso eles pudessem acompanhar o surgimento dos sintomas em diferentes momentos do dia por intermédio de um monitoramento contínuo dos sintomas. 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, no decorrer da entrevista, uma maior estruturação foi estabelecida sempre com a preocupação de evitar a referência do entrevistador sobre os pontos de vista do entrevistado, conforme prega o método científico [86].

### Instrumento de Análise dos Dados da Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa assistida por computador (*software*) permite uma melhor categorização das informações obtidas em modo texto. O *software* QDA Miner [87] 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 sintomas motores em pacientes com DP, e como um possível cenário de monitoramento dos sintomas por intermédio de jogos eletrônicos, poderia auxiliar os profissionais de saúde no tratamento dos pacientes.

Nesta seção, faz-se um detalhamento do resultado da entrevista semi-estruturada, descrevendo a opinião dos entrevistados e coletando requisitos baseado nas necessidades expostas pelos mesmos. Por meio desta etapa da pesquisa, foi testada a Hipótese **H1** pelo método qualitativo:

**H1** O acompanhamento de sintomas motores integrados à rotina diária do paciente, traz benefícios ao tratamento e na qualidade de vida do mesmo, do ponto de vista do profissional da saúde.

### 6.1.2 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 mister, pois tais profissionais desempenham funções distintas, porém complementares. Os neurologistas realizam o diagnóstico e acompanham os sintomas 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 sintomas motores em sessões de fisioterapia promovendo a aprendizagem motora desses pacientes. Logo, esses profissionais possuem visões e preocupações distintas inerentes a sua profissão.

Para manter a confidencialidade de informação, os entrevistados receberam uma **LEGENDA** que identifica o perfil profissional seguido por um número sequencial que identifica o entrevistado, mas preserva sua identidade, como descrito na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: 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 [30; 88] e na tabela UPDRS [37] sobre o progresso da DP e dos sintomas monitoráveis por sensores de movimento. Para a entrevista foram elaboradas 15 perguntas agrupadas em 3 seções (Apêndice B) com os seguintes temas: sintomas da doença de parkinson, monitoramento da saúde motora e os benefícios advindos do monitoramento. Devido as diferenças existentes

na abordagem utilizada por cada profissional o entrevistador pôde selecionar as questões de acordo com as habilidades e responsabilidades do entrevistado.

### 6.1.3 Análise

Durante a análise dos textos 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 DP.

#### Diagnóstico

Na entrevista junto aos neurologistas, foi indagado como o diagnóstico da DP é realizado. A entrevista corroborou com a literatura médica [33; 89], que informa que DP possui um diagnóstico de exclusão [88; 30].

Todos os profissionais informaram que o sintoma mais comum é o tremor de repouso, e que este inicialmente é unilateral e seguido de uma bradicinesia como podemos perceber nos ([FRAGMENTO-01][FRAGMENTO-02]). Ainda no ([FRAGMENTO-01]), existe uma ocorrência do [NEU\_01] em que o mesmo evoca sobre a importância da técnica de *Finger Taps* [37] 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 di-



ferencial da DP [30], consiste na redução dos sintomas parkinsonianos em decorrência da resposta ao tratamento medicamentoso.

**[FRAGMENTO-03][NEU\_01]** - *Então os sintomas 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 sintomas para o acompanhamento da sintomatologia da DP.

O sintoma de tremor, além de ter sido referenciado durante o diagnóstico da doença na Seção 6.1.3 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 DP. No ([FRAGMENTO-05]) o [NEU\_01] reforçou sobre a importância de controlar os sintomas de lentidão do movimento ante os de tremor [36].

**[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 DP 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 DP, 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 sintomas 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 dipofonia, e apresenta uma maior rigidez muscular. Eles reclamam bastante e a bradicinesia que tornam os movimentos cada vez mais lentos.*

Foi identificada uma ocorrência na dificuldade do andar do paciente de DP, quando o [NEU\_01] cita no ([FRAGMENTO-07]) (“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 ...”). O [NEU\_02] corrobora com a mesma opinião ao citar a dificuldade de iniciar a marcha no ([FRAGMENTO-09]). O fisioterapeuta no papel de realizar o acompanhamento da marcha nas sessões fisioterápicas, fornece um aprendizado motor para a melhora da qualidade de vida do paciente de acordo com suas limitações ([FRAGMENTO-10]).

**[FRAGMENTO-09][NEU\_02]** - *Problema na marcha. Dificuldade de iniciar a marcha, certa dificuldade de um lado comprometido. Mesmo quando o sintoma está unilateral eles sentem dificuldade para iniciar a marcha.*

**[FRAGMENTO-10][FIS\_01]** - *Numa marcha, o doente de Parkinson tem a tendência de estar olhando para o chão. Mas a gente sabe que isso não é compatível com uma boa marcha a tendência é cair, para piorar eles têm os passos miúdos e também um passo arrastado. Então esse passo favorece a queda, poise*

*ele perdeu a marcha automática que é aquela que a gente adquire na infância. O que a gente faz nas sessões de fisioterapia é tentar aplicar auto-correções para adaptar o paciente à nova realidade para que ele tenha uma aprendizagem motor e no futuro um automatismo do movimento.*

Devido a quantidade de ocorrências sobre a análise da marcha para o acompanhamento da DP, e a possibilidade da ocorrência de quedas dos indivíduos. Esses, dois fatos corroboraram com o uso de base de dados contendo dados sobre a marcha, pois isto vai além do custo financeiro para a aquisição dos sensores que capturam a FVRS. Logo, ao usar bases contendo esses dados para a pesquisa, preserva-se a integridade física dos pacientes.

### **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 6.3.1. 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 a DP 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 DP, 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 consequentemente, 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 consequentemente 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 DP é a redução na assimetria do movimento conforme a opinião do [NEU\_01] no [FRAGMENTO-16] e na tabela UPDRS [37] em sua escala de avaliação do progresso da doença (Seção 2.2.3).

**[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**

As relativas aos benefícios advindo do monitoramento, estavam relacionadas à quantificação dos sintomas como: amplitude de movimento de adução e abdução do braço, velocidade angular deste movimento e se estes valores permitem um monitoramento dos sintomas. 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 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.*

Foi indagado junto aos profissionais se monitoramento dos dados 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 DP 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.*

#### 6.1.4 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 [90]. 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 [91; 92].

Uma das técnicas de identificação de requisitos, que é baseada em pesquisa qualitativa, é a entrevista semi-estruturada em que o entrevistador possui um conjunto de perguntas pré-definidas e guia a entrevista de acordo com a opinião do entrevistado [86]. 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 [21]. Logo, foi utilizada o resultado da análise da pesquisa qualitativa, para identificar os requisitos deste trabalho. 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 [33; 93; 13].

**REQ-ENTREVISTAS-02** : Identificar a bradicinesia [8].

**REQ-ENTREVISTAS-03 :** Avaliar bradicinesia usando *finger-tapping* [94].

**REQ-ENTREVISTAS-04 :** Considerar e identificar a assimetria do movimento nos estágios iniciais [88].

**REQ-ENTREVISTAS-05 :** Fornecer mecanismos para possibilitar o Diagnóstico Diferencial [30] da Doença de Parkinson.

**REQ-ENTREVISTAS-06 :** Analisar a Marcha [43]. Medir a marcha e comparar o padrão do movimento com indivíduos com e sem o diagnóstico da DP 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 e avaliar o 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:

- O **REQ-ENTREVISTAS-01**, o tremor de repouso é um dos principais sintomas da doença de parkinson. Sabíamos da sua importância, inclusive foi desenvolvido um jogo para *Smartphone* que pudesse quantificar o tremor. Porém, no teste junto aos usuários, foi percebido que no momento do uso os pacientes de parkinson cessavam o tremor, inviabilizando assim sua quantificação.
- O **[REQ-ENTREVISTAS-03]**, a técnica de *finger-tapping* não pode ser avaliadas utilizando o MS-Kinect 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-Kinect, 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 6.2). Ao final, é obtido um campo de quantidade de ocorrências quantificando a sua ocorrência nos fragmentos.

Tabela 6.2: 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

### Matriz de Rastreabilidade - Requisitos x Implementação

A Matriz de Rastreabilidade (Tabela 6.3) 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.



Tabela 6.3: 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

### 6.1.5 Conclusão

Como dito no início do capítulo, o intuito dessa entrevista semi-estruturada é avaliar a Hipótese **H1**. Com isso foi verificado, junto aos profissionais de saúde, que um sistema de monitoramento de dados pode promover benefícios na qualidade de vida e na eficácia terapêutica dos usuários.

Com base na rastreabilidade dos fragmentos da entrevista, pode-se concluir que existiram muitas ocorrências nos requisitos de Identificação de sintomas 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 Hipótese **H1**, como propõe o método de pesquisa utilizado neste trabalho.

