



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**MARIA JOSE FERREIRA ZARUZ**

**CARACTERIZAÇÃO DE TAREFA MOTORA ESTÁTICA E CINÉTICA DE**  
**ANTEBRAÇO E MÃO EM INDIVÍDUOS HÍGIDOS**

**Uberlândia**  
**2016**

**MARIA JOSE FERREIRA ZARUZ**

**CARACTERIZAÇÃO DE TAREFA MOTORA ESTÁTICA E CINÉTICA DE  
ANTEBRAÇO E MÃO EM INDIVÍDUOS HÍGIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia  
Biomédica

Orientador: Prof. Dr. Adriano de Oliveira  
Andrade

**Uberlândia  
2016**

**MARIA JOSE FERREIRA ZARUZ**

**CARACTERIZAÇÃO DE TAREFA MOTORA ESTÁTICA E CINÉTICA DE  
ANTEBRAÇO E MÃO EM INDIVÍDUOS HÍGIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Engenharia Biomédica  
da Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Uberlândia, 28 de novembro de 2016.

---

Prof. Dr. Adriano de Oliveira Andrade – UFU

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Geórgia Danila Fernandes – FLS

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Iraides Moraes Oliveira – UFU

Dedico esse trabalho a minha família,  
Pais, irmãos, filhos amados e a meu esposo.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, por sempre me ouvir e me confortar nos momentos de angústia e incertezas.

A todos os professores, Alcimar, Eduardo, Destro, Selma, Edgard, Alexandre, e em especial, o professor Adriano Alves por me receber com atenção e pelo incentivo a estudar, enriquecendo meus trabalhos com seus conhecimentos e experiências.

À Marli e ao Edson, secretários sempre dispostos a contribuir e auxiliar em todas as questões burocráticas, com sorriso constante.

Ao meu orientador, Adriano de Oliveira Andrade, um grande mestre, encontrar palavras para descrevê-lo não é fácil, mas posso dizer que foi amigo presente, compreensivo em momentos necessários e difíceis, mas sem deixar de ser firme, sempre dedicado sem medir esforços, pronto para compartilhar conhecimentos e experiências. Obrigada por dividir um pouco comigo. Você tem toda a minha admiração e respeito por sua simplicidade, conhecimento e dedicação ao seu trabalho, um profissional competente e um ser humano iluminado.

À minha família, por estarem sempre ao meu lado, à Sangelita e à Edna pelo incentivo constante e aos meus amigos próximos e distantes, que nunca deixaram de me apoiar e de me ouvir nos momentos de aflição, sempre me motivando a continuar.

Em especial agradeço aos amigos Amanda, Ana Paula Paixão, Fernando e Luciano, que sempre me auxiliaram sem medir esforços, dividindo comigo o tempo de estudos, seus conhecimentos, compartilhando dificuldades, me ajudando com os gráficos, tabelas e inúmeras outras dificuldades que tive, sem a ajuda deles esse percurso teria sido muito mais difícil, só tenho a agradecer, muito obrigada por tudo, sem vocês nada disso teria sido realizado. Vocês fazem parte dessa história.

A todos os voluntários que, atenciosamente, me receberam em seus lares, asilos, casas de repouso, associação de Parkinson e aceitaram ceder uma parte de

seu tempo para que os dados fossem coletados, sem essa contribuição não seria possível realizar esse trabalho.

É com muito carinho que agradeço aos amigos do laboratório NIATS, pela convivência mais próxima, pela companhia nas reuniões de segunda feira as 13:30 h, ao auxílio com carinho e boa vontade do Fábio, Gustavo, Alessandro, Ana Paula Bittar, Nélío, Thaíla, Carlos e todos os outros que por lá passaram, foi muito bom poder contar com todos vocês, cada um deixou sua marca registrada.

Aos colegas dos laboratórios Biolab e NTA, não convivíamos todos os dias, mas fiz amigos especiais, uns mais próximos outros mais distantes, mas todos fizeram parte desta trajetória e estarão sempre presentes em minha mente e no meu coração.

À Prof<sup>a</sup>. Doutora Iraides por compartilhar seus conhecimentos e aceitar, gentilmente, nosso convite para essa banca.

À Prof<sup>a</sup>. Doutora Geórgia, por aceitar nosso convite para compor a banca, enriquecendo essa apresentação.

Enfim, a todos que de forma direta e indireta contribuíram para o sucesso deste trabalho e torcem e ou contribuem para o meu progresso pessoal e profissional, sintam-se abraçados carinhosamente.

