

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

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

Leonardo Melo de Medeiros

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

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

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

Campina Grande, Paraíba, Brasil  
©Leonardo Melo de Medeiros, Junho - 2016

## **Resumo**

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

Neste trabalho propõe-se utilizar jogos eletrônicos para motivar os usuários e abstrair o monitoramento de dados de saúde, tornando-o integrado à rotina diária. A abordagem proposta permite integrar a arquitetura do SMS a jogos eletrônicos que utilizam sensores de detecção de movimento para capturar as ações cinéticas do usuário. Sendo assim, o usuário executa movimentos específicos, em um jogo eletrônico, para quantificar seus sinais motores e monitorar seu estado de saúde.

Para a validação da abordagem, foi realizado um estudo analítico de caso-controle para detectar indivíduos diagnosticados com a Doença de Parkinson (Parkinson), utilizando sensores de captura de movimento em jogos eletrônicos. Buscou-se avaliar as possibilidades de aquisição de dados de saúde, com base nas características de Cinemática Angular do Movimento Humano. Estes dados foram aplicados em uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para sua classificação. Como resultado, foi obtida uma taxa de identificação com acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67%. Dessa forma, concluiu-se que a abordagem proposta permite desenvolver jogos eletrônicos que servem como uma forma não invasiva para monitorar dados motores.

## **Resumo**

Health Monitoring Systems (HMS) can improve users' life quality by remotely providing information regarding their health, enabling early identification of potential critical situations. On the other hand, developing a non-invasive health monitoring system for motor data is a multidisciplinary challenge. These systems, despite technology advancements, are still invasive and stereotyped, what makes difficult their dissemination. So, these systems have not been applied to the users daily activities, undermining motor symptoms monitoring.

This work proposes the use of video games to motivate and disregard health monitoring, integrating it in users daily routine. The proposed approach allows integrating the HMS architecture to electronic games that use motion detection sensors to capture users' kinetic actions. This way, the user performs specific movements inside the context of an electronic game that quantifies motion signals and monitors health.

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

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Relevância . . . . .	2
1.2	Problemática . . . . .	3
1.3	Objetivos . . . . .	4
1.4	Metodologia . . . . .	5
1.4.1	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) . . . . .	7
1.4.2	Relação Risco Benefício da Pesquisa . . . . .	7
1.4.3	Confidencialidade . . . . .	7
1.5	Contribuições . . . . .	8
1.6	Organização do Documento . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>9</b>
2.1	Doença de Parkinson . . . . .	9
2.1.1	Diagnóstico . . . . .	10
2.1.2	Principais Sinais do Parkinson . . . . .	11
2.1.3	Escalas e os Estágios da Doença . . . . .	12
2.2	Cinemetria . . . . .	13
2.2.1	Movimento Angular . . . . .	13
2.3	Máquina de Vetor de Suporte (SVM) . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Abordagem <i>JOGUE-ME</i></b>	<b>17</b>
3.1	Definição de Requisitos da Solução . . . . .	17
3.2	Visão geral da solução . . . . .	18
3.3	Aquisição dos Sinais Por Meio de Sensores . . . . .	19
3.4	Processamento de Dados Biomecânicos . . . . .	20
3.4.1	Identificação de Ciclos de Movimento . . . . .	20
3.4.2	Extração das Características do Movimento . . . . .	22
3.4.3	Filtragem de Dados . . . . .	25
3.5	Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem . . . . .	27
3.6	Visualização dos Dados . . . . .	30

<b>4</b>	<b>Arquitetura de Software para <i>JOGUE-ME</i></b>	<b>32</b>
4.1	Arquitetura Cliente-Servidor do <i>JOGUE-ME</i> . . . . .	32
4.2	Processador de Dados Biomecânicos . . . . .	35
4.2.1	Identificação dos Ciclos de Movimento . . . . .	35
4.2.2	Extração das Características do Movimento . . . . .	36
4.2.3	Filtragem de Dados . . . . .	37
4.3	Classificador de Dados . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Avaliação Experimental</b>	<b>39</b>
5.1	ETAPA 1 - Entrevista Semiestruturada com Profissionais de Saúde . . . . .	39
5.1.1	Objetivo da Entrevista Semiestruturada . . . . .	40
5.1.2	Perfil dos Participantes . . . . .	40
5.1.3	Análise . . . . .	41
5.1.4	Requisitos Identificados . . . . .	47
5.1.5	Considerações Finais Sobre a Entrevista SemiEstruturada . . . . .	50
5.2	ETAPA 2: Máquina de Vetor de Suporte para Estudo Analítico de Caso Controle Por Intermédio de Sensor de Movimento Usado em Jogos Eletrônicos . . . . .	50
5.2.1	Estudo analítico de caso-controle . . . . .	51
5.2.2	Aplicação do Método . . . . .	55
5.2.3	Resultados . . . . .	55
5.2.4	Aprendizagem de Máquina (SVM) . . . . .	56
5.3	ETAPA 3 - Avaliação Da Aceitação Da Abordagem Junto aos Pacientes com Doença de Parkinson (Parkinson) Utilizando <i>Goal Question Metric</i> . . . . .	58
5.3.1	Aplicação do Método . . . . .	61
5.3.2	Resultados . . . . .	61
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>64</b>
<b>A</b>	<b>Projeto do Comitê de Ética</b>	<b>75</b>
A.1	Resumo . . . . .	75
A.2	Introdução . . . . .	75
A.3	Problemática . . . . .	79
A.4	Objetivo . . . . .	79
A.4.1	Específicos . . . . .	79
A.5	Material E Metodoo . . . . .	80
A.5.1	Tipo de Estudo . . . . .	80
A.5.2	Local . . . . .	80
A.5.3	Amostra . . . . .	80
A.5.4	Formas de Recrutamento . . . . .	80

A.5.5	Material . . . . .	81
A.5.6	Procedimentos . . . . .	82
A.5.7	Base de Dados . . . . .	82
A.5.8	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) . . . . .	83
A.5.9	Confidencialidade . . . . .	83
A.5.10	Crêterios Para Interromper a Pesquisa . . . . .	83
A.5.11	Relação Risco Benefício da Pesquisa . . . . .	83
A.5.12	Infra-Estrutura . . . . .	84
A.6	Etapas da Pesquisa e Cronograma . . . . .	84
A.6.1	Etapa da Pesquisa . . . . .	84
A.6.2	Cronograma . . . . .	84
A.7	Orçamento Estimado . . . . .	85
<b>B</b>	<b>Questionário Entrevista Semi-Estruturada</b>	<b>86</b>
B.1	Entrevista com Profissionais de Neurologia . . . . .	86
B.1.1	Sintomas da Doença de Parkinson . . . . .	86
B.1.2	Monitoramento de dados Motores . . . . .	86
B.1.3	Benefícios . . . . .	87
<b>C</b>	<b>Crêterios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson</b>	<b>89</b>
<b>D</b>	<b>Questionário GQM</b>	<b>91</b>

# Lista de Símbolos

**CEP** Comitê de Ética em Pesquisa

**Parkinson** Doença de Parkinson

**ER** Engenharia de Requisitos

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

**OMS** Organização Mundial de Saúde

**SMS** Sistemas de Monitoramento da Saúde

**SVM** Máquina de Vetor de Suporte

**JOGUE-ME** Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido

**PCA** Análise de Componentes Principais

# Lista de Figuras

2.1	Movimentos de Abdução e Adução do Braço . . . . .	14
2.2	Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes . . . . .	15
3.1	Visão Geral da Abordagem <i>JOGUE-ME</i> . . . . .	19
3.2	Processamento de sinais biomecânicos. . . . .	21
3.3	Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinnect na Posição Y . . . . .	22
3.4	Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal . .	23
3.5	Remoção de Ruídos . . . . .	24
3.6	Amplitude do Movimento de Abdução e Adução . . . . .	25
3.7	Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço . . . . .	26
3.8	Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados . . . . .	28
3.9	Ciclo de Movimento Removido . . . . .	29
4.1	Arquitetura do Sistema . . . . .	32
4.2	Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinnect	33
4.3	Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth . . . . .	33
4.4	O jogo <i>Catch the Spheres</i> . . . . .	34
5.1	Teste de um jogo usando acelerômetro para quantificação do sinal de tremor do Parkinson . . . . .	48
5.2	Movimentos de Abdução e Adução . . . . .	53
5.3	Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo . . . . .	54
5.4	Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução . . . . .	55
5.5	<i>Grid-Search</i> - Acurácia da Classificação . . . . .	57
5.6	<i>Grid-Search</i> - <i>FpRate</i> . . . . .	57
5.7	O Paradigma GQM © . . . . .	60
5.8	Resultado da Pergunta 1 . . . . .	62
5.9	Resultado da Pergunta 3 . . . . .	62
5.10	Resultado da Pergunta 10 . . . . .	62



---

A.1 O jogo *Catch the Spheres* . . . . . 81

# Lista de Tabelas

3.1	Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da Parkinson .	30
3.2	Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da Parkinson .	31
5.1	Perfil dos Participantes . . . . .	41
5.2	Matriz Rastreabilidade: Fragmento x Requisitos . . . . .	49
5.3	Requisitos Implementados . . . . .	50
5.4	Descrição do vetor de características extraído da coleta de dados. . . . .	53
5.5	Descrição da Matriz de Confusão . . . . .	56
5.6	Resultado da Matriz de Confusão SVM . . . . .	58
5.7	Média da Amplitude do Movimento de Abdução do Braço . . . . .	59
5.8	Métricas da Matriz de Confusão . . . . .	60
5.9	Métricas Avaliadas do <i>GQM</i> . . . . .	62
A.1	Etapas da Pesquisa . . . . .	84
A.2	Cronograma . . . . .	85
A.3	Material Permanente . . . . .	85
A.4	Material de Consumo . . . . .	85
D.1	O Questionário GQM . . . . .	91

# Lista de Códigos Fonte

2.1	Código de Predição da Classes . . . . .	15
3.1	Filtro dos Ciclos . . . . .	27
4.1	Função de Ciclo Periódico . . . . .	35
4.2	Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico . . . . .	35
4.3	Calcular ângulos relativos do movimento . . . . .	36
4.4	Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução . . . . .	36
4.5	Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução . . . . .	37
4.6	Uso de Máquina de Vetor de Suporte para Classificação dos Dados . . . . .	38

# Capítulo 1

## Introdução

A idade média da população mundial está aumentando progressivamente e, segundo estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) [68], muito em breve teremos mais idosos do que crianças. Ao considerar que a população idosa possui maior prevalência de doenças crônicas [50], surge a necessidade de monitorar o estado da saúde dessa população. Portanto, diante do crescimento da quantidade de pacientes crônicos, da iminente redução do número de leitos hospitalares disponíveis e da insuficiência de profissionais especializados para atender esta demanda [3], faz-se necessário transpor serviços de monitoramento dos pacientes crônicos dos leitos hospitalares para acompanhamento domiciliar [90].

Na investigação desta demanda, pesquisadores da computação aplicada à saúde buscam prover mecanismos de monitoramento da saúde [3; 7; 1] como os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS). Os SMS permitem ao médico acompanhar à distância o estado de saúde de seus pacientes colaborativamente [3]. Atualmente, os SMS realizam tratamento preventivo e pró-ativo do estado de saúde [7]; suporte à reabilitação do paciente [35]; e auxílio para o paciente atingir uma melhor qualidade de vida [20]. Referente ao monitoramento dos sinais motores, os SMS quantificam estes sinais e conseguem quantificar as habilidades motoras [30; 70], efetuar análise da marcha [53] e identificar sinais de bradicinesia <sup>1</sup> [98]. Contudo, o maior desafio dessas abordagens é motivar e induzir o usuário a executar movimentos específicos para o monitoramento da saúde motora.

Na busca por motivar os usuários, foi identificado que os jogos eletrônicos encontram-se presentes na rotina diária de 26% da população americana acima dos 50 anos [10]. Com base nesse número, têm-se um público de jogadores idosos beneficiáveis por uma plataforma de monitoramento de dados de saúde embutida num jogo eletrônico. Aliado a esse estudo, foi encontrado, jogos voltados para o público idoso aplicados à melhoria do estado de saúde, tais como jogos para a persuasão da prática de atividades físicas [18] e jogos para a melhoria das capacidades físicas e cognitivas [8].

Dentro deste contexto de utilização, é que os jogos eletrônicos foram utilizados como

---

<sup>1</sup>Sintoma do Parkinson que consiste na lentidão da execução dos movimentos.

um mecanismo para motivar a frequência do monitoramento da saúde, e induzir a execução dos movimentos específicos necessários para o monitoramento da saúde motora. Mais especificamente, busca-se uma integrar os SMS na vida diária de indivíduos através dos jogos, com foco em doenças motoras. Como objeto de estudo escolhemos Parkinson por ser uma doença neurodegenerativa crônica, progressiva e com causa desconhecida. É uma doença mais comum em idosos; no entanto, existem casos precoces em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [63]. A incidência da doença é estimada entre 100 a 200 casos por 100.000 habitantes e, com o envelhecimento da população, o contingente de pessoas diagnosticadas com Parkinson tende a aumentar nos próximos anos. Após os 10 anos de tratamento, a doença leva o indivíduo a irreversíveis debilidades: motoras e cognitivas. Logo, a abordagem de monitorar os sinais em diferentes momentos do dia permite um melhor gerenciamento da doença e, por consequência, melhora a qualidade de vida destes indivíduos.

## 1.1 Relevância

Nos últimos anos, a criação de tecnologias computacionais para o monitoramento da saúde [15] tem sido tema relevante e recorrente na computação [56; 80; 58]. Uma área de grande interesse na comunidade científica é o monitoramento não invasivo dos sinais vitais como pressão sanguínea, batimentos cardíacos, glicemia entre outros. Recentemente, Helmmann *et. al.* [40] realizou um estudo com o monitoramento contínuo não-invasivo da pressão arterial, alterações nos batimentos cardíacos e pressão sanguínea para encontrar potenciais evidências de disfunções autonômicas cardíacas <sup>2</sup> em indivíduos com Parkinson, justamente para conseguir prover um melhor diagnóstico e obter uma maior compreensão dos sintomas não motores da doença. Logo, fica evidenciada a importância da intersecção da Ciência da Computação com outras áreas de conhecimento como a medicina [15], por exemplo. Pois, as abordagens computacionais que permitem mensurar, identificar e quantificar os sintomas do Parkinson, além de possibilitar uma melhora na qualidade de vida destes pacientes, auxiliam numa melhor compreensão clínica da evolução da doença e na identificação de mecanismos científicos para identificar o diagnóstico da doença que ainda não foi estabelecido [80].

Atualmente, entidades internacionais de fomento industrial e científico da computação como IEEE [89] e ACM [88] criaram e promoveram simpósios como o CBMS [43], SAC (*track on Healthcare*) [39], conferências como HEALTHCON [42] e *PervasiveHealth* [2] e até mesmo revistas científicas como *Journal of Biomedical and Health Informatics* (JBHI) [44], *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [45] (TBE).

---

<sup>2</sup>Distúrbio funcional, de natureza primária ou secundária, resultante de alterações puramente funcionais ou orgânicas localizadas em um ou em ambos os componentes do sistema nervoso autônomo

No Brasil, a Sociedade Brasileira de Computação [23] possui um *Workshop* de Informática Médica (WIM) [77] em seu principal congresso (CSBC) [22] que tem como objetivo reunir pesquisadores, estudantes, professores, empresários e profissionais da computação aplicada à Saúde. Em 2015, a JBHI teve uma *special issue* exclusivamente relacionada à tecnologias para o gerenciamento do Parkinson [41] o que evidencia a importância científica desta tese.

Por fim, este trabalho permitiu desdobramentos e discussões científicas no grupo de pesquisa na área de computação aplicada à saúde dentro do Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva da UFCG. Além disto, durante a elaboração desta tese, foi possível colaborar com dois trabalhos de mestrado [75; 14], e espera-se que este trabalho sirva como subsídio a futuros avanços em trabalhos de mestrado e doutorado.

## 1.2 Problemática

Devido ao estilo de vida mais sedentário e ao aumento da população obesa, as pesquisas para a promoção da atividade física têm se tornado tópico de interesse para a comunidade científica [54; 6; 55]. Estudos demonstram que uma atividade física regular traz benefícios físicos, cognitivos e emocionais [55]. Com o surgimento dos jogos comerciais, como o *Wii Sports* da Nintendo <sup>3</sup>, em 2006, que aumentou a prática de atividade física de jogadores considerados sedentários [34], é que pesquisadores da área de jogos para saúde buscaram apoiar essa prática com desenvolvimento de aplicações que motivassem a prática de atividade física [36]. Atualmente, os dispositivos de sensores de movimento permitem desenvolver jogos que promovem a saúde e o bem estar de forma promissora. Por esse motivo, houve um aumento significativo de jogos comerciais com o propósito de promover a saúde e o bem-estar da população [69].

Os jogos pervasivos móveis motivam a atividade física de forma mais direta, tais como *Transe*, *Feeding Yoshi* e *Nokia Wellness Diary and Sports Tracker*, que promovem a saúde com a prática de atividade física [83] e melhoram as condições de saúde por serem divertidos, imersivos e engajados. Para o público idoso, foram desenvolvidos diferentes jogos para a melhoria da saúde, como: sistemas para reabilitação motora dos idosos [18] e também para pacientes com Parkinson [11; 85; 35].

Atkinson e Narasimhan [11] desenvolveram um jogo que utiliza um sensor de toque para quantificar a habilidade motora do paciente com Parkinson. Teoricamente, esta abordagem auxilia no diagnóstico do Parkinson. No entanto, não foi realizado nenhum estudo com os pacientes para avaliar sua eficácia. Synnott *et al.* [85] desenvolveu um sistema de gerenciamento medicamentoso e um jogo, utilizando um sensor de captura de movimentos, para identificar o sinal de tremor de Parkinson. No entanto, o tremor de Parkinson é de

---

<sup>3</sup><http://www.nintendo.com>

repouso [38]. Logo, quando o usuário está concentrado, entra no estado de ação e reduz drasticamente o tremor.

Papastergiou *et al.* [69] identificaram efeitos positivos para a reabilitação através do uso do jogo *Wii Sports* e um potencial mecanismo de prevenção e reeducação motora com o uso do *Wii Fit*. Porém, esses jogos possuem suas limitações e não são substitutos dos esportes reais. Ainda assim, o autor salienta que um ambiente mais controlado, que permite a execução de atividades físicas, inibe a ocorrência de situações de risco como um movimento brusco e que venha causar um dano físico maior. Baseado nessas observações, esse trabalho primou por demonstrar as dificuldades e os efeitos positivos em combinar os jogos sérios de esportes e saúde com as tecnologias de sensores, para a personalização e adaptação dos jogos. Paraskevopoulos *et al.* [35] propõem um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento de jogos com o objetivo de acompanhar o tratamento fisioterápico dos pacientes com Parkinson e dar suporte à reabilitação destes.

Sinclair *et al.* [79] consideram que os jogos comerciais para prática de exercício físico (*exergames*) não devem ser usados apenas como um motivador para a prática, mas também podem ser usados para monitorar sinais vitais como batimento cardíaco e reconhecer atividades via acelerômetros. Arntzen [8] se preocupou com os aspectos cognitivos e físicos da aprendizagem baseada em jogos para idosos [8], defendendo que é necessário identificar quais habilidades cognitivas e físicas precisam ser desenvolvidas, além de considerar a limitação do idoso em relação aos movimentos bruscos no intuito de evitar lesões.

LeMoyne [51] quantificou os sinais de tremores de Parkinson usando *smartphones*. Ele considerou que os *smartphones* estão presentes na rotina dos pacientes e que estes iriam mensurar seus tremores em diferentes momentos do dia. No entanto, o principal problema em mensurar o tremor usando *smartphones* é que o tremor do Parkinson é de repouso [46]. Logo, os pacientes reduzem drasticamente o sinal, o que impacta diretamente na coleta dos dados. Deve-se considerar também que LeMoyne [51] não realizou avaliações com pacientes ou estudo de caso-controle.

Em geral, as soluções existentes para SMS dos sinais motores utilizam sensores vestíveis (*wearables*), que comumente são incorporados à roupa ou ao corpo do usuário. De acordo com a perspectiva do usuário, estes sensores são considerados invasivos e estereotipados [1]. Por outro lado, o gerenciamento medicamentoso do Parkinson necessita de um cuidado acurado e diário [24]. O problema então está em como alcançar o equilíbrio entre necessidade de monitoramento e não-invasividade e, ainda mais, buscando aumentar a motivação.

## 1.3 Objetivos

Neste trabalho, tem-se como objetivo a concepção de uma abordagem computacional não invasiva para o monitoramento de sinais motores. Jogos eletrônicos são utilizados como

forma de motivar o monitoramento e abstrair o contexto de tratamento da saúde para os pacientes.

A Doença de Parkinson é utilizada como estudo de caso para a abordagem. Objetiva-se que o SMS integrado ao jogo eletrônico seja capaz de armazenar dados de sensores, processar sinais biomecânicos e identificar a presença do sinal de bradicinesia de Parkinson. Propõe-se uma arquitetura de software para SMS integrada a jogos eletrônicos e demonstra-se a viabilidade da mesma através da implementação de jogos com videogames disponíveis no mercado.

A validação se baseia em duas etapas: na primeira, avalia-se a capacidade de monitoramento dos indivíduos com Parkinson em um estudo analítico de caso-controle; na segunda, avalia-se a possibilidade de inserir este monitoramento na rotina diária dos pacientes. O estudo analítico de caso-controle foi realizado com 30 sujeitos de pesquisa (15 do grupo controle e 15 diagnosticados com Parkinson). Como resultado, identificamos e quantificamos o sintoma da bradicinesia. Para distinguir os grupos (caso-controle e diagnosticados com Parkinson), utilizamos uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificação dos dados [95], com a qual obtivemos uma acurácia de 86,66%. Avaliamos a adequação da abordagem de monitoramento dos sinais motores na rotina diária usando jogos eletrônicos, aplicando a técnica *Goal-Question-Metric* (GQM) [81]. Como resultado, 90,00% dos avaliados consideraram a abordagem não-invasiva e incorporável à rotina diária.