## 6.2 H2 - Estudo de Caso 1: Análise dos Componentes Principais na Parkinson Disease Database

Essa etapa da pesquisa foi auxiliar a este trabalho. No estudo, foi realizada uma análise de marcha da base de dados *Parkinson Disease Database* disponível na *Physionet* [95]. Esta base contém registros de sensores de força localizados nos pés que armazenam a FVRS de indivíduos do grupo de controle e portadores de DP. Que serviram de dados de entrada que foram processados, extraídos os ciclos de movimento de cada indivíduo e aplicados técnicas de aprendizagem de máquina.

A abordagem utilizada foi de processamento de sinal, reconhecimento de padrões e clas-

sificação usando PCA por meio da distância euclidiana dos indivíduos selecionados para teste junto aos dados de treinamento. Os dados foram projetados no autoespaço (Seção 2.4.1), e por meio das características identificadas no algoritmo foi possível identificar dois grupos distintos: sujeitos diagnosticados com a doença de parkinson e sujeitos sem o diagnóstico da doença de acordo com os dados armazenados na base. A base de dados utilizada nesse estudo contém a FVRS, capturada por 8 sensores em cada pé dos sujeitos da pesquisa.

### 6.2.1 Materiais

Para a presente pesquisa, foi utilizada a base de dados "*Parkinson's Disease Database*" [95]. Esta base, contém a marcha de 93 pacientes com DP (idade média: 66,3 anos, 63% homens) e 73 como controle (com idade média de 66,3 anos, 55% homens). Inclui também registros da FVRS de indivíduos enquanto eles caminhavam normalmente em seu próprio ritmo por aproximadamente 2 minutos em um terreno plano. Debaixo de cada pé foram postos oito sensores como ilustrado na Figura 6.1 onde são capturados os sinais da FVRS como pode ser visualizado na Figura 6.2 que mensuravam a força desempenhada pelo corpo sobre o solo, medida em Newtons.

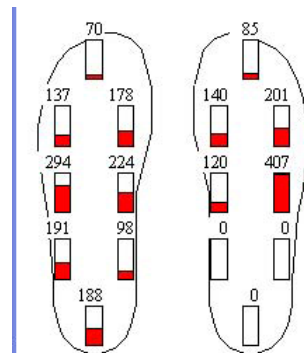


Figura 6.1: Posição dos sensores

As saídas de cada um destes 16 sensores foram armazenadas e gravadas em 100 amostras por segundo. Nesses registros estão inclusos dois sinais que refletem a soma da medição dos oito sensores para cada um dos pés (esquerdo e direito), denominada de FVRS [43]. Neste trabalho, o resultado desta soma foi utilizado para realizar a análise de movimento.

A análise dos dados [95], incluiu 50 pacientes de Parkinson, e 50 indivíduos em grupo controle (segundo as informações fornecidas pela própria base de dados). Foram calculados, normalizados e escalonados, em 80 *frames*, um total de 120 ciclos de marcha (Seção 2.3.3). Foi aplicada nesse conjunto de dados a técnica definida de *eigengaits* [96]. Esta técnica é uma adaptação da Análise dos Componentes Principais que foi detalhada na Seção 2.4.1.

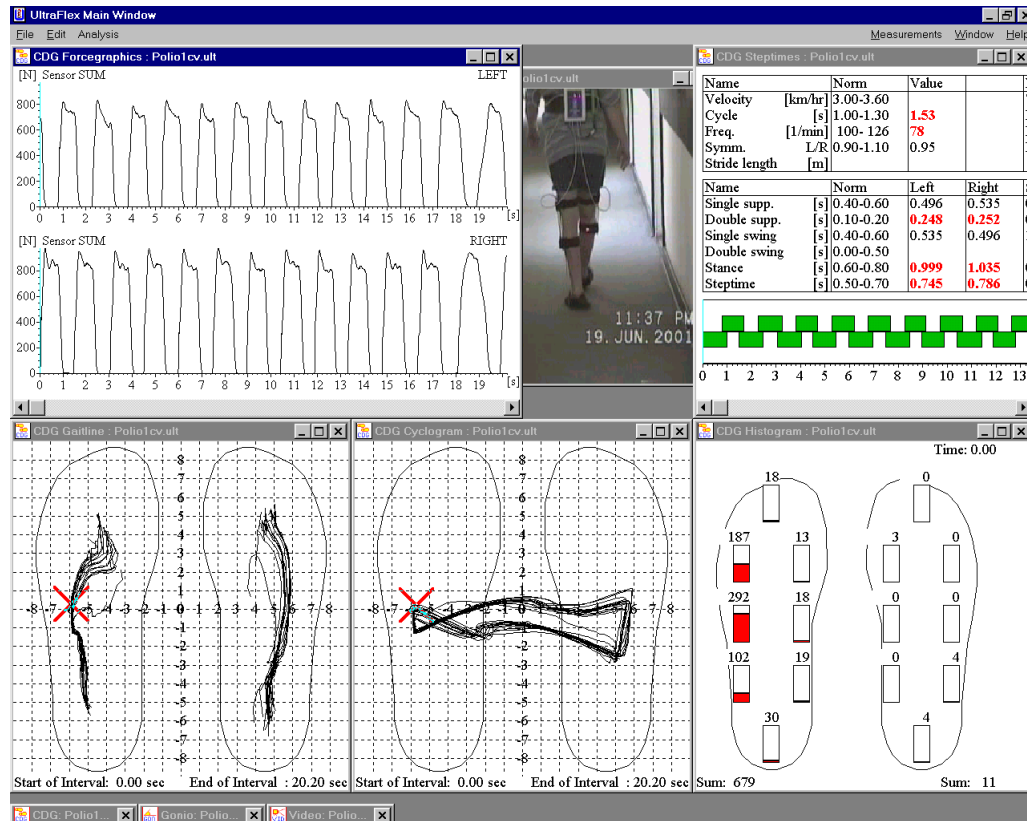


Figura 6.2: Ultraflex Computer Dyno Graphy

### 6.2.2 Aplicação do Método

Cada indivíduo recebeu uma identificação na base de dados para podermos projetá-los e identificá-los no *autoespaço* como visto na Figura 6.3. Utilizando a técnica de PCA [97] foi possível identificar 2 grupos bem distintos de indivíduos portadores da DP e indivíduos não diagnosticados com a doença. Um indivíduo identificado na base como portador da DP é representado como um ponto neste *autoespaço*. As mudanças no padrão da marcha de um parkinsoniano podem resultar em uma mudança de localidade no *autoespaço*, seja em direção aos indivíduos que não possuem a doença o que podemos presumir que houve uma melhora no estado do indivíduo ou em direção aos indivíduos diagnosticados com a DP o que nesse modelo indica um agravamento do sintoma.

A distância calculada é a medida de semelhança e pode ser expressa pela distância  $D$  os dois pontos. Contudo, a distância euclidiana, quando estimada a partir das variáveis originais, apresenta problemas por ser influenciada: pela escala de medida, número de variáveis e pela correlação existente entre as mesmas. Por esse motivo, a normalização nos dados (descrito na Seção 3.4.3), se faz necessária para manter a mesma variância nos dados e permitir identificar as similaridades entre eles [54]. Nesta pesquisa, os resultados foram avaliados por meio da distância euclidiana entre o vetor de um indivíduo de teste projetado no *autoespaço*, comparado com todos os indivíduos do grupo de treinamento. Logo, se o indivíduo de teste

estiver mais próximo a um indivíduo diagnosticado com DP ele é classificado como parkinsoniano e caso o indivíduo de teste fique mais próximo a um indivíduo sem o diagnóstico da DP, ele é classificado como controle.