Esse foi apenas o primeiro passo de várias outras conquistas, com força, determinação e fé, alcançamos nossos objetivos.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.*  
*Martin Luther King*

# CARACTERIZAÇÃO DE TAREFA MOTORA ESTÁTICA E CINÉTICA DE ANTEBRAÇO E MÃO EM INDIVÍDUOS HÍGIDOS

## RESUMO

Existem, na literatura, inúmeras escalas que caracterizam o grau de severidade de doenças neuromotoras, dentre elas, podemos citar a *Unified Parkinson Disease Rating Scale* (UPDRS), que são amplamente utilizadas na prática clínica. A principal limitação das escalas, como a UPDRS, é a subjetividade de avaliação em função da experiência de examinadores. Nesse contexto, o uso de escalas objetivas é de grande relevância no processo de acompanhamento e evolução de doenças neuromotoras. De modo a contribuir com a avaliação mais objetiva de tarefas motoras, estática e cinética de antebraço e mão, essa pesquisa propôs um índice que caracteriza padrões de normalidade para indivíduos hígidos. No total, 99 sujeitos neurologicamente saudáveis, participaram do estudo. Foram detectados sinais inerciais e eletromiográficos do antebraço e da mão durante a execução das seguintes tarefas: pinça polpa a polpa, pronação e supinação do antebraço, e sustentação do membro superior contra a gravidade. Para visualização e o processamento dos dados, um conjunto de características foi estimada e projetada em um espaço bidimensional, por meio do método *T-Distributed Stochastic Neighbour Embedding* (t-SNE). Um índice de avaliação de normalidade foi proposto com base na distância Euclidiana normalizada dos dados referentes a cada tipo de tarefa. Para exemplificar a aplicação prática do índice proposto, foram coletados dados de indivíduos com a doença de Parkinson (DP), sendo esta uma doença neurodegenerativa, muito prevalente na atualidade, manifesta com sinais clínicos como, por exemplo, o tremor, a bradicinesia, rigidez e distúrbios posturais, comprometendo os movimentos de membros superiores como antebraço e mão. Os valores estimados para o índice indicaram padrões atípicos para esses indivíduos quando comparado aos padrões de normalidade. Espera-se que o índice proposto possa ser utilizado na avaliação da severidade de doenças neuromotras, como a doença de Parkinson.

**Palavras-chave:** Caracterização da tarefa motora. Sensores inerciais. Eletromiografia. Doença de Parkinson.



# CHARACTERIZATION OF STATIC AND KINETIC MOTOR TASKS FOR HEALTHY INDIVIDUALS

## ABSTRACT

There are numerous scales in literature to characterize the degree of severity of neuromotor diseases. Among them, we can mention the Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS), which is widely used in the clinical practice. The main limitation of scales such as the UPDRS is the subjectivity of evaluation based on the experience of examiners. In this context, the use of objective scales is of great relevance in the process of assessing and monitoring the evolution of neuromotor diseases. In order to contribute to the objective assessment of wrist and forearm static and kinetic motor tasks, this research proposed an index that characterizes normality patterns for healthy individuals. In total, 99 neurologically healthy subjects participated in the study. Inertial and electromyographic signals of the forearm and wrist were detected during the execution of the following tasks: pinch grip, pronation and supination of the forearm, and support of the upper limb against gravity. For visualization and processing of the data, a set of features was estimated and projected onto a two-dimensional space using the T-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE) method. A normality index was proposed based on the normalized Euclidean distance of the data referring to each type of task. To exemplify the practical application of the proposed index, data were collected from individuals with Parkinson's disease, which is a neurodegenerative illness, very prevalent nowadays. Its clinical symptoms includes tremor, bradykinesia, stiffness and postural disorders, compromising the movements of the upper limb such as forearm and wrist. The estimated values for the index indicated atypical patterns for these individuals when compared to normality patterns. We hope that the proposed index can be used to assess the severity of neuromotor diseases, such as the Parkinson's disease.