## 1.4 Metodologia

Esta pesquisa foi submetida à avaliação pelo Comitê de Ética da UFCG (CAAE: **14408213.9.1001.5182**)<sup>4</sup> (Apêndice A), somente depois da aprovação deste é que os dados foram coletados. A metodologia de pesquisa possui aspectos qualitativos e quantitativos. Referente ao aspecto qualitativo, buscou-se identificar a importância desta tese junto à comunidade de especialistas da área de saúde (Seção 5.1). Nos aspectos quantitativos, essa pesquisa fez uma análise dos sensores de movimento e avaliou a acurácia da aquisição de sinais motores e possibilidade de identificar os sinais do Parkinson baseado na Cinemática Angular do Movimento Humano. Por meio dos dados coletados, pudemos classificar a normalidade e dificuldade na execução de movimentos de abdução e adução dos braços [59], como será apresentado na Seção 5.2. Para avaliar a aceitabilidade da proposta sob a perspectiva do usuário, utilizamos uma análise GQM a qual é uma abordagem hierárquica que inicia com objetivo principal e o divide em questões mensuráveis [76], como será apresentado na Seção 5.3.

Em resumo, três questões foram utilizadas como base para a definição da metodologia do trabalho em três diferentes etapas sequenciais:

<sup>4</sup>Plataforma Brasil, url: <http://aplicacao.saude.gov.br/plataformabrasil/>



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

**ETAPA 2** Como melhor adquirir e quantificar sinais motores utilizando sensores de movimento para monitorar os sinais de Parkinson?

**ETAPA 3** Na perspectiva dos usuários, a abordagem de quantificar os sinais motores é considerada não-invasiva e aplicável à rotina diária?

As seguintes atividades foram realizadas para a execução do trabalho:

1. Realizar revisão bibliográfica e coleta de requisitos junto a profissionais de saúde.
2. Definir o conceito da abordagem, denominada Jogo com Monitoramento de Saúde Embutido (JOGUE-ME), baseada em captura de sinais motores através de sensores de movimento, utilizando jogos eletrônicos e processamento dos sinais para transformá-los em informações de saúde.
3. Analisar a perspectiva dos profissionais de saúde em relação ao acompanhamento dos sinais motores dos pacientes com Parkinson (os profissionais foram indagados sobre a melhora na tomada de decisão quanto ao acompanhamento dos sinais) e verificar se os parâmetros motores, como velocidade angular e amplitude do movimento dos braços, são importantes para realizar o acompanhamento dos sinais do Parkinson. Procurou-se encontrar, junto ao profissional de saúde, a importância do monitoramento dos sinais motores e os benefícios trazidos por este, através de uma abordagem de pesquisa qualitativa. Com esta pesquisa, foi possível validar a **ETAPA 1**, que consiste em verificar a importância do acompanhamento de sinais motores integrados à rotina diária do paciente.
4. Validar o uso de sensores para classificação dos dados através da classificação dos sinais motores adquiridos por sensores de movimento utilizados em jogos eletrônicos. A classificação consistiu em aplicar os sinais numa SVM para distinguir indivíduos do grupo controle ante indivíduos diagnosticados com Parkinson. O resultado dessa pesquisa demonstrou a viabilidade da abordagem e, conseqüentemente, validou a **ETAPA 2** do trabalho.
5. Definir a arquitetura de software que viabilizou tecnicamente a abordagem JOGUE-ME. Nesta etapa, definimos um arcabouço de software para encapsular o desenvolvimento de jogos com essa abordagem.
6. Validar a solução JOGUE-ME do ponto de vista computacional. A solução foi validada através da implementação da arquitetura e do desenvolvimento de jogos. Com esta etapa, demonstrou-se ser possível realizar monitoramento de dados motores de forma

não invasiva, ou seja, sem os jogadores perceberem que estão fornecendo dados de saúde.

7. Verificar junto ao público alvo (portadores de Parkinson) os requisitos de usabilidade, adequação à rotina diária, segurança física e se a proposta é considerada invasiva na perspectiva do paciente. Com esta avaliação, validou-se a **ETAPA 3** da pesquisa.

### 1.4.1 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Antes da realização da coleta dos dados, expomos aos sujeitos da pesquisa as informações necessárias para a realização do estudo. Desta maneira, o indivíduo consentiu com sua participação através da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido <sup>5</sup> (Apêndice A).

### 1.4.2 Relação Risco Benefício da Pesquisa

Os riscos inerentes podem decorrer da exposição de dados dos participantes da pesquisa, o que pode acarretar danos morais e/ou psicológicos. Por esse motivo, foram tomados todos os cuidados para que a identidade do indivíduo não fosse revelada, garantindo assim, privacidade e confidência das informações. Todos os dados coletados, estão disponibilizados para pesquisa futura, permitindo o uso para pesquisa a todas instituições envolvidas (UFCG, UFAL e IFAL). No entanto, preservamos a identidade dos participantes da pesquisa e omitimos todos os dados que permitissem sua identificação, conforme descrito no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Durante a realização da pesquisa com os participantes da pesquisa, houve uma preocupação referente a possíveis constrangimentos por parte do sujeito da pesquisa. Caso, não conseguisse realizar a pesquisa ou responder alguma pergunta devido ao comprometimento da doença. Os pesquisadores prestaram total assistência, orientando-os adequadamente. Mas, salientamos que os riscos apresentados justificam-se pelo benefício de monitorar os sinais do Parkinson para um melhor tratamento da doença.

### 1.4.3 Confidencialidade

Os dados do estudo em questão são considerados propriedade conjunta das partes envolvidas (UFCG, UFAL e IFAL). Porém, sua utilização por terceiros necessita de prévia autorização de todos. No entanto, na submissão do Projeto ao Comitê de Ética da UFCG (**CAAE: 14408213.9.1001.5182**), expressamos o comprometimento em tornar público os resultados da pesquisa, sejam estes favoráveis ou não.

---

<sup>5</sup>Resolução Nº 196/96, do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde (CNS/MS).

## 1.5 Contribuições

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

No entanto, alinhar a jogabilidade e a capacidade de monitoramento dos sinais de saúde não é trivial, pois deve ser levado em consideração o uso dos sensores e deve-se definir quais movimentos ou ações permitem a identificação dos sinais motores. Por este motivo, a proposta de um SMS dos sinais motores usando jogos necessita de um acompanhamento de um profissional de saúde para supervisionar e auxiliar nas definições dos movimentos e ações dos usuários.

Como possível cenário de uso para a pesquisa, supondo que um paciente de uma doença crônica como o Parkinson faz uso de medicamento antiparkinsoniano e possui um jogo de monitoramento de sinais do Parkinson em sua residência, caso ele utilize o jogo em diferentes momentos do dia, os sinais podem ser quantificados sem a presença de um profissional de saúde, que poderia visualizar a melhora ou piora do estado de saúde do seu paciente ao longo dos dias. A partir da presente abordagem, o médico, ao possuir a informação, poderia gerenciar melhor a dosagem medicamentosa e, conseqüentemente, prolongar a qualidade de vida do paciente [25].

## 1.6 Organização do Documento

O restante deste documento está organizado da seguinte forma:

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

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

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

### 2.1 Doença de Parkinson

O termo Parkinsonismo é genérico e designa uma série de doenças com causas diferentes, que têm em comum a presença de sinais frequentemente encontrados no Parkinson. Esta doença é uma das muitas formas de parkinsonismo, correspondendo a cerca de 75% dos casos. Os sinais associados ao Parkinson [73] são causados pela degeneração dos neurônios dopaminérgicos presentes na substância negra. O Parkinson é mais comum em idosos, porém existem casos precoces de início da doença em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [63]. A incidência da doença é estimada de 100 a 200 casos por 100.000 habitantes e, com o avanço da idade populacional, o contingente de pessoas diagnosticadas com Parkinson tende a aumentar.

O Parkinson é uma doença progressiva e incapacitante e, após os 10 anos de tratamento, o custo operacional, o impacto social e financeiro aumentam vertiginosamente. Estima-se que o custo anual mundial com medicamentos antiparkinsonianos esteja em torno de 11 bilhões de dólares, tornando-se de 3 a 4 vezes mais caro nas fases avançadas da doença [73]. Outro fator crucial para a escolha do Parkinson como objeto de estudo é a variação dos sinais motores ao longo do dia em virtude da resposta ao tratamento medicamentoso. Portanto, a abordagem de monitorar os sinais, em diferentes momentos do dia, permite um melhor gerenciamento da doença e, como consequência, uma melhora na qualidade de vida dessa população.

Atualmente, o levodopa é o tratamento medicamentoso mais utilizado para o tratamento

de redução dos sinais do Parkinson. Porém, sua efetividade é reduzida ao longo do tempo, o que requer um aumento progressivo das dosagens ou o uso de outros tratamentos associados. Isso acarreta em um gerenciamento complexo entre drogas e seus respectivos efeitos colaterais. Portanto, ao buscar prolongar a qualidade de vida dos pacientes com o uso deste tratamento, é recomendável um gerenciamento medicamentoso com uma dosagem mínima [38], para reduzir os sinais motores e prolongar a qualidade de vida do paciente. Como o gerenciamento medicamentoso é de responsabilidade do neurologista, este o faz de acordo com as visitas clínicas dos pacientes, quando estes ou seus cuidadores fazem relatos sobre o progresso do tratamento. Contudo, esta avaliação clínica é realizada de forma esporádica e subjetiva [73; 24]. Dessa maneira, é necessário uma quantificação destes sinais para um tratamento mais adequado e preciso.

Com o surgimento do tratamento para o Parkinson é possível manter uma mobilidade funcional durante anos, além de aumentar a expectativa de vida dos pacientes tratados [25]. Os fármacos do grupo dos antiparkinsonianos, como a levodopa, permitem restaurar a atividade dopaminérgica que se encontra reduzida; dessa maneira, as drogas aliviam os sinais característicos da doença. Entretanto, devido aos efeitos colaterais frequentes induzidos pelos fármacos, é preciso iniciar o tratamento com esses medicamentos somente quando os sinais estiverem prejudicando o desempenho profissional ou as atividades diárias do paciente [25]. A natureza progressiva do Parkinson e suas manifestações clínicas (motoras e não motoras) estão associadas a efeitos colaterais precoces e tardios da intervenção terapêutica, o que torna o tratamento da doença bastante complexo [73]. Estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [38]. Consequentemente, com o passar do tempo, a sintomatologia parkinsoniana tende a evoluir, o que aumenta a necessidade de uma maior dosagem medicamentosa, pois a resposta aos medicamentos decresce com o progresso da doença [73].

### 2.1.1 Diagnóstico

Os sinais mais característicos do Parkinson e que são frequentemente usados para diagnosticar a doença são [72]: tremor em repouso (que diminui durante movimentos voluntários); bradicinesia (lentidão e escassez de movimentos, além de dificuldade na marcha); rigidez muscular (aumento da resistência ao movimento passivo dos membros); e perda de reflexos posturais, que leva à alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [25; 91].

A evolução da doença, a gravidade e a progressão dos sinais variam de um paciente para outro. Atualmente, não existe teste diagnóstico estabelecido para a doença, e os estudos comprovam dificuldade na diferenciação clínica entre o Parkinson e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concorda que o diagnóstico do Parkinson requer a identificação de alguma combinação de sinais motores cardinais, como: tremor de

repouso, bradicinesia, rigidez tipo roda denteada e alterações posturais. No entanto, uma classificação clínica padrão ainda não foi obtida [73]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos, tal como a levodopa [73]. Os protocolos clínicos [73; 38] sugerem que o diagnóstico do Parkinson está diretamente relacionado à resposta satisfatória ao levodopa. No entanto, uma resposta satisfatória à levodopa não confirma o diagnóstico do Parkinson [72], porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomáticos e muitas formas de síndromes de Parkinson, que, em seus estágios iniciais, respondem bem ao levodopa.

Atualmente, os critérios estabelecidos pelo Banco de Cérebros da Sociedade de Parkinson do Reino Unido [38] são os mais utilizados para diagnosticar a doença (Apêndice C).

### 2.1.2 Principais Sinais do Parkinson

Nesta seção serão descritos sintomas motores mais frequentes do Parkinson [73] e que foram objetos deste estudo.

#### **Tremor**

O tremor é o sintoma mais frequente e mais perceptível [46] do Parkinson, embora não seja o mais incapacitante. No entanto, para a maioria dos pacientes, este sinal é o principal motivo que os leva a procurar ajuda médica. Sua principal característica é o rítmico relativamente lento quando comparado a outros tipos de tremor (4 a 7 ciclos por segundo), em que sua maior frequência é quando o membro está em repouso, sendo denominado de tremor de repouso. No início da enfermidade, o tremor ocorre em um lado (tremor assimétrico), e assim permanece por diferentes períodos de tempo. Situações de estresse emocional ou a sensação de ser observado aumentam, visivelmente, a intensidade do tremor [46].

Por ser um sinal relacionado ao repouso do membro, os usuários cessavam o sinal assim que eram confrontados com um jogo eletrônico desenvolvido para quantificação do tremor. Por esse motivo, não foi possível desenvolver um jogo que quantificasse este sinal.

#### **Bradicinesia**

Enquanto que o sintoma de tremor é o mais visível do Parkinson, a bradicinesia é o sintoma mais incapacitante da doença. A bradicinesia consiste numa lentidão do movimento voluntário e num comprometimento de todos os movimentos associados a ele. A acinesia é uma progressão da bradicinesia e implica na ausência completa do movimento voluntário, sem a perda da força muscular [26].

A bradicinesia pode estar presente nos sinais iniciais do Parkinson, em diferentes partes do corpo: olhos, com a redução do movimento de piscar; face, com a redução das expressões faciais; voz robótica, devido à redução da velocidade dos músculos das cordas vocais; e

redução do movimento dos membros superiores e inferiores [26]. Normalmente, nos estágios iniciais da doença, a bradicinesia é acompanhada de: rigidez dos músculos, assimetria dos movimentos entre os membros e dificuldade nos movimentos (por exemplo, levantar de uma cadeira, virar na cama ou andar).

### 2.1.3 Escalas e os Estágios da Doença

A partir dos tratamentos do Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [28; 33]. 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 [28; 33]. Por conseguinte, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (*Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS*) [28], que é amplamente utilizada para monitorar o progresso da doença e a eficácia do tratamento. Segundo Goulart [33], as escalas de estágios de incapacidade representadas por *Hoehn/Yahr* e a *UPDRS* [28] são consideradas as de maior confiabilidade, podendo ser usadas por fisioterapeutas para melhor avaliação do estado clínico- funcional do paciente.

Segundo a *UPDRS*, a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [28]:

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

A *UPDRS* é composta por 42 itens, divididos em quatro partes: atividade mental; comportamento e humor; atividades de vida diária; exploração motora e complicações da terapia medicamentosa. Estes itens, são avaliados por auto-relato ou observação clínica. Dessa maneira subjetiva, é realizada a classificação do estágio da doença no paciente. Contudo,

justamente por ser baseada em auto-relato e observação clínica, a qual é realizada eventualmente com a presença de um profissional, pesquisadores questionam a efetividade da análise do estágio da doença e propõem alternativas para avaliação dos itens motores de forma quantitativa, através de sensores, os quais permitem quantificar os sinais motores do paciente [49; 85; 70]. Os sinais bradikinéticos são avaliados por intermédio da parte motora da tabela de avaliação UPDRS [28], através de exercícios como tocar as pontas dos dedos, pronar e supinar o antebraço.

A identificação dos sinais do Parkinson durante a rotina diária permite um diagnóstico mais precoce da doença e, conseqüentemente, a obtenção de benefícios para um tratamento mais duradouro. Além disso, o monitoramento dos efeitos da medicação junto ao paciente permite um melhor gerenciamento medicamentoso e, assim, uma redução dos efeitos colaterais do tratamento e um prolongamento da sua qualidade de vida [72].

## 2.2 Cinemetria

A **Cinemetria** consiste em um conjunto de métodos para medição dos parâmetros cinemáticos do movimento humano, tais como: posição, orientação, velocidade e aceleração [59]. Os instrumentos básicos das medidas cinemáticas podem ser adquiridos por câmeras de vídeo; pela análise das imagens e dos movimentos; e por meio de software específico, os quais calculam as variáveis cinemáticas de interesse. Atualmente, com o uso de câmeras infravermelho, é possível reconhecer o movimento humano e calcular as grandezas cinemáticas das características do movimento com precisão e robustez [31].

A cinemetria relaciona técnicas e métodos para o processamento de grandezas cinemáticas; entre elas, destacamos as técnicas de medição direta [59], utilizadas para:

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

### 2.2.1 Movimento Angular

O movimento angular ocorre quando todas as partes do corpo se movem pelo mesmo ângulo, mas não realizam o mesmo deslocamento linear. A subdivisão da cinemática que trata do movimento angular é chamada de cinemática angular, que permite examinar o movimento angular a partir de segmentos de um movimento, divididos em partes identificáveis que aumentam a compreensão do movimento humano [37].



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 [37]. No movimento angular, a unidade de medida utilizada é o grau( $^{\circ}$ ) e a unidade de tempo é o segundo(s). Logo, as velocidades angulares calculadas são mensuradas em /s.

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

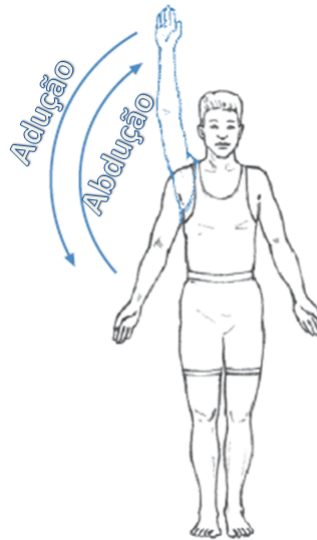


Figura 2.1: ©Movimentos de Abdução e Adução do Braço [59]

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

- **Ângulo Relativo:** este ângulo é formado entre os eixos longitudinais de segmentos corporais adjacentes [37]. Logo, os ângulos relativos não descrevem a posição de segmentos ou os lados do ângulo no espaço. Se um indivíduo tem um ângulo relativo de  $90^{\circ}$  no cotovelo e esse ângulo é mantido, o braço pode ficar em qualquer posição. A interpretação dada a cada segmento irá determinar o tipo de movimento realizado.
- **Ângulo Absoluto:** este ângulo identifica a orientação angular de um segmento corporal em relação a uma linha fixa de referência [37]. Dessa forma, os ângulos absolutos devem ser medidos na mesma direção a partir de uma única referência, seja ela horizontal ou vertical.

## 2.3 Máquina de Vetor de Suporte (SVM)

A teoria da aprendizagem estatística fornece um conjunto de técnicas para a análise de dados, a qual permite a aquisição de conhecimento [92]. A máquinas SVM faz uso de um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionada [95] para classificação de dados. Ou

seja, a SVM é uma ferramenta de predição de classificação, que usa a teoria da aprendizagem de máquina e busca maximizar a acurácia. Normalmente, a SVM é aplicada para classificação binária, ou seja, permite classificar os dados em duas classes. No entanto, essa técnica também tem sido aplicada em dados com mais de duas classes [19].

Um classificador SVM foi inicialmente desenvolvido para problemas de aprendizagem linearmente separáveis e utiliza vetores de separação, através de uma técnica de hiperplano de separação ótima [92]. O hiperplano tenta separar as diferentes classes, maximizando a margem entre os pontos extremos de cada classe [32]. O melhor hiperplano de uma SVM é aquele que possui a maior margem entre as duas classes, como pode ser visto na Figura 2.2.

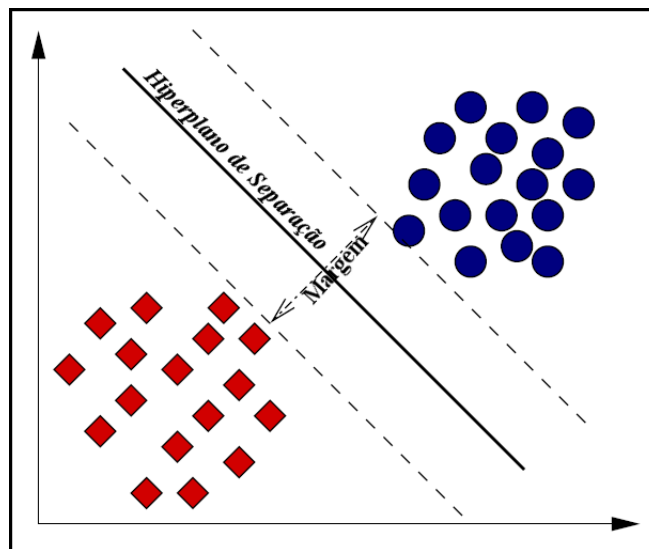


Figura 2.2: Hiperplano de Separação Linear Para Duas Classes

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

Cada ponto possui  $x_i$  e um rótulo  $y_i$ , que denotam a qual classe  $x_i$  pertence. Logo, se  $y_i = +1$ , então  $x_i$  pertence a classe 1; e caso  $y_i = -1$ , então  $x_i$  pertence 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. Dessa maneira, o resultado da classificação dos dados de teste dependerá da localização da projeção desses dados.

Formalmente, classificadores que separam os dados por meio de um hiperplano utilizam um discriminante linear [32] de Equação 2.1. Um hiperplano é considerado de Margem Máxima (ou de Separação Ótima) quando uma função discriminante consegue separar um conjunto de vetores sem erro. 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, o vetor  $\mathbf{w}$  é denominado de peso e a constante parâmetro  $\mathbf{b}$  é chamada de *bias* ou desvio.

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

Se  $\mathbf{u}$  e  $\mathbf{v}$  são dois padrões e  $f(x)$  é a função discriminante, então os valores de  $f(\mathbf{u})$  e  $f(\mathbf{v})$  irão auxiliar na determinação dos valores de  $\mathbf{u}$  e  $\mathbf{v}$  que pertencem a classe; logo, a regra para a predição da classe está no Código 2.1.