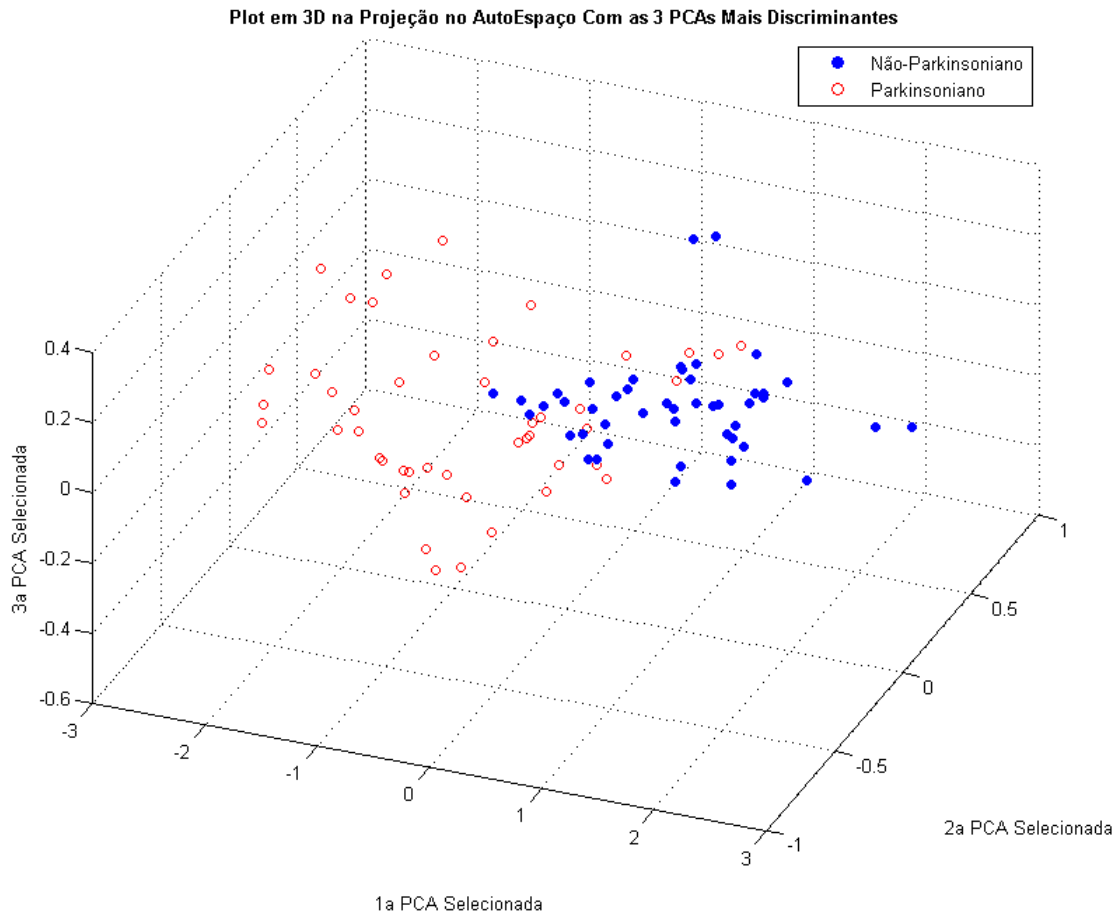


Figura 6.3: Projeção das componentes principais no autoespaço dos dados da *Parkinson Disease Database* [95]

### 6.2.3 Resultados

A projeção dos dados no *autoespaço* tridimensional exibido na Figura 6.4, foi realizada por meio das três componentes principais de maior significância. Como ilustrado na projeção dos dados no *autoespaço* na Figura 6.3, as componentes principais criam um novo eixo de coordenadas contendo uma maior proximidade por meio do reconhecimento das principais características entre este conjunto de dados.

Como pode ser visto na projeção do *autoespaço*, na Figura 6.4, existem dois grupos bastante distintos e um indivíduo de cada grupo possui três medições em diferentes momentos. Esses indivíduos foram projetados em cada uma de suas medições, e realizou-se o trajeto da

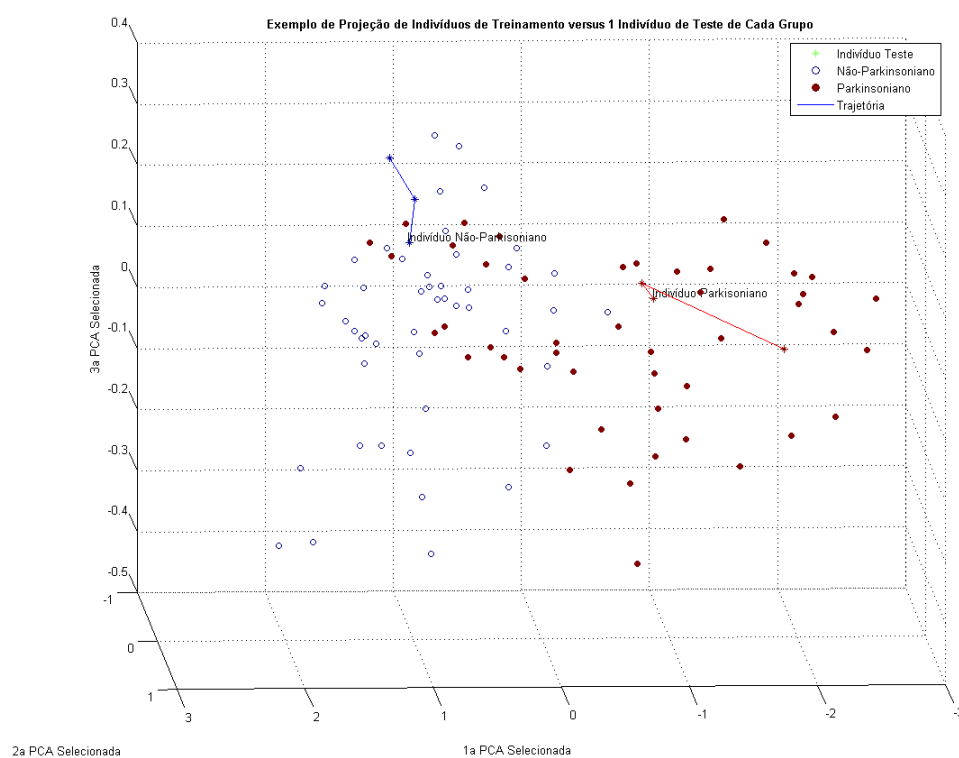


Figura 6.4: Projeção no autoespaço e visualização da mudança de projeção de 1 Indivíduo por grupo

mudança na projeção dos diferentes momentos. Com base nessa figura, pode ser percebido que o indivíduo não diagnosticado com DP não sofre grandes alterações na projeção dos estados, mas o indivíduo classificado como portador da DP teve significativa alteração em dois momentos, projetando-se mais próximo aos indivíduos sem o diagnóstico e em outro momento foi projetado bem distante.

### Validação Cruzada

Para verificar a precisão da classificação de indivíduos saudáveis perante os parkinsonianos foi aplicada a técnica de Validação Cruzada (cross-validation) [98]. A validação cruzada é uma técnica empregada para avaliar a capacidade de generalização de um modelo de predição em um conjunto de dados. Em um primeiro momento, realiza-se a partição do conjunto de dados em subconjuntos mutualmente exclusivos e ,posteriormente, usa-se este subconjunto para verificar a acurácia do modelo [98].

A escolha do grupo de treinamento deve contemplar todas as classes no conjunto de dados, este procedimento é chamado de estratificação ou **Validação Cruzada Estratificada** [98]. Essa técnica é muito utilizada para mitigar a ocorrência de viés na pesquisa, pois o processo de treinamento é repetido por várias vezes com amostras diferentes incluindo diferentes casos em cada classe. Dada uma amostra única, um método de predição de taxa de erro na aprendizagem de máquina é usar a Validação-Cruzada dez vezes (*10 K-Fold Cross-Validation*) [98], onde os dados são aleatórios e divididos em 10 grupos com a mesma proporção de classe. O processo de aprendizagem é executado por 10 vezes onde 1 grupo é selecionado como grupo de teste e os demais são selecionados como grupo de treinamento. A taxa de erro é calculada em cada processo de aprendizagem executado e no final é calculada a taxa de erro global.

A escolha do número 10 para a quantidade de grupos não foi de forma aleatória, a literatura recomenda que sejam utilizados 10 grupos para obter a melhor estimativa de erro [98]. Contudo, é reconhecido que esse número de 10 não é único ou insubstituível e em determinados casos, grupos de 5, 20 ou quaisquer outros números podem trazer melhores resultados.

Outro dado relevante para a escolha da técnica da estimativa de erro, é que uma única aplicação de Validação Cruzada *10 K-Fold* pode não ser o suficiente para uma taxa de erro confiável. Pois, diferentes experimentos de Validação Cruzada podem produzir resultados distintos devido a natureza aleatória da escolha dos grupos. A estratificação reduz essa variação, contudo não a elimina completamente. Na busca por uma estimativa de erro mais exata, um procedimento que tem se transformado padrão nas técnicas de aprendizagem de máquina é repetir o processo de Validação Cruzada *10 K-Fold* por 10 vezes. Ou seja, consiste em invocar o algoritmo de aprendizagem 100 vezes em um conjunto de dados, dessa forma aumenta-se a amostra de forma considerável e por consequência reduz-se a variação da taxa

de erro na execução dos experimentos.

Desta maneira, o método escolhido de validação cruzada foi repetir e calcular por 10 vezes a *10 K-Fold*. Os subconjuntos são estratificados antes de cada um dos 10 processos de aprendizagem e a taxa de erro estimada em cada etapa processo de aprendizagem está exposta na Figura 6.5. A taxa de classificação global é a média da taxa de acerto calculada em todo o processo.

