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 Com- putação 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

c Leonardo Melo de Medeiros, Julho - 2016

Resumo

Os Sistemas de Monitoramento da Saúde (SMS) possibilitam aos médicos obterem informa- ções sobre o estado de saúde de seus pacientes. Além disso, a identificação 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 ava- liação 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 apre- sentada 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 relevan- tes, 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 um 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 habili- dades 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 positi- vos de 6,67%. Além disso, em uma 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.

i

Abstract

Health Monitoring Systems (HMS) allow doctors to gain a better picture of their patient’s health status. An early identification of symptoms can help in disease’s diagnostic and pre- vent critical situations.

In order to monitor a patient’s motor abilities, it is necessary to record and evaluate spe- cific 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 mo- tivational 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 mea- sure 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 re- lated 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.

ii

Conteúdo

1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Introdução | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 1.1 | Relevância da Tese . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 2 |
| 1.2 | Trabalhos Relacionados . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 3 |
| 1.3 | Contribuições . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | 5 |
| 1.4 | Objetivos . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | 6 |
| 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 |

2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fundamentação Teórica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 |
| 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 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3 | Abo | rdagem JOGUE-ME |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 19 |
|  | 3.1 | Definição de Requisitos da Solução | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 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

iii

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.6 | Visualização dos Dados . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 29 |
| 3.7 | Conclusão . . . . . . . . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 30 |

4 Arquitetura de Software do JOGUE-ME 31

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |

5 Avaliação Experimental

5.1 Entrevista Semiestruturada com Profissionais de Saúde . . . . . . . . . . . 42

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 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 Sobre a Entrevisa 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 dp! (dp!) Utilizando Goal Question Metric . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 64

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5.3.1 | Aplicação do Método . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 65 |
| 5.3.2 | Resultados . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 66 |

6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Conclusões e Trabalhos Futuros | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 70 |
| 6.1 | Conclusões . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 70 |
| 6.2 | Limitações do Trabalho | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 71 |
| 6.3 | Trabalhos Futuros . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 71 |
| 6.4 | Publicações . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 72 |

A

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Projeto do Comitê de Ética em Pesquisa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 83 |
| 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 Métodoo | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 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 | | Critérios Para Interromper a Pesquis | | | | | | | | | | | | | | | | | a | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 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 | Questionário Entrevista Semi-Estruturada | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 94 |
|  | 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 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C | Critérios Estabelecidos de Diagnóstico da Doença de Parkinson | 97 |
| D | Questionário GQM | 99 |

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

vi

1.1 Aplicação para smartphone 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 JOGUE-ME . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 20 |
| 3.2 | Processamento de sinais biomecânicos. . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 23 |

3.3 Exemplo de Sinal Capturado da Articulação do Punho do Direito Usando

MS-Kinnect 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 da Amplitude do Movimento de Abdução e Adu-

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | ção 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 Catch the Spheres . . . . . . . . . . . . . . . . . | | | | | | | | | | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 34 |
| 4.5 | Diagrama de Classes do Serviço JOGUE-ME . . . . . . | | | | | | | | | | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 35 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | do tempo . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 57 |
| 5.4 | Vetor Médio do Movimento de Abdução e Adução | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 59 |
| 5.5 | Grid-Search - Acurácia da Classificação . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 61 |
| 5.6 | Grid-Search - FpRate . . . . . . . . . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 62 |
| 5.7 | O Paradigma GQM c . . . . . . . . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 65 |
| 5.8 | Resultado da Pergunta 1 . . . . . . . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 67 |
| 5.9 | Resultado da Pergunta 3 . . . . . . . . . . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 68 |

vii

LISTA DE FIGURAS viii

5.10 Resultado da Pergunta 10 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 68

A.1 O jogo Catch the Spheres . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 89

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.1 | Extração das Características de Indivíduo Com Diagnóstico da | dp! |  | . | . | . | . | 29 |
| 3.2 | Extração das Características de Indivíduo Sem Diagnóstico da | dp! | . | . | . | . | . | 30 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 4.1 | Operações disponibilizadas pelo web service . . | | | | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 36 |
| 5.1 | Perfil dos Participantes . . . . . . . . . . . . . | | | | | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 44 |
| 5.2 | Matriz 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 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 do GQM . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 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 |

ix

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2.1 | Código de Predição da Classes . . . . . . . . . . . . . | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 17 |
| 4.1 | Identificar Início e Tamanho do Movimento Periódico . | | | | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 38 |
| 4.2 | Calcular ângulos relativos do movimento . . . . . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 39 |
| 4.3 | Calcular Velociodade Angular Adução e Abdução | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 39 |
| 4.4 | Calcular Velociodade Angular Adução e Abdução | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | 40 |