Código Fonte 2.1: Código de Predição da Classes

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

A partir desse método de separação de dados lineares, é que a SVM foi aplicada para classificar indivíduos diagnosticados com Parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido. Na Seção 4.2 será explicado como são extraídos os pontos, usando os vetores de características para obtenção da classificação exposta na Seção 5.2.

# Capítulo 3

## Abordagem *JOGUE-ME*

Para desenvolver um SMS dos sinais motores, usando jogos eletrônicos como interface de entrada de dados, é necessário analisar que movimentos e ações o usuário deve executar para que seja possível identificar os sinais motores, a partir de suas ações. Estes movimentos devem ser testados junto a indivíduos portadores da deficiência a ser monitorada e indivíduos como grupo de controle para avaliar a viabilidade de detecção do sinal.

### 3.1 Definição de Requisitos da Solução

Com base no levantamento bibliográfico e nas entrevistas semiestruturadas [29] com profissionais de saúde, identificamos e enumeramos os seguintes requisitos funcionais, os quais devem ser desenvolvidos para uma solução JOGUE-ME:

**REQ-JOGUE-ME-01 - Pontuação e Taxa de Acerto:** O jogador percebe os objetivos e visualiza o sucesso ou o fracasso alcançado. O jogo pontua o jogador de acordo com seus erros e acertos [83; 78].

**REQ-JOGUE-ME-02 - Progresso e Evolução do Jogador e dos Desafios:** O jogador percebe seu progresso e sua evolução no jogo. Os desafios tornam-se mais complexos no decorrer do tempo [83].

**REQ-JOGUE-ME-03 - Estado de Fluxo :** Um dos grandes desafios de um jogo eletrônico é levar o usuário a um “Estado de Fluxo” ou escapismo, passando a executar a atividade proposta pelo jogo de uma forma autotélica, ou seja, o usuário não vislumbra um benefício imediato ou futuro [84].

**REQ-JOGUE-ME-04 - Preocupação com Integridade Física do Jogador:** Promover atividades físicas ou ações que venham a trazer injúria ao jogador, como: movimentos de equilíbrio, movimentos repetitivos ou bruscos [8; 78].

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

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

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

## 3.2 Visão geral da solução

A abordagem JOGUE-ME faz uso de jogos eletrônicos como interface de aquisição de sinais, tornando os usuários mais motivados a fornecer seus sinais motores, em comparação ao uso dos dispositivos vestíveis [5]. Então, com o uso da presente abordagem, um paciente portador de uma doença motora, no conforto do seu lar, poderá fornecer sinais motores de uma maneira colaborativa e não invasiva. Por outro lado, o profissional de saúde poderá visualizar os sinais motores de seus pacientes com uma frequência muito maior, em comparação às avaliações clínicas realizadas durante o período de consulta.

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

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

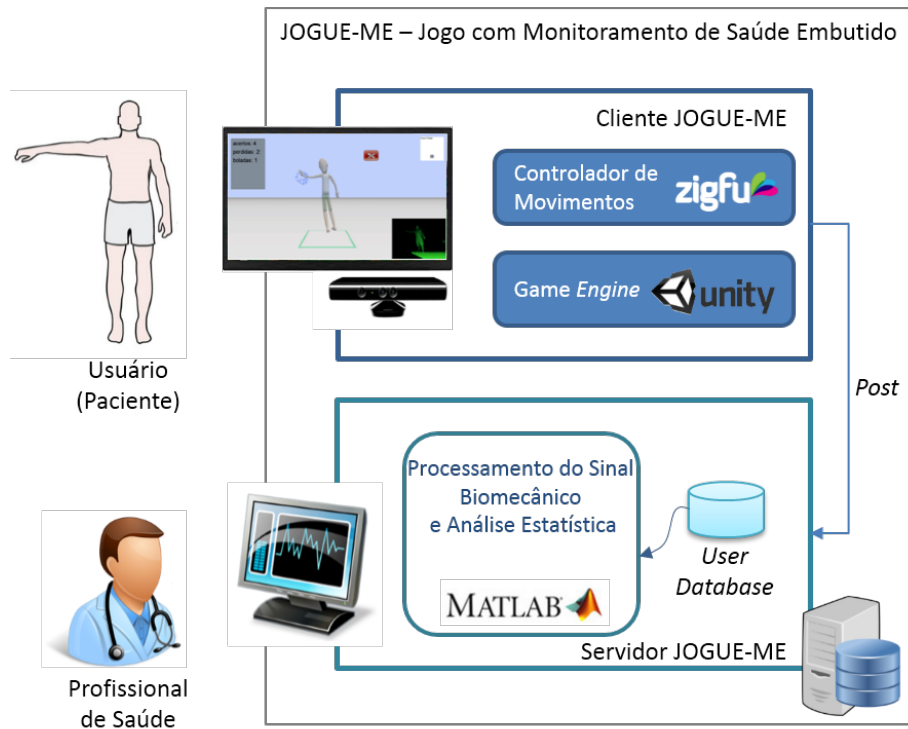


Figura 3.1: Visão Geral da Abordagem *JOGUE-ME*

O funcionamento da abordagem pode ser descrito como uma composição de quatro passos: aquisição dos sinais por meio de sensores, processamento de sinais biomecânicos, classificação dos dados e visualização. Estes passos são detalhados nas seções seguintes.

### 3.3 Aquisição dos Sinais Por Meio de Sensores

O cliente JOGUE-ME é um jogo com funcionalidades de aquisição de dados motores de movimentos específicos. Logo, ele realiza a captura e o envio de dados para um servidor, que recebe requisições para efetuar o recebimento e o armazenamento das informações, o que torna possível armazenar o histórico do usuário para um acompanhamento dos sinais motores por um longo período. Com o uso do JOGUE-ME é possível adquirir os movimentos do paciente para identificar a evolução dos sinais do Parkinson, e consequentemente, quantificar sua saúde motora.

Atualmente, a análise dos sintomas motores é feita de forma subjetiva pelo cuidador ou esporádica pelo neurologista quando o paciente está em atendimento clínico, visto que, atualmente não existem mecanismos disponíveis em larga escala que permitam quantificar os sintomas motores ou acompanhar o tratamento a distância. Este projeto pretende atender a esta demanda e auxiliar a prática dos profissionais de saúde melhorando a qualidade de vida dos pacientes com Parkinson.

Um sensor de movimentos como o MS-Kinect [65], por exemplo, possui uma câmera

infravermelho capaz de reconhecer os movimentos de todo o corpo humano e identificar as posições das articulações anatômicas [37], para análise da cinemática do movimento humano [59].

Para mensurar os movimentos do paciente, utilizamos diretrizes médicas para avaliação motora do Parkinson como a UPDRS [28], a qual, permite diagnosticar e acompanhar o progresso da doença. Logo, os dados adquiridos pelos sensores podem ser mensurados com o processamento dos sinais e reconhecimento de padrões para identificar a ocorrência de sintomas motores.

Desta maneira, a aquisição dos sinais motores e a quantificação do movimento de seus usuários permitirá uma participação mais precisa do profissional de saúde.

### 3.4 Processamento de Dados Biomecânicos

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

#### 3.4.1 Identificação de Ciclos de Movimento

Os sinais adquiridos por sensores de movimento possuem bastante ruído, o que dificulta a identificação dos ciclos de movimento, pois eles possuem uma posição que inicia o ciclo de movimento, como na Figura 3.3, e o ruído existente pode cruzar por essa linha e consequentemente gerar falsas identificações.

Em casos de análise de sinais biomecânicos da amplitude do movimento, é possível aplicar a técnica de detecção de picos e vales do sinal [17]. 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. A técnica é aplicada no sinal da Figura 3.3, com um  $\delta$  de 500, obtendo-se como resultado os picos e os vales identificados como pode ser visto na Figura 3.4.

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

- identificar ciclos de movimentos;
- calcular movimento angular realizado durante o ciclo de movimento;
- remover ciclos de movimentos incompletos.

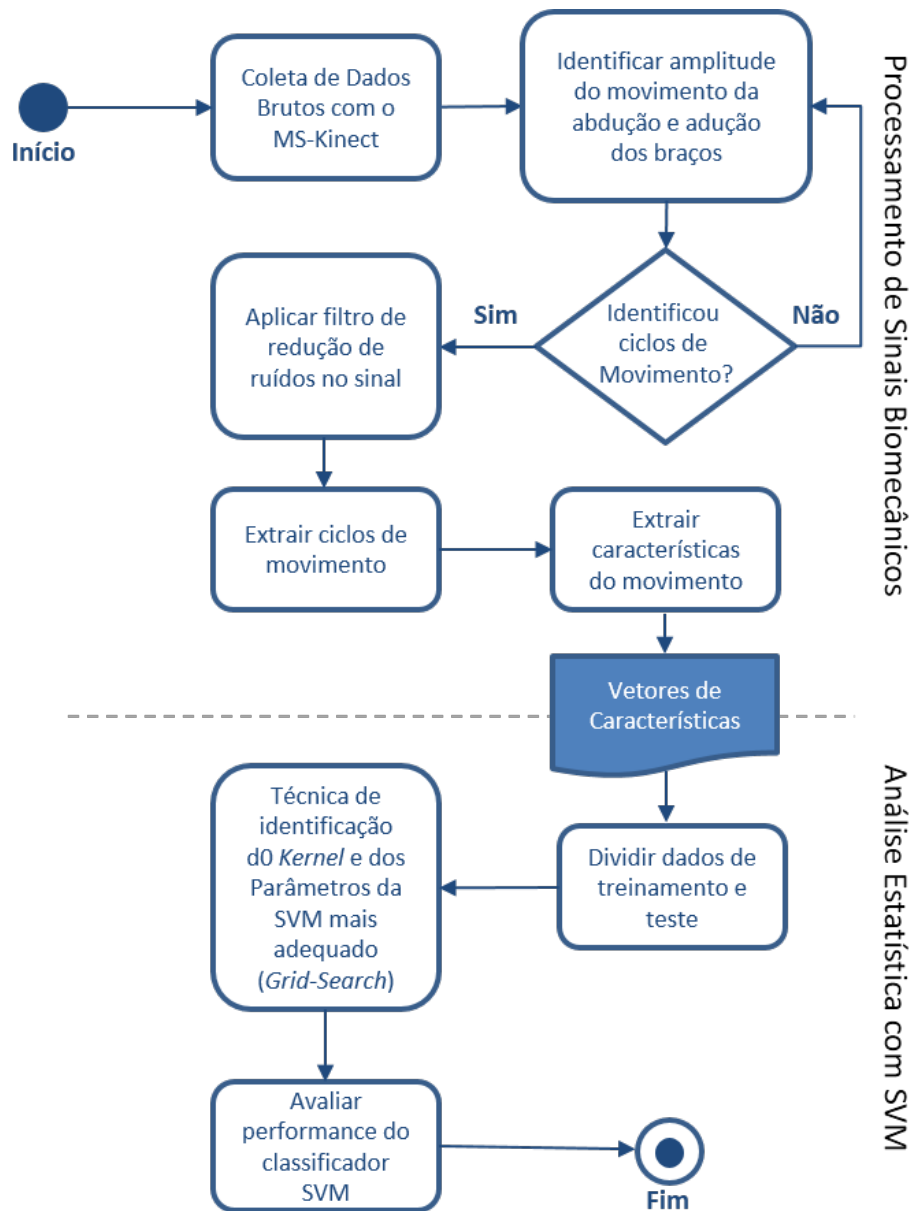


Figura 3.2: Processamento de sinais biomecânicos.

Para identificar os ciclos de movimento de adução e abdução dos braços, é necessário utilizar uma das articulações como referência. Neste movimento, a articulação do punho (Figura 3.5) é a que possui o sinal com 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 deslocamento angular através do produto escalar entre as articulações do punho, do ombro e da bacia (Seção 3.4.2). Neste momento, o sinal irá conter ciclos de movimentos angulares, então realiza-se uma nova eliminação de ruídos, ao extrair os ciclos de movimento identificados no sinal. Essa



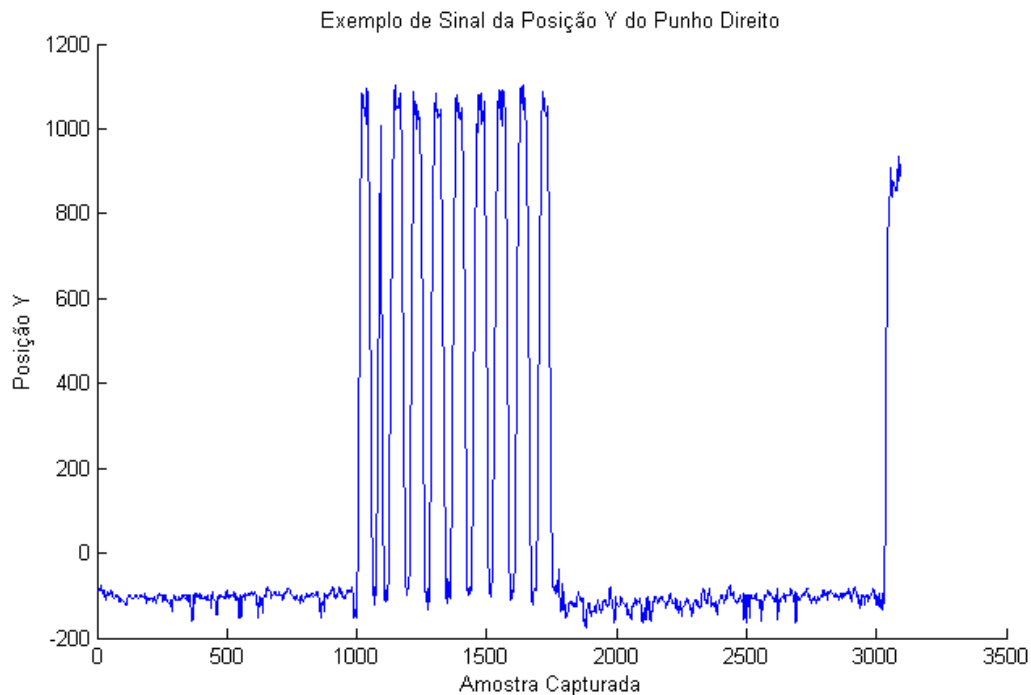


Figura 3.3: Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando MS-Kinect na Posição Y

é a primeira etapa da filtragem dos dados, a qual seleciona o início e o fim dos ciclos de movimentos. Depois desta etapa, realiza-se a extração de cada ciclo e identifica-se 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 são baseadas na cinemática do movimento angular. Logo, é necessário um estudo da biomecânica do movimento humano nos ciclos de movimento [37]. De posse do tempo de ocorrência de cada ciclo e das articulações do **punho**, da **bacia** e do **ombro**, deve-se calcular o ângulo relativo do movimento de abdução e adução do braço através da aplicação do teorema do produto escalar, que encontra o ângulo entre dois vetores dentro do intervalo de  $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ .

#### Cálculo do Ângulo Relativo do Movimento de Abdução e Adução

O produto escalar é uma operação entre dois vetores cujo resultado é um escalar [64]. Então, o ângulo entre dois vetores é definido como “o menor” ângulo entre eles. Dessa 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  $w$ .

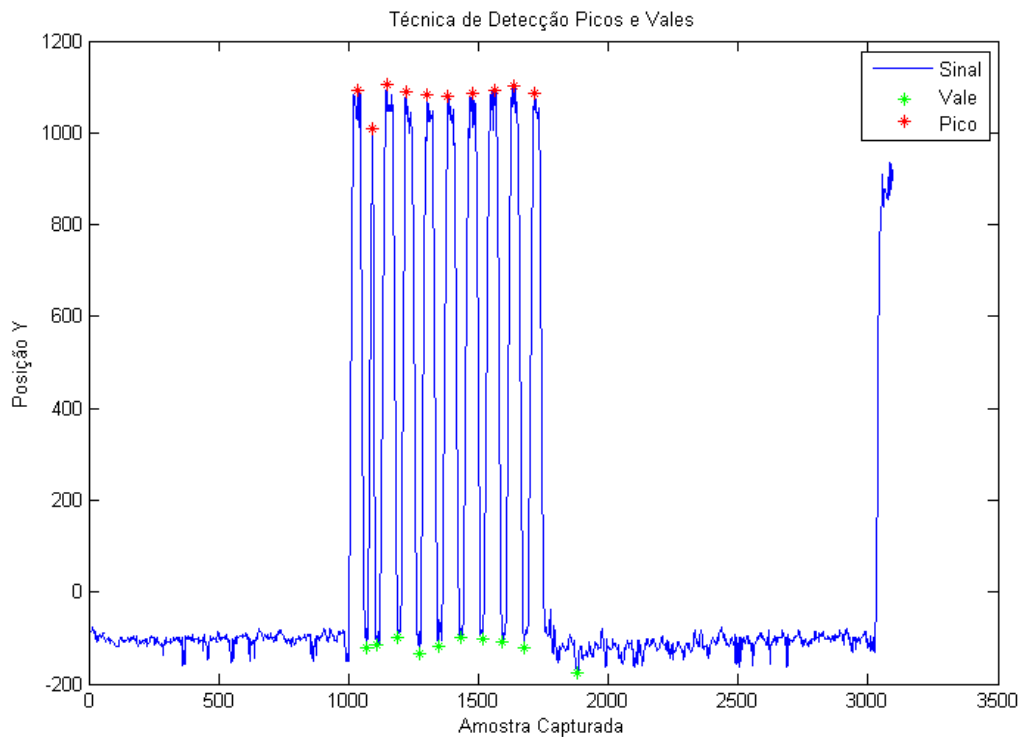


Figura 3.4: Exemplo da Aplicação da Técnica de Detecção de Picos e Vales no Sinal

No movimento de abdução e adução do braço (Figura 2.1), o ângulo relativo pode ser calculado com as posições ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) das articulações (*quadril*, *ombro* e *punho*). Utilizando o produto escalar entre esses pontos, extraem-se as características do movimento, como amplitude do movimento, e, quando relacionamos com o tempo, conseguimos extrair a velocidade angular deste movimento, como pode ser visto na Figura 3.6, quantificando o movimento da adução e abdução do braço em relação ao tempo.

### 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 o 1º vale e 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. Portanto, com a amplitude máxima e o tempo gasto nesses movimentos, podem ser calculadas as velocidades angulares de abdução e adução dos braços, como pode ser visto na Figura 3.7.

### 3.4.3 Filtragem de Dados

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

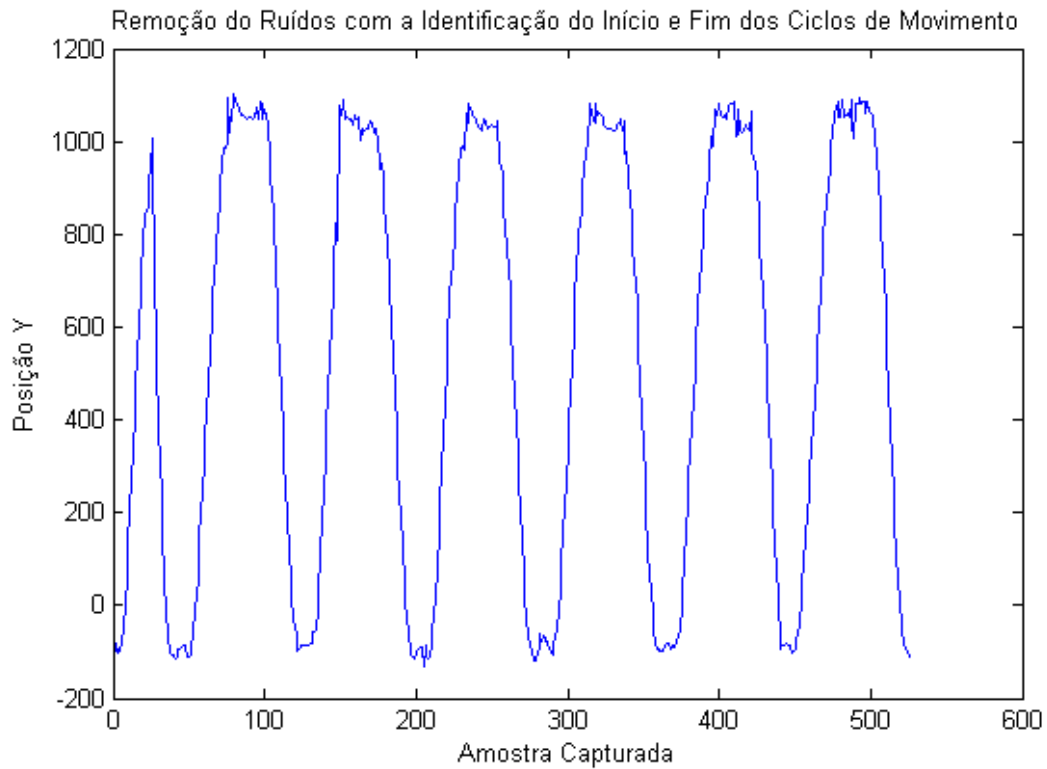


Figura 3.5: Remoção de Ruídos

**Escalonamento dos 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  $(\mathbf{M} \times \mathbf{n})$ .

**Normalização dos ciclos** : Em estatística, o termo normalização possui diferentes significados [27]. Neste trabalho, a normalização consiste no ajuste dos valores dos dados em torno do valor máximo. Ou seja, o máximo valor obtido dos dados terá o valor 1, e os demais serão obtidos a partir da divisão do valor máximo. A normalização se faz necessária para que a variação dos dados seja mantida, além de facilitar a identificação de similaridades [93].

**Cálculo do Vetor Médio dos Ciclos** : Para definir a completude de um ciclo de movimento, deve-se calcular a média entre todos os ciclos de movimento, que é o vetor médio dos ciclos escalonados e normalizados (Figura 3.8). O **vetor médio**, Equação (3.1), chamado de  $\bar{X}$ , consiste na média aritmética de todos os ciclos de movimento, ou seja, ele define a centralização dos dados [94].