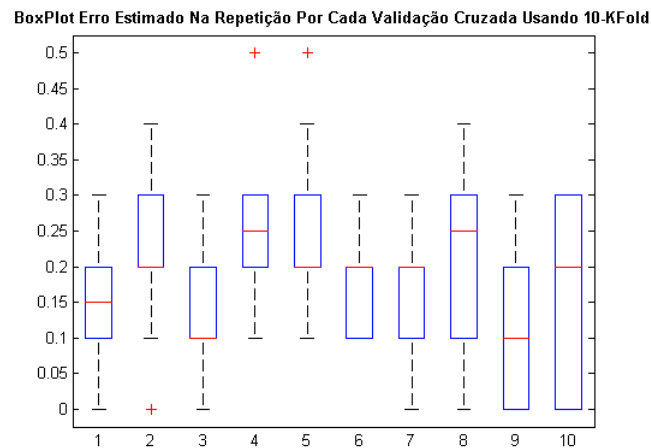


Figura 6.5: Erro estimado em cada etapa da aprendizagem usando o método de validação cruzada *10-K-Fold*

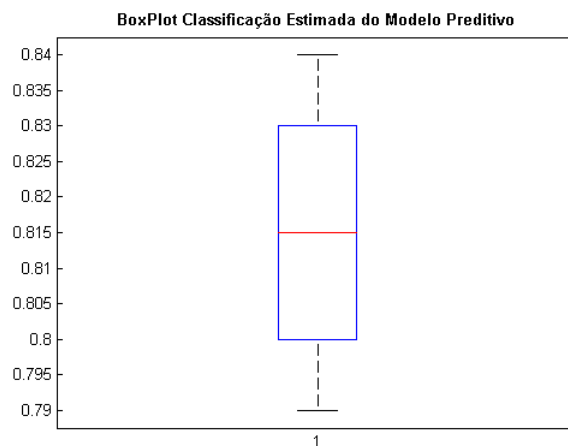


Figura 6.6: Resultado da classificação indivíduos diagnosticados com parkinson versus indivíduos sem o diagnóstico por meio da distância euclidiana no autoespaço

### Matriz de Confusão e Suas Métricas

Para avaliar o resultado da classificação, será apresentada a **matriz de confusão** [98], 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 6.4.

Tabela 6.4: Descrição da Matriz de Confusão

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

A matriz de confusão é uma ferramenta importante para avaliar os resultados de predição, pois facilita o entendimento do que está sendo avaliado e como se comporta o classificador em relação aos erros de classificação obtidos. Esta matriz serve como base para métricas que podem ser aplicadas a classificação e, conseqüentemente, exibem a precisão do modelo. A matriz desta pesquisa (Tabela 6.5) foi gerada a partir da repetição de dez vezes da técnica de Validação Cruzada *10-K-Fold*, conforme a Seção 6.2.3.

Tabela 6.5: Resultado da Matriz de Confusão

	<i>Classe Preditiva</i>	
	<b>Parkinson</b>	<b>Não-Parkinson</b>
<b>Parkinson</b>	429	71
<b>Não Parkinson</b>	114	386

Para demonstrar a avaliação do modelo de forma quantitativa usou-se um conjunto de métricas derivadas da matriz de confusão [98].

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

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

Tabela 6.6: Métricas da Matriz de Confusão

Métricas	
<b>TpRate</b>	85,80%
<b>FpRate</b>	22,80%
<b>Precision</b>	79,01%
<b>Accuracy</b>	81,50%
<b>F-Measure</b>	82,26%

#### 6.2.4 Limitações do Método

O movimento da marcha pode variar de pessoa para pessoa e, atualmente, não existe diagnóstico comprobatório da DP [7; 30]. O diagnóstico fica a critério do julgamento clínico do profissional de saúde. Contudo, a presente abordagem permite identificar padrões característicos da marcha de indivíduos considerados saudáveis, ante aos classificados como portadores da DP na "*Parkinson's Disease Database*" [95].

### 6.3 H2 - Estudo de Caso 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 2.2.2), nessa pesquisa buscou-se avaliar esse sintoma com o movimento de adução e abdução dos braços (ver Figura 6.7). A abordagem de aprendizagem de máquina foi utilizada para classificar portadores da doença de parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico. Partiu-se do princípio que os indivíduos com DP teriam mais dificuldade ao levantar o Braço e a velocidade angular do mesmo seria reduzida ante os indivíduos que não desenvolveram a doença.

### 6.3.1 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 de doença de parkinson. Durante a pesquisa também analisou-se o sensor de movimento MS-Kinnect [68] para avaliar a possibilidade de aquisição de dados de saúde baseada na Cinemática Linear do Movimento Humano [45]. A partir dos resultados obtidos, pretende-se avaliar e classificar a normalidade e dificuldade na execução de movimentos como, por exemplo, levantar um braço [45].

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

A técnica de amostragem utilizada para seleção, foi por conveniência, composta por 15 indivíduos portadores de DP e 12 sem o diagnóstico, como grupo controle.

#### 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 DP no estágio 3 segundo a UPDRS [37], 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 da DP, informaram que nunca receberam o diagnóstico da doença e que aceitariam participar do estudo como grupo controle.

### **Crítérios de Exclusão**

Foram excluídos das pesquisas os indivíduos com sintomas 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 [45], 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 [65], 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 [45], 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 [44]. 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.

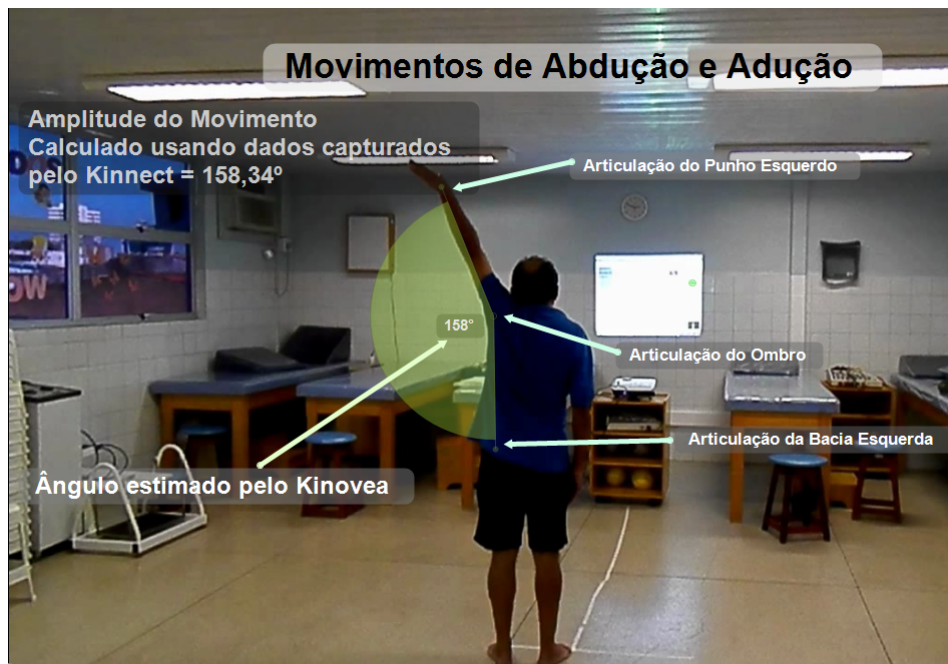


Figura 6.7: Movimentos de Abdução e Adução

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 biomecânicos [44] coletados tiveram o objetivo de identificar a bradicinesia nos indivíduos diagnosticados com a DP ante os indivíduos sem o diagnóstico estabelecido. Pelo quantitativo da pesquisa ter sido de 27 indivíduos, a abordagem de aprendizagem de máquina usando SVM [55] foi utilizada juntamente com a técnica de validação-cruzada *leave-one-out*, essa técnica será explicada com mais detalhes na Seção 6.3.3.

### 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.

### 6.3.2 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 da DP.

### 6.3.3 Resultados

Conforme a abordagem GAHME 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 2.4.2) por ter obtido os melhores resultados dentre os *kernels* presentes no Matlab [62]: 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. Em um trabalho futuro pode-se fazer um estudo de regressão linear nos dados para comprovar essa hipótese.

#### 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 DP e sujeitos sem o diagnóstico. Como pode ser visto na Figura 6.8, a amplitude de movimento de um indivíduo diagnosticado com a DP 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.