**Keywords:** Characterization of motor tasks. Inertial sensors. Electromyography. Parkinson's disease.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVD'S	Atividades de vida diária
ACC	Acelerômetro
CAAE	Certificado de apresentação para apreciação ética
CONEP	Comissão nacional de ética em pesquisa
DP	Doença de parkinson
EMG	Eletromiografia
G1	Grupo 1 de voluntários hígidos
G2	Grupo 2 de voluntários com doença de parkinson
GIRO	Giroscópio
IMU	<i>Inertial-measurement unit</i>
INPI	Instituto nacional de propriedade industrial
MAG	Magnetômetro
MAV	Valor absoluto médio do sinal
MAVFD	Média do valor absoluto da primeira diferença
MAVFDN	Média do valor absoluto da primeira diferença do sinal normalizado
MAVSD	Média do valor absoluto da segunda diferença
MAVSDN	Média do valor absoluto da segunda diferença do sinal normalizado
MEMS	Sistema micro-eletromecânico
NIATS	Núcleo de inovação e avaliação tecnológica em saúde
PEAK	Estima o valor máximo de um vetor
PCA	<i>Principal componnet analysis</i>
RANGE	Estima a diferença entre o valor máximo e o mínimo observados
SNC	Sistema nervoso central

STD	Desvio padrão de uma série de valores do sinal
Tsne	<i>T-distributed stochastic neighbor embedding</i>
USB	Barramento serial universal
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UPDRS	<i>Unified parkinson's disease rating scale</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dispositivo Biomédico e seus componentes.....	30
Figura 2: Tela do software para visualização do sinal sincronizado e em tempo real.....	31
Figura 3: Posicionamento do sensor inercial (IMU) no dorso da mão e região posterior do antebraço, e do sensor eletromiográfico sobre os músculos extensores e flexores do punho.....	32
Figura 4: Atividade estática do antebraço (A) Atividade dinâmica pinça polpa a polpa com todos os dedos (B) Movimento de prono supinação do antebraço....	35
Figura 5: Diagrama do processamento dos dados.....	36
Figura 6: Janelamento do sinal; após conferência manual dos pulsos, anteriormente marcados com marcador de pulso. Intervalos representam: atividade estática (a), pinça polpa a polpa (b), Pronação e supinação (c) e seus respectivos sensores inerciais: Acelerômetro (A), Giroscópio (B), Magnetômetro (C), Eletromiografia (D). ....	39
Figura 7: Gráfico de pontos das atividades realizadas pelos indivíduos saudáveis e indivíduos com Parkinson marcadas com um losango preto utilizando dados extraídos do sinal filtrado.....	45
Figura 8: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal filtrado.....	46
Figura 9: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal filtrado.....	46
Figura 10: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal filtrado.....	47
Figura 11: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal filtrado.....	47
Figura 12: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal filtrado.....	48
Figura 13: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal filtrado.....	48
Figura 14: Gráfico de pontos das atividades realizadas pelos indivíduos saudáveis e indivíduos com doença Parkinson marcadas com um losango preto utilizando dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	49

Figura 15: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	50
Figura 16: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	50
Figura 17: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	51
Figura 18: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	51
Figura 19: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	52
Figura 20: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	52
Figura 21: Gráfico de pontos das atividades realizadas pelos indivíduos saudáveis e indivíduos com Parkinson marcadas com um quadrado preto utilizando dados do sinal de amplitude instantânea.....	53
Figura 22: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	54
Figura 23: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	54
Figura 24: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	55
Figura 25: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	55
Figura 26: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	56
Figura 27: Gráfico de densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	56
Figura 28: Gráfico de pontos e da densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson dando destaque para a análise da Atividade 1 utilizando os dados extraídos do sinal filtrado.....	59

FIGURA 29: Gráfico de pontos e da densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP, destaque para a análise da Atividade 1 que utiliza dados extraídos do sinal de frequência instantânea.....	61
Figura 30: Gráfico de pontos e da densidade do índice de indivíduos saudáveis e com Parkinson dando destaque para a análise da Atividade 1 utilizando os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.....	63

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro1: Características dos indivíduos do grupo hígido G1.....	33
Quadro 2: Características dos indivíduos do grupo com doença de Parkinson G2.....	34
Quadro 3: Descrição das características usadas nesse estudo.....	41
Tabela 1: Dados clínicos dos sujeitos com a doença de Parkinson.....	34
Tabela 2: Índice gerado para todos os indivíduos com parkinson para as 3 Atividades realizadas e as 3 formas de processamento dos dados.....	57