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

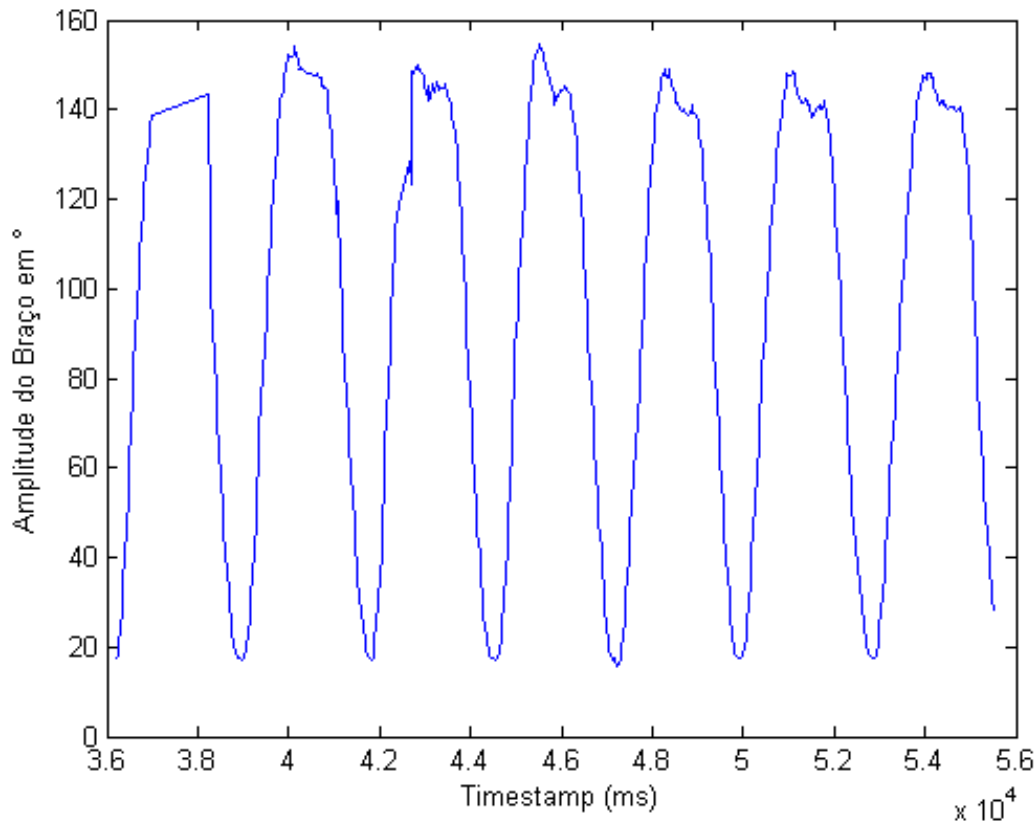


Figura 3.6: Amplitude do Movimento de Abdução e Adução

**Calculo da Variância de Cada Ciclo ao Vetor Médio :** A variância é uma medida de dispersão estatística, que indica o quão longe os dados estão de um valor esperado [94]. Neste caso, o valor esperado é o vetor médio dos ciclos ( $\bar{X}$ ), e a variância, Equação (3.2), irá nos informar o quão distante cada ciclo ( $C$ ) está em relação a média.

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

**Definição do 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 e a média é complexo, pois existe uma grande variabilidade de movimento. Logo, um limiar muito alto pode acarretar na remoção de uma grande quantidade de ciclos. Por outro lado, um limiar baixo colocaria ruídos nos dados e, conseqüentemente, impactaria no resultado da classificação.

#### Código Fonte 3.1: Filtro dos Ciclos

```
1 filtro = 1;
2 vetorMedio = mean(ciclos);
```

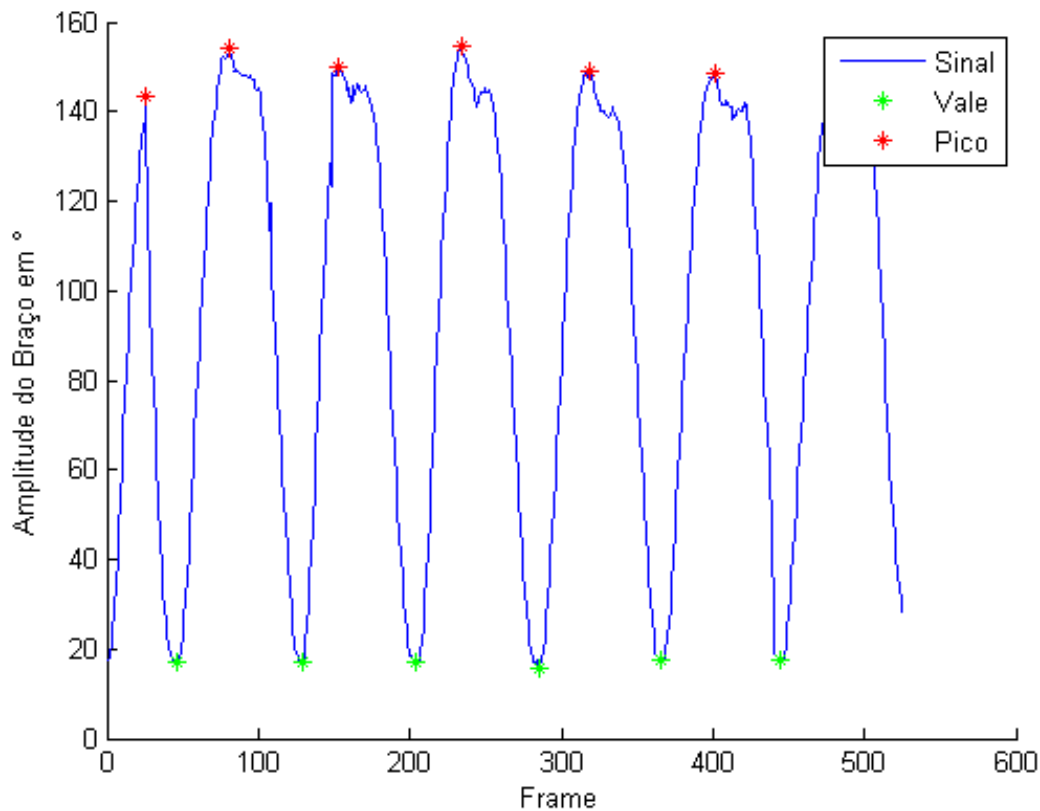


Figura 3.7: Detecção de Picos e Vales da Amplitude do Movimento de Abdução e Adução do Braço

```

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

```

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

### 3.5 Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem

O objetivo de todo esse processo de identificação de ciclos, extração de características e filtragem é justamente facilitar a separação dos dados por máquinas de aprendizagem. A normalização dos ciclos ficou como o resultado do cálculo do produto escalar, que nos retorna valores entre 0 a 180 do movimento de abdução e adução. O escalonamento de cada ciclo de movimento ficou com 20 *frames*. Como temos o movimento do braço esquerdo e depois o do direito, temos um total de 40 *frames* por ciclo. O motivo pelo qual decidimos juntar os ciclos dos braços esquerdo e direito foi justamente para facilitar a identificação da assimetria do movimento existente nos estágios iniciais do Parkinson. Portanto, o clas-

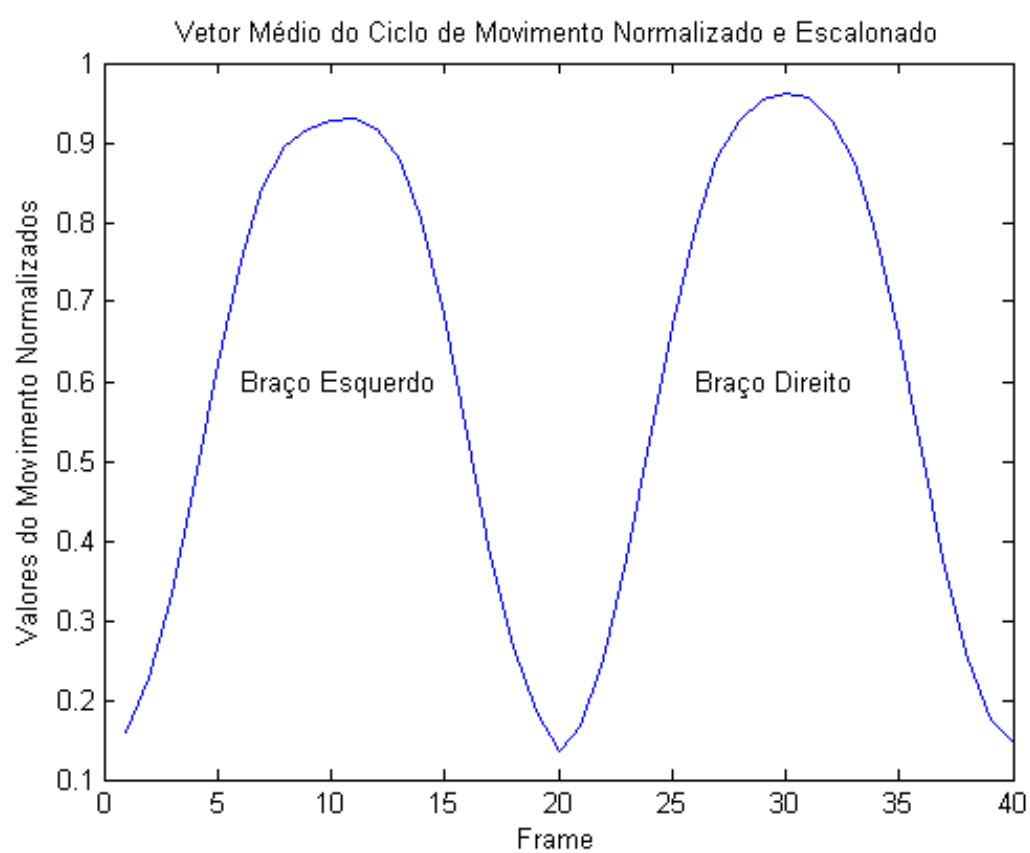


Figura 3.8: Ciclos de Movimento Normalizados e Escalonados

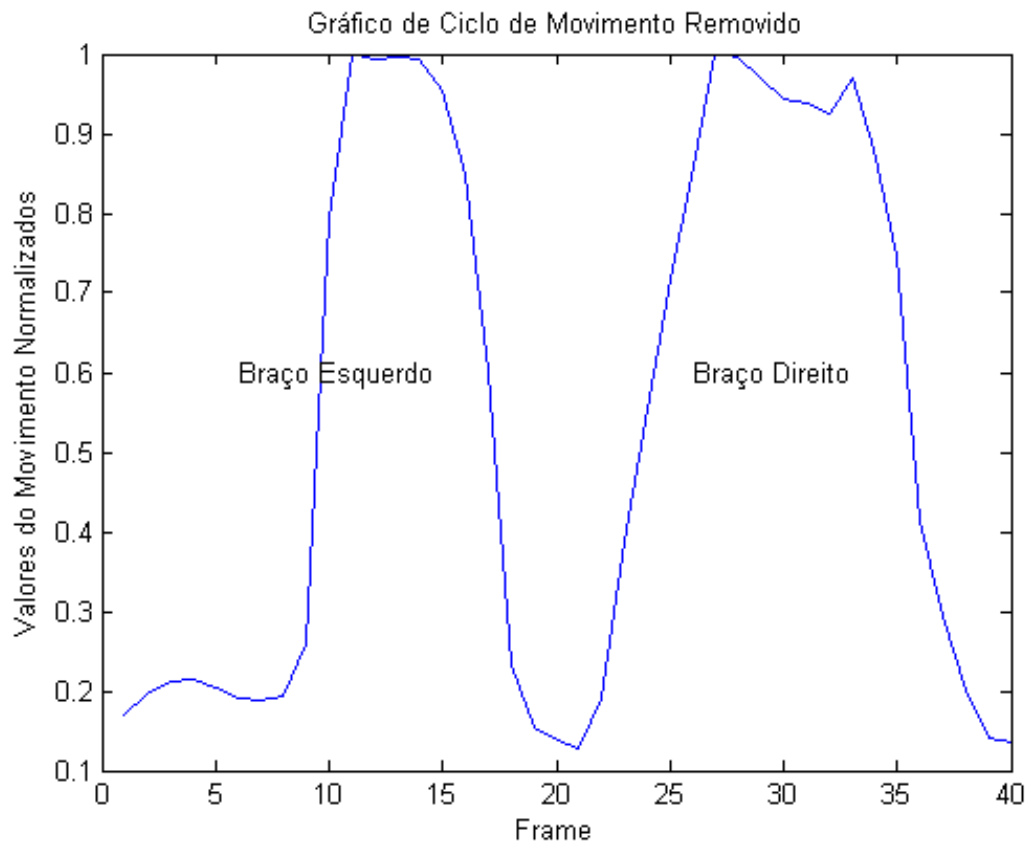


Figura 3.9: Ciclo de Movimento Removido

sificador será responsável por identificar os indivíduos diagnosticados com Parkinson, por meio das diferenças de movimento existente entre estes e os indivíduos sem o diagnóstico da doença.

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

Nesta abordagem, o classificador de dados será usado para identificar usuários com problemas motores. Dessa forma, irá auxiliar o profissional de saúde no acompanhamento de seus pacientes. Supondo que um profissional de saúde detém um grande número de pacientes, e que estes fazem uso da abordagem JOGUE-ME para monitorar seus dados, caso fosse identificada alguma anormalidade motora, o profissional de saúde seria notificado e poderia visualizar as informações que poderiam auxiliar na tomada de decisão.

## 3.6 Visualização dos Dados

O acompanhamento dos sinais motores é necessário, principalmente, para doenças crônicas de impacto motor e que tenham melhoria nos sinais, pois dessa maneira auxilia o médico no acompanhamento motor e, conseqüentemente, permite tratar o paciente de acordo com a resposta ao tratamento.

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

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

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

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

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

Como pode ser visto nesses dados, a amplitude de um indivíduo diagnosticado com Parkinson está bem menor do que em um indivíduo sem o diagnóstico estabelecido. Um valor importante também pode ser identificado na velocidade de adução esquerda do indivíduo com Parkinson, pois este possui uma velocidade muito maior do que o indivíduo sem o diagnóstico. Possivelmente, porque um paciente com Parkinson perde um pouco o



controle sobre o membro, fazendo-o descer abruptamente [73]. Dessa maneira, a abordagem pretende auxiliar o profissional de saúde com o fornecimento dessa informação, para que este efetue o acompanhamento e perceba a evolução do quadro clínico do paciente.

## Capítulo 4

# Arquitetura de Software para *JOGUE-ME*

A arquitetura desenvolvida para o JOGUE-ME busca abstrair das dificuldades existentes no desenvolvimento de um jogo para monitoramento de dados de saúde. Neste projeto foi desenvolvido um arcabouço de software, integrado a uma *engine* de jogos bem difundida e utilizada por desenvolvedores de jogos. Devido a essa estrutura, buscamos facilitar a programação de jogos para a saúde, criando Componentes de *Software* sobre a *engine* de jogos Unity 3D [87]. Assim, desenvolvedores de jogos podem criar JOGUE-MEs, usando esse arcabouço (Seção 4.1), o que permite ao desenvolvedor encapsular os aspectos de processamento de sinal.

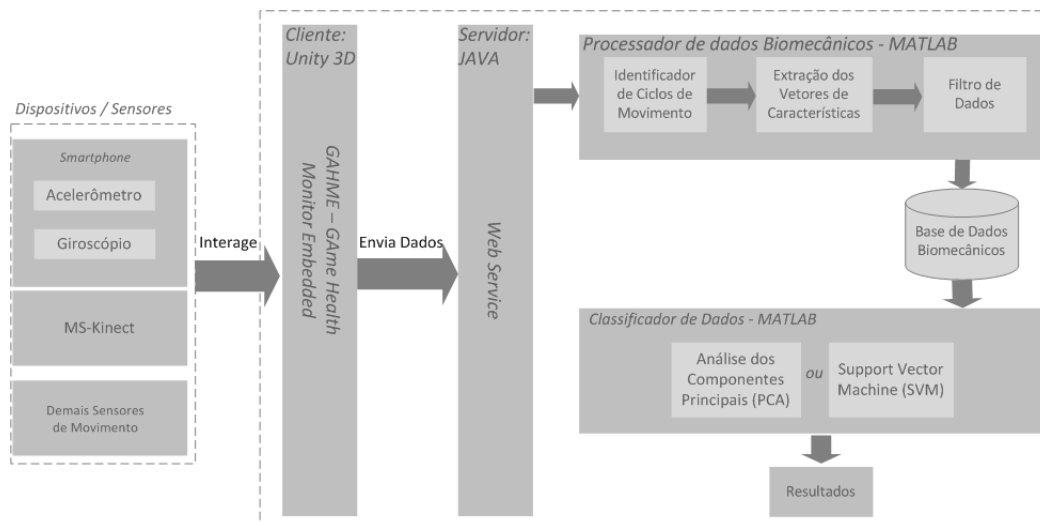


Figura 4.1: Arquitetura do Sistema

## 4.1 Arquitetura Cliente-Servidor do JOGUE-ME

A arquitetura cliente/servidor do JOGUE-ME foi concebida em cooperação com um pesquisador de Mestrado da UFCG, Antônio Santos Jr. [75]. Inicialmente, foi proposto um arcabouço para o desenvolvimento de software utilizando uma *engine* de jogos (Unity3D [87]), que é um ambiente de desenvolvimento de jogos multi-plataforma. Este arcabouço permite que os desenvolvedores abstraíam-se dos aspectos de hardware, plataforma e complexidade do desenvolvimento de jogos e habilita o desenvolvedor a se ater somente às atividades referentes ao desenvolvimento do jogo.

Atualmente, desenvolvedores independentes de jogos utilizam Unity3D [87] como ferramenta de desenvolvimento. Esse ambiente facilita a criação de cenários, terrenos e interação com os objetos dos jogos usando uma linguagem de *script*. No entanto, desenvolver jogos com propósito de monitorar sinais motores possui desafios que não precisam ser de responsabilidade dos desenvolvedores de jogos. Por esse motivo, criamos um arcabouço de software que abstrai a complexidade do desenvolvimento de um jogo de monitoramento da saúde.

Para adquirir os sinais motores, utilizamos e herdamos de um componente (Zigfu [96]) para Unity3D, que permite integrar o Ms-Kinect [65] como controlador do jogo. O Ms-Kinect [65] é um sensor de captura de movimentos utilizado tanto para o console MS-XBOX 360 quanto para PCs. Ele permite adquirir sinais relativos ao movimento humano e identificar as articulações por meio da posição anatômica do corpo [37], como pode ser visto na Figura 4.2.

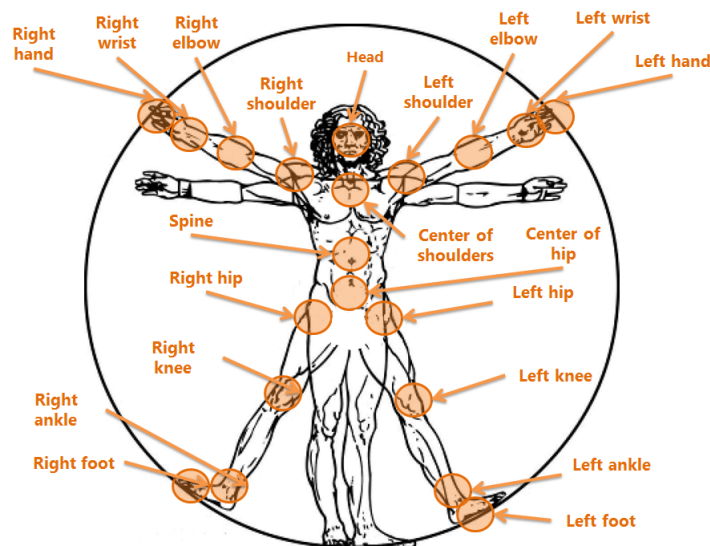


Figura 4.2: ©Posições das Articulações do Corpo Humano Adquiridas Pelo MS-Kinect [65]

O Zigfu [96] é um componente de software que permite integrar o Ms-Kinect ao Unity3D. O Zigfu faz um mapeamento das articulações adquiridas pelo Ms-Kinect (Fi-

gura 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 armazena as posições das articulações, além de um mecanismo para habilitar ou desabilitar o monitoramento dos sinais (métodos *logOn()* e *logOff()* da Classe *ZigSkeletonHealth*).

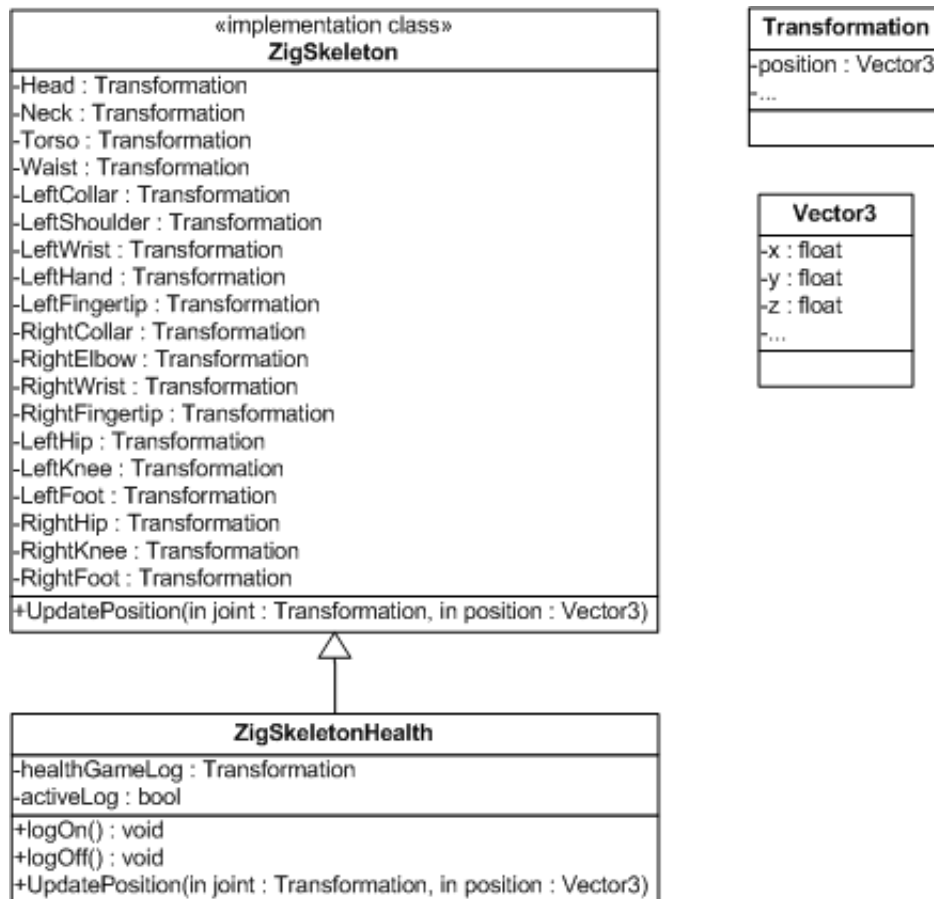


Figura 4.3: Diagrama Classe ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth

### Jogo: *Catch the Spheres*

Para testar a abordagem JOGUE-ME, criamos o jogo *Catch the Spheres*, de acordo com os requisitos propostos na Seção 3.1.