#### Validação Cruzada

Para uma base de dados pequena contendo 27 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

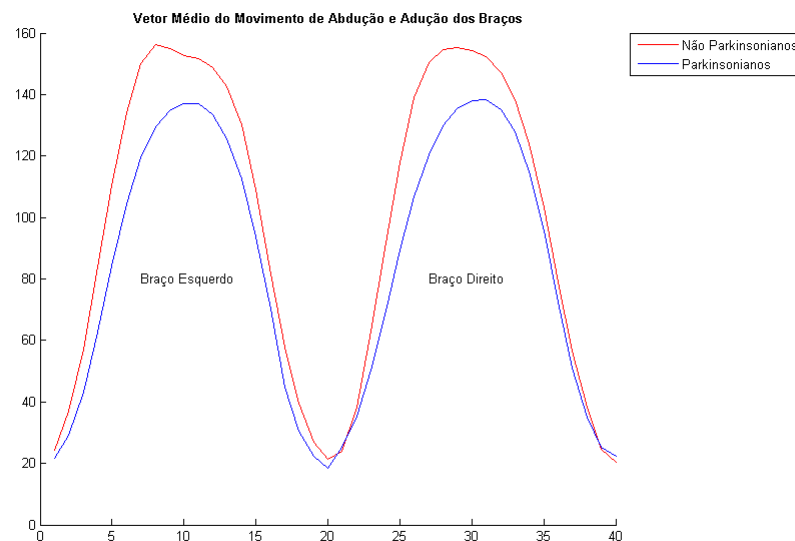


Figura 6.8: Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução

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.

### Matriz de Confusão e Suas Métricas

A Matriz de Confusão obtida indica que existem três indivíduos classificados como “Não-Parkinson” e que possuem a doença. Pode ser visto na Figura 3.10, que alguns ciclos de indivíduos classificados como Parkinsonianos possuem amplitude bastante semelhante aos do indivíduos “Não-Parkinsonianos”. Logo, estes não apresentam o sintoma de bradicinesia, o que pode indicar que o indivíduo esteja no início da doença, ou bem medicado, ou até mesmo não apresenta este sintoma motor. Um resultado, que não era esperado nesta pesquisa é a ocorrência de indivíduos que não possuem a doença de parkinson mas mesmo assim foram classificados com o sintoma. Isso requer um melhor estudo para identificar o que pode ter ocorrido na classificação.

Tabela 6.7: Resultado da Matriz de Confusão SVM

	<i>Classe Preditiva</i>	
	<b>Parkinson</b>	<b>Não-Parkinson</b>
<b>Parkinson</b>	12	3
<b>Não Parkinson</b>	2	10

Tabela 6.8: Métricas da Matriz de Confusão

Métricas	
<b>TpRate</b>	80,00%
<b>FpRate</b>	16,67%
<b>Precision</b>	85,71%
<b>Accuracy</b>	81,48%
<b>F-Measure</b>	82,76%

### 6.3.4 Limitações do Método

O método utilizado para diferenciar os movimentos executados de indivíduos diagnosticados com a DP 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 DP, ou até mesmo provar que os movimentos utilizados pelos participantes da pesquisa servem para um diagnóstico. Contudo, este trabalho demonstra que existem diferenças entre essas duas classes, e estas podem ser capturadas por um sensor de movimento usado em jogos eletrônicos, e que essas diferenças podem ser classificadas utilizando uma abordagem de aprendizagem de máquina.

## 6.4 H3 - Goal Question Metric Com Usuários Participantes da Pesquisa

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) [99]. Essa abordagem é um paradigma de pesquisa utilizado na Engenharia de Software para medição de processos de software e melhoria contínua dos produtos [100; 91]. A qualidade do produto de software [100] 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 [91].

O GQM é um paradigma de avaliação orientado por metas e tem como componentes elementares: objetivos, questionamentos e a métricas [100]. 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 6.9 [99].

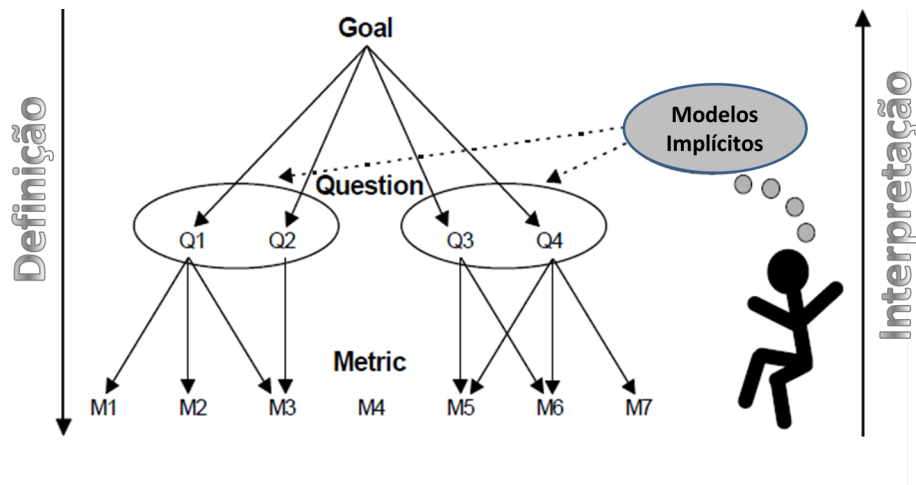


Figura 6.9: O Paradigma GQM © [99]

Segundo Saraiva [100], numa análise da aplicação do método de GQM para o contexto de avaliação de usabilidade de software, os componentes elementares do paradigma GQM são:

- **Objetivo:** Sua definição envolve o propósito da avaliação, o que deve ser avaliado, a perspectiva e o ambiente proposto.
- **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 GAHME 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) [91], 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 [91].



### 6.4.1 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 4.1.1), testaram e responderam o questionário para validar a Hipótese H3 deste trabalho.

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.

### 6.4.2 Resultados

Os resultados do questionário são apresentados na Tabela 6.9 contendo as respostas binárias “Sim/Não” e nas Figuras 6.10,6.11,6.12 nas perguntas de questões com múltipla escolha.

*Questão 1 - O usuário poderia integrar a abordagem GAHME 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 6.9: 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%