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Motivação.....</b>	<b>15</b>
1.2 Objetivo geral.....	16
1.3 Objetivos específicos.....	16
1.4 Hipótese.....	17
1.5 Estrutura da dissertação .....	17
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>19</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 Caracterização da Tarefa Motora.....	19
2.2 A Doença de Parkinson.....	20
2.2.2 Sinais clínicos motores.....	21
2.2.2.1 Tremor .....	21
2.2.2.2 Bradicinesia .....	22
2.2.2.3 Rigidez.....	23
2.2.2.4 Distúrbios posturais .....	23
2.3 Avaliação Clínica e Neuromotora na Doença de Parkinson .....	24
2.4 Sensores para a Avaliação do Movimento e do Tremor Humano.....	25
2.4.1 Sensores Inerciais.....	25
2.4.1.1. Acelerômetro.....	26
2.4.1.2. Giroscópio .....	26
2.4.1.3. Magnetômetro .....	27
2.4.2 Sensor Eletromiográfico (EMG) .....	27
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>29</b>
<b>MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1 Hardware .....	29
3.2 Delineamento do estudo e coleta de dados.....	31
3.3 Processamento dos dados .....	35
3.3.1 Filtragem.....	36
3.3.2.1 Amplitude Instantânea.....	37
3.3.2.2 Frequência Instantânea .....	37
3.3.3 Janelamento.....	38
3.3.4 Extração das características .....	39

3.3.4.1 (T-SNE) <i>T-Distributed Stochastic Neighbor Embedding</i> agrupamento dos dados.....	42
3.3.4.2. Índice de normalidade.....	43
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>44</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>58</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>65</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>65</b>
<b>PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>73</b>
<b>TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>74</b>
<b>ESCALA UNIFICADA DE AVALIAÇÃO PARA DOENÇA DE PARKINSON UPDRS .....</b>	<b>74</b>



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### **1.1 Motivação**

A avaliação clínica de doenças neuromotoras e sua progressão carece de testes objetivos, reduzindo vieses em decorrência da experiência e/ou da sensibilidade sensorial do avaliador (LEE et al., 2015).

Dentre as doenças neuromotoras, tomaremos como exemplo para o desenvolvimento deste trabalho, a DP. Apesar de ser uma das doenças neurodegenerativas mais prevalentes na atualidade, sua causa exata é ainda desconhecida. Sabe-se, no entanto, que afeta, sobretudo, indivíduos acima de 60 anos de idade, sendo prevalente em indivíduos na quinta década de vida, de 41 casos para cada 100.000 pessoas, e de mais de 1900 casos para cada 100.000 pessoas com idades acima 80 anos. Por isso, a DP tem sido tema de interesse crescente em virtude do envelhecimento da população mundial (PRINGSHEIM et al., 2014).

Atualmente, a avaliação dos sinais e sintomas da DP é puramente clínica, por meio da observação de médicos neurologistas e da aplicação de escalas qualitativas, anamnese e história clínica pregressa, sendo dependentes da perícia e experiência do avaliador. Até hoje, não existem exames nem testes objetivos e/ou biomarcadores que possam ser usados como critério de diagnóstico (GOETZ et al., 2008). Em muitos casos, o diagnóstico clínico da doença é suportado pela resposta do organismo à medicação levodopa “prova do dopa” (MASSANO, 2011).

Estudos vêm sendo desenvolvidos para tornar a avaliação clínica de distúrbios neuromotores mais objetiva. Na DP, por exemplo, o acometimento das mãos, a presença e severidade do tremor, são pontos de grande interesse. Nesse

contexto, podemos citar o uso de câmeras de vídeo e sistemas integrados de sensores para avaliação do tremor, da rigidez e da lentidão dos movimentos (NIAZMAND et al.; PINO et al., 2012; ERTZGAARD et al., 2016; MANSUR et al., 2007; TARVAINEN et al., 2011). No entanto, identificar o aparecimento dessas alterações é ainda uma problemática desafiadora. Antes de tudo, faz-se necessário conhecer os parâmetros de normalidade e de que forma as novas tecnologias são capazes de fornecer informações relevantes, devido à cada tipo de comprometimento neuromotor.

Portanto, este trabalho buscou desenvolver um índice de normalidade, o qual também poderá ser utilizado para caracterizar padrões motores de pessoas com distúrbios neuromotores, com base em informações detectadas a partir de extremidades superiores durante a realização de tarefas motoras diversas.

## **1.2 Objetivo geral**

- Propor um índice quantitativo que caracterize padrões de normalidade de tarefas motoras, estática e cinética de antebraço e mão, para indivíduos hígidos.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Selecionar atividades motoras relevantes para avaliação de pessoas com DP;
- Definir o protocolo de coleta experimental, utilizando sensores inerciais e de eletromiografia que forneça informações relevantes acerca das tarefas motoras selecionadas;

- Selecionar pessoas hígdas que não apresentem histórico ou sinais de doenças neuromotoras;
- Definir métodos e técnicas de processamento de sinais e de extração de características relevantes dos sinais coletados;
- Conceber o modelo de normalidade para cada tarefa a partir dos dados coletados;
- Propor um índice capaz de caracterizar e diferenciar padrões de pessoas hígdas e com DP.

