

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, Julho - 2016

## **Resumo**

Os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) possibilitam aos médicos obterem informações sobre o estado de saúde de seus pacientes. Além disso, as identificações dos sintomas das doenças podem auxiliar no diagnóstico precoce e prevenir a ocorrência de situações críticas.

Para acompanhar e avaliar a saúde motora de um paciente, é necessário realizar uma avaliação motora por meio de movimentos específicos. Isto dificulta a concepção de um SMS de dados motores não-invasivo e engajados na rotina diária dos pacientes. A abordagem apresentada nesta tese, utiliza os jogos eletrônicos como fator motivacional para o fornecimento dos dados motores. Durante o jogo, o usuário é induzido a executar movimentos relevantes, de modo que um sensor de movimento possa adquiri-los e quantificá-los. Este ambiente lúdico, de jogo eletrônico, abstrai o usuário do contexto de tratamento da saúde e incentiva a execução dos movimentos de uma maneira mais natural do que a imposta por um exame clínico.

Para avaliar esta abordagem, foi desenvolvido um jogo com a arquitetura proposta para identificar sintomas motores relacionadas com a Doença de Parkinson. Num estudo de caso-controle, foram avaliados os movimentos angulares dos braços para quantificar as habilidades motoras desses grupos. Os dados coletados foram processados e aplicados a uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificar a ocorrência do sintoma da bradicinesia do Parkinson. Obteve-se uma classificação com uma acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67%. Além disso, em um experimento para avaliação da aceitação dos usuários, 90% ficaram motivados com o jogo desenvolvido e afirmaram que integrariam o SMS em sua rotina diária. Estes resultados demonstram que a abordagem de monitoramento baseado em jogos, apresentada nesta tese, tem potencial para ser um SMS para monitoramentos dos sintomas motores.

## **Abstract**

Health Monitoring Systems (HMS) allow doctors to gain a better picture of their patient's health status. An early identification of symptoms can support the disease's diagnostic and prevent critical situations.

In order to monitor a patient's motor abilities, it is necessary to record and evaluate specific movements. This makes it difficult to design a HMS that non-obtrusively integrates into the patient's daily routine. The approach presented in this thesis makes use of the motivational power of electronic games. While playing the game, the user is incited to make the relevant movements, so that an optical sensor can detect and measure them. The playful situation distracts the user from thinking about health issues and therefore encourages more natural movements with improved validity for a health examination.

To evaluate this approach, a game has been developed and employed to detect Parkinson related motor symptoms. In a study with patients diagnosed as affected by the Parkinson Disease and a healthy control group, the angular movements of the arms were used to measure motor abilities. The data was then processed and applied to a Support Vector Machine (SVM) to predict, based on the detected movements, whether a subject shows Parkinson related symptoms or should be classified as healthy. The system classified the subjects with an accuracy of 86.67% and a rate of 6.67% false positives. Furthermore, the user acceptance of the game-based approach was studied and showed that 90% of the users felt motivated to play the game as part of their daily routine. These results demonstrate that the game-based approach presented in this thesis has the potential to become a base for HMS that monitor motor symptoms.

## Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a meus pais Ricardo Ubirajara de Medeiros e Maria das Graças Melo de Medeiros por me conceberem e darem toda a motivação que me permitiram chegar aqui.

Agradeço aos meus orientadores Leandro Dias da Silva e Hyggo Almeida de Oliveira pela confiança, suporte, compreensão e paciência que tiveram comigo nesses longos anos de pesquisa.

Ao IFAL que me deu o apoio institucional, financeiro desde o meu ingresso na instituição. Em especial, aos Coordenadores de Curso (Elvys Soares, Jailton Cruz, Eunice Palmeira, Anderson Barbosa e Marcílio erreira) que passaram por mim e tiveram todo o cuidado em ajustar meus horários e me deram o suporte para concluir esta etapa da carreira. Ao Reitor, Sérgio Teixeira e Pró-Reitores Carlos Henrique e Luiz Henrique Gouvêa por terem me concedido o afastamento de 2 anos para a conclusão do curso. Gostaria de agradecer também à Patrícia Galvão por seu empenho na Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação para a concessão da Bolsa Prodoutoral junto à Capes que me forneceu suporte financeiro por determinado período do curso. E, aos professores das Coordenações de Informática do IFAL Maceió por terem assumido minha carga-horária no período de dois anos. Serei eternamente grato e contribuirei da mesma forma para que todos consigam suas qualificações.

Gostaria de agradecer o suporte científico na Área Médica e Fisioterápica à: Cícera Pontes, Flávio Rezende, Ana Cláudia Câmara, Pedro Jatobá, Dayane Vasconcelos, Felipe Rebêlo e Jean Charles Santos.

Gostaria de lembrar a todos também que durante o período de doutoramento várias pessoas passam por nossas vidas e que todo doutorando é eternamente grato por pequenas coisas. Dentre estas, principalmente às pessoas que dividem moradias e compartilham angústias e conquistas neste processo árduo e longo de um doutorado. Dentre essas pessoas, gostaria de destacar meus amigos do Caio Lela: Elthon Alex, Gregory Almeida e Edgard Luiz. *"All izz Well"*.

Sou eternamente grato a duas pessoas que tiveram a disponibilidade de me ajudar diretamente para a conclusão desta tese. Meu amigo, Robert Fishcer pelo suporte técnico e científico que muito me auxiliou na conclusão da pesquisa. Meu amigo, Mirko Perkusich por suas contribuições na escrita e na "venda do peixe". Ao meu amigo, João Henrique pelas sugestões na escrita do documento final.

Aos Professores Ângelo Perkusich e Kyller Gorgônio que desde o início do trabalho me deram sugestões para prosseguir, alinhar e melhorar a pesquisa.

Aos colega Antônio Santos Jr. e ao aluno do IFAL Rafael Soares por terem me auxiliado na implementação da arquitetura proposta nesta tese.

Gostaria de agradecer ao Álvaro Alvares, que é um amigo que obtive no CESMAC e que hoje é um grande pesquisador e parceiro.

Não poderia deixar de esquecer dos meus amigos do Tênis, tanto da Associação de Tenistas da Orla (ATO) quanto os amigos do Jarágua Tênis Clube (JTC). Em todos estes anos, o tênis foi fundamental para me dar o equilíbrio necessário para enfrentar o próximo dia.

A todas as pessoas que passaram por minha vida e que estão em minha memória, são tantos e não caberiam aqui :).

Obrigado,  
Leonardo Medeiros

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Relevância da Tese . . . . .	2
1.2	Trabalhos Relacionados . . . . .	3
1.3	Contribuições . . . . .	5
1.4	Objetivos . . . . .	5
1.5	Metodologia . . . . .	6
1.5.1	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) . . . . .	8
1.5.2	Relação Risco Benefício da Pesquisa . . . . .	8
1.5.3	Confidencialidade . . . . .	8
1.6	Organização do Documento . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>10</b>
2.1	Doença de Parkinson . . . . .	10
2.1.1	Diagnóstico . . . . .	11
2.1.2	Principais Sinais do Parkinson . . . . .	12
2.1.3	Escalas e os Estágios da Doença . . . . .	13
2.2	Cinemetria . . . . .	14
2.2.1	Movimento Angular . . . . .	14
2.3	Máquina de Vetor de Suporte (SVM) . . . . .	15
2.4	Conclusão . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Abordagem <i>JOGUE-ME</i></b>	<b>19</b>
3.1	Definição dos Requisitos da Abordagem . . . . .	19
3.2	Visão geral da solução . . . . .	20
3.3	Aquisição dos Sinais Por Meio de Sensores . . . . .	21
3.4	Processamento de Dados Biomecânicos . . . . .	22
3.4.1	Identificação de Ciclos de Movimento . . . . .	22
3.4.2	Extração das Características do Movimento . . . . .	24
3.4.3	Filtragem de Dados . . . . .	25
3.5	Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem . . . . .	28

3.6	Visualização dos Dados . . . . .	29
3.7	Conclusão . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Arquitetura de Software do JOGUE-ME</b>	<b>31</b>
4.1	Arquitetura do JOGUE-ME . . . . .	31
4.1.1	Arquitetura do JOGUE-ME Webservice . . . . .	34
4.1.2	Módulo de Escrita . . . . .	37
4.2	Processador de Dados Biomecânicos . . . . .	38
4.2.1	Identificação dos Ciclos de Movimento . . . . .	38
4.2.2	Extração das Características do Movimento . . . . .	39
4.2.3	Filtro de Dados . . . . .	40
4.3	Classificador de Dados . . . . .	41
4.4	Conclusão . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Avaliação Experimental</b>	<b>42</b>
5.1	Entrevista Semiestruturada com Profissionais de Saúde . . . . .	42
5.1.1	Objetivo da Entrevista Semiestruturada . . . . .	43
5.1.2	Perfil dos Participantes . . . . .	43
5.1.3	Análise . . . . .	44
5.1.4	Requisitos Identificados . . . . .	50
5.1.5	Considerações Finais da Entrevista Semiestruturada . . . . .	52
5.2	Máquina de Vetor de Suporte para Estudo Analítico de Caso Controle Por Intermédio de Sensor de Movimento Usado em Jogos Eletrônicos . . . . .	54
5.2.1	Estudo analítico de caso-controle . . . . .	54
5.2.2	Aplicação do Método . . . . .	58
5.2.3	Resultados . . . . .	58
5.2.4	Aprendizagem de Máquina (SVM) . . . . .	59
5.3	Avaliação Da Aceitação Da Abordagem Junto aos Pacientes com Parkinson Utilizando <i>Goal Question Metric</i> . . . . .	64
5.3.1	Aplicação do Método . . . . .	65
5.3.2	Resultados . . . . .	66
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>70</b>
6.1	Conclusões . . . . .	70
6.2	Limitações do Trabalho . . . . .	71
6.3	Trabalhos Futuros . . . . .	71
6.4	Publicações . . . . .	72

<b>A</b>	<b>Projeto do Comitê de Ética em Pesquisa</b>	<b>83</b>
A.1	Resumo . . . . .	83
A.2	Introdução . . . . .	83
A.3	Problemática . . . . .	87
A.4	Objetivo . . . . .	87
A.4.1	Específicos . . . . .	87
A.5	Material E Metodoo . . . . .	88
A.5.1	Tipo de Estudo . . . . .	88
A.5.2	Local . . . . .	88
A.5.3	Amostra . . . . .	88
A.5.4	Formas de Recrutamento . . . . .	88
A.5.5	Material . . . . .	89
A.5.6	Procedimentos . . . . .	89
A.5.7	Base de Dados . . . . .	90
A.5.8	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) . . . . .	90
A.5.9	Confidencialidade . . . . .	91
A.5.10	Crítérios Para Interromper a Pesquisa . . . . .	91
A.5.11	Relação Risco Benefício da Pesquisa . . . . .	91
A.5.12	Infra-Estrutura . . . . .	91
A.6	Etapas da Pesquisa e Cronograma . . . . .	92
A.6.1	Etapa da Pesquisa . . . . .	92
A.6.2	Cronograma . . . . .	92
A.7	Orçamento Estimado . . . . .	93
<b>B</b>	<b>Questionário Entrevista Semiestruturada</b>	<b>94</b>
B.1	Entrevista com Profissionais de Neurologia . . . . .	94
B.1.1	Sintomas da Doença de Parkinson . . . . .	94
B.1.2	Monitoramento de dados Motores . . . . .	94
B.1.3	Benefícios . . . . .	95
<b>C</b>	<b>Crítérios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson</b>	<b>97</b>
<b>D</b>	<b>Questionário GQM</b>	<b>99</b>



# Lista de Símbolos

**Parkinson** Doença de Parkinson

**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

# Lista de Figuras

1.1	Aplicação para <i>smartphone</i> com a finalidade de identificar sinais de tremor	5
2.1	Movimentos de abdução e adução do braço . . . . .	15
2.2	Hiperplano de separação para duas classes . . . . .	16
3.1	Visão geral da abordagem <i>JOGUE-ME</i> . . . . .	20
3.2	Processamento de sinais biomecânicos. . . . .	23
3.3	Exemplo de sinal capturado da articulação do punho direito usando MS-Kinect na posição Y . . . . .	24
3.4	Exemplo da aplicação da técnica de detecção de picos e vales no sinal . . .	25
3.5	Amplitude do movimento de abdução e adução . . . . .	26
3.6	Detecção de picos e vales na amplitude do movimento de abdução e adução do braço . . . . .	27
3.7	Ciclo de movimento removido . . . . .	28
4.1	Arquitetura de software . . . . .	31
4.2	Arquitetura JOGUE-ME: módulo cliente de aquisição de sinais motores . .	32
4.3	Diagrama de classe do ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth . . . . .	33
4.4	O jogo <i>Catch the Spheres</i> . . . . .	34
4.5	Diagrama de Classes do Serviço JOGUE-ME . . . . .	35
5.1	Teste de um jogo usando acelerômetro para quantificação do sinal de tremor do Parkinson . . . . .	51
5.2	Movimentos de abdução e adução . . . . .	56
5.3	Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo . . . . .	57
5.4	Vetor médio do movimento de abdução e adução . . . . .	59
5.5	<i>Grid-search</i> - acurácia da classificação . . . . .	61
5.6	<i>Grid-search</i> - <i>fpRate</i> . . . . .	62
5.7	O paradigma GQM . . . . .	65
5.8	Resultado da pergunta 1 . . . . .	67
5.9	Resultado da pergunta 3 . . . . .	68

---

5.10 Resultado da pergunta 10 . . . . .	68
A.1 O jogo <i>Catch the Spheres</i> . . . . .	89

# Lista de Tabelas

3.1	Extração das características do indivíduo com diagnóstico do Parkinson . .	29
3.2	Extração das características do indivíduo sem diagnóstico do Parkinson . .	30
4.1	Operações disponibilizadas pelo <i>web service</i> . . . . .	36
5.1	Perfil dos participantes . . . . .	44
5.2	Matriz de Rastreabilidade: fragmento x requisitos . . . . .	53
5.3	Requisitos implementados . . . . .	53
5.4	Descrição do vetor de características extraído da coleta de dados. . . . .	57
5.5	Descrição da matriz de confusão . . . . .	60
5.6	Resultado da matriz de confusão usando SVM . . . . .	61
5.7	Média da amplitude do movimento de abdução do braço . . . . .	63
5.8	Métricas da matriz de confusão . . . . .	64
5.9	Métricas avaliadas pelo <i>GQM</i> . . . . .	67
A.1	Etapas da Pesquisa . . . . .	92
A.2	Cronograma . . . . .	92
A.3	Material Permanente . . . . .	93
A.4	Material de Consumo . . . . .	93
D.1	O Questionário GQM . . . . .	99

# Lista de Códigos Fonte

2.1	Código de Predição da Classes . . . . .	17
4.1	Identificar início e término do movimento periódico . . . . .	38
4.2	Calcular ângulos relativos do movimento . . . . .	39
4.3	Calcular velocidade angular da adução e abdução . . . . .	39
4.4	Filtro para remoção de ciclos . . . . .	40
4.5	Uso da SVM para classificação dos dados . . . . .	41

# Capítulo 1

## Introdução

A idade média da população mundial está aumentando progressivamente devido à melhora da expectativa de vida. No entanto, tem-se um aumento da população idosa e, segundo estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) [71], muito em breve, teremos mais idosos do que crianças. Considerando que a população idosa possui uma maior incidência de doenças crônicas [52], é necessário melhorar o monitoramento do 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 [4], faz-se necessário transpor serviços de monitoramento dos pacientes crônicos dos leitos hospitalares para o acompanhamento domiciliar [95].