O *Catch the Spheres* é um jogo em terceira pessoa, em que o jogador, por meio de seu personagem, deve tocar ou desviar das bolas que vêm em sua direção. Se o jogador tocar as bolas azuis, receberá uma pontuação por isso; caso seja atingido pelas bolas vermelhas, haverá uma penalização([REQ-JOGUE-ME-01]). Com o progresso do usuário, as bolas tornam-se mais rápidas, exigindo uma maior agilidade nos movimentos ([REQ-JOGUE-ME-02]). Este é o principal mecanismo de fluxo do jogo [84], que tem o intuito de atrair a atenção

do jogador, baseado nos desafios propostos ([REQ-JOGUE-ME-03]).

Houve uma preocupação com a integridade física do jogador ([REQ-JOGUE-ME-04]). Por este motivo, baseado nos relatos dos usuários (Seção 5.3), removemos o mecanismo de desvio de bolas, por ser considerado inseguro.

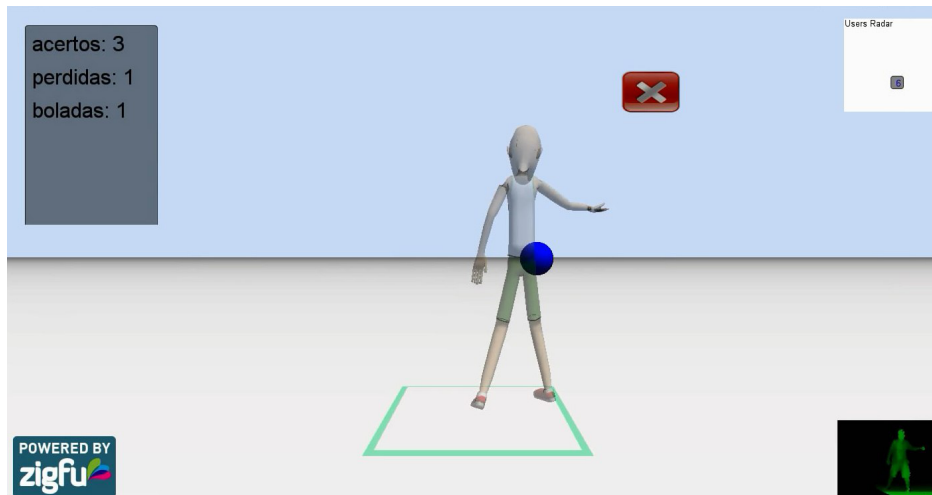


Figura 4.4: O jogo *Catch the Spheres*

O mecanismo de aquisição e armazenamento dos sinais motores ([REQ-JOGUE-ME-05]) torna possível o envio de sinais motores de maneira colaborativa, usando um servidor responsável por receber e armazenar esses sinais. Na abordagem JOGUE-ME, o servidor irá processar os sinais e transformá-los em informação para o profissional de saúde responsável pelo paciente.

Os usuários enviam seus sinais, utilizando um cliente JOGUE-ME através de uma requisição *POST*. Essa requisição é enviada no momento da finalização do jogo.

## 4.2 Processador de Dados Biomecânicos

Para transformar os sinais em informação, tanto para o profissional de saúde, quanto para máquinas de aprendizagem, é necessário fazer o processamento desse sinal. Implementamos o *Processador de Dados Biomecânicos* em MATLAB 2011 [57]. Este processador 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* [17]. 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: 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 as amplitudes máximas e mínimas permitidas por este 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, pôde ser identificado quando começam e terminam os movimentos periódicos (Código Fonte 4.2), como, por exemplo, os movimentos sucessivos de adução e abdução do braço (Seção 2.1).

Código Fonte 4.2: Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico

```

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

```

## 4.2.2 Extração das Características do Movimento

Supondo que os ciclos de movimento foram identificados através da posição do punho, é necessário 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. Então, a função *ArmRelativeAngleTorso()* realiza o cálculo do produto escalar entre as três articulações.

Código Fonte 4.3: Calcular ângulos relativos do movimento

```

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

```

De posse do sinal dos ângulos relativos do movimento, são extraídos os picos e os vales desse sinal para calcularmos 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 remove 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 rotulados por usuário. De posse de todos os dados, é calculado um vetor médio dos ciclos normalizados, para definir um limiar (*threshold*) de remoção dos ciclos (Código Fonte: 4.5).

Código Fonte 4.5: Calcular Velocidade Angular Adução e Abdução

```

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