#### **1.4 Hipótese**

O índice proposto é capaz de caracterizar dados de atividades motoras de pessoas com DP como diferentes do modelo criado para padrões de normalidade.

#### **1.5 Estrutura da dissertação**

Os capítulos dessa dissertação foram estruturados seguindo uma sequência detalhada de cada etapa do trabalho. A dissertação foi dividida em seis capítulos, quais sejam:

O capítulo 1 trata das questões associadas à organização do trabalho, bem como a motivação para a realização do mesmo.

No capítulo 2, realizou-se uma breve revisão da literatura sobre caracterização da tarefa motora, descrição da DP e sinais clínicos motores, sensores inerciais e a eletromiografia utilizados neste trabalho.

No capítulo 3 são apresentados o Hardware, a coleta de dados, os grupos avaliados e o processamento dos dados.

O capítulo 4 trata da descrição dos resultados dessa investigação buscando relatar de modo objetivo os principais achados da pesquisa.

No capítulo 5 será apresentado a discussão.

No capítulo 6 serão apresentadas as considerações finais e oferecidas propostas para estudos futuros.

# CAPÍTULO 2

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Caracterização da Tarefa Motora

A caracterização da tarefa motora com a utilização sensores inerciais, acelerômetro, giroscópio, magnetômetro e eletromiografia está sendo estudado por muitos pesquisadores,( TARVAINEN et al., 2001; MANSUR et al., 2007; ERTZGAARD et al., 2016). Em várias desordens neuromotoras, a execução de atividades dentro ou fora do padrão de normalidade estão relacionadas entre si e podem ser sinais de presença ou evolução de doenças.

No entanto, identificar o aparecimento e acompanhar a evolução destas alterações é ainda uma problemática desafiante aos pesquisadores e profissionais de saúde. Em algumas doenças, como na DP, tem sido usado sensores inerciais como os acelerômetros integrados à luva para avaliar o tremor, a bradicinesia e a rigidez(NIAZMAND et al. 2011; PINO et al., 2012), também como para identificar os padrões de marcha(KAVANAGH;MENZ, 2008), e em lesões neurológicas com comprometimento motor(ERTZGAARD et al., 2016).

Estes sensores podem mensurar movimentos livres de diversas partes do corpo e do cotidiano(GIACOMOSSI, 2011), como sensores posicionados na mão, cinto com sensores acoplados e fixados na cintura para mensurar uma variedade de movimentos, como transferências posturais e marcha(MATHIE, M. J., COSTER, A.C.,LOVELL, N. H., & CELLER, 2004). São sensores pequenos e leves que não restringem o movimento e podem estar associados a outros dispositivos como a eletromiografia de superfície e mensurar movimentos funcionais por longos períodos, ser utilizados fora do ambiente de clínica, na rotina de vida diária do indivíduo(AVD's)

(MARTIN-MARTIN; CUESTA-VARGAS, 2014; ERTZGAARD et al., 2016).

Para tanto mais estudos precisam ser desenvolvidos com esta temática de caracterizar e agrupar tarefas dentro do padrão de normalidade, para assim reconhecer atividades que fogem deste padrão e aplicar nas rotinas de avaliação e acompanhamentos clínicos (GIACOMOSSI, 2011; GINEZ.F, 2013; MARTINS. L, GIACOMOSSI. L, 2016)

## **2.2 A Doença de Parkinson**

A DP é uma desordem neurodegenerativa, crônica e progressiva do sistema nervoso central (SNC), mais especificamente dos núcleos da base, envolvendo a perda progressiva de neurônios dopaminérgicos da substância negra. Caracteriza-se por sinais clínicos motores como bradicinesia (lentidão dos movimentos), tremor, rigidez e distúrbios posturais; e não motores como alterações cognitivas, sono, personalidade, demência e depressão (PRADO et al., 2008; IKUTA et al., 2012; NILSSON, 2012).

O diagnóstico da doença de Parkinson é puramente clínico, ou seja, não há nenhum exame, teste quantitativo ou biomarcador capaz de indicar o diagnóstico da doença, assim como a evolução, melhora ou piora do quadro clínico e motor. Tal avaliação é realizada por meio da anamnese (obtenção da história do paciente, sintomas relacionados à doença, e outras informações relevantes), história clínica pregressa, observação e questionários qualitativos (GOETZ et al., 2008).