Na investigação desta demanda, pesquisadores da computação aplicada à saúde buscam prover mecanismos de monitoramento da saúde [4; 8; 1] como os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS). Os SMS permitem ao médico acompanhar à distância o estado de saúde de seus pacientes de maneira colaborativa [4]. Atualmente, os SMS realizam tratamento preventivo e proativo do estado de saúde [8]; suporte à reabilitação do paciente [38]; e auxílio para o paciente atingir uma melhor qualidade de vida [22]. Referente ao monitoramento dos sinais motores, os SMS conseguem quantificar as habilidades motoras [34; 74], efetuar análise da marcha [56] e identificar sinais de bradicinesia<sup>1</sup> [108]. Contudo, o maior desafio dessas abordagens é motivar e induzir o usuário a executar movimentos específicos para o monitoramento da habilidade motora.

Na busca por motivar os usuários a fornecer seus sinais motores, foi identificado que os jogos eletrônicos se encontram presentes na rotina diária de 26% da população americana acima dos 50 anos [11]. Com base nesse número, têm-se um público de jogadores idosos que podem ser beneficiados por uma abordagem 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 [24] e jogos para a melhoria das capacidades físicas e cognitivas [9].

---

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

Dentro deste contexto, é que os jogos eletrônicos serão utilizados como 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 integrar os SMS na vida diária de indivíduos através dos jogos, com foco em doenças motoras. Nesta tese, a Doença de Parkinson (Parkinson) foi escolhido como objeto de estudo devido a suas características: doença neurodegenerativa crônica, progressiva, que possui sintomas motores que são reduzidos por tratamento medicamentoso.

O Parkinson é uma doença mais comum em idosos, no entanto, existem casos precoces em indivíduos antes dos 40 anos ou até mesmo abaixo dos 21 [66]. 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 da Tese

Nos últimos anos, a criação de tecnologias computacionais para o monitoramento da saúde [16] tem sido tema relevante e recorrente na computação [59; 85; 61]. Uma área de grande interesse é o monitoramento não invasivo para pacientes com Parkinson, incluindo os de: funções autônomas<sup>2</sup> dos sinais vitais [41], pressão sanguínea e batimentos cardíacos [99], nível de concentração do tratamento medicamentoso no sangue [97], além de sua classificação entre indivíduos normais e portadores de Parkinson usando máquinas de aprendizagem [85; 59; 57].

No entanto, realizar o monitoramento não-invasivo dos sinais motores ainda é um desafio [104; 72]. Por este motivo, nesta tese, foi desenvolvida uma arquitetura de *software* que, de uma maneira não-invasiva, proporciona usar jogos eletrônicos para induzir e motivar o indivíduo a executar movimentos passíveis de monitoramento dos sinais motores.

O uso dos SMS para pacientes com Parkinson permite mensurar, identificar e quantificar sintomas do Parkinson para auxiliar o médico no acompanhamento do estado de saúde de seus pacientes [59]. Além disso, a disseminação destes sistemas pode aumentar a compreensão clínica da evolução da doença e até mesmo identificar um diagnóstico completo, que ainda não foi estabelecido [75], baseado nas evidências identificadas pelo uso de soluções computacionais [85].

Atualmente, entidades internacionais de fomento industrial e científico da computação,

---

<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.

como *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) [94] e *Association for Computing Machinery* (ACM) [93], promovem simpósios como o *Computer Based Medical Systems* (CBMS) [44], *Symposium On Applied Computing* (SAC) (*track on Healthcare*) [3], conferências como *Healthcare Conference* (HEALTHCON) [43] e *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (PervasiveHealth) [2] e até mesmo revistas científicas como *Journal of Biomedical and Health Informatics* (JBHI) [45], *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* [46] (TBE). Em 2015, o *Journal of Biomedical and Health Informatics* (JBHI) publicou uma *special issue* cujo tema foi sobre tecnologias para o gerenciamento do Parkinson [42]. No Brasil, a Sociedade Brasileira de Computação (SBC) [26] promove, no seu principal congresso [25], o *Workshop de Informática Médica* (WIM) [82], que tem como objetivo reunir pesquisadores, estudantes, professores, empresários e profissionais da computação aplicada à Saúde. Dessa maneira, evidencia-se a importância desta tese tanto nas comunidades científicas nacionais quanto internacionais.

Por fim, a elaboração desta tese gerou desdobramentos e discussões científicas no grupo de pesquisa na área de computação aplicada à saúde dentro da UFCG. Como resultado desta sinergia, foi possível colaborar com duas defesas de mestrado [79; 15].

## 1.2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, serão apresentados os trabalhos relacionados e os benefícios providos por estes.

Devido ao aumento do número de indivíduos sedentários, as pesquisas para a promoção da atividade física têm se tornado tópico de interesse para a comunidade científica [7; 58]. Atualmente, os dispositivos de sensores de movimento permitem desenvolver jogos que beneficiam a saúde e o bem estar de forma promissora [24]. Por esse motivo, houve um incremento significativo de jogos comerciais aplicados à saúde e ao bem-estar da população [104]. Nos últimos anos [30], os idosos ficaram motivados a usar jogos eletrônicos que aumentam a atividade física e trazem benefícios à saúde. Por este motivo, foram desenvolvidos jogos para este público com o objetivo de promover a reabilitação motora [55], o autogerenciamento da saúde [24] e até mesmo acompanhar a saúde de pacientes portadores de doenças crônicas como o Parkinson [90; 38].

Zavala-Ibarra e Favela [105] propuseram uma arquitetura de monitoramento da saúde usando jogos com o objetivo de monitorar a força dos usuários. Além do jogo, os autores criaram um dispositivo de aquisição de força para avaliar a proposta. A avaliação foi realizada com 5 idosos para verificar a usabilidade e o interesse do jogo proposto. Além disso, os resultados obtidos foram comparados aos métodos clínicos tradicionais que utilizam instrumentos clínicos, como um dinamômetro, por exemplo. Os resultados identificaram que o dispositivo proposto mediu a pressão com exatidão. No entanto, esta proposta é dependente do dispositivo e isso dificulta a replicação dos resultados em outros estudos científicos. Por



este motivo, é importante que o sensor de coleta de dados seja de uso comercial, facilitando a sua aquisição.

Atkinson e Narasimhan [12] 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.* [90] desenvolveu um sistema de gerenciamento medicamentoso e um jogo, utilizando um sensor de captura de movimentos, para identificar o sinal de tremor de Parkinson. Porém, o tremor de Parkinson é de repouso [40]. Logo, quando o usuário está concentrado, entra no estado de ação e reduz drasticamente o tremor.

Papastergiou *et al.* [73] 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.* [38] 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.* [84] 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 [9] se preocupou com os aspectos cognitivos e físicos da aprendizagem baseada em jogos para idosos [9], 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 [53] quantificou os sinais de tremores de Parkinson usando um *smartphone* (Figura 1.1). 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 [47]. Logo, os pacientes reduzem drasticamente o sinal, o que impacta diretamente na coleta dos dados. Deve-se considerar também que LeMoyne [53] não realizou avaliações com pacientes ou estudo de caso-controle.

Como apresentado nos trabalhos relacionados, as soluções existentes para SMS dos sinais motores utilizam sensores vestíveis (*wearables*), que comumente são incorporados à roupa ou ao corpo do usuário [57]. De acordo com a perspectiva do usuário, estes sensores são considerados invasivos e estereotipados [1]. Por outro lado, o gerenciamento medicamentoso



Figura 1.1: Aplicação para iPhone com a finalidade de identificar sinais de tremor [53]

do Parkinson necessita de um cuidado acurado e diário [50; 27]. Por este motivo, é que esta tese pretende prover um mecanismo para quantificar os sinais motores do Parkinson através da indução da execução dos movimentos.

### 1.3 Contribuições

Nesta tese, foi definida uma arquitetura de *software* (Capítulo 4) que usa um jogo eletrônico para induzir a execução de movimentos para quantificar, avaliar e identificar o sintoma de bradicinesia do Parkinson de uma forma lúdica e longe do contexto de tratamento da saúde.

Do ponto de vista clínico, tornou-se possível identificar o estado da saúde dos paciente e a eficácia do tratamento medicamentoso. Atualmente, o acompanhamento das flutuações motoras do Parkinson é realizado de forma subjetiva por auto relatórios de avaliações diárias [50; 72] dos pacientes que informam em que período do dia a medicação está surtindo efeito. No entanto, para uma avaliação mais acurada dos sintomas motores, é necessário induzir a execução de movimentos que permitem a avaliação motora do indivíduo portador do Parkinson [104].

Por estes argumentos apresentados, foi implementado nesta tese um mecanismo quantitativo de avaliação da eficácia do tratamento que utiliza um jogo eletrônico que induz o usuário a executar movimentos de avaliação motora de uma maneira não-invasiva. Esta abordagem de monitoramento resulta em benefícios aos médicos para um tratamento mais efetivo e acurado da dosagem medicamentosa.

Com base nos resultados desta tese, é possível quantificar os sinais motores dos pacientes com Parkinson, no conforto de seu lar, e permitir o acesso da informação ao médico para melhorar o tratamento medicamentoso.

### 1.4 Objetivos

Esta tese objetivou conceber uma solução computacional que induz o usuário a executar movimentos para avaliação motora. Pretende-se usar jogos eletrônicos como forma de: *induzir*,

*motivar* e abstrair o monitoramento de dados de saúde de uma maneira *não invasiva* e longe do *contexto de tratamento de saúde*.

Nesta tese, foi definida uma arquitetura de software para o desenvolvimento de jogos eletrônicos integrados a um SMS, onde, demonstrou-se a viabilidade desta arquitetura com a implementação de um jogo capaz de monitorar um sintoma do Parkinson, como estudo de caso.

A avaliação da tese foi realizada em duas etapas: na primeira, avaliou-se a capacidade de monitoramento dos indivíduos com Parkinson em um estudo analítico de caso-controle; na segunda, avaliou-se a possibilidade de inserir este monitoramento na rotina diária dos pacientes. O estudo analítico de caso-controle, onde foi realizado uma avaliação com 30 sujeitos de pesquisa (15 do grupo controle e 15 diagnosticados com Parkinson). Como resultado, foi identificado e quantificado o sintoma da bradicinesia. Para distinguir os grupos (caso-controle e diagnosticados com Parkinson), utilizou-se uma Máquina de Vetor de Suporte (SVM) para classificação dos dados [102], com a qual obteve-se uma acurácia de 86,66%. Avaliou-se a adequação da abordagem de monitoramento dos sinais motores na rotina diária usando jogos eletrônicos, aplicando a técnica *Goal-Question-Metric* (GQM) [86]. Nesta avaliação, 90,00% dos avaliados consideraram a abordagem não-invasiva e incorporável a rotina diária.

## 1.5 Metodologia

Esta pesquisa foi submetida à avaliação pelo Comitê de Ética da UFCG (CAAE: **14408213.9.1001.5182**)<sup>3</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 por meio da coleta de dados usando a Cinemática Angular do Movimento Humano. A partir desses dados, pôde-se classificar a normalidade e dificuldade na execução dos movimentos de abdução e adução dos braços [62], como será apresentado na Seção 5.2. A perspectiva do usuário referente a aceitabilidade da proposta foi avaliada usando uma análise GQM, que consiste numa abordagem hierárquica que inicia com uma questão principal e a subdivide em questões mensuráveis [80], como será apresentado na Seção 5.3.

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

**QUESTÃO 1** Quais os benefícios de acompanhar os sinais motores do paciente diariamente,

<sup>3</sup>Plataforma Brasil, url: <http://aplicacao.saude.gov.br/plataformabrasil/>

do ponto de vista do profissional da saúde?

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

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

A execução da metodologia de trabalho foi realizada de acordo com as seguintes atividades:

1. Realização da revisão bibliográfica e coleta de requisitos junto a profissionais de saúde.
2. Definição 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. Análise da perspectiva dos profissionais de saúde relacionados 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). 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 avaliar a **QUESTÃO 1**, que consiste em verificar a importância do acompanhamento de sinais motores integrados à rotina diária do paciente.
4. Validação do uso de sensores para classificação dos dados através do processamento 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 **QUESTÃO 2** do trabalho.
5. Definição da arquitetura de software que viabilizou tecnicamente a abordagem JOGUE-ME. Nesta pesquisa, foi definida uma arquitetura de software para encapsular o desenvolvimento de jogos com essa abordagem.
6. Validação 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. Avaliação junto ao público alvo (portadores de Parkinson) sobre: os requisitos de usabilidade, adequação à rotina diária, segurança física e se a proposta é considerada não-invasiva na perspectiva do paciente. Com esta avaliação, avaliou-se a **QUESTÃO 3** da pesquisa.

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

Antes da realização da coleta dos dados, foi exposto 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>4</sup> (Apêndice A).

### 1.5.2 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, preservou-se a identidade dos participantes da pesquisa e omitiu-se 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. O pesquisador prestou total assistência, orientando-os adequadamente. Mas, salienta-se que os riscos apresentados justificam-se pelo benefício de monitorar os sinais do Parkinson para um melhor tratamento da doença.

### 1.5.3 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**), expressou-se o comprometimento em tornar público os resultados da pesquisa, sejam estes favoráveis ou não.

---

<sup>4</sup>Resolução Nº 196/96, do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde (CNS/MS).

## **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 para indução e monitoramento dos sinais motores de maneira não invasiva usando jogos eletrônicos.
- No Capítulo 4 é apresentada a arquitetura de software da abordagem.
- No Capítulo 5 são apresentados os experimentos realizados para avaliar 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 [81] 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 [66]. 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 [81]. 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 [40], 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 [81; 27]. Dessa maneira, é necessária 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 [28]. 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 [28]. 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 [81]. Estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [40]. 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 [81].

### 2.1.1 Diagnóstico

Os sinais mais característicos do Parkinson e que são frequentemente usados para diagnosticar a doença são [77]: 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 [28; 96].

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 dentada e alterações posturais. No entanto, uma classificação clínica padrão ainda não foi obtida [81]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos, tal como a levodopa [81]. Os protocolos clínicos [81; 40] 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 [77], 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 [40] 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 [81] e que foram objetos deste estudo.

#### **Tremor**

O tremor é o sintoma mais frequente e mais perceptível [47] 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 [47].

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 [29].

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 [29]. 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 [32; 37]. 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 [32; 37]. Por conseguinte, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (*Unified Parkinson's Disease Rating Scale – UPDRS*) [32], que é amplamente utilizada para monitorar o progresso da doença e a eficácia do tratamento. Segundo Goulart [37], as escalas de estágios de incapacidade representadas por *Hoehn/Yahr* e a *UPDRS* [32] 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 [32]:

- **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 autorelato ou observação clínica. Dessa maneira subjetiva, é realizada a classificação do estágio da doença no paciente. Contudo, justamente por ser baseada em autorelato 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 [51; 90; 74]. Os sinais bradicinéticos são avaliados por intermédio da parte motora da tabela de avaliação UPDRS [32], 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 [77].