4.5 Uso de Máquina de Vetor de Suporte para Classificação dos Dados . . . . . 41

x

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre o trabalho apresentado. Na Seção ?? são apresentadas as conclusões desta tese juntamente com os resultados alcançados. Na Seção ?? são apresentadas as limitações encontradas durante os experimentos. Já na Seção ?? são propostos possíveis trabalhos futuros. Por fim, na Seção ??, são listadas as publicações em conferências internacionais provenientes deste trabalho.

1.1 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 arquite- tura de software que proporcionou usar jogos eletrônicos como um mecanismo para induzir e motivar os usuários a executar movimentos monitoráveis.

Como detalhado no Capítulo ??, os experimentos realizados para avaliar a tese conside- raram as questões definidas na metodologia (Seção ??):

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 mo- vimento para monitorar os sinais de dp!?

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 ??).

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 dp!. 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 dp! 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 à 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 aceitabili- dade da abordagem de monitoramento fosse ainda maior. Portanto, diante desses resultados, conseguiu-se atingir o principal objetivo deste trabalho, ao permitir que indivíduos com com- prometimento motor pudessem ser monitorados de maneira não-invasiva e no conforto de seus lares.

1.2 Limitações do Trabalho

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

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

1.3 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 dp!, agrupá-los de acordo com o está- gio da doença e aplicar técnicas de multi-classificação de dados [?] para identificar o progresso do dp! de acordo com as escalas de avaliação [?].

• Comparar o sinal da bradicinesia em diferente momentos do dia para monitorar a eficá- cia do tratamento medicamentoso e identificar as ocorrências das flutuações motoras1.

• Quantificar o sinal de tremor de repouso2 nos membros superiores, no momento em que o usuário esteja desatento.

1.4 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) [?];

• Full Paper: A Game-Based Approach to Monitor Parkinson’s Disease: The bradykine- sia symptom classification, no, International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2016) [?];

• Full Paper: A Gait Analysis Approach to Track Parkinson’s Disease Evolution Using Principal Component Analysis, no, International Symposium on Computer-Based Me- dical Systems (CBMS 2016) [?].

1 Respostas motoras flutuantes ao tratamento medicamentoso, com encurtamento da duração de seu efeito

(fenômeno do wearing off ) e interrupção súbita de sua ação [?].

2 O tremor de repouso é característico do dp! e ocorre quando o indivíduo está parado ou desatento [?].

Bibliografia

[1] Aarhus, Rikke e Stinne Aaløkke Ballegaard: Negotiating Boundaries: Managing Di- sease 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 Health- care. Disponível em: [http://pervasivehealth.org,](http://pervasivehealth.org) 2016. Último acesso: 3 de Junho de

2016.

[3] ACM: SAC Track on HealthCare - A Growing Scenario for Applied Computing. Dis- ponível em: [http://www.sigapp.org/sac/sac2016/,](http://www.sigapp.org/sac/sac2016/) 2016. Último acesso: 3 de Junho de

2016.

[4] Ahmed, Mobyen Uddin, Hadi Banaee e Amy Loutfi: Health Monitoring for Elderly: An Application Using Case-Based Reasoning and Cluster Analysis. ISRN Artificial Intelligence, 2013, ISSN 2356-7872.

[5] Albanese, Alberto e Joseph Jankovic: Distinguishing Clinical Features of Hyperkine- tic 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 Confe- rence 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 Engi- neering, 5(12), 2011, ISSN 2010-3778.

4

[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 Ga- ming 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 Wea- rable 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 Infor- mation in Medicine, 2008, ISSN 0026-1270.

[17] Basili, Victor R., Gianluigi Caldiera e H. Dieter Rombach: The Goal Ques- tion 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,](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 Neu- rais Artificias E Máquinas De Vetores De Suporte Para Reconhecimento De Posturas Manuais em Tempo-Real. Em Congresso Brasileiro De Redes Neuraiscongresso Bra- sileiro De Redes Neurais, 2007, ISBN 0329-5184.