```

### 4.3 Classificador de Dados

Para avaliar os requisitos de identificação dos sinais motores ([REQ-JOGUE-ME-06]), é necessário um teste com seres humanos, para avaliar a aquisição e a 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* [57], que possui um SVM 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 esta máquina de aprendizagem; por fim, calculam-se as diferenças entre os valores reais. Então, é calculada a taxa de erro para 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);
```

Neste capítulo foram apresentados os passos da implementação de um JOGUE-ME para o monitoramento do sinal da bradicinesia presente no Parkinson. Demonstramos na Seção 4.2 o processador de dados biomecânicos implementado para identificar o sinal da bradicinesia [73] presente no Parkinson. Na Seção 5.2 do Capítulo 5 serão demonstrados os experimentos realizados para validar esta arquitetura do JOGUE-ME.

# Capítulo 5

## Avaliação Experimental

A realização do monitoramento dos sinais motores, de uma maneira não invasiva, é um desafio. Logo, esta tese fornece uma forma lúdica de monitorar os dados de saúde, por meio de jogos eletrônicos que podem ser integrados à rotina diária dos usuários. Neste capítulo, iremos demonstrar que conseguimos desenvolver um SMS não invasivo para monitoramento de um sinal do Parkinson com uma taxa de acurácia de 86,67%.

### 5.1 ETAPA 1 - Entrevista Semiestruturada com Profissionais de Saúde

A interpretação de dados é o cerne da pesquisa qualitativa, tem como função desenvolver a teoria e servir, ao mesmo tempo, de base para a decisão sobre quais dados adicionais devem ser coletados, por meio de codificação seletiva [29]. Esta técnica permite elaborar uma categorização nos dados e demonstrar ao pesquisador quais são os fenômenos mais preponderantes da pesquisa. O procedimento da interpretação dos dados, assim como a integração de material adicional, são encerrados quando se atinge a “saturação teórica”, ou seja, quando o avanço na codificação não resulta na aquisição de novos conhecimentos [29].

Para análise dos textos provenientes da pesquisa, foram transcritas as entrevistas com neurologistas e fisioterapeutas especialistas em neurologia. Com a codificação seletiva, foi possível categorizar as ocorrências de acordo com o conteúdo de cada texto. Ou seja, as respostas de cada participante foram analisadas e incluídas na árvore de categorias como sugere o método de pesquisa [29].

Para auxiliar no processo de análise, seleção e codificação, foi utilizada uma ferramenta de suporte à pesquisa qualitativa (*QDA Miner* [71]) e, por meio desta, foi possível categorizar e reformular a árvore de categorias [29] diversas vezes durante o processo de análise [29].

### 5.1.1 Objetivo da Entrevista Semiestruturada

O objetivo da entrevista semiestruturada [29] foi entender como é feito o acompanhamento do paciente com sintomatologia do Parkinson, juntamente aos profissionais de saúde: neurologistas, que prescrevem a dosagem medicamentosa, e fisioterapeutas, que fazem o tratamento de reabilitação e acompanhamento motor do paciente. Esses profissionais de saúde foram indagados se haveria melhora na tomada de decisão, caso estes pudessem acompanhar os sinais motores diariamente. Procurou-se encontrar, dentro do contexto de estudo, a importância do monitoramento de dados de saúde e os benefícios trazidos por este.

As entrevistas foram realizadas presencialmente, com perguntas não estruturadas e com uma maior estruturação no decorrer da entrevista, preocupando-se em evitar a referência do entrevistador sobre os pontos de vista do entrevistado, conforme sugere o método científico [29].

### Instrumento de Análise dos Dados da Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa assistida por computador permite uma melhor categorização das informações obtidas em modo texto. O software QDA Miner [71] auxilia o pesquisador na organização dos registros da pesquisa e em suas interpretações, justificando-se o uso da ferramenta devido à dificuldade de classificar e analisar os dados obtidos. Nessa análise, foram consideradas as atividades referentes ao acompanhamento dos sinais motores em pacientes com Parkinson. Buscou-se, durante a pesquisa, avaliar se um cenário de monitoramento dos sinais motores, por meio de jogos eletrônicos, auxiliaria os profissionais de saúde quanto ao tratamento de seus pacientes.

Nesta seção, faz-se um detalhamento do resultado da entrevista semiestruturada, que descreve a opinião dos entrevistados, e coleta-se requisitos baseados em suas necessidades, devidamente expostas. Por meio desta entrevista, foi avaliada a **ETAPA 1**: *Quais os benefícios de acompanhar os sinais motores do paciente diariamente, do ponto de vista do profissional da saúde?*

### 5.1.2 Perfil dos Participantes

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

profissionais possuem visões e preocupações distintas, inerentes ao seu ofício.

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

Tabela 5.1: Perfil dos Participantes

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

### Questionário de Pesquisa

Para a formulação do questionário, foram realizadas análises nas diretrizes médicas [73; 38] e na tabela UPDRS [28], sobre o progresso do Parkinson e dos sinais monitoráveis por sensores de movimento. Para a entrevista, foram elaboradas 15 perguntas, agrupadas em 3 seções (Apêndice B), com os seguintes temas: sinais do Parkinson, monitoramento da saúde motora e benefícios advindos do monitoramento. O entrevistador selecionou as questões de acordo com o perfil profissional.

### 5.1.3 Análise

Durante a análise das entrevistas, foram extraídos fragmentos, e a nomenclatura utilizada contém o prefixo **FRAGMENTO** mais um número sequencial identificando-o. 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 ao acompanhamento do Parkinson.

### Diagnóstico

Na entrevista junto aos neurologistas, foi indagado como o diagnóstico do Parkinson é realizado. A entrevista corroborou com a literatura médica [91; 25] em relação ao diagnóstico de exclusão do Parkinson [73; 38].

Todos os profissionais informaram que o sintoma mais comum é o tremor de repouso, e que este é inicialmente unilateral, seguido de uma bradicinesia, como podemos perceber nos fragmentos ([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* [28] para avaliação da bradicinesia.

**[FRAGMENTO-01][NEU\_01]** - *O diagnóstico da doença de Parkinson é dado, principalmente, 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 uma lentidão que detectamos pelo Finger Taps. Essa técnica consiste em tocar o polegar no primeiro e no 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 queixas iniciais do paciente: o tremor de repouso, associado a 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 ressaltada é o que o entrevistado referiu como “*boa resposta ao prolopa*”. Essa ocorrência é denominada de diagnóstico diferencial do Parkinson [73] e consiste na redução dos sinais parkinsonianos em decorrência da resposta ao tratamento medicamentoso.

**[FRAGMENTO-03][NEU\_01]** - *Então, os sinais são: o tremor em repouso, lentidão e a rigidez. Apenas de um lado inicialmente, 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, fazemos a exclusão com outras doenças através de outros exames, como tomografia, ressonância ou uma boa resposta ao prolopa.*

## Sintomas

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

O sintoma de tremor, além de ter sido referenciado durante o diagnóstico da doença, na Seção 5.1.3, por todos os entrevistados, possui particularidades, como a dificuldade de controlar o sintoma por intermédio do tratamento medicamentoso ([FRAGMENTO-04]), e não é tão incapacitante quanto a bradicinesia. No ([FRAGMENTO-05]), o [NEU\_01] reforçou sobre a importância de controlar os sinais de lentidão do movimento ante os de tremor [26].

**[FRAGMENTO-04][NEU\_01]** - *Necessário observar porque o tremor é, às vezes, mais difícil de controlar, pois está relacionado ao emocional do paciente e, quanto mais emocionalmente desequilibrado o paciente tiver, mais tremor ele tem.*

**[FRAGMENTO-05][NEU\_01]** - *O controle do tremor é um pouco complicado, devido a dificuldade de dominá-lo com as medicações existentes hoje. Então, você poderia ver nesse seu projeto a lentidão. Porque, o paciente poderá apresentar lentidão, porém o paciente quer tremer, mas não quer ficar lento.*

O pesquisador indagou se o sintoma da bradicinesia era considerado o mais debilitante do Parkinson; 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, 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 do Parkinson, o [NEU\_01] informou que a bradicinesia é um sintoma que traz lentidão em todo o corpo e, possivelmente, seria afetada por este movimento, pois, devido à redução dos movimentos automáticos ([FRAGMENTO-07]), traz outros impactos físicos ao paciente ([FRAGMENTO-08]).

**[FRAGMENTO-07][NEU\_01]** - *Na verdade, o movimento da abdução demonstrará o quão lento está. Porque, o comprometimento na doença de Parkinson está no comprometimento piramidal. O comprometimento extra-piramidal não vai estar alterando a força motora. No entanto, o comprometimento piramidal irá impactar justamente na lentidão. Por exemplo, quando um paciente com Parkinson está andando, percebe-se a redução dos movimentos automáticos, principalmente, no balançar dos braços. Ele vai andando, vai andando, e você percebe que o paciente que está com a força e com a estrutura piramidal normal. No entanto, anda lento em consequência da redução dos movimentos automáticos.*

**[FRAGMENTO-08][FIS\_01]** - *Os sinais mais frequentes a gente tem a bradicinesia que é a lentificação do movimento, a gente tem um padrão postural que começa a ficar bem nítido que o paciente apresentar o Parkinson. Você percebe uma perda da movimentação automática da cintura escapular e aí ele começa a apresentar uma diminuição no volume da voz que é uma diplofonia, e apresenta uma maior rigidez muscular. Eles reclamam bastante e a bradicinesia que tornam os movimentos cada vez mais lentos.*

### Monitoramento Motor

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

Ao indagar ao [FIS\_02] se o movimento de adução e abdução do braço seria relevante para a identificação do Parkinson, este informou que mesmo não sendo um teste específico para a identificação da doença, existem diferenças significativas encontradas em indivíduos diagnosticados com parkinson [FRAGMENTO-11].

**[FRAGMENTO-11][FIS\_02]-** *Sim. Existe alterações sim, mas eu nunca vi especificamente esse teste como sendo usado para diagnóstico da doença. Mas que realmente existem mudanças no movimento de adução e abdução de uma pessoa normal ante a um parkinsoniano.*

O [FIS\_01] explicou os motivos que levam a perda da mobilidade no movimento de adução e abdução ([FRAGMENTO-12]) e, conseqüentemente, reforça que esse movimento poderia ser monitorado para verificar o comprometimento da doença. Em um outro fragmento ([FRAGMENTO-13]), o mesmo fisioterapeuta menciona a importância de monitorar a amplitude do movimento, pois permite visualizar a resposta do paciente ao tratamento oferecido.

**[FRAGMENTO-12][FIS\_01]-** *Têm, porque uma das grandes perdas que eles apresentam é na cintura escapular e conseqüentemente é pegando a parte de ombro. Pois caso ela seja mais fixa, porque geralmente o paciente de Parkinson abduz o ombro. O ombro fica abduzido junto ao tronco e aí ele perde a mobilidade do cotovelo e punho e também o movimento fica comprometido por conta disso.*

**[FRAGMENTO-13][FIS\_01]-** *Mesmo sabendo que a tendência é uma lentificação (bradicinesia). As outras doenças também, porque um dos objetivos nossos é o aumento da amplitude. Então é um meio interessante para a gente conseguir visualizar se o tratamento está dando certo ou não.*

### Velocidade do Movimento De Adução e Abdução dos Braços

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

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

**[FRAGMENTO-14][NEU\_01]** - *É como eu falei para mim seria melhor se capturássemos se ele está mais lento. Se através dessa amplitude você conseguir por intermédio do computador identificar que ele está mais lento de um lado do que do outro, e conseguir visualizar a velocidade de um lado e do outro. Então isso é interessante.*

**[FRAGMENTO-15][FIS\_01]** - *É e consequentemente a velocidade, porque nesse caso o tratamento é diretamente relacionado a isso quanto mais veloz o parkinsoniano é melhor para a gente melhor prognóstico a gente pode ter lá na frente. Mesmo sabendo que a tendência é uma lentificação.*

A assimetria do movimento acomete os pacientes que estão nos estágios iniciais da doença. Por esse motivo, geralmente ela é identificada durante o diagnóstico [FRAGMENTO-03]. Porém, alguns pacientes parkinsonianos apresentam a assimetria do movimento quando um dos lados é mais comprometido que o outro. Por essa razão é que o [NEU\_01] afirmou: “Se através dessa amplitude você conseguir por intermédio do computador identificar que ele está mais lento de um lado do que do outro”. Pois, a tendência natural da evolução do Parkinson é a redução na assimetria do movimento conforme a opinião do [NEU\_01] no [FRAGMENTO-16] e na tabela UPDRS [28] em sua escala de avaliação do progresso da doença (Seção 2.1.3).

**[FRAGMENTO-16][NEU\_01]**- *No início. Geralmente o paciente se queixa de uma diminuição de força de um lado do corpo. Mas na progressão, ele vai sentir dificuldade global. Mas aqueles parkinsonianos iniciais geralmente eles se queixam na diminuição do movimento de um dos lados.*

### **Benefícios Advindos do Monitoramento**

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



**[FRAGMENTO-17][FIS\_02]**- *É preciso ter parâmetros sim. Pois atualmente usamos muito o olho clínico e aí vai de cada profissional. Se tivermos números facilitam bastante porque se tornam fatos e basearmos nossas conclusões em números é bem melhor.*

**[FRAGMENTO-18][FIS\_01]**- *É interessante em termos de pesquisa. Em termos de clínica a geralmente a gente vai no geral. Por exemplo: Eu faço uma flexão de ombro com bastão e anotei no meu exame que ele ia até mais ou menos 70° e após 15 dias eu vejo que ele está levantando acima de 90°. Então está marcado a minha evolução. Então eu faço a avaliação nesse sentido. Então esse sistema seria bom para pesquisa mesmo.*

Indagou-se aos profissionais se o monitoramento dos sinais motores auxiliaria no gerenciamento da dosagem medicamentosa. Os profissionais informaram que sentem a necessidade de visualizar a eficácia do tratamento diante do paciente. O [FIS\_01], no [FRAGMENTO-19], cita a importância de avaliar tanto o tratamento medicamentoso quanto se a sua atividade fisioterápica traz benefícios ao paciente. Os neurologistas ([NEU\_01] e [NEU\_01]) citam 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 do Parkinson é bastante sutil do ponto de vista do [NEU\_01], no [FRAGMENTO-21]. Logo, se for possível mostrar a evolução da doença em períodos mais longos, o tratamento seria mais efetivo e, conseqüentemente, traria uma melhor qualidade de vida aos pacientes.

**[FRAGMENTO-19][FIS\_01]** - *É interessante porque teremos uma ideia de até que ponto a medicação está sendo efetiva, até quando a patologia está progredindo e também avaliar se o nosso tratamento fisioterápico está dando resultados ao tentar frear a evolução da doença.*

**[FRAGMENTO-20][NEU\_02]** - *Sim. Dentro do que você propõe. Com certeza sim. Essa avaliação desses movimentos. Porque a gente consegue visualizar se a medicação está surtindo efeito, se precisa ser reajustada.*

**[FRAGMENTO-21][NEU\_01]** - *Se esse mecanismo acontecesse. Você poderia avaliar a dosagem de um paciente por exemplo. Veja avalie durante uma semana, não melhorou. Então a gente poderia fazer um teste com tremor, lentidão e a rigidez, se houvesse esse aspecto. A gente poderia aumentar a dosagem e visualizaria a eficácia da dosagem com o decorrer do tempo, com o decorrer da evolução. E verificaria se realmente o paciente está melhorando. Porque o paciente da doença de Parkinson ele piora lentamente, as vezes é tão sutil que o*

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

#### 5.1.4 Requisitos Identificados

A Engenharia de Requisitos (ER) é o processo de descobrir o propósito do software, identificando os principais envolvidos do sistema com suas respectivas necessidades e documentando a análise para uma implementação posterior [66]. 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 na qual são analisadas a teoria do objeto de estudo e a experiência prática dos envolvidos na pesquisa [67; 97].

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 sua operação [82]. A técnica utilizada para a identificação dos requisitos desta pesquisa é baseada em pesquisa qualitativa, em que se usou a entrevista semiestruturada, na qual o entrevistador possui um conjunto de perguntas pré-definidas e guia a entrevista de acordo com a opinião do entrevistado [29].

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 [91; 48; 51].

**REQ-ENTREVISTAS-02:** Identificar a bradicinesia [70].

**REQ-ENTREVISTAS-03:** Avaliar bradicinesia usando *finger-tapping* [74].

**REQ-ENTREVISTAS-04:** Considerar e identificar a assimetria do movimento nos estágios iniciais [38].

**REQ-ENTREVISTAS-05:** Fornecer mecanismos para possibilitar o Diagnóstico Diferencial [73] da Doença de Parkinson.

**REQ-ENTREVISTAS-06:** Analisar a Marcha [86]. Medir a marcha e comparar o padrão do movimento com indivíduos com e sem o diagnóstico do Parkinson para classificar a marcha como saudável ou parkinsoniana.

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

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

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

### Inviabilidade Técnica

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



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

- O **REQ-ENTREVISTAS-01** não foi possível, pois o tremor de repouso é um dos principais sinais do Parkinson. Sabíamos da sua importância, inclusive foi desenvolvido um jogo para *Smartphone* que pudesse quantificar o tremor (Figura 5.1). Po-

rém, no teste junto aos usuários, foi percebido que, no momento do uso, os pacientes com Parkinson cessavam o tremor, inviabilizando assim sua quantificação.

- O **[REQ-ENTREVISTAS-03]** não foi possível, pois a técnica de *finger-tapping* não pode ser avaliadas utilizando o MS-Kinnect 1.0, uma vez que nessa versão não existe a captura do movimento dos dedos, conforme ilustrado na Figura 4.2.
- O **REQ-ENTREVISTAS-09** não foi possível, pois, 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 no MS-Kinnect 2.0, pode ser averiguada a relação dos batimentos cardíacos com o tremor.

### **Matriz de Rastreabilidade - Fragmento x Requisitos**

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

### **Matriz de Rastreabilidade - Requisitos x Implementação**

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

## **5.1.5 Considerações Finais Sobre a Entrevista SemiEstruturada**

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

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

Tabela 5.2: Matriz Rastreabilidade: Fragmento x Requisitos

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

Tabela 5.3: Requisitos Implementados

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

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

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

### **5.2.1 Estudo analítico de caso-controle**

Esta etapa da pesquisa foi pautada pelo protocolo de pesquisa avaliado pelo Comitê de Ética da UFCG (Apêndice A). Somente após a aprovação deste (CAAE: 14408213.9.1001.5182), é que os dados foram coletados.

O resultado alcançado com esse estudo analítico de caso-controle foi identificar mecanismos de classificação de pessoas saudáveis ante pacientes com Parkinson. Durante a pesquisa, analisamos o sensor de movimento MS-Kinnect [65] para avaliar a possibilidade de aquisição de dados de saúde, baseada na Cinemática Linear do Movimento Humano [59]. A partir dos resultados obtidos, pudemos avaliar a normalidade e a dificuldade na execução de movimentos, como, por exemplo, levantar um braço [59].

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

### **Amostra**

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

proposta do jogo. Todas as sessões foram realizadas sob supervisão de um neurologista ou fisioterapeuta, quando foi verificado o estado de saúde dos sujeitos da pesquisa.

### **Recrutamento dos Sujeitos e Aquisição do Consentimento Livre e Esclarecido**

O recrutamento deste protocolo estava circunscrito por intermédio de um profissional de saúde. O profissional conhecia a história clínica do paciente e obteve a sua permissão. No momento da coleta, a equipe de pesquisa explicitou os riscos e os benefícios na participação da pesquisa e buscou a arbitrariedade e a espontaneidade da decisão. Depois, foi oferecido, para assinatura, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

### **CrITÉRIOS de Inclusão**

Foram inclusos na pesquisa os indivíduos do grupo diagnosticados com Parkinson no estágio 3, segundo a UPDRS [28], 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 estavam diagnosticados com Parkinson informaram que nunca receberam o diagnóstico da doença e aceitariam participar do estudo como grupo controle.

### **CrITÉRIOS de Exclusão**

Foram excluídos das pesquisas os indivíduos com problemas de equilíbrio ou questionamento de dores ao executar os procedimentos. Foram excluídos também os indivíduos que por qualquer motivo se negaram a participar do estudo.

### **Materiais**

Para a presente pesquisa foram coletados movimentos de abdução e adução dos braços [59], que podem ser incorporados a um jogo eletrônico. Foi utilizado um jogo com o arcabouço de software de captura de dados ( JOGUE-ME).

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 [59], o que proporcionou a devida segurança aos 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 [37]. Através dos resultados obtidos, conseguimos classificar a normalidade e a 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 às 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 amplo e o mais rápido possível, de modo a permitir que fossem adquiridas a amplitude de movimento e a velocidade angular.
4. O voluntário fecha a aplicação, e esta realiza o armazenamento e envio dos dados ao servidor.

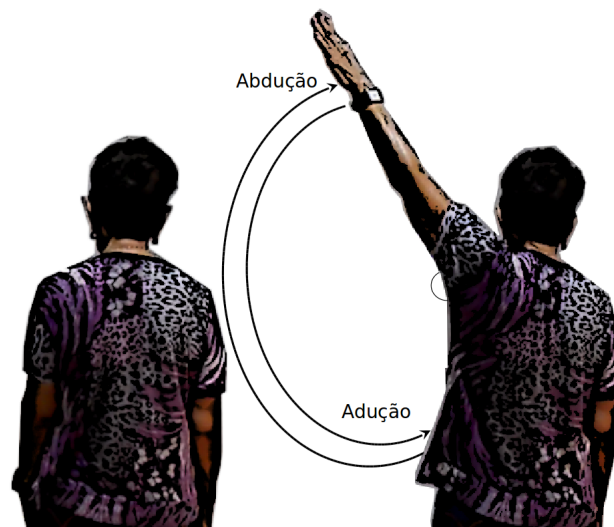


Figura 5.2: Movimentos de Abdução e Adução

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

1. A máxima amplitude atingida pelo movimento de abdução dos membros superiores;
2. A velocidade angular de abdução dos membros superiores esquerdo e direito;
3. A velocidade angular de adução dos membros superiores esquerdo e direito.



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

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

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

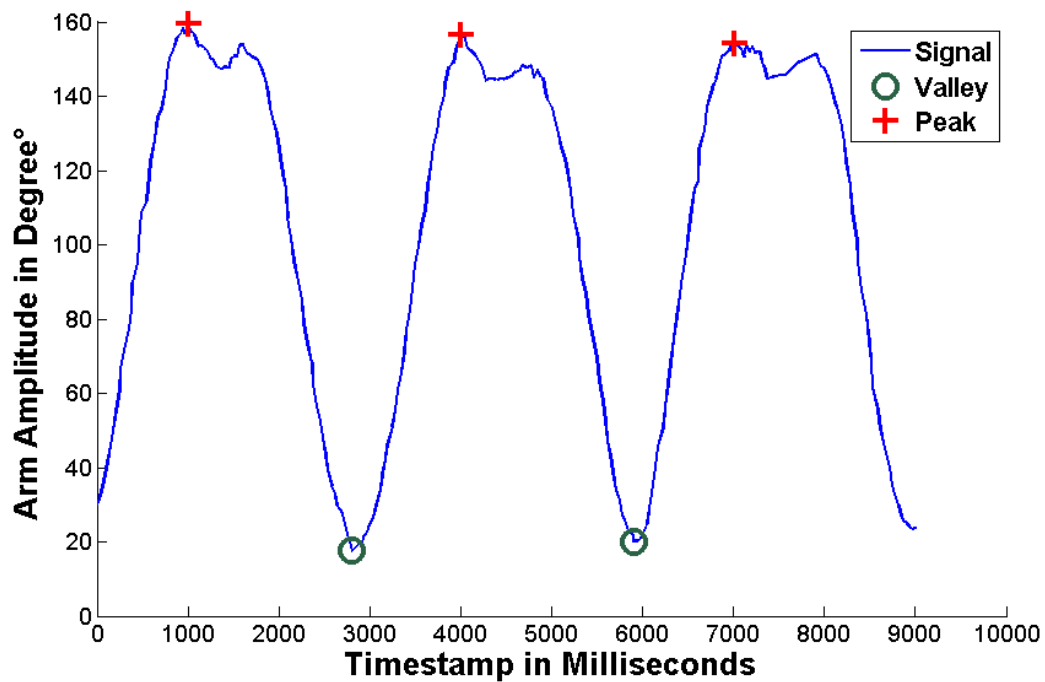