## 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 [62]. 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 [35].

A cinemetria relaciona técnicas e métodos para o processamento de grandezas cinemáticas; entre elas, destacam-se as técnicas de medição direta [62], 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 [39].

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 [39]. 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).

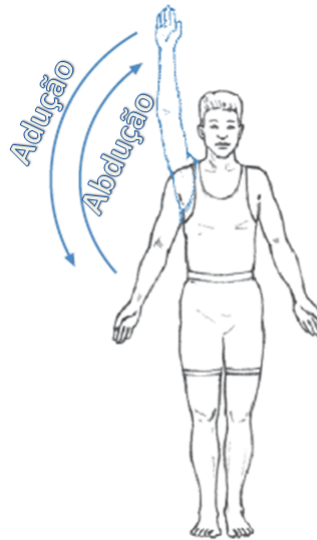


Figura 2.1: ©Movimentos de Abdução e Adução do Braço [62]

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 [39]. 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 [39]. 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 [98]. A máquinas SVM faz uso de um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionada [102] 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 [21].

Optou-se por utilizar a SVM devido a sua capacidade de generalização nos problemas de classificação de dados [98; 103], sua robustez nos resultados [103] e sua performance com baixa complexidade computacional em comparação a outras abordagens como redes neurais [20].

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 [98]. O hiperplano tenta separar as diferentes classes, maximizando a margem entre os pontos extremos de cada classe [36]. 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.

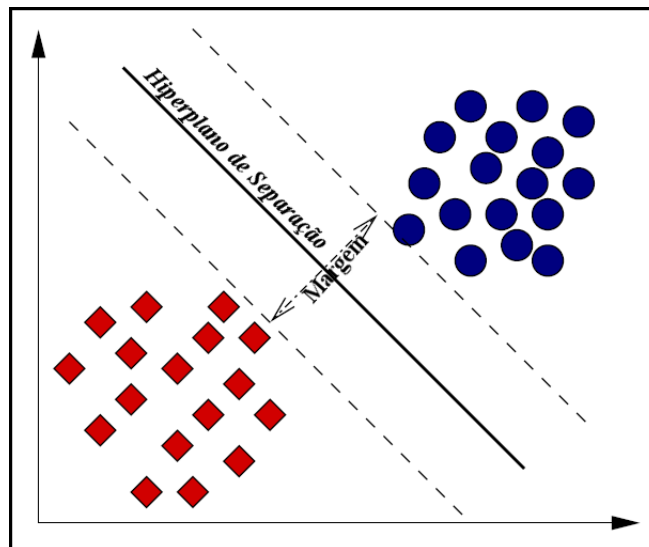


Figura 2.2: Hiperplano de separação para duas classes

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 [36] 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  $w$  é denominado de peso e a constante parâmetro  $b$  é chamada de *bias* ou desvio.

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

Se  $u$  e  $v$  são dois padrões e  $f(x)$  é a função discriminante, então os valores de  $f(u)$  e  $f(v)$  irão auxiliar na determinação dos valores de  $u$  e  $v$  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 dos dados, é que a SVM foi aplicada para classificar indivíduos diagnosticados com Parkinson ante indivíduos sem o diagnóstico estabelecido. Para corroborar com a nossa escolha de SVM, encontrou-se trabalhos de classificação de indivíduos com parkinson utilizando a mesma abordagem [59; 18; 74]. No entanto, o que diferencia este trabalho dos demais, é que os dados classificados foram adquiridos utilizando a abordagem de um jogo eletrônico que induz o paciente a executar movimentos para a avaliação motora [27; 104].

## 2.4 Conclusão

Neste capítulo, foi explicitado os motivos para quantificar os comprometimentos motores do Parkinson. Para avaliar a saúde motora, foi utilizado os estudos cinemáticos do movimento humano para quantificar as amplitudes do movimento e a velocidade angular dos mesmos.

A identificação do sintoma foi realizada por meio da máquina de aprendizagem, SVM, aqui descrita. A SVM recebe como dados de entrada os valores dos parâmetros motores e identifica-o como saudável ou parkinsoniano.

Nos capítulos seguintes, serão apresentados o Processador de Dados Biomecânicos (Seção 4.2) responsável por extrair as características do movimento [62] para obter o resultado da classificação da SVM 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 dos Requisitos da Abordagem

Com base no levantamento bibliográfico, identifica-se e enumera-se 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 [88; 83].

**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 [88].

**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 [89].

**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 [9; 83].



**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

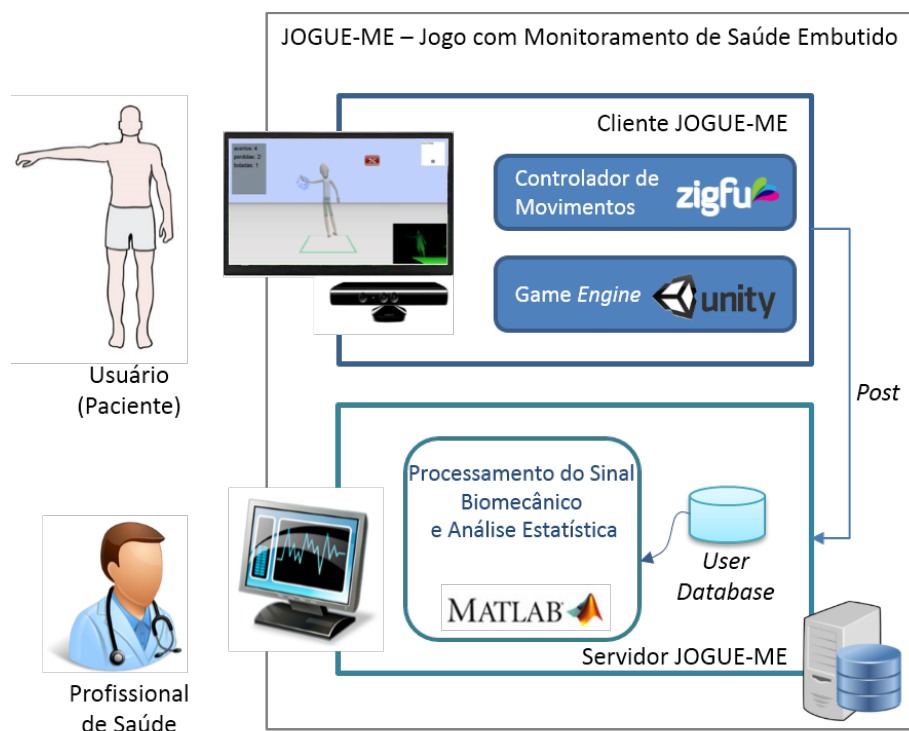


Figura 3.1: Visão geral da abordagem *JOGUE-ME*

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 [6]. 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.

Nesse estudo, ao utilizar jogos eletrônicos como mecanismo para entrada de dados, é possível alcançar os requisitos de não invasividade identificados 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 para permitir o monitoramento de sinais motores. A partir de uma interface com o usuário, que permite enviar os dados capturados a um servidor, e armazenar estes dados para o acompanhamento da saúde motora por parte do 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.

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 [68], por exemplo, possui uma câmera

infravermelho capaz de reconhecer os movimentos de todo o corpo humano e identificar as posições das articulações anatômicas [39], para análise da cinemática do movimento humano [62].

Para mensurar os movimentos do paciente, utilizou-se as diretrizes médicas de avaliação motora do Parkinson como a UPDRS [32], 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 [19]. 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, 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.

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

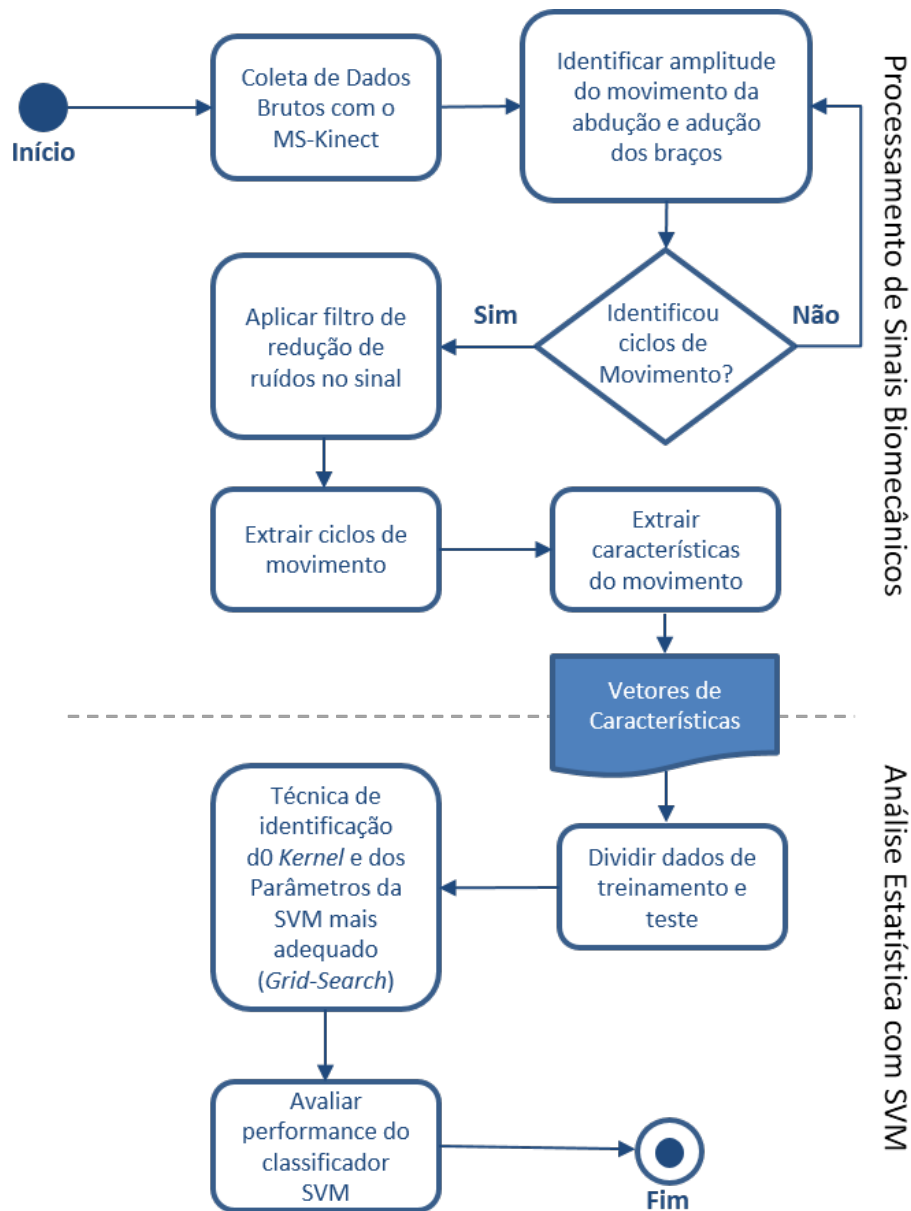


Figura 3.2: Processamento de sinais biomecânicos.

(Figura 3.3) 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 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 com-

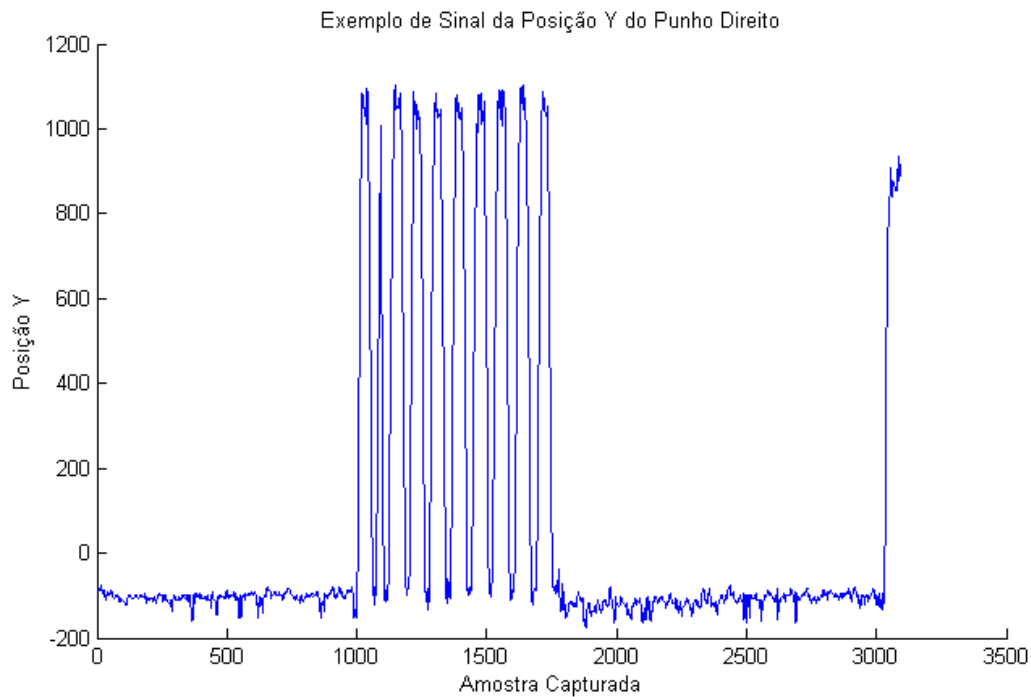


Figura 3.3: Exemplo de sinal capturado da articulação do punho direito usando MS-Kinnect na posição Y

pletude, 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 [39]. 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 [67]. 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  $w$ .

No movimento de abdução e adução do braço, o ângulo relativo pode ser calculado com as posições  $(x, y, z)$  das articulações (*quadril, ombro e punho*). Utilizando o produto

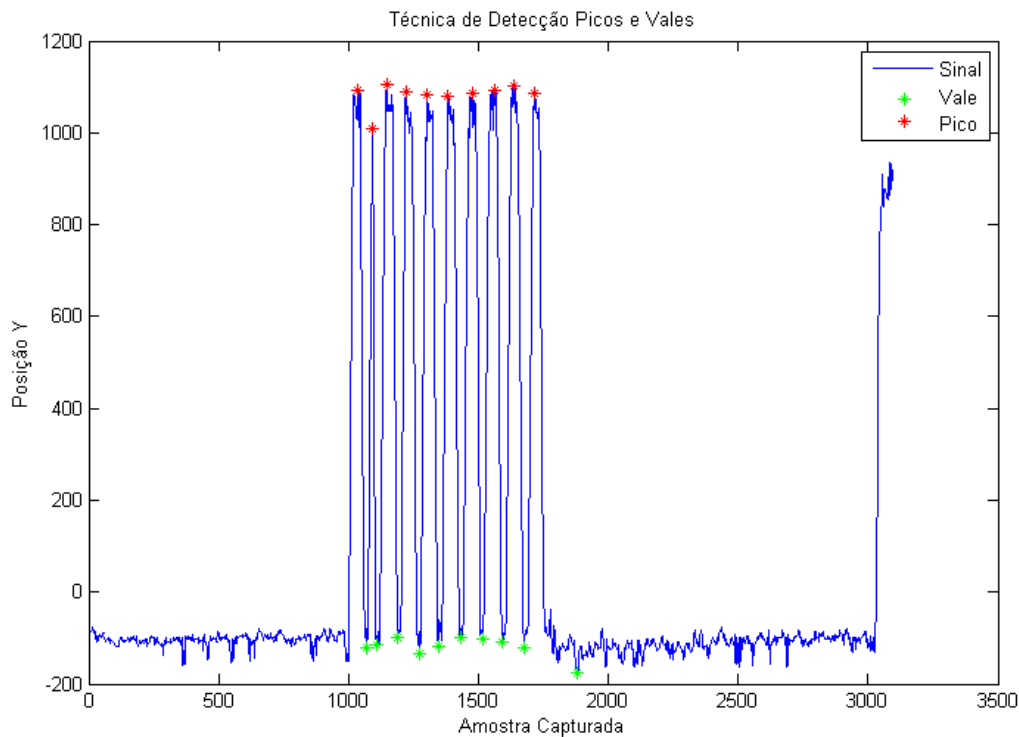


Figura 3.4: Exemplo da aplicação da técnica de detecção de picos e vales no sinal

escalar entre esses pontos, extraem-se as características do movimento, como amplitude do movimento, e, quando relaciona-se com o tempo, consegue-se extrair a velocidade angular deste movimento, como pode ser visto na Figura 3.5, 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 1 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 2 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 3.6.