O quadro clínico deve ser sempre acompanhado e bem observado pelos familiares e cuidadores pois é necessário reportar aos profissionais de saúde sobre as condições e evolução da doença, como perda das habilidades manuais, dificuldade de marcha como lentidão, diminuição do balanceio, arrastar dos pés, tremor de membro superior, cansaço inespecífico, sono agitado e depressão (CHRISTOFOLETTI et al., 2012).

Muitos desses sinais e sintomas manifestam anos antes de diagnosticar a DP, ou seja, seu início é discreto, sutil. Por falta de exames determinantes e específicos passam despercebidos pelos cuidadores, profissionais e mesmo pelo próprio doente, acarretando, as vezes, o diagnóstico tardio. Para o diagnóstico faz-se necessário uma avaliação minuciosa para afastar outras possíveis doenças neurológicas que causam sintomas semelhantes. Em alguns casos, o diagnóstico clínico deve-se aguardar a resposta do organismo ao medicamento levodopa “prova do dopa” (MASSANO, 2011).

Como a DP é progressiva e debilitante deve se pensar na qualidade de vida dos doentes, proporcionando atividade física individual e em grupo, acompanhamento fisioterapêutico, psicológico, visando proporcionar maior independência nas atividades de vida diária (AVD's) e funcionalidade (CAMARGOS et al., 2004; SANT, et al. 2008; ALVES; SANTOS, 2010; CHRISTOFOLETTI, et al., 2012; ROCHA, 2015).

## **2.2.2 Sinais clínicos motores**

### **2.2.2.1 Tremor**

O tremor é caracterizado por uma desordem do movimento involuntário, oscilatório e rítmico; ocorrem contrações simétricas, os músculos contraem e relaxam de forma repetida em qualquer parte do corpo, mas é mais perceptivo em mãos, braços, cabeça, voz e pernas (MATTOS, 1998; BORGES; FERRAZ, 2006;). Afeta indivíduos jovens, com incidência maior em indivíduos com mais de 65 anos (ELBLE, 2003). Pode alterar a qualidade de vida tanto nas AVD'S, tanto laborais.

O tremor é classificado em: fisiológico e patológico (MATTOS, 1998), sendo o fisiológico decorrente da atividade mecânica do coração, medo, ansiedade, e de

desordens naturais do envelhecimento, no entanto, é normal, e pode não ser perceptível a olho nu (ELBLE, 2003; MORRISON; NEWELL, 2012).

Já o tremor patológico está associado a síndromes neurológicas e neuromotoras, como no caso da DP. Esse pode ser de ação e de repouso. O tremor de repouso ocorre sem ativação voluntária dos músculos, com corpo ou membro apoiado sobre uma superfície contra a gravidade. E no tremor de ação, a contração voluntária dos músculos tem que estar presente (BORGES; FERRAZ, 2006).

A quantificação do tremor tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores, pois é um dos sintomas possível de ser quantificado de maneira mais objetiva e precisa. Contudo variáveis como idade e tipos de doenças neurológicas associadas devem ser consideradas na avaliação do tremor humano (MANSUR et al., 2007).

#### **2.2.2.2 Bradicinesia**

Na bradicinesia há uma lentidão ao executar movimentos que se mistura com os conceitos de hipocinesia e acinesia. Hipocinesia é a carência de movimentos os quais possuem baixa amplitude, enquanto que a acinesia é caracterizada pela dificuldade em iniciar e realizar movimentos. Todos os aspectos do movimento são afetados como o início, a direção, a interrupção e depois o reinício, e também movimentos espontâneos como o balanceio de braços na marcha, expressões faciais como o sorriso vão estar comprometidos (BERARDELLI *et al.* 2001).

Sugere-se que ocorre uma limitação nos mecanismos de processamento com alterações no padrão de ativação da substância negra levando a um desequilíbrio na informação transmitida para o córtex motor e pré-motor. Assim as pessoas com DP podem ter um retardamento na ativação muscular e inabilidade em manter a contração muscular, que podem interferir na capacidade de executar tarefas motoras complexas e simultâneas, quando comparadas a indivíduos hígidos com a mesma idade (BROWN; MARSDEN, 1991; MAGRINELLI et al. 2016).



### **2.2.2.3 Rigidez**

É conhecida como roda dentada, sendo a combinação entre o tremor e a rigidez. Está associada a deficiência de dopamina e envolve a hiperatividade do reflexo tônico de estiramento (King L. A, Horak F. B. 2009)

Na rigidez ocorre um aumento na resistência ao movimento em ambas as direções, é decorrente de uma inibição ineficaz da musculatura antagonista, o tônus muscular está aumentado no repouso e no alongamento, nota-se resistência muscular. É mais acentuada nos músculos flexores durante o alongamento lento e ao movimento voluntário (ANDREWS; BURKE; LANCE, 1972; OROZ, 2009).