[21] Chamasemani, Fereshteh e Yashwant Singh: Multi-class Support Vector Machine (SVM) Classifiers – An Application in Hypothyroid Detection and Classification. Em International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications,

2011, ISBN 978-81-322-1037-5.

[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 Com- putação. Disponível em: [www.csbc.com.b](http://www.csbc.com.br)r, 2016. Último acesso: 3 de Junho de

2016.

[26] Computação, Sociedade Brasileira de: SBC. Disponível em: [www.sbc.org.b](http://www.sbc.org.br)r, 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 Neuronais 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, Kalvin 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 edi- ção, 2006, ISBN 1-86016-283-5.

[41] Hellman, Amy, Shital Shah, Stephanie Pawlowski, John Duda e James Morley: Con- tinuous Non-invasive Monitoring To Detect Covert Autonomic Dysfunction In Parkin- son’s Disease. Parkinsonism and Related Disorders, 21, 2015, ISSN 1353-8020.

[42] IEEE: Enabling Technologies in Parkinson’s Disease Management. Dis- ponível 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](http://ieeehealthcom2016.com)

2016.

[44] IEEE: International Symposium on Computer-Based Medical Systems. Disponível em: cbms2016.org, 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

[45] IEEE: Journal of Biomedical and Health Informatics. Disponível em:

[http://jbhi.embs.org/,](http://jbhi.embs.org/) 2016. Último acesso: 3 de Junho de 2016.

[46] IEEE: Transactions on Biomedical Engineering. Disponível em:

[http://tbme.embs.org/,](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 Par- kinson’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 Biomedi- cal 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 tre- mor 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 Ma- chines. 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, Jamie- son 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, Martijn Beudel Elizabeth Roosma, Robert Borgemeester, Teus Laar e Natasha Maurits: A Method for Automatic and Objective Scoring of Bradykine- sia 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/.](http://mathworks.com/) Úl- timo 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 Parkin- son’s Disease with Freezing of Gait in Out-of-the-Lab Environments. ACM Transac- tions Interactive Intelligent Systems, 5(1), março 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 Fis- cher: A Gait Analysis Approach to Track Parkinson’s Disease Evolution Using Princi- pal 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 Fis- cher: 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 Per- kusich: Abstract Book: Monitoring Parkinson related Gait Disorders with Eigengaits. Em World Congress on Parkinson’s Disease and Related Disorders. Keynes Interna- tional, 2013, ISBN 978-044463-488-7.

[66] Meneses, Murilo e Hélio Teive: Doença De Parkinson. Guanabara Koogan, 3a edição,

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-Kinnect. Disponível em: [http://www.xbox.com/pt-BR/kinect,](http://www.xbox.com/pt-BR/kinect) 2012.

Último 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 Atra- vés da Utilização de Questionários. Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2005.

[71] Organization, World Health: Global Health and Ageing. Relatório Técnico, US Nati- onal 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 He- alth 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: Monito- ring Motor Fluctuations in Patients With Parkinson’s Disease Using Wearable Sen- sors. 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 Par- kinson’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/.](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, Ma- saru Yokoe e Saburo Sakoda: Severity Estimation Of Finger-tapping Caused By Par- kinson’s Disease By Using Linear Discriminant Regression Analysis. Em Interna- tional 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 Da- dos 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 Par- kinson - 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,](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, Ri- chard Maguire, Mary Pownall, Diana Ivanoiu, Camille Lyle, Amy Cording e Ch- ristopher 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 Väätäjä, Tytti Virtanen e Roope Raisamo: Seriously Fun: Ex- ploring How to Combine Promoting Health Awareness and Engaging Gameplay. Em Proceedings of the International Conference on Entertainment and Media in the Ubi- quitous Era. ACM, 2008, ISBN 978-1-60558-197-2.

[89] Sweetser, Penelope e Peta Wyeth: GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoy- ment 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 Infor- mation 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/.](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 Utiliza- tion 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 Parkin- son’s disease. Clinica Chimica Acta, 442:52 – 55, 2015, ISSN 0009-8981.

[http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000989811400566X.](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000989811400566X)

[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 Isen- mann 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. Sprin- ger 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](http://zigfu.com/)

Junho de 2016.

[107] Zowghi, Didar e Chad Coulin: Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Ap- proaches, and Tools. Em Engineering and Managing Software Requirements. Sprin- ger 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.