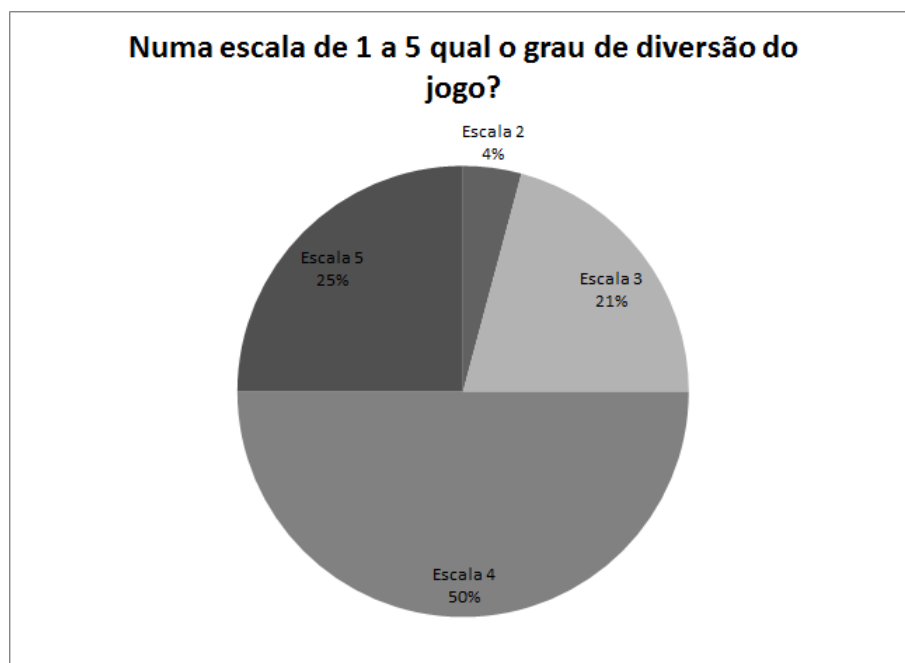


Figura 6.10: Resultado da Pergunta 1

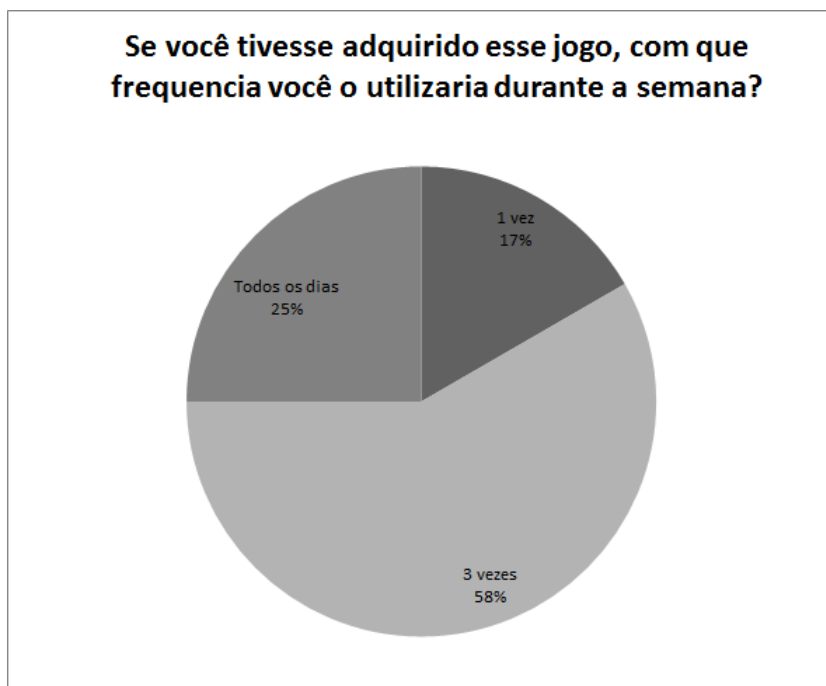


Figura 6.11: Resultado da Pergunta 3

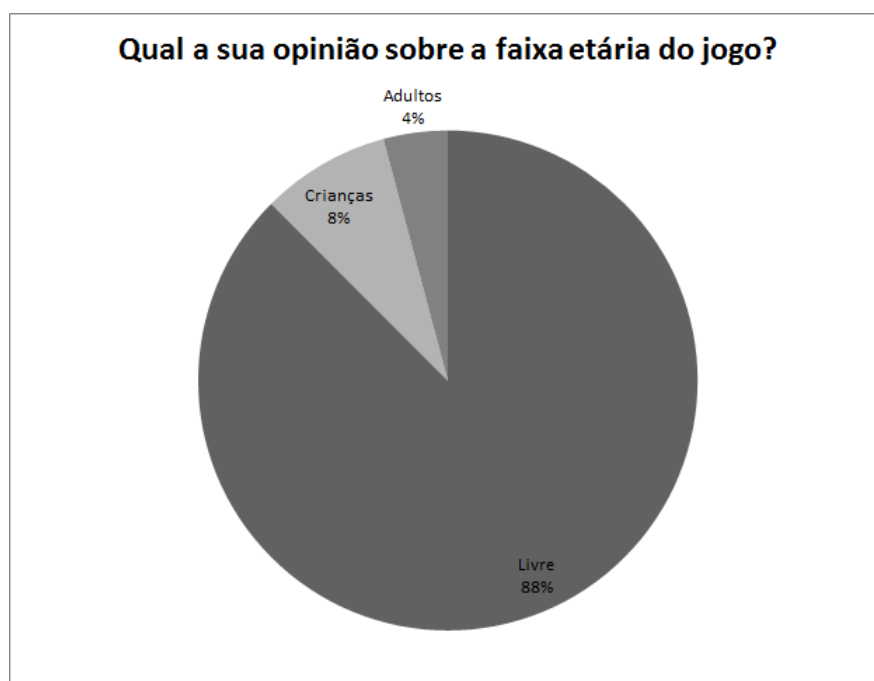


Figura 6.12: Resultado da Pergunta 10

### 6.4.3 Conclusão

Nessa etapa, buscou-se validar a Hipótese H3 - *É possível desenvolver um jogo que tenha mecanismos de captura de dados motores embutidos e que permita monitorar e quantificar esses dados de 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 *GAHME*. 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 7

## Estado Atual do Trabalho

Nos experimentos realizados, conseguimos demonstrar a importância do acompanhamento de sintomas motores, integrados à rotina diária do paciente do ponto de vista do profissional de saúde Hipótese *H1*. Identificou-se nessa pesquisa a importância de acompanhar a amplitude do movimento e a sua respectiva velocidade angular para acompanhamento da saúde motora.

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, que valida a Hipótese *H2*. Pois, obtivemos uma taxa de identificação de verdadeiros positivos de 80,00% e falsos positivos de 16,67% .

A Hipótese *H3*, foi validada por meio de uma análise GQM aplicada a possíveis usuários finais da abordagem. Essa pesquisa forneceu indícios de que a abordagem *GAHME* 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 6.3 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.

Para a entrega da Tese pretendemos uma melhora nos resultados, para isso pretendemos (Tabela 7.1) realizar novos estudos com a base de dados do estudo analítico de caso-controle. Então, iremos apresentar na Tese:

1. O resultado da aprendizagem obtido pela SVM com o *kernel* linear demonstrou que os dados são linearmente separáveis. Logo, para a Tese pretendemos realizar um estudo de regressão linear nessa base de dados.

2. Realizar estudos de curva de aprendizagem na base de dados usando a SVM.
3. Refinar o processo de desenvolvimento de jogos para monitoramento de saúde adicionando as fases de Construção e Pós-Validação.
4. Analisar o motivo da ocorrência de 2 indivíduos de controle terem sido classificados como portadores da DP.

Tabela 7.1: Cronograma de Conclusão

Trabalhos Futuros	Trimestre			
	1º	2º	3º	4º
Item 1	x			
Item 2		x		
Item 3			x	
Item 4			x	x

# Bibliografia

- [1] M.E. Moore. *Basics of Game Design*. Taylor & Francis Group, 2011.
- [2] Tom Baranowski, Richard Buday, Debbie I Thompson, and Janice Baranowski. Playing for real: video games and stories for health-related behavior change. *American Journal of Preventive Medicine*, 34(1):74–82, 2008.
- [3] J. Maitland, S. Sherwood, L. Barkhuus, I. Anderson, M. Hall, B. Brown, M. Chalmers, and H. Muller. Increasing the awareness of daily activity levels with pervasive computing. In *Pervasive Health Conference and Workshops, 2006*, pages 1 –9, 29 2006-dec. 1 2006.
- [4] Katja Suhonen, Heli Vääätäjä, Tytti Virtanen, and Roope Raisamo. Seriously fun: exploring how to combine promoting health awareness and engaging gameplay. In *Proceedings of the 12th international conference on Entertainment and media in the ubiquitous era*, MindTrek '08, pages 18–22, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [5] S. Hardy, A. El Saddik, S. Gobel, and R. Steinmetz. Context aware serious games framework for sport and health. In *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop on*, pages 248 –252, may 2011.
- [6] Silvia Silva da Costa Botelho César Augusto Otero Vaggetti, Pollyana Notargiacomo Mustaro. Exergames no ciberespaço: uma possibilidade para educação física. *SBC - Proceedings of SBGames*, 2011.
- [7] Chien-Wen Cho, 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.*, 36:7033–7039, April 2009.
- [8] S. Patel, 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*, 13(6):864–873, November 2009.

- [9] M. Bachlin, 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 *3rd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2009. PervasiveHealth 2009*, pages 1–8. IEEE, April 2009.
- [10] Rikke Aarhus and Stinne Aaløkke Ballegaard. Negotiating boundaries: managing disease at home. In *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems, CHI '10*, pages 1223–1232, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [11] Hande Alemdar and Cem Ersoy. Wireless sensor networks for healthcare: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2688–2710, October 2010.
- [12] R. LeMoyné, C. Coroian, and T. Mastroianni. Quantification of parkinson’s disease characteristics using wireless accelerometers. In *Complex Medical Engineering, 2009. CME. ICME International Conference on*, pages 1 –5, april 2009.
- [13] R. LeMoyné, 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 *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, pages 4954 –4958, 31 2010-sept. 4 2010.
- [14] Marina Papastergiou. Exploring the potential of computer and video games for health and physical education: A literature review. *Comput. Educ.*, 53:603–622, November 2009.
- [15] Pamela M. Kato, Steve W. Cole, Andrew S. Bradlyn, and Brad H. Pollock. A video game improves behavioral outcomes in adolescents and young adults with cancer: A randomized trial. *PEDIATRICS*, 122(2):305 – 317, 2008.
- [16] Jeff Sinclair, Philip Hingston, Martin Masek, and Kazunori (Ken) Nosaka. Using a virtual body to aid in exergaming system development. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 29(2):39–48, March 2009.
- [17] Aurelie Aurilla Bechina Arntzen. Game based learning to enhance cognitive and physical capabilities of elderly people: Concepts and requirements. *World Academy of Science Engineering and Technology*, 60, 2011.
- [18] Stinne Aaløkke Ballegaard, Thomas Riisgaard Hansen, and Morten Kyng. Healthcare in everyday life: designing healthcare services for daily life. In *Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems, CHI '08*, pages 1807–1816, New York, NY, USA, 2008. ACM.