### **2.2.2.4 Distúrbios posturais**

A DP é um distúrbio progressivo e alterações posturais começam a ocorrer juntamente com os outros sintomas já descritos. Junto da bradicinesia e da rigidez há um aumento da flexão de pescoço, tronco e quadril, e uma diminuição das rotações e dissociações do corpo, dificultando as respostas de endireitamento e equilíbrio em consequência da diminuição de habilidades motoras (ROCHA, 2015).

Os pacientes adquirem uma postura curvada que leva a deformidades posturais e alterações na marcha que se caracteriza por dificuldade na iniciação, redução do tamanho do passo, tremor de joelhos, pés colados no chão conhecido como congelamento da marcha (GREENBERG, D. A.; AMINOFF, M. J.; SIMON, R. P, 2005).

Por causa desta deterioração progressiva do movimento ocorre também, diminuição no processamento sensorial, dificultando a realização de tarefas espaciais, podendo eventualmente levar o indivíduo a necessitar de cadeira de rodas (NUTT, et al. 2011).

### **2.3 Avaliação Clínica e Neuromotora na Doença de Parkinson**

Em geral, escalas para a avaliação de doenças neuromotoras exploram diversos componentes da experiência humana, como a condição clínica da pessoa, funções motora e mental, incapacidades, limitações relacionadas às atividades laborais, participação social, e qualidade de vida (GOULART; PEREIRA, 2005).

Especificamente na DP podemos citar diversas escalas como: Escala de Estágios de Incapacidade de Hoehn e Yahr; a Escala Unificada de Avaliação da Doença de Parkinson (UPDRS); a Escala de Webster de avaliação da Doença de Parkinson; a Escala de Sydney; a Escala de Incapacidade da Northwestern University (NUDS); os Questionários da Doença de Parkinson (PDQ-39); Questionários de Qualidade de Vida na Doença de Parkinson (PDQL); e Escala de Atividade de Parkinson (PAS) (GOULART; PEREIRA, 2005).

Dentre elas, a UPDRS é a mais utilizada para monitorar a progressão da doença e a eficácia de tratamentos medicamentosos. Sua versão original foi criada por Fahn e Elton em 1987 e atualizada pela Sociedade Internacional de Parkinson e Desordens do Movimento em 2008. É composta por 42 itens divididos em quatro seções: atividade mental, comportamento e humor; AVDs; exploração motora; e complicações da terapia medicamentosa.

De especial importância para a presente pesquisa, a parte de exploração motora conta com 14 itens relacionados à voz, às expressões faciais, ao tremor de repouso na face, mãos e pés, ao tremor de ação e postural em mãos, à rigidez de pescoço e membros, aos movimentos de mãos e dedos (incluindo movimentos do

antebraço de pronação e supinação), à agilidade das pernas, à postura, à marcha e complicações globais como bradicinesia e hipocinesia.( MELO; BOTELHO, 2010).

Independente do uso de escalas ou não, o comprometimento das mãos, seja pela limitação dos movimentos, seja pela presença do tremor, impõe elevado grau de comprometimento funcional tanto para a realização de atividades diversas da vida diária e laboral . Por isso, o desenvolvimento desta pesquisa foca na análise desse segmento corporal (NICKEL, et al. 2010; SANTOS et al. 2010).

## **2.4 Sensores para a Avaliação do Movimento e do Tremor Humano**

Para a quantificação do tremor, diversos sensores e algoritmos têm sido propostos para tornar sua avaliação mais objetiva. Dentre eles, encontra-se a tecnologia micro-eletromecânica (MEMS), como o acelerômetro, o magnetômetro, o giroscópio, a eletromiografia, câmeras de alta resolução, goniometria e *leap motion* com intuito de avaliar os pacientes e acompanhar a progressão da doença (MANSUR et al., 2007; GRIMALDI; MANTO, 2010; SHAEFFER, 2013; OLIVEIRA et al., 2014).

### **2.4.1 Sensores Inerciais**

Os sensores inerciais utilizados neste estudo são do tipo micro eletromecânico (MEMS) que utiliza os conceitos de mecânica, microeletrônica e química. São sistemas embarcados utilizados para monitorar variações de movimento, velocidade, aceleração e angulação. São baseados a partir dos conceitos das leis do movimento de Newton (SHAEFFER, 2013).