### 3.4.3 Filtragem de Dados

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

**Escalaonamento dos ciclos** : O conjunto de dados deve possuir a distribuição de  $M$  amostras de vetores de dimensão  $n$ . Como os dados a serem analisados são sinais, deve-se

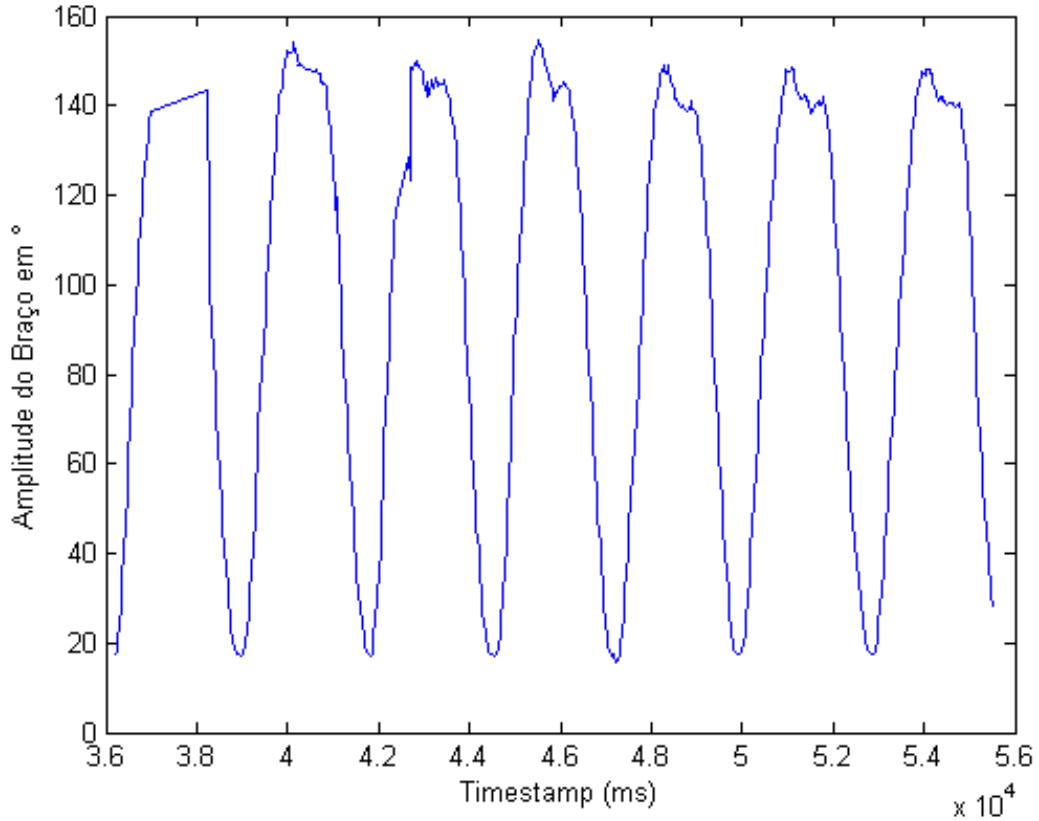


Figura 3.5: Amplitude do movimento de abdução e adução

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 [31]. 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 [100].

**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. 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 [101].

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

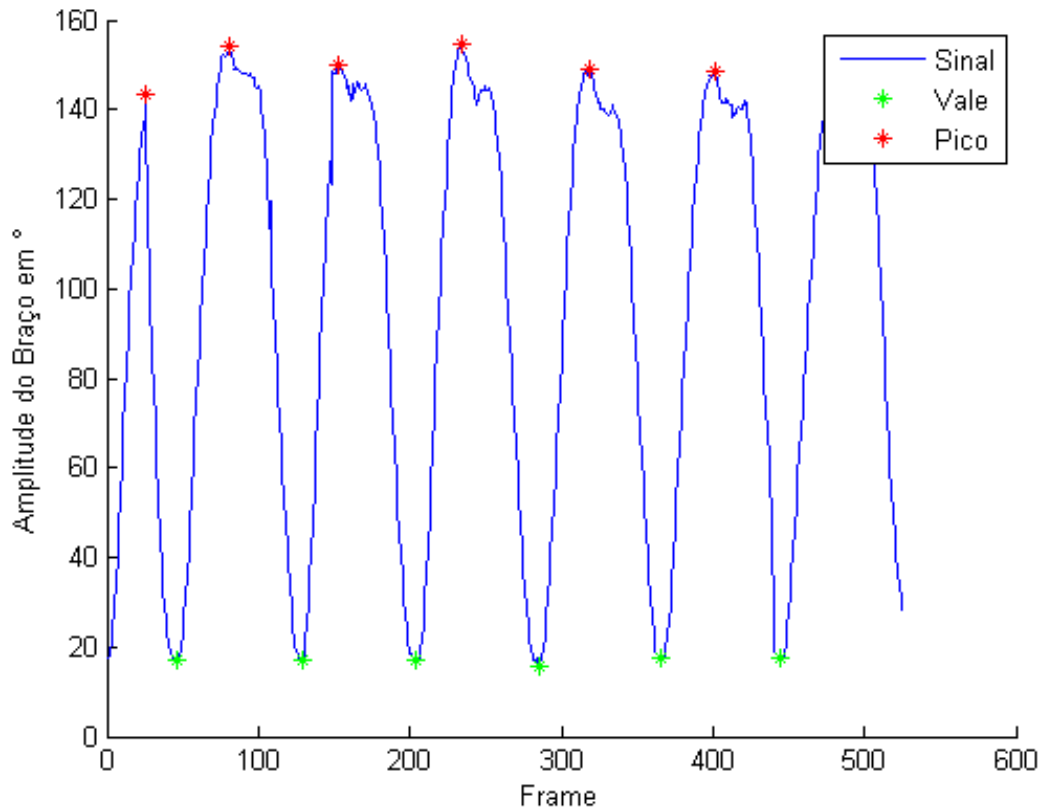


Figura 3.6: Detecção de picos e vales na amplitude do movimento de abdução e adução do braço

**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 [101]. 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.

Como exemplo, tem-se um ciclo de movimento removido (Figura 3.7), com *valor do filtro* = 1 e o *valor da variância* = 2,3078.



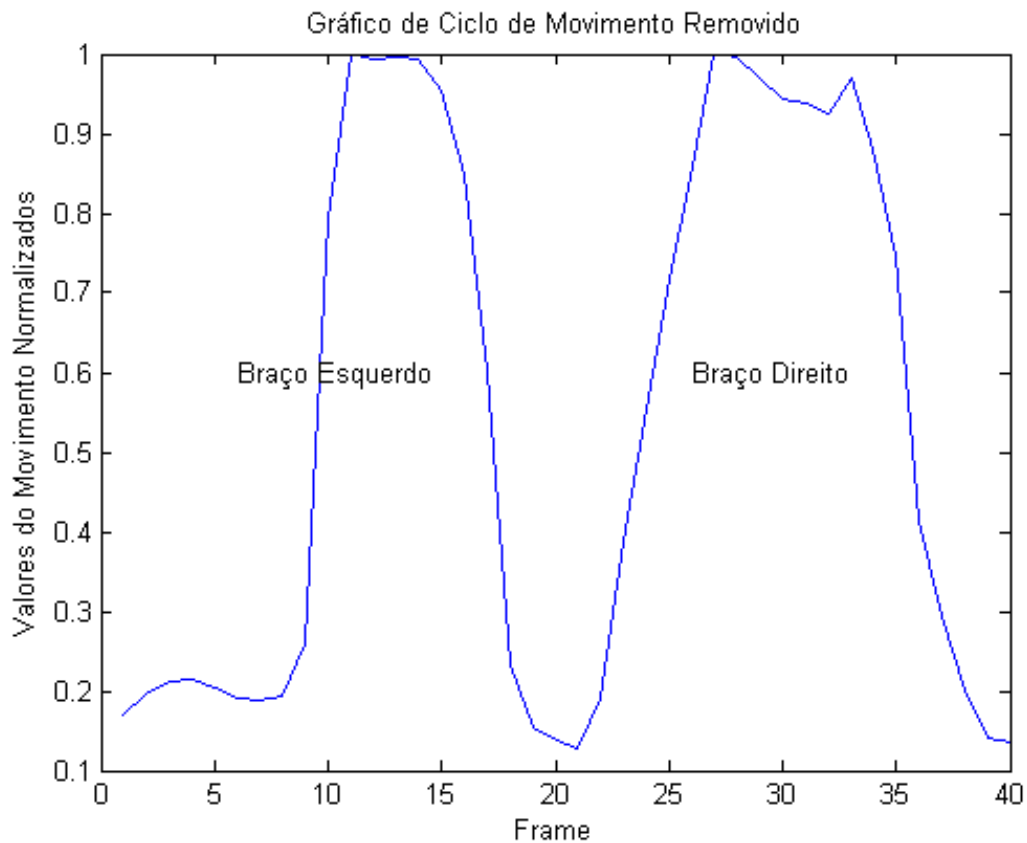


Figura 3.7: Ciclo de movimento removido

### 3.5 Classificação de Dados por Máquina de Aprendizagem

O objetivo de todo esse processo de identificação de ciclos, extração de características e filtragem é justamente facilitar a separação dos dados por máquinas de aprendizagem. A normalização dos ciclos ficou 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*. Com o movimento do braço esquerdo e depois o do direito, têm-se um total de 40 *frames* por ciclo. O motivo pelo qual decidiu-se juntar os ciclos dos braços esquerdo e direito foi justamente para facilitar a identificação da assimetria do movimento presente nos estágios iniciais do Parkinson. Portanto, o classificador é 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, pode-se 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 do indivíduo com diagnóstico do 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 [81]. Dessa maneira, a abordagem pretende auxiliar o profissional de saúde com o fornecimento dessa informação, para que

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 do indivíduo sem diagnóstico do Parkinson

este efetue o acompanhamento e perceba a evolução do quadro clínico do paciente.

### 3.7 Conclusão

Neste capítulo, foram apresentados os requisitos que definiram a visão geral da abordagem JOGUE-ME. Uma seção relevante deste capítulo é como será o processamento dos dados biomecânicos, nesta seção é demonstrada como será a extração de características a partir dos sinais adquiridos por sensores de movimento. Posteriormente, foi apresentada a importância da aprendizagem de máquina neste trabalho para identificar os usuários que possuem problemas motores.

Do ponto de vista clínico, foram citados os parâmetros cinemáticos quantificados que irá auxiliar o profissional de saúde na sua tomada de decisão.

No capítulo seguinte, será apresentada a arquitetura de software que define a implementação da abordagem JOGUE-ME.

## Capítulo 4

### Arquitetura de Software do *JOGUE-ME*

Na concepção da arquitetura desenvolvida para implementar o JOGUE-ME (Figura 4.1), foram definidos 3 elementos básicos: sensor de movimentos para adquirir os sinais motores e enviar ao cliente; cliente JOGUE-ME, que é um jogo que interage com o usuário, induzindo a execução de movimentos para avaliação motora de uma maneira não-invasiva, e envia os dados a um serviço JOGUE-ME; serviço JOGUE-ME, que fica num estado de recebimento de dados e posterior repasse ao processador de dados biomecânicos, que processa e identifica a ocorrência dos sintomas motores por meio de uma máquina de aprendizagem.

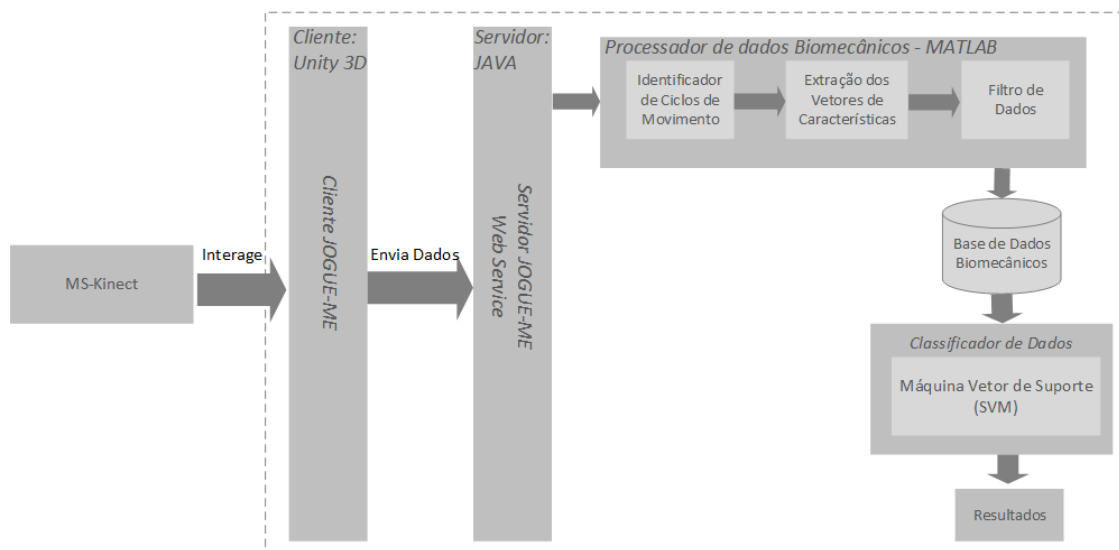


Figura 4.1: Arquitetura de Software

#### 4.1 Arquitetura do *JOGUE-ME*

A arquitetura do JOGUE-ME para o desenvolvimento de jogos utiliza uma *engine* de jogos (Unity3D [92]), que é um ambiente de desenvolvimento de jogos multi-plataforma. Esta

*engine* possibilita que os desenvolvedores abstraia-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 [92] 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, criou-se uma arquitetura de software para o cliente JOGUE-ME (Figura 4.2) que abstrai a complexidade do desenvolvimento de um jogo de monitoramento da saúde.