- [19] Alberto Albanese and Joseph Jankovic. *Hyperkinectic Movement Disorder - Differential Diagnosis and Treatment*. Wiley-Blackwell, 2012.
- [20] Luciane Costa Campos Milena Rodrigues. EstratÉgia para o tratamento com levodopa na doenÇa de parkinson. *Revista Analytica*, 26, 2006.
- [21] Ian Sommerville. *Engenharia de software*. PEARSON, 2011.
- [22] J.P. Flynt and O. Salem. *Software Engineering for Game Developers*. Software Engineering Series. Course Technology Ptr, 2005.
- [23] E. Bethke. *Game development and production*. Wordware game developer's library. Wordware Publishing, Incorporated, 2003.
- [24] Luis F. de Almeida Rafael A. Santos, Vinicius A. Góes. Metodologia origame: um processo de desenvolvimento de jogos. In *SBC - Proceedings of SBGames 2012*, 2012.
- [25] Fábio Dos Santos Petrillo. Práticas Ágeis no processo de desenvolvimento de jogos eletrônicos. Master's thesis, UFRGS, 2008.
- [26] Christopher M. Kanode and Hisham M. Haddad. Software engineering challenges in game development. In *Proceedings of the 2009 Sixth International Conference on Information Technology: New Generations*, ITNG '09, pages 260–265, Washington, DC, USA, 2009. IEEE Computer Society.
- [27] T. Fullerton, C. Swain, and S. Hoffman. *Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games*. Gama Network Series. Elsevier Morgan Kaufmann, 2008.
- [28] C. Keith. *Agile Game Development with Scrum*. Addison Wesley Signature Series. Addison Wesley, 2010.
- [29] Hélio A. G. Teive. *Doença De Parkinson - Meneses*. Guanabara Koogan, 2003.
- [30] Paulo Dornelles Picon, Maria Inez Pordeu Gadelha, and Alberto Beltrame. *Protocolo Clínico E Diretrizes Terapêutica - Doença de Parkinson*. Ministério da Saúde, 2010.
- [31] P K Morrish, J S Rakshi, D L Bailey, G V Sawle, and D J Brooks. Measuring the rate of progression and estimating the preclinical period of parkinson's disease with fdopa pet. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 64:314–319, 1998.
- [32] Bozena Kostek, 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*, 7:18, 2012.

- [33] Eduardo Tolosa, Gregor Wenning, and Werner Poewe. The diagnosis of parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 5(1):75–86, January 2006.
- [34] Lewis P. Rowland. *Tratado De Neurologia*. Guanabara Koogan, 2011.
- [35] João Carlos Papaterra Limongi. *Conhecendo melhor a doença de Parkinson: uma abordagem multidisciplinar com orientações práticas para o dia-a-dia*. Plexus, 2001.
- [36] S.F. DO, W. Weiner, S. Factor, and W. Weiner. *Parkinson's Disease: Diagnosis Clinical Management : Second Edition*. Demos Medical Publishing, 2007.
- [37] S. Fahn and R. Elton. Unified parkinson's disease rating scale. In S. et al Fahn, editor, *Recent developments in Parkinson's disease*, pages 153–63. Macmillan Health Care Information, New Jersey, 1987.
- [38] M M Hoehn and M D Yahr. Parkinsonism: onset, progression, and mortality. 1967. *Neurology*, 57(2):318 and 16 pages following, 2001.
- [39] Fátima Goulart and Luciana Xavier Pereira. Uso de escalas para avaliação da doença de parkinson em fisioterapia. *Fisioterapia e Pesquisa*, Volume II, 2005.
- [40] J. Synnott, Liming Chen, C.D. Nugent, and G. Moore. Wiipd objective home assesment of parkinson's disease using the nintendo wii remote. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(6):1304–1312, 2012.
- [41] I.C.N. Sacco J.C. Serrão R.C. Araujo L. Mochizuki e M. Duarte A.C. Amadio, P.H. Lobo da Costa. Introdução à biomecânica para análise do movimento humano. *Revista Brasileira De Fisioterapia*, 3, 1999.
- [42] Moshe Gabel, Ran Gilad-Bachrach, Erin Renshaw, and Assaf Schuster. Full body gait analysis with kinect. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012:1964–7, 2012.
- [43] Weijun Tao, Tao Liu, Rencheng Zheng, and Hutian Feng. Gait analysis using wearable sensors. *Sensors*, 12(2):2255–2283, 2012.
- [44] J. Hamill, K.M. Knutzen, L.B. Ribeiro, and V.J. Barbanti. *Bases biomecânicas do movimento humanos*. 2012.
- [45] P. McGinnis. *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, 2013.
- [46] Marta Regiane Corrocher Gaino. Análise da tradução de termos técnicos relacionados ao estudo da marcha dentro da obra *Motor Control*. In *PROFT em Revista - Anais do Simpósio Profissão Tradutor 2010*, 2011.

- [47] Katia Turcot, Rachid Aissaoui, Karine Boivin, Michel Pelletier, Nicola Hagemeister, and Jacques A. de Guise. New accelerometric method to discriminate between asymptomatic subjects and patients with medial knee osteoarthritis during 3-d gait. *IEEE Trans. Biomed. Engineering*, 55(4):1415–1422, 2008.
- [48] D.G.M. Zwartjes, 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. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 57(11):2778–2786, 2010.
- [49] D.A. Neumann. *Cinesiologia do Aparelho Musculoesquelético: Fundamentos para Reabilitação*. Elsevier Health Sciences, 2012.
- [50] Matthew Turk and Alex Pentland. Eigenfaces for recognition. *J. Cognitive Neuroscience*, 3(1):71–86, January 1991.
- [51] Charline Cleraux, Carroll Croarkin, James Filliben, Will Guthrie, Alan Heckert, Mark Reeder, Tom Ryan, Jolene Splett, and Nien-Fan Zhang. *NIST/SEMATECH Engineering Statistics Handbook*. 2003.
- [52] Lindsay I Smith. A tutorial on principal components analysis. Technical report, Cornell University, USA, February 26 2002.
- [53] Fabiana Leta Aura Conci, Eduardo Azevedo. *Computação Gráfica: Processamento de Imagens Digitais - Volume 2*, volume Vol. 2. Elsevier, 2007.
- [54] Lorena Vicini. Análise multivariada da teoria À prática. Master’s thesis, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [55] Vladimir N. Vapnik. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, 1995.
- [56] Eulanda Miranda dos Santos. Teoria e aplicação de support vector machines à aprendizagem e reconhecimento de objetos baseado na aparência. Master’s thesis, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.
- [57] Valter Filipe Carnim Gonçalves. Análise comparativa dos classificadores máquinas de suporte vectorial e redes neuronais artificiais: Aplicação na detecção de peões e veículos. Master’s thesis, Universidade de Coimbra, 2010.
- [58] Jeff Sinclair, Philip Hingston, and Martin Masek. Considerations for the design of exergames. Technical report, ACM Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2007.

- [59] Penelope Sweetser and Peta Wyeth. Gameflow: a model for evaluating player enjoyment in games. *Comput. Entertain.*, 3(3):3–3, July 2005.
- [60] Eli Billauer. Peak detection in matlab. Software <http://www.billauer.co.il/peakdet.html>, Julho 2012.
- [61] Hygino H. Domingues E Roberto C.f. Costa Carlos A. Callioli. *Álgebra Linear E Aplicações*. Atual, 1990.
- [62] Mathworks. Matlab 7.12.0.635 (r2011a). Software, 2011.
- [63] Yadolah Dodge, David Cox, Daniel Commenges, Anthony Davison, Patty Solomon, and Suzan Wilson. *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. Oxford University Press, 2006.
- [64] Unity Technologies. Unity 3d 3.0, Maio 2013.
- [65] Antônio Dias dos Santos Júnior. Arcabouço de software para a aquisição de dados de saúde através de jogos eletrônicos. Master’s thesis, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- [66] Sue Blackman. *Beginning 3D Game Development with Unity: All-in-one, multi-platform game development*. Apress, 2011.
- [67] Zigfu. Zigfu 4.0, Janeiro 2014.
- [68] Microsoft. Ms-kinect. <http://www.xbox.com/pt-BR/kinect>, Maio 2013.
- [69] R.B. Rucker. *Software engineering and computer games*. Addison-Wesley Longman, Incorporated, 2003.
- [70] Katja Suhonen. Assessing the applicability of modular playability heuristics for evaluating health-enhancing games. *Methods*, pages 147–150, 2010.
- [71] Herbet Ferreira Rodrigues. Aplicando sistemas hápticos em serious games: Um jogo para a educação em higiene bucal. Master’s thesis, Universidade Federal da Paraíba, 2011.
- [72] N.A. Bartolome, 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 *Computer Games (CGAMES), 2011 16th International Conference on*, pages 275 –282, july 2011.
- [73] Pamela M. Kato. Evaluating efficacy and validating games for health. *GAMES FOR HEALTH JOURNAL*, 1, 2012.