Figura 5.3: Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo

A partir da extração das características do movimento, a próxima etapa da pesquisa foi classificar os dados de movimento e identificar a ocorrência do sintoma de bradicinesia. Por meio das teorias estatísticas de aprendizagem de máquina, foi realizado uma análise dos dados para aquisição de conhecimento utilizando aprendizagem supervisionada [47].

### Relação Risco e Benefício da Pesquisa

Os riscos inerentes podem decorrer da exposição de dados dos sujeitos da pesquisa. Isso pode acarretar em 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 a confidencialidade das informações.

Caso ocorresse algum constrangimento por parte do sujeito da pesquisa, ao não conseguir realizá-la, os pesquisadores prestariam total assistência, orientando-o adequadamente para prosseguir ou encerrar o procedimento. Os presentes riscos fazem jus aos benefícios que a pesquisa venha a trazer com a possibilidade de monitoramento dos sinais do Parkinson. A identificação dos sinais motores e a classificação destes através do computador podem permitir avanços para um melhor acompanhamento da evolução da doença e possibilitar o monitoramento não invasivo dos pacientes.

### 5.2.2 Aplicação do Método

O propósito dessa classificação foi 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 eles pudessem ter ao realizar o procedimento.

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

### 5.2.3 Resultados

Conforme a abordagem JOGUE-ME apresentada no Capítulo 3, os dados adquiridos foram processados, 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* Radial (Seção 2.3), por ter obtido os melhores resultados dentre os demais *kernels* (Polinomial, Linear e de MLP). O resultado do *kernel* Radial foi o mais expressivo entre os demais.

### 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 Parkinson e os sujeitos sem o

diagnóstico. Como pode ser visto na Figura 5.4, a amplitude de movimento de um indivíduo diagnosticado com Parkinson é bem menor do que a de um indivíduo sem o diagnóstico. Entretanto, por ter sido escalonado em 20 *frames*, esse vetor médio perdeu a informação da velocidade do movimento.

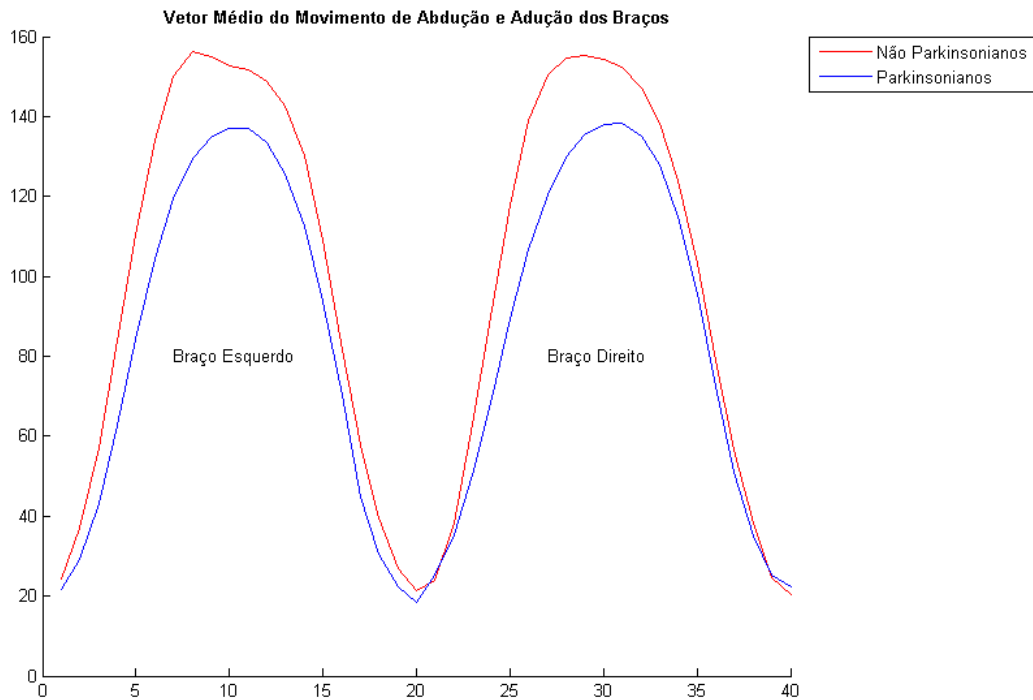


Figura 5.4: Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução

### Matriz de Confusão e Suas Métricas

Para avaliar o resultado da classificação, será apresentada a **matriz de confusão** [47], 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 *Verdadeiros Negativos* (TN), que são as classificações corretas. Os *Falsos Negativos* (FN) contêm a predição incorreta de um valor que deveria ser positivo e os *Falsos Positivos* (FP) contêm os valores positivos quando deveriam ser negativos, como pode ser visto na Tabela 5.5.

#### 5.2.4 Aprendizagem de Máquina (SVM)

Para uma base de dados pequena, contendo apenas 30 indivíduos, o método de Validação Cruzada escolhido deve tentar maximizar o conjunto de treinamento para atingir um melhor resultado de teste. Por esse motivo, foi escolhida a validação cruzada *leave-one-out* [47].

Tabela 5.5: Descrição da Matriz de Confusão

		Classe Preditiva	
		Parkinson	Controle
Classe Atual	Parkinson	Verdadeiros Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)
	Controle	Falsos Positivos (FP)	Verdadeiros Negativos (VN)

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

### Otimização dos Parâmetros da SVM - Método Grid-Search

Para identificar os melhores parâmetros SVM, foi aplicado o método *Grid-Search* [52] usando validação cruzada *Leave-One-Out* (LOOCV) [47]. Este método avalia a precisão do modelo previsto, evita o problema do superajuste na classificação binária e é um método prático para identificar os parâmetros SVM. Neste estudo, para reduzir a taxa de erro, nós aplicamos uma abordagem de *minimax* visando maximizar a margem sobre os coeficientes hiperplano para obter uma classificação mais correta. Os valores dos parâmetros de pesquisa do *grid-search* foram de:  $C = [2^{-5}, \dots, 2^2]$  e  $\gamma = [2^{-15}, \dots, 2^3]$ , usando assim uma exponencial de base 2. Por meio deste método, foi possível identificar uma região em que o classificador possuía a melhor acurácia e a menor taxa de *FpRate*. Após identificar essa região, realizamos uma busca mais detalhada com os seguintes parâmetros:  $C = [0.25, 0.5, \dots, 2.5]$ ; e  $\gamma = [1, 2, \dots, 10]$ , como pode ser visto na Figura 5.5.

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

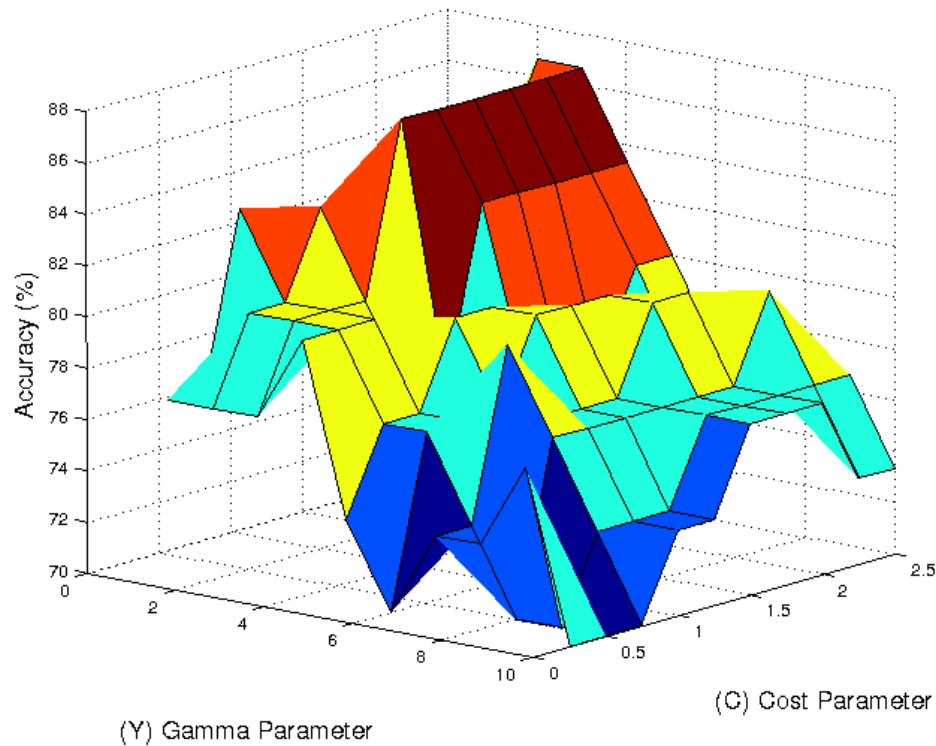


Figura 5.5: *Grid-Search* - Acurácia da Classificação

### Resultados Obtidos

A Matriz de Confusão obtida indica que existem três indivíduos classificados como “Controle”, mas que possuem a doença (FN); no entanto, analisando as características do movimento dos indivíduos com Parkinson, percebemos que eles apresentaram uma amplitude de movimento e uma velocidade angular bastante próximas dos indivíduos do Grupo Controle. Logo, estes não apresentam o sintoma de bradicinesia, o que pode indicar que o indivíduo esteja no início da doença, ou bem medicado, ou até mesmo não apresentar este sinal motor, o que corrobora com a sintomatologia do Parkinson.

Tabela 5.6: Resultado da Matriz de Confusão SVM

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

O sinal da bradicinesia presente no Parkinson foi quantificado pela amplitude do movimento de abdução dos braços e sua respectiva velocidade angular. Na análise destes sinais, foi possível extrair os vetores de características para a classificação dos dados [47]. Na Ta-

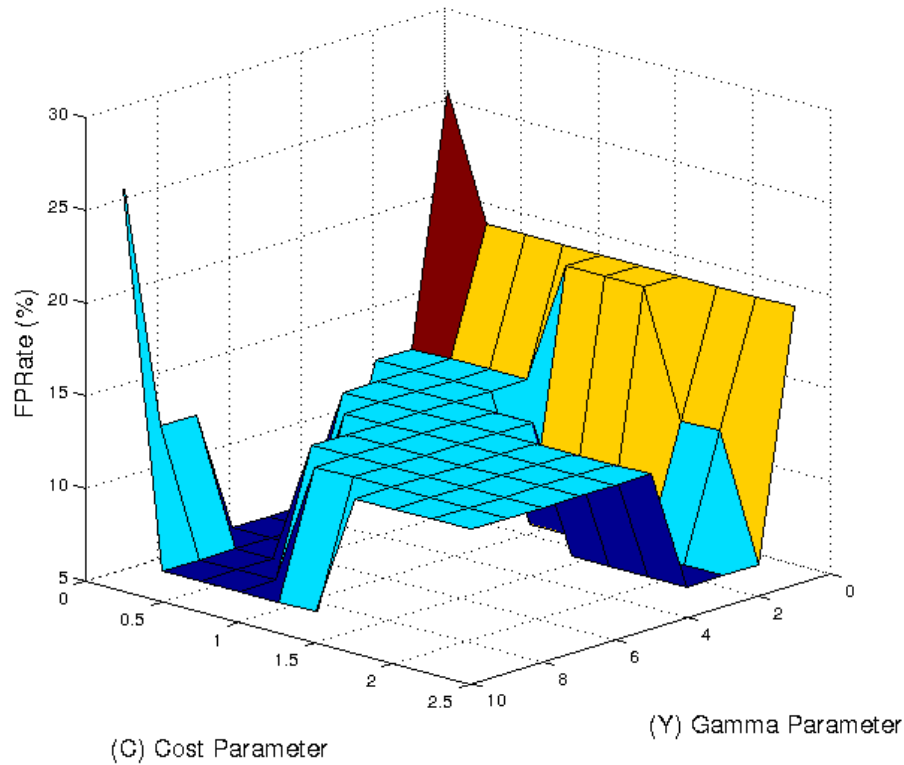


Figura 5.6: Grid-Search - FpRate

bela 5.7, podemos demonstrar a severidade do sinal motor causado pela bradicinesia, em que o Grupo com Parkinson apresentou amplitudes bem menores ante os indivíduos do Grupo Controle. Notamos também que o indivíduo “Controle 10” apresentou uma amplitude muito semelhante aos do Grupo com Parkinson. Neste caso, nós identificamos que ele apresentava um problema motor e isso ocasionou uma classificação incorreta por parte da SVM. Além disso, 3 indivíduos do Grupo com Parkinson (3,8 e 12) não apresentavam o sinal da bradicinesia durante a coleta. Nestes casos, podemos assumir que eles não possuem a bradicinesia, ou o sinal estava suprimido pela medicação.

Para demonstrar a avaliação do modelo de forma quantitativa, usou-se um conjunto de métricas derivadas da matriz de confusão [47].

***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:  $Accuracy = (TP + TN)/(P + N)$  ;

Tabela 5.7: Média da Amplitude do Movimento de Abdução do Braço

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

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

Tabela 5.8: Métricas da Matriz de Confusão

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

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

Com o objetivo de averiguar a possibilidade de integrar o monitoramento da saúde do jogador através de jogos eletrônicos à sua rotina diária, foi utilizada a abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM) [81]. Essa abordagem é um paradigma de pesquisa utilizado na Engenharia de Software para medição de processos de software e melhoria contínua dos produtos [76; 67]. A qualidade do produto de software [76] 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, identificadas na fase de elicitação de requisitos [67].

O GQM é um paradigma de avaliação orientado por metas e tem como componentes elementares: objetivos, questionamentos e métricas [76]. Nesse paradigma de pesquisa é definido um objetivo principal, em que as perguntas são refinadas para que se venha extrair as métricas da pesquisa. De posse das respostas baseadas 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”, e analisa, interpreta e mensura dados de maneira “de baixo para cima”, como pode ser graficamente visualizado na Figura 5.7 [81].

Segundo Saraiva [76], numa análise da aplicação do método de GQM para o contexto de avaliação de usabilidade de software, os componentes elementares do paradigma GQM são:

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



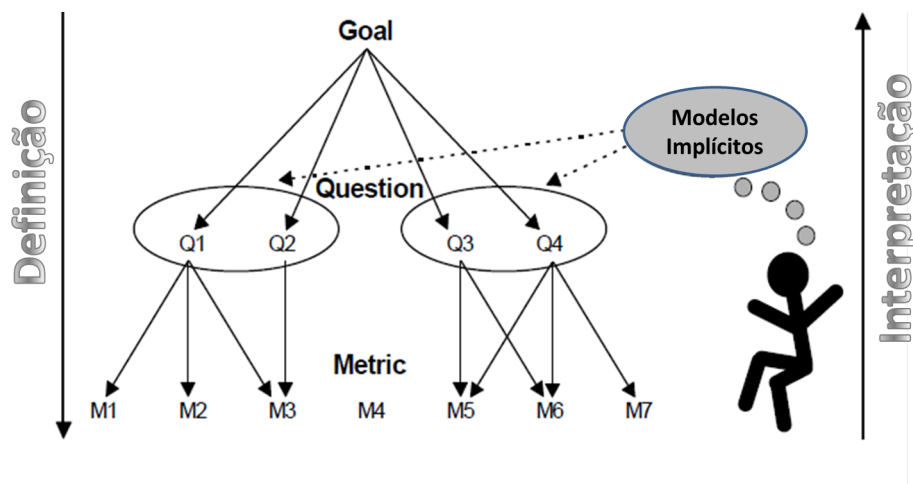


Figura 5.7: O Paradigma GQM © [81]

- **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 à rotina diária dos usuários. Para elaboração de métricas para atingir esse objetivo foram formuladas duas questões de pesquisa, com o intuito de avaliar:

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

O questionário consistiu de um conjunto de 10 questões de resposta fechada (quantitativa) [67], e o entrevistado teve de 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 [67].

### 5.3.1 Aplicação do Método

Nessa etapa da pesquisa foram avaliados 30 sujeitos, dos seguintes locais: Hospital Universitário da UFAL, Fundação Pestalozzi e clínica de Fisioterapia do CESMAC. Os usuários foram selecionados para jogar o *Catch the Spheres* (Seção 4.1), testaram e responderam o questionário para verificar a aceitabilidade da abordagem.

### 5.3.2 Resultados

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

*Questão 1 - O usuário poderia integrar a abordagem JOGUE-ME à sua rotina diária ?*: os 24 usuários deram as seguintes respostas nas Métricas (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6): 75% dos usuários atribuíram ao menos nota 4 (de 1 a 5) ao grau de diversão do jogo; 91,67% sentiram-se 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 à 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 ao risco de quedas. Inicialmente, a pesquisa seria destinada para o movimento de braços e pernas. Devido aos riscos, foi modificada para a movimentação somente dos braços, reduzindo a preocupação dos usuários. Mesmo assim, as métricas obtidas demonstraram que o jogo é seguro para crianças e adultos. No caso dos idosos, 75% dos usuários consideraram o jogo seguro para essa faixa etária, muito embora os mesmos usuários classificaram o jogo com a faixa etária “livre”, com 88% de ocorrência.

Tabela 5.9: Métricas Avaliadas do GQM

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

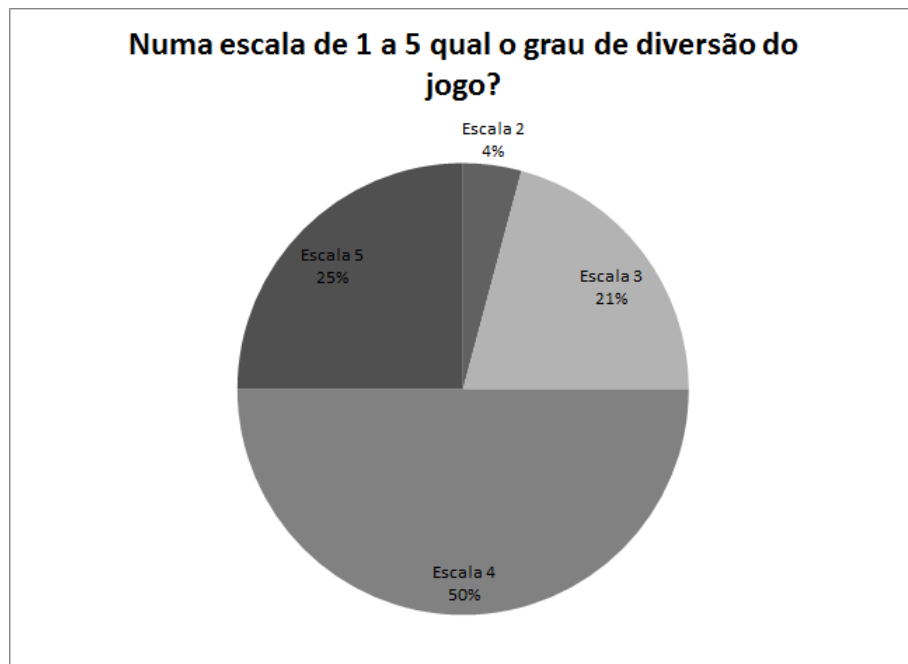


Figura 5.8: Resultado da Pergunta 1

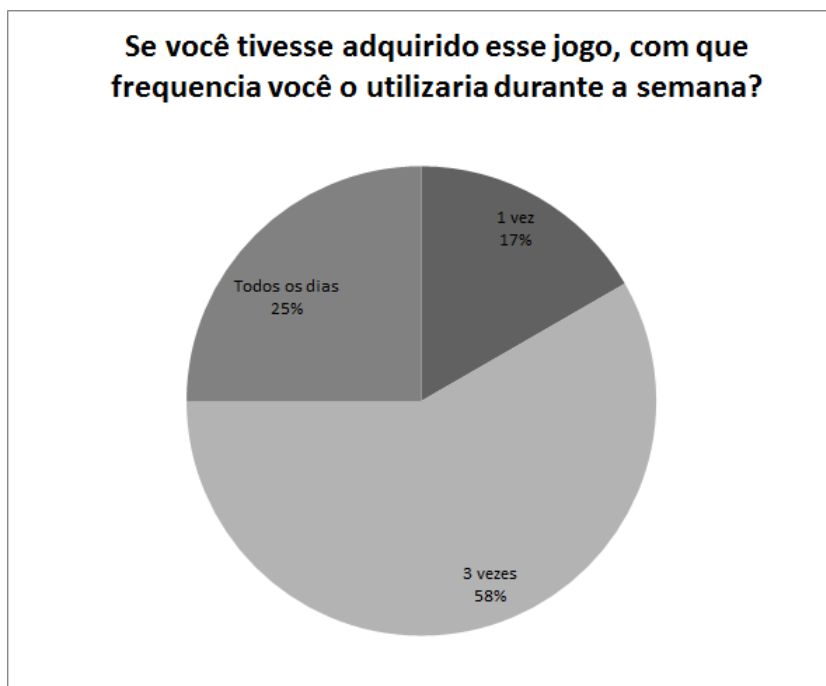


Figura 5.9: Resultado da Pergunta 3

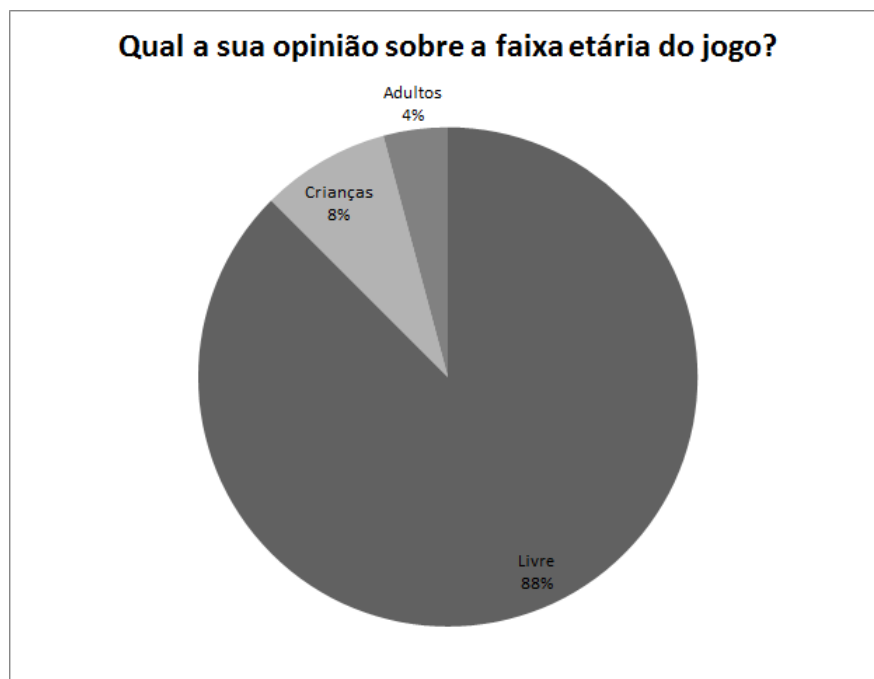


Figura 5.10: Resultado da Pergunta 10

De acordo com o resultado da avaliação dos usuários usando GQM, identificamos que a abordagem de um SMS dos sinais motores usando jogos, como interface de entrada de dados, conseguiu motivar o usuário a fornecer sinais motores e permite o acompanhar o tratamento a partir dos dados biomecânicos adquiridos. Logo, conseguimos atingir o principal objetivo da tese, ao demonstrar o monitoramento dos pacientes com Parkinson de uma maneira não invasiva e no conforto de seus lares.

## Capítulo 6

### Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre o trabalho apresentado e propostos trabalhos.

Nos experimentos realizados, conseguimos demonstrar junto à comunidade de saúde (Seção 5.1), a importância do acompanhamento dos sinais motores integrados à rotina diária do paciente. Identificou-se também, 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, pois, obtivemos uma taxa de acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67% . A SVM foi a técnica estatística de aprendizagem utilizada para distinguir os movimentos executados por indivíduos diagnosticados com Parkinson ante os indivíduos de grupo controle. Esse estudo não teve a pretensão de estabelecer um diagnóstico da Parkinson, ou até mesmo provar que os movimentos utilizados pelos participantes da pesquisa servem para um diagnóstico. Contudo, este trabalho demonstrou que as diferenças nos movimentos, entre essas duas classes, permitem a identificação do sinal da bradicinesia, e que essas diferenças podem ser adquiridas por um sensor de movimento usado em jogos eletrônicos. A presente abordagem pode ser aplicada a outras doenças motoras; no entanto, testamos somente com indivíduos com Parkinson e grupo controle.

Para identificar a possibilidade de integrar o monitoramento da saúde do jogador através de jogos eletrônicos à sua rotina diária, foi utilizada a análise *Goal, Question, Metric* (GQM) [16] para avaliar a possibilidade de monitorar dados motores de forma não invasiva e integrada a rotina diária das pessoas. As métricas da análise quantificaram que um percentual de 83% de usuários integrariam em sua rotina a solução de monitoramento proposta. Deve-se levar em consideração, também, que as métricas obtidas nessa pesquisa foram extraídas de um protótipo de jogo, e, caso este fosse aperfeiçoado é possível que a aceitabilidade da abordagem seja ainda maior. Desta maneira, conseguimos atingir o principal objetivo deste trabalho, ao permitir que indivíduos com comprometimento motor pudessem ser monitora-

dos de maneira não-invasiva e no conforto de seus lares.

## Publicações

Foram publicados três artigos, em conferências internacionais, relacionados à tese:

- *Abstract: Monitoring Parkinson related Gait Disorders with Eigengaits*, no, *XX World Congress on Parkinson's Disease and Related Disorders* (2013) [62];
- *Full Paper: A Game-Based Approach to Monitor Parkinson's Disease: The bradykinesia symptom classification*, no, *International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (CBMS 2016) [61];
- *Full Paper: A Gait Analysis Approach to Track Parkinson's Disease Evolution Using Principal Component Analysis*, no, *International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (CBMS 2016) [60].

A partir dos resultados apresentados nesta tese e extensão da mesma, alguns trabalhos futuros são propostos para contribuição científica.

Como foi explanado na Seção 2.1.3, a abordagem permite monitorar a progressão da doença e a eficácia do tratamento medicamentoso [28; 33]. Desta forma, é importante coletar uma amostra maior de pacientes com Parkinson, agrupá-los de acordo com o estágio da doença [33], e aplicar técnicas de multi-classificação de dados [19] para identificar o progresso do Parkinson de acordo com as escalas de avaliação. Em decorrência das “Flutuações Motoras”<sup>1</sup> [73], é necessário comparar o sinal da bradicinesia em diferentes momentos do dia, para verificar a eficácia do tratamento medicamentoso [73].

Nos estudos realizados com os sinais adquiridos pelo MS-Kinnect, foi possível identificar a amplitude como apresentamos no estudo do movimento de abdução e adução do braço (Seção 5.2.4). Todavia, a captura de um movimento mais sutil como um tremor é um desafio. Por esse motivo, foi desenvolvido e testado um jogo para celular que pudesse adquirir o sinal de tremor (Seção 2.1.2). Contudo, como o tremor do Parkinson é de repouso [73], não foi possível quantificar o sinal. No entanto, ao analisarmos os vídeos dos pacientes com Parkinson, identificamos, que ao levantar um dos membros, alguns indivíduos iniciavam o sinal de tremor no membro parado. Desta maneira, pode ser possível quantificar o sinal de tremor na análise do membro em repouso. No entanto, devido ao ruído existente na aquisição do sinal pelo MS-Kinnect [65] pode-se inviabilizar a quantificação deste sinal. Como trabalhos futuros, uma investigação aprofundada destas questões podem gerar maiores contribuições para a área.

---

<sup>1</sup>Referente a respostas motoras flutuantes ao tratamento medicamentoso, com encurtamento da duração de seu efeito (fenômeno do *wearing off*) e interrupção súbita de sua ação.

# Bibliografia

- [1] Aarhus, Rikke e Stinne Aaløkke Ballegaard: *Negotiating Boundaries: Managing Disease at Home*. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2010, ISBN 978-1-60558-929-9.
- [2] ACM: *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. Disponível em: <http://pervasivehealth.org>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [3] Ahmed, Mobyen Uddin, Hadi Banaee e Amy Loutfi: *Health Monitoring for Elderly: An Application Using Case-Based Reasoning and Cluster Analysis*. ISRN Artificial Intelligence, 2013, ISSN 2356-7872.
- [4] Albanese, Alberto e Joseph Jankovic: *Distinguishing Clinical Features of Hyperkinetic Disorders*. Wiley-Blackwell, 2011, ISBN 978-1-44434-618-3.
- [5] Alemdar, Hande e Cem Ersoy: *Wireless Sensor Networks For Healthcare: A Survey*. Computer Networks, 54(15), 2010, ISSN 1389-1286.
- [6] Aresti, Nuria, Amaia Mendez e Begona Garcia Zapirain: *Can Game-based Therapies Be Trusted? Is Game-based Education Effective? A Systematic Review of the Serious Games for Health and Education*. Em *Proceedings of the ICCG International Conference on Computer Games*. IEEE Computer Society, 2011, ISBN 978-1-4577-1451-1.
- [7] Arnrich, Bert, Oscar Mayora, Jakob Bardram e Gerhard Tröster: *Pervasive Healthcare - Paving the Way for a Pervasive, User-Centered and Preventive Healthcare Model*. Methods of Information in Medicine, 49, 2010, ISSN 0026-1270.
- [8] Arntzen, Aurelie Aurilla Bechina: *Game based Learning to Enhance Cognitive and Physical Capabilities of Elderly People: Concepts and Requirements*. International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, 5(12), 2011, ISSN 2010-3778.
- [9] Association, Entertainment Software: *Essential Facts About The U.S. Computer And Video Game Industry*. Relatório Técnico, ESA, 2011.



- [10] Association, Entertainment Software: *Essential Facts About The Computer And Video Game Industry: 2016 Sales, Demographic And Usage Data*. Relatório Técnico, ESA, 2016.
- [11] Atkinson, Stephen e Lakshmi Narasimhan: *Design Of An Introductory Medical Gaming Environment For Diagnosis And Management Of Parkinson's Disease*. Em *Trends in Information Sciences Computing*. IEEE, 2010, ISBN 978-3-642-24043-0.
- [12] Bachlin, Marc, Meir Plotnik, Daniel Roggen, Noit Inbar, Nir Giladi, Jeffrey Hausdorff e Gerhard Troster: *Parkinsons Disease Patients Perspective On Context Aware Wearable Technology For Auditive Assistance*. Em *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2009, ISBN 978-963-9799-30-1.
- [13] Ballegaard, Stinne Aaløkke, Thomas Riisgaard Hansen e Morten Kyng: *Healthcare in Everyday Life: Designing Healthcare Services for Daily Life*. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2008, ISBN 978-1-60558-011-1.
- [14] Barbosa, Gustavo José: *Reconhecimento de Atividades Humanas Através de um Smartphone*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, 2014.
- [15] Bardram, Jakob: *Pervasive Healthcare as a Scientific Discipline*. Methods of Information in Medicine, 2008, ISSN 0026-1270.
- [16] Basili, Victor R., Gianluigi Caldiera e H. Dieter Rombach: *The Goal Question Metric Approach*. Em *Encyclopedia of Software Engineering*. Wiley, 1994, ISBN 978-0-47102-895-6.
- [17] Billauer, Eli: *Peak Detection in Matlab*. Software, Disponível em: <http://www.billauer.co.il/peakdet.html>, 2012. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [18] Brox, Ellen, Luis Fernández-Luque, Gunn J. Evertsen e Juan González-Hernández: *Exergames For Elderly: Social Exergames To Persuade Seniors To Increase Physical Activity*. Em *PervasiveHealth*. IEEE, 2011, ISBN 978-1-61284-767-2.
- [19] Chamasemani, Fereshteh e Yashwant Singh: *Multi-class Support Vector Machine (SVM) Classifiers – An Application in Hypothyroid Detection and Classification*. Em *International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications*, 2011, ISBN 978-81-322-1037-5.
- [20] Chen, Huan, Guo Tan Liao, Yao Chung Fan, Bo Chao Cheng, Cheng Min Chen e Ting Chun Kuo: *Design and Implementation of a Personal Health Monitoring System with an Effective SVM-based PVC Detection Algorithm in Cardiology*. Em *Symposium On Applied Computing*. ACM, 2014, ISBN 978-1-60558-639-7.

- [21] Cho, Chien Wen, Wen Hung Chao, Sheng Huang Lin e You Yin Chen: *A Vision-based Analysis System for Gait Recognition in Patients with Parkinson's Disease*. Expert Systems with Applications, 36(3), 2009, ISSN 0957-4174.
- [22] Computação, Sociedade Brasileira de: *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. Disponível em: [www.csbc.com.br](http://www.csbc.com.br), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [23] Computação, Sociedade Brasileira de: *SBC*. Disponível em: [www.sbc.org.br](http://www.sbc.org.br), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [24] Das, S., L. Trutoiu, A. Murai, D. Alcindor, M. Oh, F. De la Torre e J. Hodgins: *Quantitative Measurement Of Motor Symptoms In Parkinson's Disease: A Study With Full-body Motion Capture Data*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. EMBC, 2011, ISBN 978-142447-927-6.
- [25] Dias-Tosta, Elza, Carlos Roberto de Mello Rieder, Vanderci Borges e Ylmar Correa Neto: *Doença de Parkinson - Recomendações da Academia Brasileira de Neurologia*. 1ª edição, 2010, ISBN 978-85-62477-05-8.
- [26] Do, Stewart e William Weiner: *Parkinson's Disease: Diagnosis Clinical Management*. Demos Medical Publishing, 2ª edição, 2007, ISBN 193-386-400-1.
- [27] Espejo, Mariano Ruiz: *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. Journal of the Royal Statistical Society Series A, 167(2), 2004, ISSN 1467-9868.
- [28] Fish, Jessica: *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*. Springer, 2011, ISBN 978-0-387-79948-3.
- [29] Flick, U.: *Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa*. Bookman, 2ª edição, 2004, ISBN 978-853630-414-4.
- [30] Friedman, Nizan, Justin Rowe, David Reinkensmeyer e Mark Bachman: *The Manu-meter: A Wearable Device for Monitoring Daily Use of the Wrist and Fingers*. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 18(6), 2014, ISSN 2168-2194.
- [31] Gabel, Moshe, Ran Gilad-Bachrach, Erin Renshaw e Assaf Schuster: *Full Body Gait Analysis With Kinect*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. EMBC, 2012, ISBN 978-142447-927-6.
- [32] Gonçalves, Valter Filipe Carnim: *Análise Comparativa Dos Classificadores Máquinas De Suporte Vectorial E Redes Neurais Artificiais: Aplicação Na Detecção De Peões E Veículos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2010.

- [33] Goulart, Fátima e Luciana Pereira: *Uso De Escalas Para Avaliação Da Doença De Parkinson Em Fisioterapia*. Fisioterapia e Pesquisa, 11(1), 2005, ISSN 2316-9117.
- [34] Graves, Lee, Gareth Stratton, Nicola Ridgers e Nigel Cable.: *Energy Expenditure In Adolescents Playing New Generation Computer Games*. British Journal of Sports Medicine, 42, 2008, ISSN 1473-0480.
- [35] Graziadio, Sara, Richard Davison, Koholood Shalabi, Calvin Sahota e Gary Ushaw: *Bespoke Video Games to Provide Early Response Markers to Identify the Optimal Strategies for Maximizing Rehabilitation*. Em *Symposium On Applied Computing*. ACM, 2014, ISBN 978-1-4503-2469-4.
- [36] Guy, Stacey, Alexandria Ratzki-Leewing e Femida Gwadry-Sridhar: *Moving Beyond the Stigma: Systematic Review of Video Games and Their Potential to Combat Obesity*. International Journal of Hypertension, 2011, ISSN 2090-0392.
- [37] Hamill, Joseph e Kathleen Knutzen: *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. Manole, 3ª edição, 2012, ISBN 978-852042-356-1.