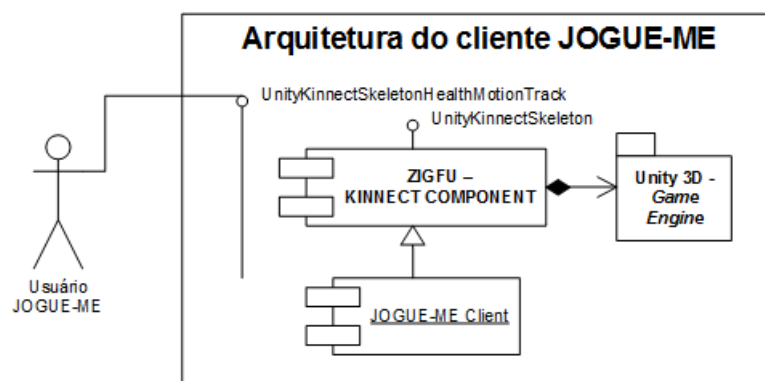


Figura 4.2: Arquitetura JOGUE-ME: módulo cliente de aquisição de sinais motores

Para possibilitar a aquisição de sinais motores, este trabalho herdou do componente (Zigfu [106]) para integrar o Ms-Kinnect [68] como controlador do jogo à *engine* de jogos Unity3D. O Ms-Kinnect [68] é um sensor de captura de movimentos utilizado tanto para o console MS-XBOX 360 quanto para PCs. Ele permite a aquisição dos sinais relativos ao movimento humano e identifica as articulações por meio da posição anatômica do corpo humano [39].

O Zigfu [106] é um componente de software que permite integrar o Ms-Kinnect ao Unity3D. O Zigfu faz um mapeamento das articulações adquiridas pelo Ms-Kinnect, para uma classe chamada *ZigSkeleton*, com todas as articulações, como pode-se visualizar 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, o Zigfu foi estendido na classe *ZigSkeletonHealth* para armazenar as posições das articulações, além de um mecanismo para habilitar ou desabilitar o monitoramento dos sinais (métodos *logOn()* e *logOff()*).

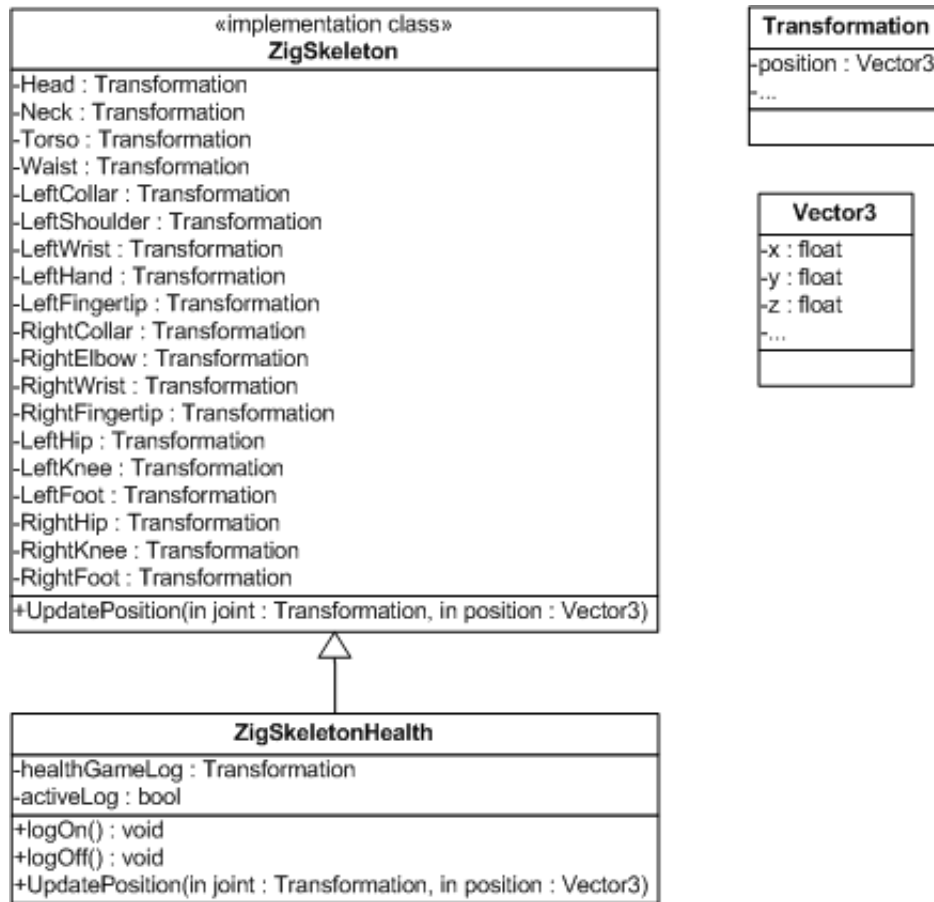


Figura 4.3: Diagrama de classe do ZigSkeleton e ZigSkeletonHealth

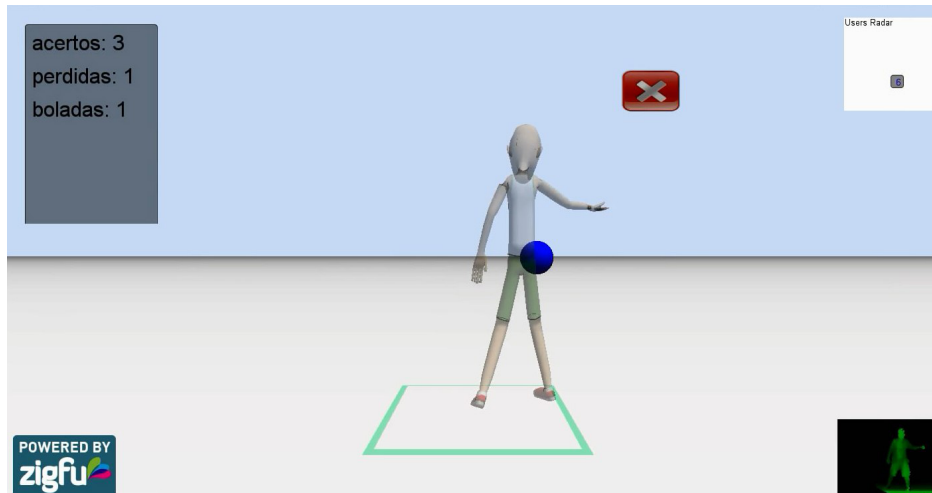
### Jogo: *Catch the Spheres*

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

O *Catch the Spheres* é um jogo em terceira pessoa, em que o jogador, por meio de sua 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 [89], 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), o mecanismo de desvio de bolas foi removido por ter sido considerado inseguro.

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 serviço responsável por receber e armazenar esses sinais. Na abordagem JOGUE-ME, o servidor irá

Figura 4.4: O jogo *Catch the Spheres*

processar os sinais e transformá-los em informação para o profissional de saúde responsável pelo paciente.

#### 4.1.1 Arquitetura do *JOGUE-ME Webservice*

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

O *JOGUE-ME Webservice* é responsável por: criar usuário, receber dados motores, gerenciar arquivos exportá-los para o MATLAB [60] conforme a arquitetura descrita do Diagrama de Classes (Figura 4.5).

O processo inicia com a aquisição dos dados dos sensores, que podem ser enviados para o *webservice* e processados pela classe `ReadingResource` ou enviados por arquivos e processados pela classe `FileManager`, acessada através do `DataManager`. O `ReadingResource` envia os dados recebidos para o `DatabaseManager`, também acessado através do `DataManager`, para armazená-los no *banco de dados* [79]. Na Tabela 4.1, ilustram-se as operações disponibilizadas pelo *webservice* e um exemplo de como os dados devem ser estruturados para cada operação.

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

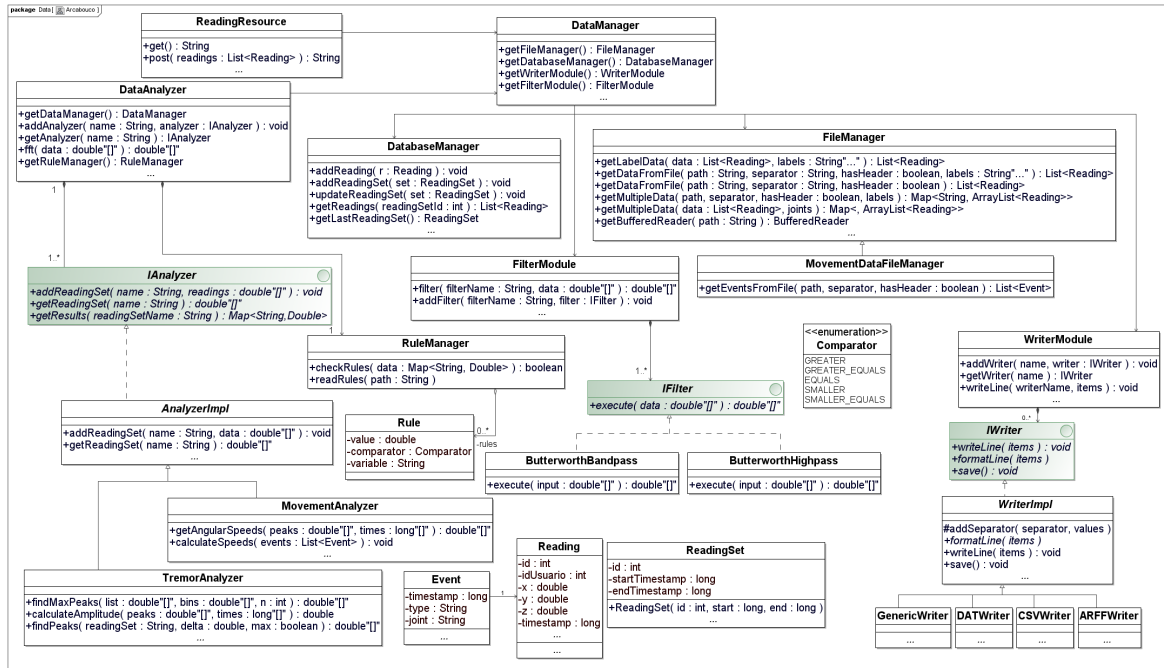


Figura 4.5: Diagrama de Classes do do Serviço JOGUE-ME

## Gerenciador de Dados

O *Gerenciador de Dados* possui submódulos responsáveis por ler, separa e filtrar os dados, além do gerenciá-los usando um Banco de Dados para o armazenamento das informações motoras. A classe *DataManager* implementa as funcionalidades do *Gerenciador de Dados*, referenciando os quatro módulos: *Gerenciador de Arquivos*, *Módulo de Escrita*, *Módulo de Filtragem* e *Gerenciador do Banco de Dados*. Estes módulos serão explicados nas subseções a seguir. A classe *DataManager* possui um construtor *DataManager(DatabaseManager, FileManager, WriterModule, FilterModule)*, que recebe como parâmetros os quatro módulos. Dessa forma, é possível aumentar a funcionalidade de cada um dos módulos estendendo suas respectivas classes por herança e adicionando a elas novos métodos. A classe *MovementDataFileManager*, tratada mais adiante, é um exemplo de extensão do *FileManager*.

O *webservice*, implementado utilizou a biblioteca Jersey<sup>1</sup>, que facilita o desenvolvimento de *RESTful webservices*. As requisições são enviadas para serem processadas pela classe *ReadingResource*, que é um *web resource*, uma entidade que recebe requisições HTTP e envia respostas. Esta classe possui dois métodos, o *get()* que trata requisições *GET*, retornando o identificador do último conjunto de leituras para controle do armazenamento no banco de dados; e o método *post(List<Reading> readings)* processa os dados das

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



Tabela 4.1: Operações disponibilizadas pelo *web service*

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

leituras enviados através de requisições *POST*, e convertidos de JSON para objetos Java pela biblioteca Jersey. A classe `ReadingResource` está acoplada à classe `DataManager` e, através dela, tem acesso ao *Gerenciador do Banco de Dados*. O *webservice* pode ser instalado em qualquer *web container*, como o Apache Tomcat<sup>2</sup> e o GlassFish<sup>3</sup>.

### Gerenciador de Arquivos

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

Os métodos da classe `FileManager` são:

1. `getLabelData(List<Reading> data, String... labels)` filtra os dados da lista de leituras `data`, retornando uma nova lista `List<Reading>` contendo apenas os dados com os rótulos definidos em `labels`.

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

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

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

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

#### 4.1.2 Módulo de Escrita

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

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

1. `formatLine(Object... items)` formata os itens `items` adicionando separadores ou qualquer outra formatação adicional definida na classe específica de escrita que implementa `IWriter` ou estende `WriterImpl`.

---

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

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

2. `writeLine(Object... items)` escreve uma nova linha no arquivo, seguindo a formatação definida pelo método 1.
3. `save()` fecha a *stream* de escrita dedicada ao arquivo e salva o arquivo em disco.

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

## 4.2 Processador de Dados Biomecânicos

Para transformar os sinais em informação, tanto para o profissional de saúde, quanto para máquinas de aprendizagem, é necessário fazer o processamento desse sinal. Neste trabalho, foi implementado o *Processador de Dados Biomecânicos* em MATLAB 2011 [60]. 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* [19]. 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.

De posse dos ciclos, pôde ser identificado quando começam e terminam os movimentos periódicos (Código Fonte 4.1), como, por exemplo, os movimentos sucessivos de adução e abdução do braço (Seção 2.1).

Código Fonte 4.1: Identificar início e término do movimento periódico

```

1 function [WindowBeginLeft, WindowLengthLeft, WindowBeginRight,
   WindowLengthRight] = identifyCycles(leftWristJoint, rightWristJoint)
2     signalLeft = leftWristJoint(:,3);
3     signalRight = rightWristJoint(:,3);
4 
```

```

5     cycleIndexLeft = cycleperiodic(signalLeft , 500, 200, 40);
6     cycleIndexRight = cycleperiodic(signalRight , 500, 200, 40);
7
8     WindowBeginLeft = cycleIndexLeft(1);
9     WindowLengthLeft = cycleIndexLeft(size(cycleIndexLeft,2));
10    WindowBeginRight = cycleIndexRight(1);
11    WindowLengthRight = cycleIndexRight(size(cycleIndexRight,2));

```

## 4.2.2 Extração das Características do Movimento

Supondo que os ciclos de movimento foram identificados através da posição do punho, é necessário 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 4.2. Então, a função *ArmRelativeAngleTorso()* realiza o cálculo do produto escalar entre as três articulações.

Código Fonte 4.2: 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 calcular a velocidade angular do movimento de abdução e adução do braço (Código Fonte: 4.3).

Código Fonte 4.3: Calcular velocidade angular da 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 Filtro 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: 4.4).

Código Fonte 4.4: Filtro para remoção de ciclos

```
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 4.5 demonstra como fazer a classificação dos dados utilizando o *Matlab Statistics Toolbox* [60], 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 predizer 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 4.5: Uso da SVM 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);
```

## 4.4 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os passos da implementação de um JOGUE-ME para o monitoramento do sinal da bradicinesia presente no Parkinson.

Foi apresentado o design da arquitetura tanto do cliente quanto do serviço de recebimento de requisições, processamento do sinal e identificação do sintoma da bradicinesia [81] presente no Parkinson. Demonstrou-se neste capítulo detalhes da implementação para que este trabalho possa ser replicado para outras análises motoras.