- [74] Object Management Group. *Software Systems Process Engineering Meta-Model Specification - Version 2.0*. 2008.
- [75] J. Schell. *The art of game design: a book of lenses*. Morgan Kaufmann. Elsevier/-Morgan Kaufmann Publishers, 2008.
- [76] B. Brathwaite and I. Schreiber. *Challenges for game designers*. Charles River Media, a part of Course Technology, 2009.
- [77] J. Hallam G. N. Yannakakis and H. H. Lund. Comparative fun analysis in the innovative playware game platform. *Proceedings of the 1st World Conference for Fun 'n Games*, pages 64–70, 2006.
- [78] E. Brox, L.F. Luque, G.J. Evertsen, and J.E.G. Hernandez. Exergames for elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on*, pages 546–549, 2011.
- [79] Conselho Nacional de Saúde e Conselho Nacional de Saúde. Comissão Nacional de Ética em Pesquisade e Conselho Nacional de Saúde. Comissão Nacional de Ética em Pesquisa. *Normas para pesquisa envolvendo seres humanos: (Res. CNS 196/96 e outras)*. Série Cadernos Técnicos. Ministério Da Saúderio da Saúde, 2000.
- [80] Comissão Nacional de Ética em Pesquisa–CONEP. *Manual Operacional Para Comitês De Ética Em Pesquisa*. Ministério Da Saúde, 2002.
- [81] Ana MB Menezes. Noções básicas de epidemiologia. *Epidemiologia das Doenças Respiratórias*, 1, 2001.
- [82] National Institute of Health Research. Improving the heatlh and wealth of the nation through research. <http://www.nihr.ac.uk/publications/Pages/default.aspx>, 2013 Maio.
- [83] Ministry of Health. New zealand guidelines group. <http://www.nzgg.org.nz>, Maio 2013.
- [84] Associação Médico Brasileira. Projeto diretrizes, 05 2013.
- [85] André Neves Felipe Borba Breyer, Diego Credidio. Prototipagem rápida para avaliação de game design. *SBGames 2007*, 2007.
- [86] Uwe Flick. *Pesquisa Qualitativa*. Bookman, 2004.
- [87] Provalis Research. Qda miner lite v1.2.2, 2013. Disponível em <http://provalisresearch.com/products/qualitative-data-analysis-software/>.

- [88] National Institute for Health and Clinical Excellence (Great Britain). *Parkinson's Disease: Diagnosis and Management in Primary and Secondary Care*. NICE clinical guideline. National Institute for Health and Clinical Excellence, 2006.
- [89] Leonardo Vedolin. Avaliação da doença de parkinson pela ressonância magnética. *Radiologia Brasileira*, 36:110 – 110, 03 2003.
- [90] Bashar Nuseibeh and Steve Easterbrook. Requirements engineering: A roadmap. In *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*, ICSE '00, pages 35–46, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [91] Paulo Roberto de Oliveira Bastos Junior. Elicitação de requisitos de software através da utilização de questionários. Master's thesis, PUC-Rio, 2005.
- [92] Didar Zowghi and Chad Coulin. Requirements elicitation: A survey of techniques, approaches, and tools. In Aybüke Aurum and Claes Wohlin, editors, *Engineering and Managing Software Requirements*, pages 19–46. Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [93] N. L. Keijsers, M. W. Horstink, and S. C. Gielen. Ambulatory motor assessment in parkinson's disease. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 21(1):34–44, January 2006.
- [94] Y. Sano, 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 *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*, pages 4315–4318, 2012.
- [95] A. L. Goldberger, L. A. N. Amaral, L. Glass, J. M. Hausdorff, P. Ch. Ivanov, R. G. Mark, J. E. Mietus, G. B. Moody, C.-K. Peng, and H. E. Stanley. Physiobank, physio-toolkit, and physionet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23):e215–e220, 2000 (June 13). Circulation Electronic Pages: <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215> PMID:1085218; doi: 10.1161/01.CIR.101.23.e215.
- [96] L. Medeiros, Fischer. R., Oliveira H., Silva L, and Perkusich A. Monitoring parkinson related gait disorder with eigengaits. In *XX World Congress on Parkinson Disease and Related Disorders - Abstract Book*, 2013.
- [97] Jonathon Shlens. A tutorial on principal component analysis. In *Systems Neurobiology Laboratory, Salk Institute for Biological Studies*, 2005.
- [98] Ian H. Witten and Eibe Frank. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, Second Edition (Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems)*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2005.

- 
- [99] R. Van Solingen and E. Berghout. *The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*. McGraw-Hill, 1999.
- [100] Alessandra Vilches Saraiva. Utilização da abordagem goal-question-metrics (gqm) na elaboração e execução de planos de avaliação de usabilidade de software: Um estudo empírico sobre um software agropecuário. Master's thesis, Universidade Metodista De Piracicaba, 2006.
- [101] Entertainment Software Association. Essential facts about the u.s. computer and video game industry, 2011.
- [102] Victor Basili, Gianluigi Caldiera, and Dieter H. Rombach. The goal question metric approach. In J. Marciniak, editor, *Encyclopedia of Software Engineering*. Wiley, 1994.

# 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 [10], 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 [40; 13] e posturais que são sintomas presentes na DP. 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 DP enquanto estivesse num momento de descontração ao usar um jogo eletrônico.

### A.2 Introdução

A DP 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 DP [89; 33]. A DP 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 dificuldade na mar-



cha), 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 [33; 20].

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 DP e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concorda que o diagnóstico da DP 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 [30]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [30]. Os pacientes com DP 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 [34] uma resposta à levodopa não confirma o diagnóstico de DP porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomático e muitas formas de síndrome de Parkinson em seus estágios iniciais que também respondem à levodopa.

A DP 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 [29]. 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 [30].

Com o surgimento do tratamento para DP torna possível manter uma boa mobilidade funcional durante anos e aumenta a expectativa de vida dos pacientes tratados [20]. 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 [20].

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

tamento da doença bastante complexo [30] e estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [31]. 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 [30].

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 [32; 8].

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 [20].

A partir dos tratamentos para a DP, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [37; 38]. 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 [37; 39]. Sendo assim, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale – UPDRS) [37] 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 da DP [39].

Na UPDRS a evolução da DP é classificada nas seguintes fases [37]:

- **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 [32; 40; 8].

A identificação dos sintomas da DP 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 [11]. 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 [10], 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 [40; 13] e posturais que são sintomas presentes na DP. 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 DP 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*” [101] 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 DP 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 DP.

## 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 [4]. 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 [18; 19; 9; 7; 8]. 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 [59].

## 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 [37].

### 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 DP 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 DP diagnosticada até o estágio 3 segundo a UPDRS [37], 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 DP 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.

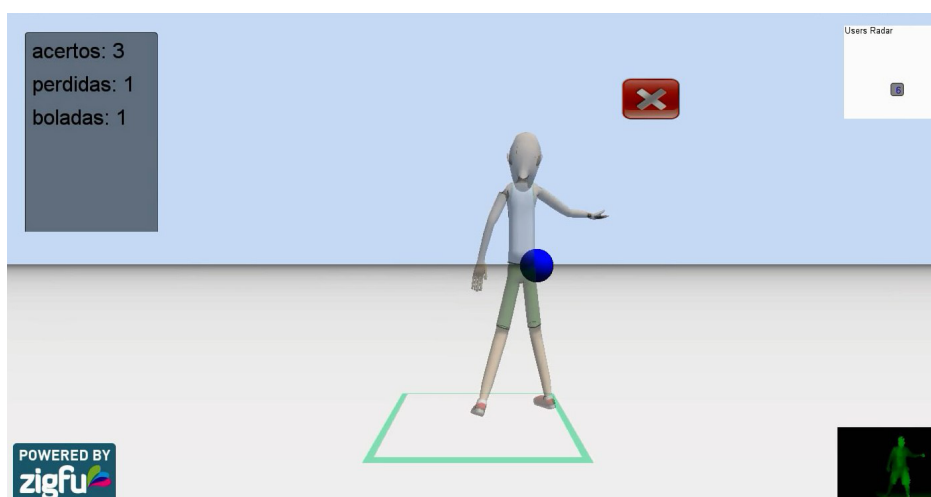


Figura A.1: O jogo *Catch the Spheres*

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 DP 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 [99]. 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 DP. 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 DP 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 [88]. O paciente será diagnosticado com DP se apresentar lentidão no movimento (bradicinesia) e pelo menos 3 critérios de suporte positivo.

- Critérios necessários para diagnóstico de DP
  - 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 DP
  - 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 de DP (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 [102] 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 [99].

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 GAHME 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.