- [38] Health, National Institute for e Clinical Excellence: *Parkinson's Disease: Diagnosis and Management in Primary and Secondary Care*. NICE Clinical Guideline, 1ª edição, 2006, ISBN 1-86016-283-5.
- [39] Healthcare, Symposium on Applied Computing Track on: *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. Disponível em: [http://sssa bioroboticsinstitute.it/workshops/sac2016/Healthcare\\_track](http://sssa bioroboticsinstitute.it/workshops/sac2016/Healthcare_track), 2016. Último acesso : 3 de Junho de 2016.
- [40] Hellman, Amy, Shital Shah, Stephanie Pawlowski, John Duda e James Morley: *Continuous Non-invasive Monitoring To Detect Covert Autonomic Dysfunction In Parkinson's Disease*. Parkinsonism and Related Disorders, 21, ISSN 1353-8020.
- [41] IEEE: <http://jbhi.embs.org/special-issues/enabling-technologies-parkinsons-disease-management/>. Disponível em: <http://jbhi.embs.org/special-issues/enabling-technologies-parkinsons-disease-management/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [42] IEEE: *International Conference on E-Health Networking, Application & Services*. Disponível em: <http://ieeehealthcom2016.com>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [43] IEEE: *International Symposium on Computer-Based Medical Systems*. Disponível em: [cbms2016.org](http://cbms2016.org), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [44] IEEE: *Journal of Biomedical and Health Informatics*. Disponível em: <http://jbhi.embs.org/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

- [45] IEEE: *Transactions on Biomedical Engineering*. Disponível em: <http://tbme.embs.org/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [46] Jankovic, Joseph: *Parkinson's Disease: Clinical Features And Diagnosis*. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 79(4), 2008, ISSN 0022-3050.
- [47] Kantardzic, Mehmed: *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. John Wiley & Sons, 3ª edição, 2011, ISBN 978-111802-913-8.
- [48] Keijsers, Noël, Martin Horstink e Stan Gielen: *Ambulatory Motor Assessment In Parkinson's Disease*. Movement Disorders, 21, 2006, ISSN 1531-8257.
- [49] Kostek, Bozena, Katarzyna Kaszuba, Pawel Zwan, Piotr Robowski e Jaroslaw Slawek: *Automatic Assessment Of The Motor State Of The Parkinson's Disease Patient—a Case Study*. Diagnostic Pathology, 7(1), 2012, ISSN 1746-1596.
- [50] Leite-Cavalcanti, Christiane, Maria da Conceição Rodrigues-Gonçalves, Luiza Sonia Rios-Asciutti e Alessandro Leite-Cavalcanti: *Prevalência De Doenças Crônicas E Estado Nutricional Em Um Grupo De Idosos Brasileiros*. Revista de Salud Pública, 11, 2009, ISSN 0124-0064.
- [51] LeMoyné, Robert, Timothy Mastroianni, Michael Cozza, Cristian Coroian e Warren Grundfest: *Implementation of an iPhone for characterizing Parkinson's disease tremor through a wireless accelerometer application*. Em *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 2010, ISBN 978-142447-927-6.
- [52] Li, Cheng Hsua, Chin Teng Lin, Bor Chen Kuo e Hsin Hua Ho: *An Automatic Method for Selecting the Parameter of the Normalized Kernel Function to Support Vector Machines*. Em *International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence*, 2010, ISBN 978-3-319-13986-9.
- [53] Liao, Chien Ke, Chung Lim, Ching Ying Cheng, Cheng Ming Huang e Li Chen Fu: *Vision based gait analysis on robotic walking stabilization system for patients with Parkinson's Disease*. Em *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2014, ISBN 978-146738-184-0.
- [54] Maitland, Julie e Katie Siek: *Technological Approaches to Promoting Physical Activity*. Em *Proceedings of the Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group*. ACM, 2009, ISBN 978-1-60558-854-4.
- [55] Mandryk, Regan, Kathrin Gerling. e Kevin Stanley: *Designing Games to Discourage Sedentary Behaviour*. Em *Playful User Interfaces: Interfaces that Invite Social and Physical Interaction*. Springer, 2014, ISBN 978-981-4560-96-2.

- [56] Manzanera, Octavio, Martijn Beudel Elizabeth Roosma, Robert Borgemeester, Teus Laar e Natasha Maurits: *A Method for Automatic and Objective Scoring of Bradykinesia Using Orientation Sensors and Classification Algorithms*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 63(5), 2016, ISSN 0018-9294.
- [57] Mathworks: *Matlab R2015a*. Software, Disponível em: <http://mathworks.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [58] Mazilu, Sinziana, Ulf Blanke, Moran Dorfman, Eran Gazit, Anat Mirelman, Jeffrey M. Hausdorff e Gerhard Troster: *A Wearable Assistant for Gait Training for Parkinson's Disease with Freezing of Gait in Out-of-the-Lab Environments*. ACM Transactions Interactive Intelligent Systems, 5(1), março 2015, ISSN 2160-6455.
- [59] McGinnis, Peter: *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, 3ª edição, 2013, ISBN 978-073607-966-2.
- [60] Medeiros, Leonardo, Hyggo Almeida, Leandro Silva, Mirko Perkusich e Robert Fischer: *A Gait Analysis Approach to Track Parkinson's Disease Evolution Using Principal Component Analysis*. Em *International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2016)*. IEEE, 2016, ISBN 978-146736-776-9.
- [61] Medeiros, Leonardo, Hyggo Almeida, Leandro Silva, Mirko Perkusich e Robert Fischer: *A Game-Based Approach to Monitor Parkinson's Disease: The bradykinesia symptom classification*. Em *International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2016)*. IEEE, 2016, ISBN 978-146736-776-9.
- [62] Medeiros, Leonardo, Robert Fischer, Hyggo Almeida, Leandro Silva e Angelo Perkusich: *Abstract Book: Monitoring Parkinson related Gait Disorders with Eigengaits*. Em *World Congress on Parkinson's Disease and Related Disorders*. Keynes International, 2013, ISBN 978-044463-488-7.
- [63] Meneses, Murilo e Hélio Teive: *Doença De Parkinson*. Guanabara Koogan, 3ª edição, 2003, ISBN 8527708159.
- [64] Meyer, Carl: *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, USA, 2000, ISBN 0-89871-454-0.
- [65] Microsoft: *Ms-Kinect*. Disponível em: <http://www.xbox.com/pt-BR/kinect>, 2012. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [66] Nuseibeh, Bashar e Steve Easterbrook: *Requirements Engineering: A Roadmap*. Em *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. ACM, 2000, ISBN 1-58113-253-0.

- [67] Oliveira Bastos Junior, Paulo Roberto de: *Elicitação de Requisitos de Software Através da Utilização de Questionários*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.
- [68] Organization, World Health: *Global Health and Ageing*. Relatório Técnico, US National Institute of Aging, 2011.
- [69] Papastergiou, Marina: *Exploring the Potential of Computer and Video Games for Health and Physical Education: A Literature Review*. Computing Education, 53(3), 2009, ISSN 0360-1315.
- [70] Patel, Shyamal, Konrad Lorincz, Richard Hughes, Nancy Huggins, John Growdon, David Standaert, Metin Akay, Jennifer Dy, Matt Welsh e Paolo Bonato: *Monitoring Motor Fluctuations in Patients With Parkinson's Disease Using Wearable Sensors*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 13(6), 2009, ISSN 1089-7771.
- [71] Research, Provalis: *QDA MINER Lite v1.2.2. Software*, Disponível em: <http://provalisresearch.com/products/qualitative-data-analysis-software/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [72] Rowland, Lewis: *Tratado De Neurologia*. Guanabara Koogan, 10<sup>a</sup> edição, 2011, ISBN 8527707357.
- [73] Saúde, Ministério da: *Protocolo Clínico E Diretrizes Terapêuticas - Doença De Parkinson - Portaria SAS/MS Nº 228*. Relatório Técnico, Sistema Único de Saúde, 2010.
- [74] Sano, Yuko, Akihiko Kandori, Toshinori Miyoshi, Toshio Tsuji, Keisuke Shima, Masaru Yokoe e Saburo Sakoda: *Severity Estimation Of Finger-tapping Caused By Parkinson's Disease By Using Linear Discriminant Regression Analysis*. Em *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*. EMBC, 2012, ISBN 9781424479276.
- [75] Santos Júnior, Antônio Dias dos: *Arcabouço de Software para a Aquisição de Dados de Saúde Através de Jogos Eletrônicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- [76] Saraiva, Alessandra Vilches: *Utilização da Abordagem Goal-Question-Metrics (GQM) Na Elaboração e Execução de Planos de Avaliação de Usabilidade de Software: Um Estudo Empírico Sobre Um Software Agropecuário*. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista De Piracicaba, 2006.
- [77] SBC: *Workshop de Informática Médica*. Disponível em: <http://www.csbc2016.com.br/!blank-2/q8wct>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

- [78] Sinclair, Jeff, Philip Hingston e Martin Masek: *Considerations for the Design of Exergames*. Em *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australia and Southeast Asia*. ACM, 2007, ISBN 978-1-59593-912-8.
- [79] Sinclair, Jeff, Philip Hingston, Martin Masek e Ken Nosaka: *Using a Virtual Body to Aid in Exergaming System Development*. IEEE Computer Graphics Applications, 29(2), 2009, ISSN 0272-1716.
- [80] Smith, Stephen, Michael Lones, Matthew Bedder, Jane Alty, Jeremy Cosgrove, Richard McGuire, Mary Pownall, Diana Ivanoiu, Camille Lyle, Amy Cording e Christopher J. H. Elliott: *Computational Approaches for Understanding the Diagnosis and Treatment of Parkinson's Disease*. IET Systems Biology, 9(6):226–233, 2015, ISSN 1751-8849.
- [81] Solingen, Rini e Egon Berghout: *The Goal/Question/Metric Method: A Practical Guide for Quality Improvement of Software Development*. McGraw-Hill, 1999, ISBN 978-007709-553-6.
- [82] Sommerville, Ian: *Engenharia de Software*. Addison Wesley Bra, 2011, ISBN 978-858863-928-7.
- [83] Suhonen, Katja, Heli Väättäjä, Tytti Virtanen e Roope Raisamo: *Seriously Fun: Exploring How to Combine Promoting Health Awareness and Engaging Gameplay*. Em *Proceedings of the International Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era*. ACM, 2008, ISBN 978-1-60558-197-2.
- [84] Sweetser, Penelope e Peta Wyeth: *GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games*. Computing Entertainment, 3(3), 2005, ISSN 1544-3574.
- [85] Synnott, J., L. Chen, C. D. Nugent e G. Moore: *WiiPD-Objective Home Assessment of Parkinson's Disease Using the Nintendo Wii Remote*. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 16(6), 2012, ISSN 1089-7771.
- [86] Tao, Weijun, Tao Liu, Rencheng Zheng e Hutian Feng: *Gait Analysis Using Wearable Sensors*. Sensors, 12(12), 2012, ISSN 1424-8220.
- [87] Technologies, Unity: *Unity 3D 3.0. Software*, Disponível em: <http://unity3d.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [88] Association for Computing Machinery: *ACM*. Disponível em: [www.acm.org](http://www.acm.org), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [89] Institute of Electrical and Electronics Engineers: *IEEE*. Disponível em: [www.ieee.org](http://www.ieee.org), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

- [90] Thumé, Elaine, Luiz Augusto Facchini, Grace Wyshak e Paul Campbell: *The Utilization of Home Care by the Elderly in Brazil's Primary Health Care System*. American Journal Of Public Health, 101, 2011, ISSN 1541-0048.
- [91] Tolosa, Eduardo, Gregor Wenning e Werner Poewe: *The Diagnosis Of Parkinson's Disease*. The Lancet Neurology, 5(1), 2006, ISSN 1474-4422.
- [92] Vapnik, Vladimir: *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag New York, Inc., 2ª edição, 2000, ISBN 978-1-4757-3264-1.
- [93] Vicini, Lorena: *Análise Multivariada Da Teoria À Prática*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [94] Wasserman, Larry: *All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1ª edição, 2010, ISBN 978-144192-322-6.
- [95] Witten, Ian, Eibe Frank e Mark Hall: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, 3ª edição, 2011, ISBN 9780123748560.
- [96] Zigfu: *Zigfu 4.0. Software*, Disponível em: <http://zigfu.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [97] Zowghi, Didar e Chad Coulin: *Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Approaches, and Tools*. Em *Engineering and Managing Software Requirements*. Springer Berlin Heidelberg, 2005, ISBN 978-3-540-28244-0.
- [98] Zwartjes, Daphne, Tjitske Heida, Jeroen van Vugt, Jan Geelen e Peter H. Veltink: *Ambulatory Monitoring of Activities and Motor Symptoms in Parkinson's Disease*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 57(11), 2010, ISSN 0018-9294.



# Apêndice A

## Projeto do Comitê de Ética

### A.1 Resumo

Com os recentes avanços na tecnologia de sensores sem fio, é possível incorporá-los na roupa ou no corpo (*wearable*) do usuário e isso proporciona uma monitorização contínua dos sinais vitais. Contudo a concepção de um sistema de monitoramento *wearable* que não seja invasivo ainda é um grande desafio. Por outro lado, a necessidade de integrar diferentes sensores em uma única solução dificulta essa atividade, pois os dispositivos são considerados pesados, visíveis e estereotipados pelos próprios usuários [1], por esse motivo esses dispositivos são refutados, inviabilizando o monitoramento contínuo da saúde nesses casos. Contudo, desde 2005 os jogos eletrônicos fazem uso de dispositivos como acelerômetros, giroscópio, dispositivos de captura de movimento possibilitando ao usuário estivesse uma maior imersão no universo do jogo através da análise de seus movimentos. Esses sensores usados em jogos eletrônicos permitem capturar sinais de tremores [51] e posturais que são sintomas presentes no Parkinson. Como o uso desses dispositivos já está embutido no contexto do jogo, possivelmente o usuário não iria sentir desconforto caso fossem usados para monitorar os sintomas do Parkinson enquanto estivesse num momento de descontração ao usar um jogo eletrônico.

### A.2 Introdução

A Parkinson é uma das doenças mais comum nos idosos. Apesar dos sintomas clássicos o diagnóstico clínico não é específico, não há exames laboratoriais, diagnósticos e existem outras doenças que se manifestam como o Parkinson [25; 91]. O Parkinson é uma afecção do sistema nervoso central, a qual é expressa de forma crônica e progressiva. Ela é causada pela degeneração dos neurônios produtores de dopamina presente na substância negra e caracterizada pelos sintomas parkinsonianos: tremor em repouso (que diminui durante movimentos voluntários); bradicinesia ou hipocinesia (lentidão e escassez de movimentos, além de di-

ficuldade na marcha), rigidez muscular (aumento da resistência ao movimento passivo dos membros), perda de reflexos posturais que leva a alteração da marcha e aumenta a ocorrência de queda [91; 25].

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 no Parkinson. Esta doença é uma das muitas formas de parkinsonismo, correspondendo a cerca de 75% dos casos. A evolução da doença a gravidade e a progressão dos sintomas variam de um paciente para outro. No momento não existe teste diagnóstico para a doença e estudos comprovam dificuldade na diferenciação clínica entre Parkinson e outras formas de parkinsonismo. A maioria dos neurologistas concorda que o diagnóstico do Parkinson requer a identificação de alguma combinação de sinais motores cardinais (tremor de repouso, bradicinesia, rigidez tipo roda denteada, alterações posturais), porém uma classificação clínica padrão ainda não foi obtida [73]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [73]. Os pacientes com Parkinson quase sempre apresentam uma resposta satisfatória a esse medicamento, e no caso de não responder satisfatoriamente à levodopa, é provável que o diagnóstico seja de outra forma de parkinsonismo. Porém, na literatura [72] uma resposta à levodopa não confirma o diagnóstico do Parkinson porque existem muitos casos de parkinsonismo sintomático e muitas formas de síndrome de Parkinson em seus estágios iniciais que também respondem à levodopa.

O Parkinson é uma doença mais comum em idosos, porém existem casos precoces de início da doença em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [63]. 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 [73].

Com o surgimento do tratamento para o Parkinson torna possível manter uma boa mobilidade funcional durante anos e aumenta a expectativa de vida dos pacientes tratados [25]. 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 [25].

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

tratamento da doença bastante complexo [73] e estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [38]. 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 [73].

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 [49; 70].

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 [25].

A partir dos tratamentos para o Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [28; 33]. 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 [28; 33]. Sendo assim, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale – UPDRS) [28] que é amplamente utilizada para monitorar a progressão da doença e a eficácia do tratamento, sendo considerada confiável, válida e qualificada como um método adequado para a avaliação do Parkinson [33].

Na UPDRS a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [28]:

- **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 [49; 85; 70].

A identificação dos sintomas do Parkinson durante a rotina diária permite um diagnóstico mais precoce da doença e consequentemente obter seus benefícios de um tratamento mais duradouro. Além disso, o monitoramento dos efeitos da medicação 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 [5]. Por outro lado, a necessidade de integrar diferentes sensores em uma única solução dificulta essa atividade, pois os dispositivos são considerados pesados, visíveis e estereotipados pelos próprios usuários [1], por esse motivo esses dispositivos são refutados, inviabilizando o monitoramento contínuo da saúde nesses casos. Contudo, desde 2005 os jogos eletrônicos fazem uso de dispositivos como acelerômetros, giroscópio, dispositivos de captura de movimento possibilitando ao usuário estivesse uma maior imersão no universo do jogo através da análise de seus movimentos. Como visto na literatura científica, esses sensores usados em jogos eletrônicos permitem capturar sinais de tremores [85; 51] e posturais que são sintomas presentes no Parkinson. Como o uso desses dispositivos já está embutido no contexto do jogo, possivelmente o usuário não iria sentir desconforto caso fossem usados para monitorar os sintomas do Parkinson enquanto estivesse num momento de descontração ao usar um jogo eletrônico.

Os jogos eletrônicos não são usados somente por crianças e adolescente, em uma pesquisa da Entertainment Software Association, associação formada pelas principais fabricantes americanas de jogos eletrônicos “*Essential Facts About the Computer and Video Game Industry*” [9] 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 do Parkinson em diferentes momentos do dia com o propósito de possibilitar um diagnóstico precoce e melhorar no gerenciamento da dosagem medicamentosa contribuindo para um prolongamento da qualidade de vida dos pacientes com Parkinson.

## A.3 Problemática

Alinhar a jogabilidade e a possibilidade de monitoramento dos dados de saúde não é uma tarefa trivial. Pois deve ser levado em consideração o uso dos dispositivos e pensar na execução de movimentos ou ações que permitam esse monitoramento. Os movimentos não podem ser repetitivos pois, levaria o usuário jogar por um curto período e como consequência abandonaria o monitoramento [83]. 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 [13; 4; 12; 21; 70]. 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 [84].

## 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 [28].

### 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 Métodoo**

### **A.5.1 Tipo de Estudo**

Estudo analítico de caso-controle.

### **A.5.2 Local**

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

### **A.5.3 Amostra**

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

### **A.5.4 Formas de Recrutamento**

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

#### **Critério de inclusão**

Casos com a Parkinson diagnosticada até o estágio 3 segundo a UPDRS [28], 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 do Parkinson e que tenham problemas em equilíbrio além daqueles que se neguem a participarem do estudo.

### A.5.5 Material

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

#### Jogo: *Catch the Spheres*

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

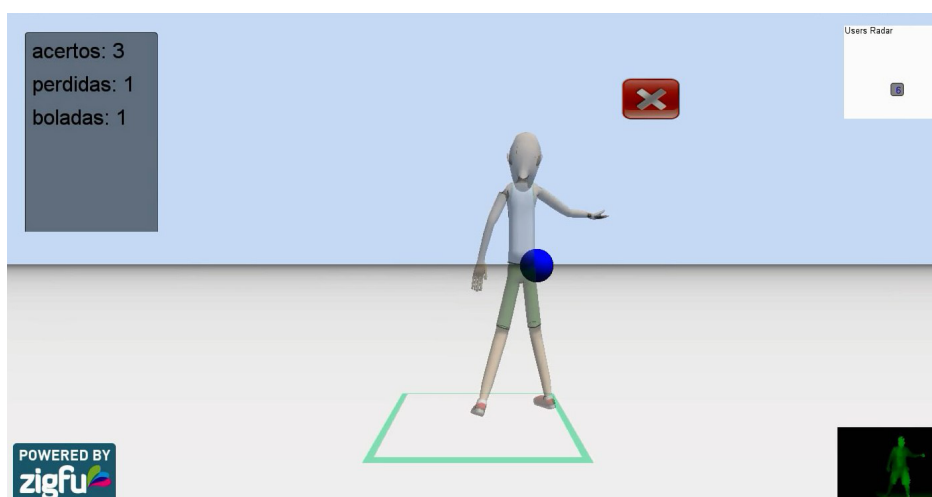


Figura A.1: O jogo *Catch the Spheres*

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

### A.5.6 Procedimentos

Este protocolo de pesquisa será submetido à avaliação do Comitê de Ética da UFCG (Apêndice A)(CAAE: 14408213.9.1001.5182), 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 [81]. 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 Nº 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 do Parkinson. A identificação dos sintomas motores e classificação desses dados através do computador permitirá avanços para um melhor acompanhamento da evolução da doença além de permitir que os pacientes possam ser monitorados de forma não invasiva através de um jogo eletrônico. Os pacientes deverão ter o seu estágio do Parkinson previamente diagnosticada por um médico para ser possível comparar os dados do monitoramento com o diagnóstico obtido.

### **A.5.12 Infra-Estrutura**

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

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

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

Tabela A.1: Etapas da Pesquisa

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

Tabela A.2: Cronograma

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

## A.6 Etapas da Pesquisa e Cronograma

### A.6.1 Etapa da Pesquisa

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

### A.6.2 Cronograma

**Legenda:** [0] Planejado [X] Executado

ITEM	VALOR UNITÁRIO(R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
1 Smartphone Samsung Galaxy 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 UP-DRS, 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 análise 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 [38]. O paciente será diagnosticado com Parkinson se apresentar lentidão no movimento (bradicinesia) e pelo menos 3 critérios de suporte positivo.

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

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



## Apêndice D

### Questionário GQM

Para identificar a possibilidade de integrar o monitoramento da saúde do jogador através de jogos eletrônicos à sua rotina diária, foi utilizada a abordagem *Goal, Question, Metric* (GQM). GQM [16] 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 [81]. Foi preparado o questionário GQM mostrado na Tabela D.1 para avaliar a possibilidade de monitorar dados motores de forma não invasiva e integrada a rotina diária das pessoas.

Tabela D.1: O Questionário GQM

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

*Continua na próxima página*

Tabela D.1 – *Continuação da página anterior*

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

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