No capítulo seguinte, é apresentado os experimentos realizados para avaliar este trabalho referentes a: perspectiva do profissional de saúde e suas necessidades, resultado da identificação do sintoma da bradicinesia no estudo analítico de caso-controle e a avaliação dos pacientes com Parkinson quanto a abordagem de monitoramento dos sinais motores usando jogos eletrônicos.

# 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, será apresentado o SMS implementado, nesta tese, que induz a execução de movimentos para um monitoramento não invasivo de um sintoma do Parkinson com uma taxa de acurácia de 86,67%.

### 5.1 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 [33]. 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, é encerrado quando se atinge a “saturação teórica”, ou seja, quando o avanço na codificação não resulta na aquisição de novos conhecimentos [33].

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 [33].

Para auxiliar no processo de análise, seleção e codificação, foi utilizada uma ferramenta de suporte à pesquisa qualitativa (*QDA Miner* [76]) e, por meio desta, foi possível categorizar e reformular a árvore de categorias [33] diversas vezes durante o processo de análise [33].

### 5.1.1 Objetivo da Entrevista Semiestruturada

O objetivo da entrevista semiestruturada [33] 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 [33].

### 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 [76] 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 **QUESTÃO 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 [81; 40] e na tabela UPDRS [32], 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 [96; 28] em relação ao diagnóstico de exclusão do Parkinson [81; 40].

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 pode-se 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* [32] 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 [81] 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 [29].

**[FRAGMENTO-04][NEU\_01]** - *É necessário observar, porque o tremor é, as 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 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 [32] 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 pôde-se 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 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 [69]. 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 [70; 107].

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 [87]. 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 [33].

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 [96; 49; 53].

**REQ-ENTREVISTAS-02:** Identificar a bradicinesia [74].

**REQ-ENTREVISTAS-03:** Avaliar bradicinesia usando *finger-tapping* [78].

**REQ-ENTREVISTAS-04:** Considerar e identificar a assimetria do movimento nos estágios iniciais [40].

**REQ-ENTREVISTAS-05:** Fornecer mecanismos para possibilitar o Diagnóstico Diferencial [81] da Doença de Parkinson.

**REQ-ENTREVISTAS-06:** Analisar a Marcha [91]. 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. Por este motivo, foi desenvolvido um jogo para *Smartphone* que pudesse quantificar o tremor (Figura 5.1). Porém, no teste junto aos usuários, foi



percebido que, no momento do uso, os pacientes 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.
- O REQ-ENTREVISTAS-09 não foi possível, pois, por envolver estado emocional e parâmetros que não está sendo 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 da 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, pode-se validar qualitativamente a *QUESTÃO 1* da pesquisa.

Tabela 5.2: Matriz de Rastreabilidade: fragmento x requisitos

<b>FRAGMENTOS / REQUISITOS</b>	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

<b>REQUISITO</b>	<b>IMPLEMENTADO</b>	<b>INVIABILIDADE TÉCNICA</b>
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 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, analisou-se o sensor de movimento MS-Kinnect [68] para avaliar a possibilidade de aquisição de dados de saúde, baseada na Cinemática Linear do Movimento Humano [62]. A partir dos resultados obtidos, pôde-se avaliar a normalidade e a dificuldade na execução de movimentos, como, por exemplo, levantar um braço [62].

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 indução imposta pelo 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 [32], 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 [62], que podem ser incorporados a um jogo eletrônico. Foi utilizado um jogo implementado com a arquitetura 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 [62], 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 [39]. Através dos resultados obtidos, conseguiu-se 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.

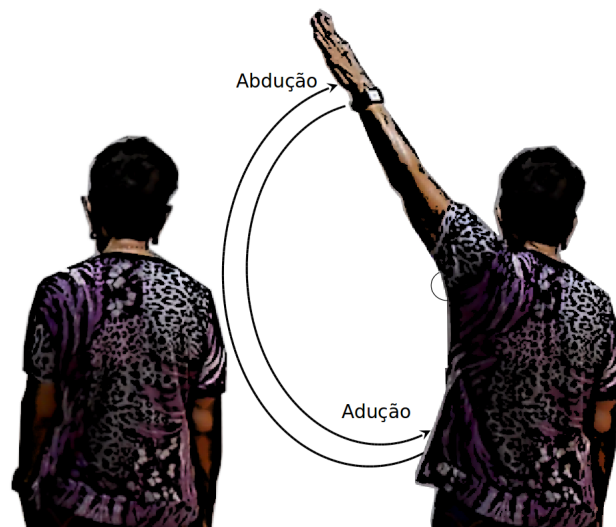


Figura 5.2: Movimentos de abdução e adução

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

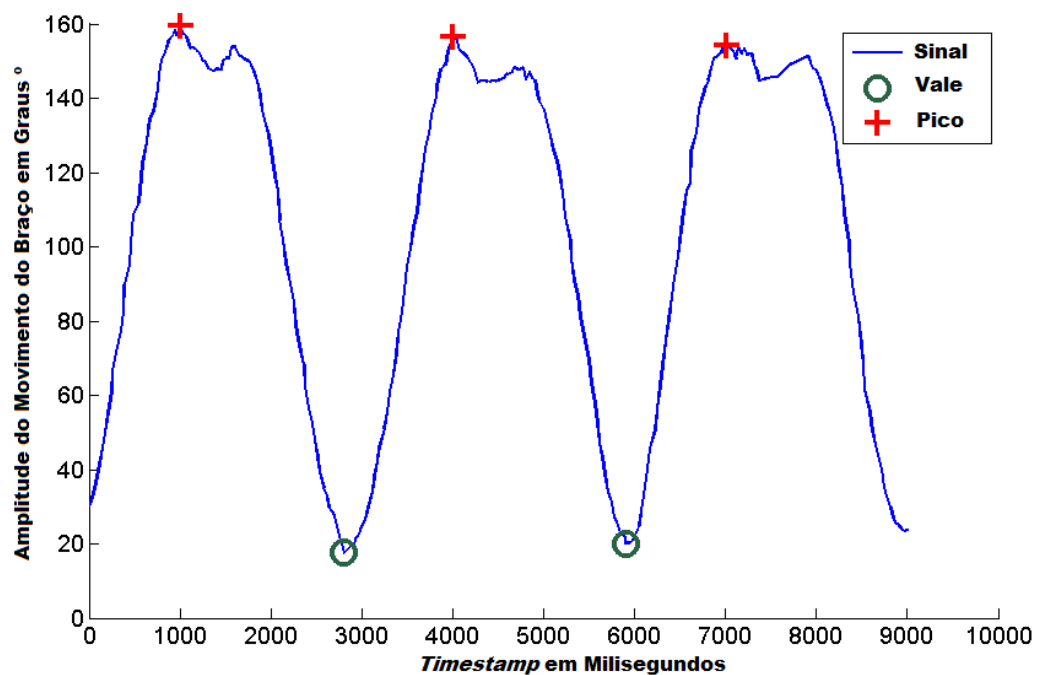


Figura 5.3: Exemplo do gráfico dos ângulos de adução e abdução dos braços em função do tempo

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 [48].

### **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).

### **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.

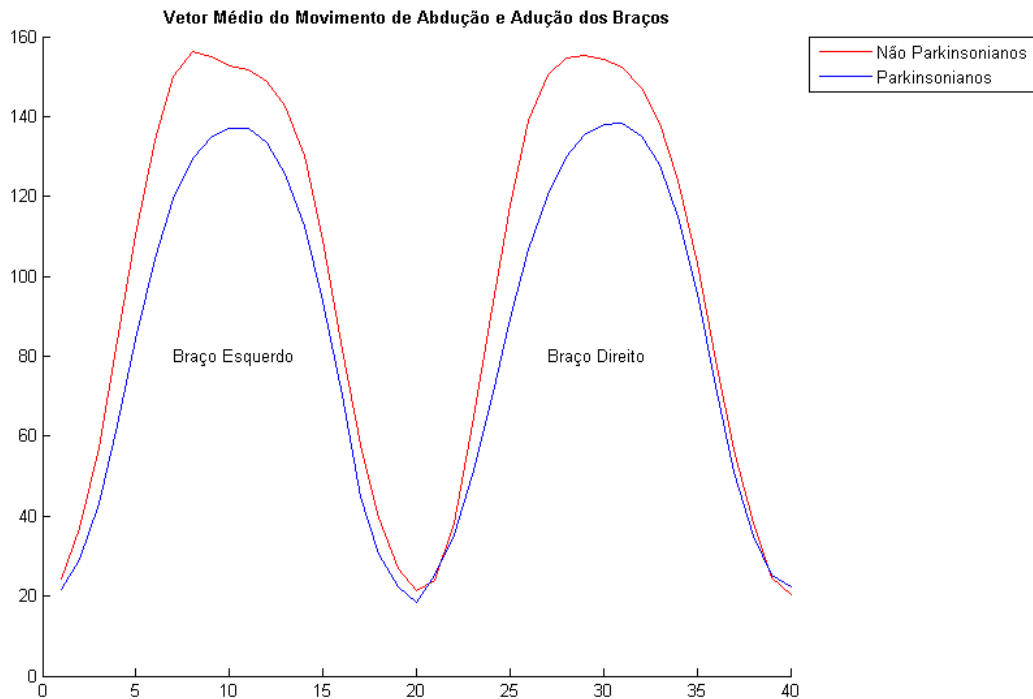


Figura 5.4: Vetor médio do movimento de abdução e adução

### Matriz de Confusão e Suas Métricas

Para avaliar o resultado da classificação, será apresentada a **matriz de confusão** [48], 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* [48].



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* [54] usando validação cruzada *Leave-One-Out* (LOOCV) [48]. 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 aplicou-se 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, realizou-se 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, conseguiu-se uma classificação nos dados em que a pior predição obteve uma acurácia de 70,00% e a melhor, de 86,67%. Conseguiu-se também um baixo valor de *FpRate*, com 6,67% no melhor dos casos (Figura 5.6). Usando o método *grid-search*, foi identificado como melhor valor para os parâmetros:  $C = 2$  e  $\gamma = 3$ . Como analisado nos 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*.

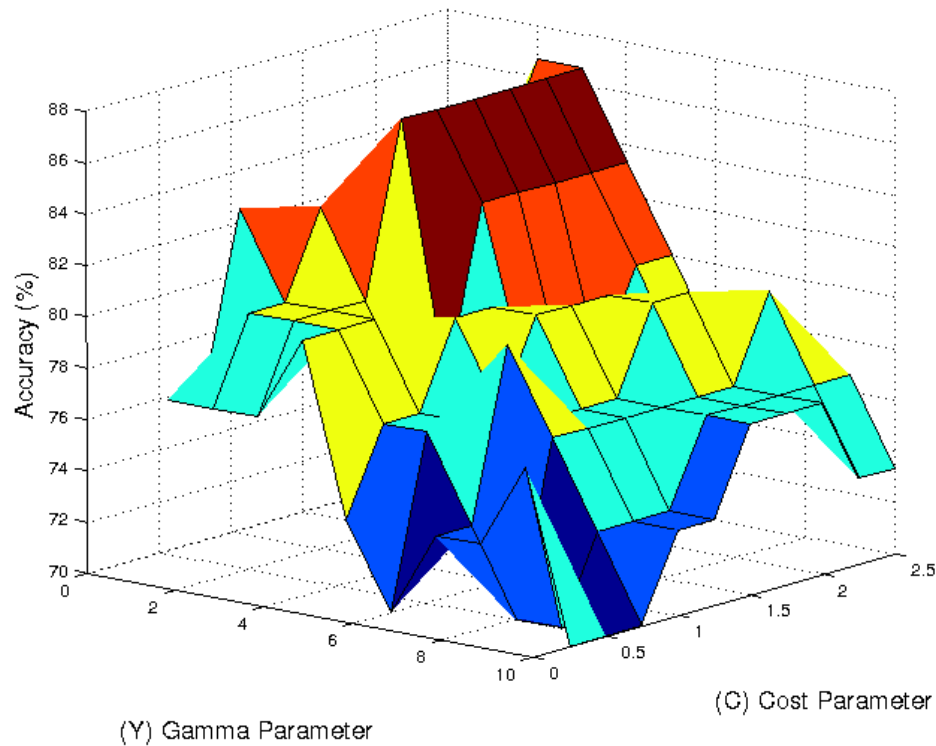


Figura 5.5: *Grid-search* - acurácia da classificação

### 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, percebeu-se 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 usando 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 [48]. Na

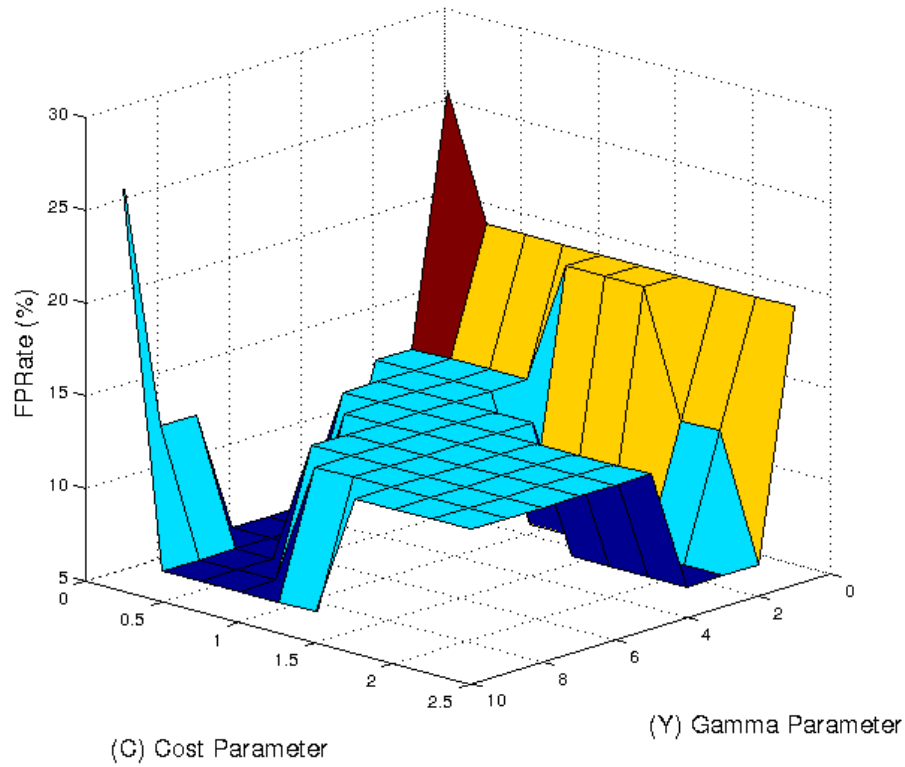


Figura 5.6: *Grid-search - fpRate*

Tabela 5.7, pode-se avaliar a severidade do sinal motor causado pela bradicinesia, em que o Grupo com Parkinson apresentou amplitudes bem menores ante os indivíduos do Grupo Controle. Nota-se também que o indivíduo “Controle 10” apresentou uma amplitude muito semelhante aos do Grupo com Parkinson. Neste caso, foi identificado 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, pode-se 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 [48].

***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 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) [86]. Essa abordagem é um paradigma de pesquisa utilizado na Engenharia de Software para medição de processos de software e melhoria contínua dos produtos [80; 70]. A qualidade do produto de software [80] 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 [70].

O GQM é um paradigma de avaliação orientado por metas e tem como componentes elementares: objetivos, questionamentos e métricas [80]. 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 [86].

Segundo Saraiva [80], 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.

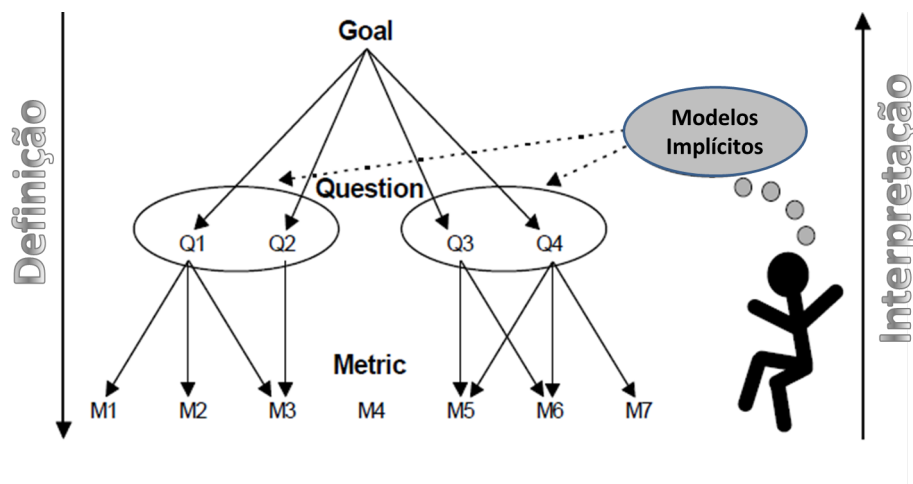


Figura 5.7: O Paradigma GQM [86]

- **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) [70], 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 [70].

### 5.3.1 Aplicação do Método

Nessa QUESTÃO 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 30 usuários deram as seguintes respostas nas Métricas (1.1, 1.2, 1.3,1.4,1.5 e 1.6): 73,33% dos usuário atribuíram ao menos nota 4 (de 1 a 5) ao grau de diversão do jogo; 90,00% sentiram-se motivados com o jogo; 53,33% dos usuários jogariam 3 vezes por semana, 26,67% jogariam todos os dias e apenas 20% 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, 90% 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, 76,67% dos usuários consideraram o jogo seguro para essa faixa etária, muito embora os mesmos usuários classificaram o jogo com a faixa etária “livre”, com 90% de ocorrência.

Tabela 5.9: Métricas avaliadas pelo GQM

Métrica	Sim	Não
1.2: O jogo traz motivação ao usuário?	90,00%	10,00%
1.4: O usuário considera o jogo simples, sem muitas regras e de fácil entendimento? Ele pode ser aplicado em diferentes idades?	93,33%	6,67%
1.5: O usuário tem o costume de jogar esses jogos casuais em casa?	53,33%	46,66%
1.6: O usuário agregaria um jogo desse estilo em sua rotina diária?	80%	20%
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?	76,66%	23,33%

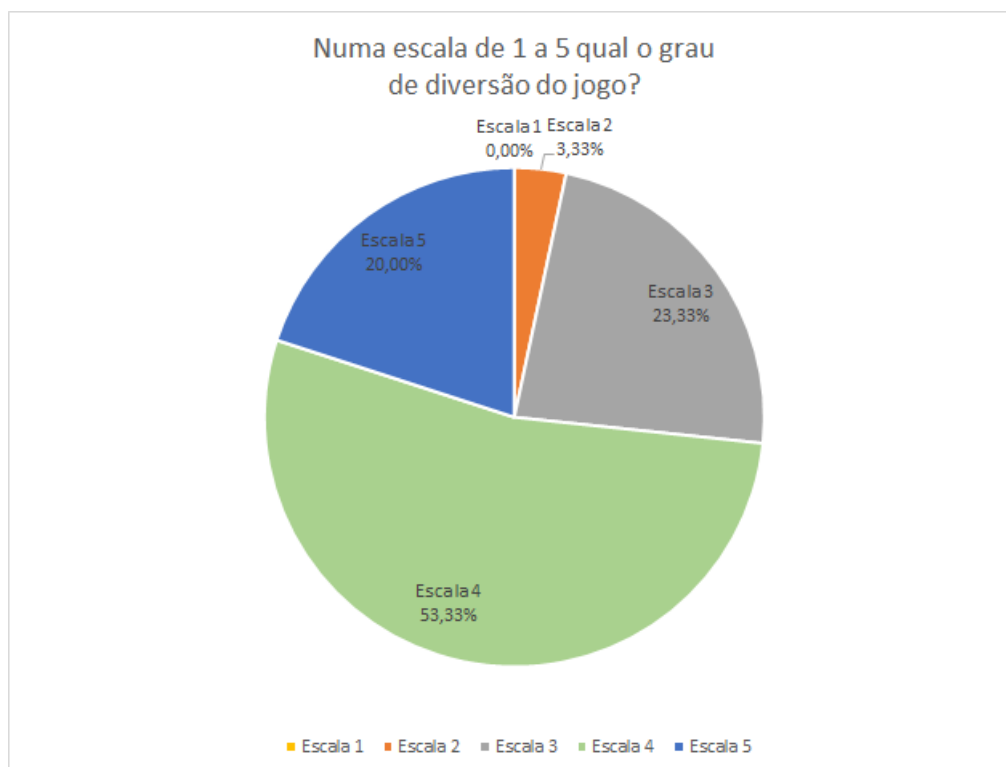


Figura 5.8: Resultado da pergunta 1



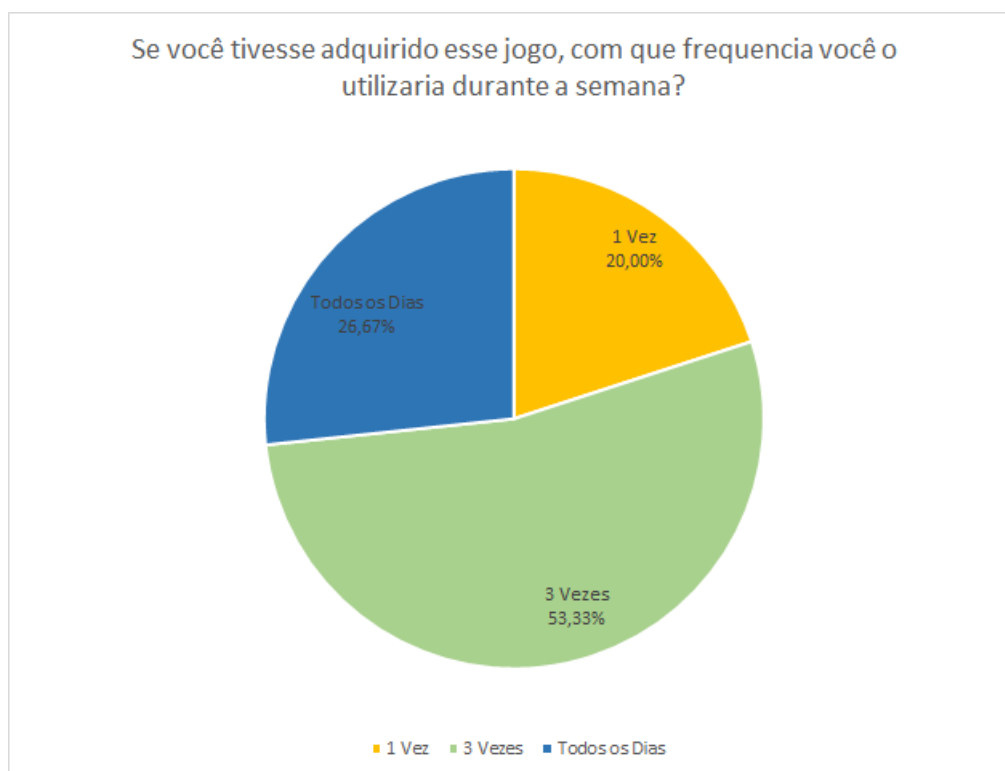


Figura 5.9: Resultado da pergunta 3

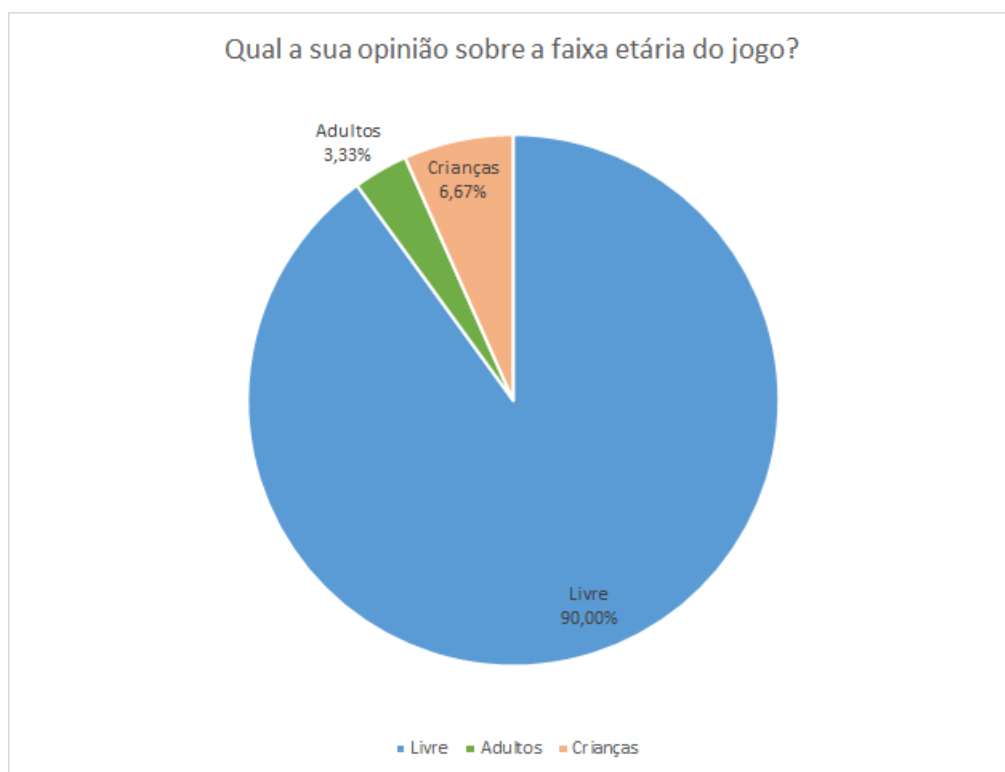


Figura 5.10: Resultado da pergunta 10

De acordo com o resultado da avaliação dos usuários usando GQM, 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 acompanhamento do tratamento medicamentoso a partir dos dados biomecânicos quantificados. Logo, o principal objetivo da tese foi atingido, 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. Na Seção 6.1 são apresentadas as conclusões desta tese juntamente com os resultados alcançados. Na Seção 6.2 são apresentadas as limitações encontradas durante os experimentos. Já na Seção 6.3 são propostos possíveis trabalhos futuros. Por fim, na Seção 6.4, são listadas as publicações em conferências internacionais provenientes deste trabalho.

### 6.1 Conclusões

O objetivo deste trabalho foi prover um mecanismo de monitoramento dos sinais motores que induzisse o indivíduo a executar movimentos específicos para avaliação motora de uma maneira não-invasiva. Por este motivo, nesta tese, foi definida e implementada uma arquitetura de *software* que proporcionou usar jogos eletrônicos como um mecanismo para induzir e motivar os usuários a executar movimentos monitoráveis.

Como detalhado no Capítulo 5, os experimentos realizados para avaliar a tese consideraram as questões definidas na metodologia (Seção 1.5), são elas:

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

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

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

Referente à *Questão 1*, obteve-se como resultado a necessidade de mensurar a amplitude do movimento, e a sua respectiva velocidade angular, com o propósito de monitorar sinais motores da Doença de Parkinson (Seção 5.1).

Na avaliação da *Questão 2*, por meio de um estudo caso-controle, usando aprendizagem de máquina, obteve-se a viabilidade da arquitetura implementada com um jogo para o monitoramento do sintoma de bradicinesia do Parkinson. Como resultado, atingiu-se uma taxa de acurácia de 86,67% e falsos positivos de 6,67% . Portanto, conclui-se que a arquitetura de *software* implementada nesta tese, permitiu quantificar as complicações motoras num estudo de caso-controle e identificar a ocorrência do sintoma da bradicinesia. Considera-se que este é um resultado bastante relevante.

Por fim, na *Questão 3*, avaliou-se a integração dos pacientes com Parkinson ao monitoramento da saúde, usando jogos eletrônicos. Utilizou-se, nesta avaliação, a análise *Goal, Question, Metric* (GQM) para avaliar se o monitoramento desenvolvido era não-invasivo e integrado a rotina diária dos usuários. As métricas obtidas nesta análise quantificaram que um percentual de 83% dos avaliados integrariam este monitoramento em sua rotina; 91,67% dos avaliados consideraram o jogo simples e de fácil entendimento, o que facilita a inclusão de idosos; e 76,67% dos avaliados consideraram o jogo seguro para os idosos.

Deve-se considerar que as métricas obtidas nessa pesquisa foram extraídas de um jogo desenvolvido com baixo custo. Caso este fosse aperfeiçoado, possivelmente a aceitabilidade da abordagem de monitoramento fosse ainda maior. Portanto, diante desses resultados, conseguiu-se atingir o principal objetivo deste trabalho, ao permitir que indivíduos com comprometimento motor pudessem ser monitorados de maneira não-invasiva e no conforto de seus lares.

## 6.2 Limitações do Trabalho

A avaliação motora realizada neste trabalho foi o método utilizado para diferenciar os movimentos executados de indivíduos diagnosticados com o Parkinson ante os indivíduos do grupo controle. Esta tese não pretende estabelecer um diagnóstico para o Parkinson, ou até mesmo provar que os movimentos utilizados pelos participantes da pesquisa servem como diagnóstico. No entanto, esta tese consegue quantificar as diferenças entre os dois grupos no experimento com o jogo eletrônico e identificar a ocorrência do sintoma da bradicinesia presente no Parkinson.

Com os resultados obtidos, pressupõe-se que esta abordagem pode ser aplicada a outras doenças motoras. No entanto, somente foi avaliados os indivíduos com Parkinson e os de grupo controle.

## 6.3 Trabalhos Futuros

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

- Coletar uma amostra maior de pacientes com Parkinson, agrupá-los de acordo com o estágio da doença e aplicar técnicas de multi-classificação de dados [21] para identificar o progresso do Parkinson de acordo com as escalas de avaliação [37].
- Comparar o sinal da bradicinesia em diferente momentos do dia para monitorar a eficácia do tratamento medicamentoso e identificar as ocorrências das flutuações motoras<sup>1</sup>.
- Quantificar o sinal de tremor de repouso<sup>2</sup> nos membros superiores, no momento em que o usuário esteja desatento.

## 6.4 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) [65];
- *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) [64];
- *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) [63].

---

<sup>1</sup>Respostas motoras flutuantes ao tratamento medicamentoso, com encurtamento da duração de seu efeito (fenômeno do *wearing off*) e interrupção súbita de sua ação [81].

<sup>2</sup>O tremor de repouso é característico do Parkinson e ocorre quando o indivíduo está parado ou desatento [81].

# 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] ACM: *SAC Track on HealthCare - A Growing Scenario for Applied Computing*. Disponível em: <http://www.sigapp.org/sac/sac2016/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [4] Ahmed, Mobayen 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.
- [5] Albanese, Alberto e Joseph Jankovic: *Distinguishing Clinical Features of Hyperkinetic Disorders*. Wiley-Blackwell, 2011, ISBN 978-1-44434-618-3.
- [6] Alemdar, Hande e Cem Ersoy: *Wireless Sensor Networks For Healthcare: A Survey*. Computer Networks, 54(15), 2010, ISSN 1389-1286.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] Association, Entertainment Software: *Essential Facts About The U.S. Computer And Video Game Industry*. Relatório Técnico, ESA, 2011.
- [11] Association, Entertainment Software: *Essential Facts About The Computer And Video Game Industry: 2016 Sales, Demographic And Usage Data*. Relatório Técnico, ESA, 2016.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Barbosa, Gustavo José: *Reconhecimento de Atividades Humanas Através de um Smartphone*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, 2014.
- [16] Bardram, Jakob: *Pervasive Healthcare as a Scientific Discipline*. *Methods of Information in Medicine*, 2008, ISSN 0026-1270.
- [17] 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.
- [18] Bhattacharya, Ipsita e Meetu Bhatia: *SVM Classification to Distinguish Parkinson Disease Patients*. Em *Proceedings of the 1st Amrita ACM-W Celebration on Women in Computing in India*. ACM, 2010, ISBN 978-1-4503-0194-7.
- [19] Billauer, Eli: *Peak Detection in Matlab. Software*, Disponível em: <http://www.billauer.co.il/peakdet.html>, 2012. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [20] Bragatto, Ticiano, Gabriel Ruas e Marcus Lamar: *Uma Comparação Entre Redes Neurais Artificiais E Máquinas De Vetores De Suporte Para Reconhecimento De Posturas Manuais em Tempo-Real*. Em *Congresso Brasileiro De Redes Neurais*, 2007, ISBN 0329-5184.

- [21] Chamaseamani, 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Codreanu, Ioana e Adina Florea: *A Proposed Serious Game Architecture to Self-Management HealthCare for Older Adults*. Em *International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing*, 2015, ISBN 978-1-5090-0461-4.
- [25] 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.
- [26] Computação, Sociedade Brasileira de: *SBC*. Disponível em: [www.sbc.org.br](http://www.sbc.org.br), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Do, Stewart e William Weiner: *Parkinson's Disease: Diagnosis Clinical Management*. Demos Medical Publishing, 2ª edição, 2007, ISBN 193-386-400-1.
- [30] Erickson, Kirk, Regina Leckie e Andrea Weinstein: *Physical Activity, Fitness, and Gray Matter Volume*. *Neurobiology of Aging*, 2014, ISSN 0197-4580. *Proceedings of International Conference on Nutrition and the Brain*.
- [31] Espejo, Mariano Ruiz: *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, 167(2), 2004, ISSN 1467-9868.



- [32] Fish, Jessica: *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*. Springer, 2011, ISBN 978-0-387-79948-3.
- [33] Flick, U.: *Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa*. Bookman, 2ª edição, 2004, ISBN 978-853630-414-4.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] Hamill, Joseph e Kathleen Knutzen: *Bases Biomecânicas do Movimento Humano*. Manole, 3ª edição, 2012, ISBN 978-852042-356-1.
- [40] 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.
- [41] 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, 2015, ISSN 1353-8020.
- [42] IEEE: *Enabling Technologies in Parkinson's Disease Management*. Disponível em: <http://jbhi.embs.org/special-issues/enabling-technologies-parkinsons-disease-management/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [43] IEEE: *International Conference on E-Health Networking, Application & Services*. Disponível em: <http://ieeehealthcom2016.com>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

- [44] IEEE: *International Symposium on Computer-Based Medical Systems*. Disponível em: [cbms2016.org](http://cbms2016.org), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [45] IEEE: *Journal of Biomedical and Health Informatics*. Disponível em: <http://jbhi.embs.org/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [46] IEEE: *Transactions on Biomedical Engineering*. Disponível em: <http://tbme.embs.org/>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [47] Jankovic, Joseph: *Parkinson's Disease: Clinical Features And Diagnosis*. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 79(4), 2008, ISSN 0022-3050.
- [48] Kantardzic, Mehmed: *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. John Wiley & Sons, 3ª edição, 2011, ISBN 978-111802-913-8.
- [49] Keijsers, Noël, Martin Horstink e Stan Gielen: *Ambulatory Motor Assessment In Parkinson's Disease*. Movement Disorders, 21, 2006, ISSN 1531-8257.
- [50] Kim, Bona, Jeff Baldwin, Kara Lukasiewicz, Mark Hallett, John Harrington, Anne Altemus e Codrin Lungu: *Development of Tablet Device App for Parkinson's Disease Patients' Continuous Self-Monitoring and Management*. Neuroscience and Biomedical Engineering, 2015, ISSN 2213-3860.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] LeMoyne, 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.
- [54] 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.

- [55] Li, Saiyi e Pubudu Pathirana: *Cloud-based non-invasive tele-rehabilitation exercise monitoring*. Em *Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, Dec 2014, ISBN 1476-4687.
- [56] 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.
- [57] Lones, Michael, Stephen Smith, Jane Alty, Stuart Lacy, Katherine Possin, Jamieson e Andy Tyrrell: *Evolving Classifiers to Recognize the Movement Characteristics of Parkinson's Disease Patients*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18(4):559–576, 2014, ISSN 1089-778X.
- [58] 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.
- [59] Manzanera, Octavio, Elizabeth Roosma, Martijn Beudel, 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.
- [60] Mathworks: *Matlab R2015a. Software*, Disponível em: <http://mathworks.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [61] 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), 2015, ISSN 2160-6455.
- [62] McGinnis, Peter: *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, 3ª edição, 2013, ISBN 978-073607-966-2.
- [63] 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.
- [64] 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.

- [65] 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.
- [66] Meneses, Murilo e Hélio Teive: *Doença De Parkinson*. Guanabara Koogan, 3  ed  o, 2003, ISBN 8527708159.
- [67] Meyer, Carl: *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, USA, 2000, ISBN 0-89871-454-0.
- [68] Microsoft: *Ms-Kinect*. Disponível em: <http://www.xbox.com/pt-BR/kinect>, 2012.  ltimo acesso: 3 de Junho de 2016.
- [69] 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.
- [70] Oliveira Bastos Junior, Paulo Roberto de: *Elicitação de Requisitos de Software Através da Utilização de Question rios*. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.
- [71] Organization, World Health: *Global Health and Ageing*. Relatório Técnico, US National Institute of Aging, 2011.
- [72] Oung, Qi, Hariharan Muthusamy, Hoi Lee, Shafriza Basah, Sazali Yaacob, Mohamed Sarillee e Chia Lee: *Technologies for Assessment of Motor Disorders in Parkinson's Disease: A Review*. *Sensors*, 15(9), 2015, ISSN 1424-8220.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] Postuma, Ronald, Daniela Berg, Matthew Stern, Werner Poewe, Warren Olanow, Wolfgang Oertel, José Obeso, Kenneth Marek, Irene Litvan, Anthony Lang, Glenda Halliday, Christopher Goetz, Thomas Gasser Bruno Dubois, Piu Chan, Bastiaan Bloem, Charles Adler e Gunther Deuschl: *MDS Clinical Diagnostic Criteria for Parkinson's Disease*. *Movement Disorders*, 2015, ISSN 1531-8257.

- [76] 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.
- [77] Rowland, Lewis: *Tratado De Neurologia*. Guanabara Koogan, 10ª edição, 2011, ISBN 8527707357.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] 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.
- [81] Saúde, Ministério da: *Protocolo Clínico E Diretrizes Terapêuticas - Doença De Parkinson - Portaria SAS/MS Nº 228*. Relatório Técnico, Sistema Único de Saúde, 2010.
- [82] SBC: *Workshop de Informática Médica*. Disponível em: <http://www.csbc2016.com.br/!blank-2/q8wct>, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [83] 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.
- [84] 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.
- [85] Smith, Stephen, Michael Lones, Matthew Bedder, Jane Alty, Jeremy Cosgrove, Richard Maguire, 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.

- [86] 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.
- [87] Sommerville, Ian: *Engenharia de Software*. Addison Wesley Bra, 2011, ISBN 978-858863-928-7.
- [88] 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.
- [89] Sweetser, Penelope e Peta Wyeth: *GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games*. Computing Entertainment, 3(3), 2005, ISSN 1544-3574.
- [90] 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.
- [91] Tao, Weijun, Tao Liu, Rencheng Zheng e Hutian Feng: *Gait Analysis Using Wearable Sensors*. Sensors, 12(12), 2012, ISSN 1424-8220.
- [92] Technologies, Unity: *Unity 3D 3.0. Software*, Disponível em: <http://unity3d.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [93] Association for Computing Machinery: ACM. Disponível em: [www.acm.org](http://www.acm.org), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [94] Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE. Disponível em: [www.ieee.org](http://www.ieee.org), 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [95] 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.
- [96] Tolosa, Eduardo, Gregor Wenning e Werner Poewe: *The Diagnosis Of Parkinson's Disease*. The Lancet Neurology, 5(1), 2006, ISSN 1474-4422.
- [97] Tsunoda, Makoto, Masaaki Hirayama, Takao Tsuda e Kinji Ohno: *Noninvasive Monitoring Of Plasma L-dopa Concentrations Using Sweat Samples In Parkinson's Disease*. Clinica Chimica Acta, 2015, ISSN 0009-8981.
- [98] Vapnik, Vladimir: *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer-Verlag New York, Inc., 2ª edição, 2000, ISBN 978-1-4757-3264-1.

- [99] Vichayanrat, Eva Stuebnerand Ekawat, David Low, Chirstopher Mathias, Stefan Isenmann e Carl Albrecht Haensch: *Twenty-four hour non-invasive ambulatory blood pressure and heart rate monitoring in Parkinson's Disease*. *Frontiers In Neurology*, 4, 2013, ISSN 1664-2295.
- [100] Vicini, Lorena: *Análise Multivariada Da Teoria À Prática*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [101] Wasserman, Larry: *All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1ª edição, 2010, ISBN 978-144192-322-6.
- [102] Witten, Ian, Eibe Frank e Mark Hall: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, 3ª edição, 2011, ISBN 9780123748560.
- [103] Xu, Huan, Constantine Caramanis e Shie Mannor: *Robustness and Regularization of Support Vector Machines*. *Journal of Machine Learning Research*, 10, 2009, ISSN 1532-4435.
- [104] Yang, Ke, Wei Xi Xiong, Eng Tao Liu, Yi Min Sun, Susan Luo, Zheng Tong Ding, Jian Jun Wu e Jian Wang: *Objective And Quantitative Assessment Of Motor Function In Parkinson's Disease-from The Perspective Of Practical Applications*. *Annals of Translational Medicine*, 4(5), 2016, ISSN 2305-5847.
- [105] Zavala-Ibarra, Iván e Jesus Favela: *Ambient Videogames for Health Monitoring in Older Adults*. Em *International Conference on Intelligent Environments*, IE '12. IEEE Computer Society, 2012, ISBN 978-0-7695-4741-1.
- [106] Zigfu: *Zigfu 4.0. Software*, Disponível em: <http://zigfu.com/>. Último acesso: 3 de Junho de 2016.
- [107] 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.
- [108] 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 em Pesquisa

### 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 [53] 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 [28; 96]. 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 [96; 28].

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 [81]. Além do mais, um diagnóstico auxiliar importante é a resposta dos pacientes aos medicamentos antiparkinsonianos tal como a levodopa [81]. 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 [77] 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 [66]. 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 [81].

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 [28]. 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 [28].

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 [81] e estima-se que a taxa de morte dos neurônios dopaminérgicos da substância negra situa-se ao redor de 10% ao ano [40]. 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 [81].

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 [51; 74].

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 [28].

A partir dos tratamentos para o Parkinson, foram criadas escalas de avaliação do progresso da doença [32; 37]. 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 [32; 37]. Sendo assim, foi criada em 1987 a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (Unified Parkinson’s Disease Rating Scale – UPDRS) [32] 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 [37].

Na UPDRS a evolução do Parkinson é classificada nas seguintes fases [32]:

- **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 [51; 90; 74].

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 [6]. 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 [90; 53] 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*” [10] 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 [88]. 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 [14; 5; 13; 23; 74]. 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 [89].

## 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 [32].

### 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 [32], 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.

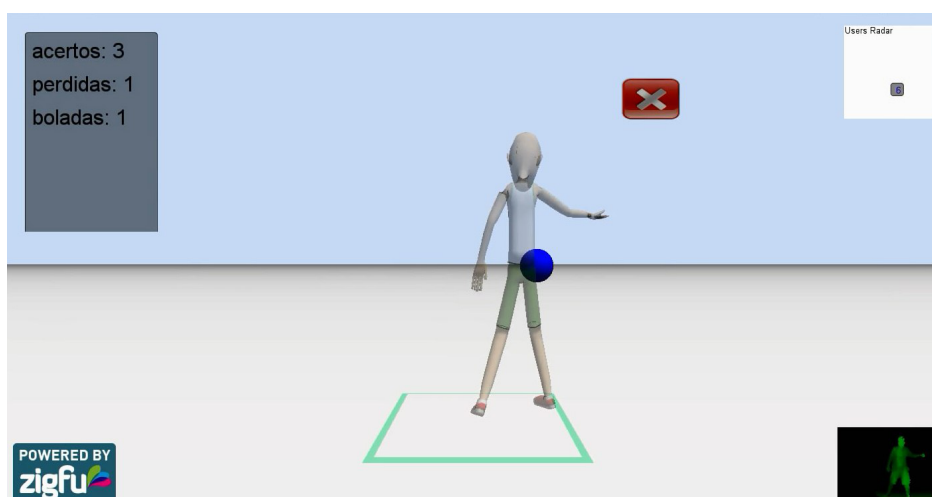


Figura A.1: O jogo *Catch the Spheres*

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 em Pesquisa 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 [86]. Os participantes da pesquisa serão convidados a responder o questionário GQM para avaliar se o jogo permite monitorar dados motores de forma não invasiva podendo estar integrado a rotina diária das pessoas.

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

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

Os voluntários da pesquisa deverão executar os seguintes procedimentos:

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

## ANÁLISE DE DADOS

### A.5.7 Base de Dados

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

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

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

### **A.5.9 Confidencialidade**

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

### **A.5.10 Critérios Para Interromper a Pesquisa**

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

### **A.5.11 Relação Risco Benefício da Pesquisa**

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

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

O risco se justifica pelos benefícios que a pesquisa poderá trazer com a possibilidade de monitoramento dos sintomas 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 Comitê Ética em Pesquisa, 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 Semiestruturada**

### **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 [40]. 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, cerebela-  
res 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 [17] 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 [86]. 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.