Neste trabalho foram utilizados sensores híbridos compostos pela junção de três sensores inerciais (acelerômetro, giroscópio e magnetômetro), os quais foram utilizados para detectar (i) a posição estática do membro superior dominante, (ii) os movimentos de pinça polpa a polpa e (iii) os movimentos de pronação e supinação de antebraço, tanto dos indivíduos hígidos como dos indivíduos com DP.

#### **2.4.1.1. Acelerômetro**

O acelerômetro é capaz de aferir a aceleração linear na direção de um eixo referencial. Usados em sistemas de posicionamento e inclinação, comuns em tela de celulares. O princípio de funcionamento do acelerômetro depende do tipo de sensor. Há acelerômetros que utilizam material piezoelétrico os quais possuem uma massa presa a este material que ao sofrer uma aceleração, aumentam a compressão dessa massa em relação a um material piezoelétrico gerando uma variação de tensão proporcional a uma medida de aceleração (WANG et al., 2003; Li-Peng 2003). Existem acelerômetros baseados em sistemas eletromecânicos massa/mola, aos quais uma massa está presa a uma mola e o deslocamento da massa tensiona ou comprime a mola e é convertido para alterações da aceleração por meio de transdutores (SHAEFFER, 2013).

#### **2.4.1.2. Giroscópio**

Mede a velocidade angular em torno de um referencial, podendo medir a orientação do objeto. O seu funcionamento depende do tipo de sensor utilizado, devendo sempre ser calibrado para medir rotações com alta precisão. A velocidade

angular é obtida medindo a força de Coriolis que age sobre uma determinada massa de prova de vibração proporcional a taxa de rotação ao longo de um eixo ortogonal ao eixo vibratório. A unidade de medida mais utilizada é graus por segundo ( $^{\circ}/s$ ) (SHAEFFER, 2013).

#### **2.4.1.3. Magnetômetro**

Mede direção, sentido e intensidade de campos magnéticos, geralmente é usada a medida em Gauss (WOLF, 1959). Podem ser divididos em dois grupos: os escalares medem a intensidade do campo magnético no qual estão imersos; e os vetoriais medem a componente do campo magnético em uma direção (HEIMFARTH, 2010).

Quanto ao princípio de funcionamento existem alguns tipos. Um deles é o sensor magnético de efeito Hall no qual transforma informações do campo magnético em tensão elétrica. E os que são baseados na força de Lorentz, nos quais se medem deslocamentos mecânicos usando métodos piezoresistivos ou transdutores eletrostáticos (VITORELLO; KABATA, 2007).

#### **2.4.2 Sensor Eletromiográfico (EMG)**

O sensor de eletromiografia pode ser posicionado na superfície da pele, permitindo o registro da atividade elétrica gerada pelas células musculares esqueléticas de maneira não-invasiva, ou seja, ele mede os potenciais de ação da fibra muscular, possibilitando a análise da atividade do músculo durante contrações estáticas ou dinâmicas (BASMAJIAN, 1962; MARCHETTI; KONRAD, 2006).

O sinal eletromiográfico consiste, portanto, da soma dos potenciais de ação que são captados sob a área dos eletrodos de superfície e ocorre quando há excitação destas células, permitindo avaliar o grau de ativação e a duração de uma tarefa motora, bem como fornecer informações sobre o processo de fadiga muscular. Algumas variáveis influenciam o sinal, dentre elas: equipamento utilizado, conhecimento técnico do avaliador, tipo e tamanho de eletrodos, características anatômicas e fisiológicas como o tipo e diâmetro da fibra, variação da velocidade de condução da unidade motora ( BASMAJIAN,1962; DE LUCA, 1997; KONRAD, 2006; FARINA et al., 2012).

Neste trabalho utilizou-se sensores de superfície, cujo sinal pode ser analisado no domínio do tempo e da frequência. No domínio do tempo podem ser extraídas características que normalmente estão associadas a intensidade de contração dos músculos situados abaixo do eletrodo(TAN et al., 2012). No domínio da frequência podemos analisar o espectro de potência do sinal, capaz de fornecer informações sobre a frequência de disparo das unidades motoras e dos tipos de fibras que compõem o músculo em questão (TAN et al., 2012).

# CAPÍTULO 3

## MÉTODOS

### 3.1 Hardware

O sistema TREMSEN (*Precise Tremor Sensing Technology*) (Figura 1) que utilizamos nesta pesquisa para a detecção e gravação das atividades do antebraço foi desenvolvido em nosso laboratório NIATS por pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia (Instituto Nacional de Propriedade Industrial – Brasil – Processo - INPI BR 10 2014 023282 6).

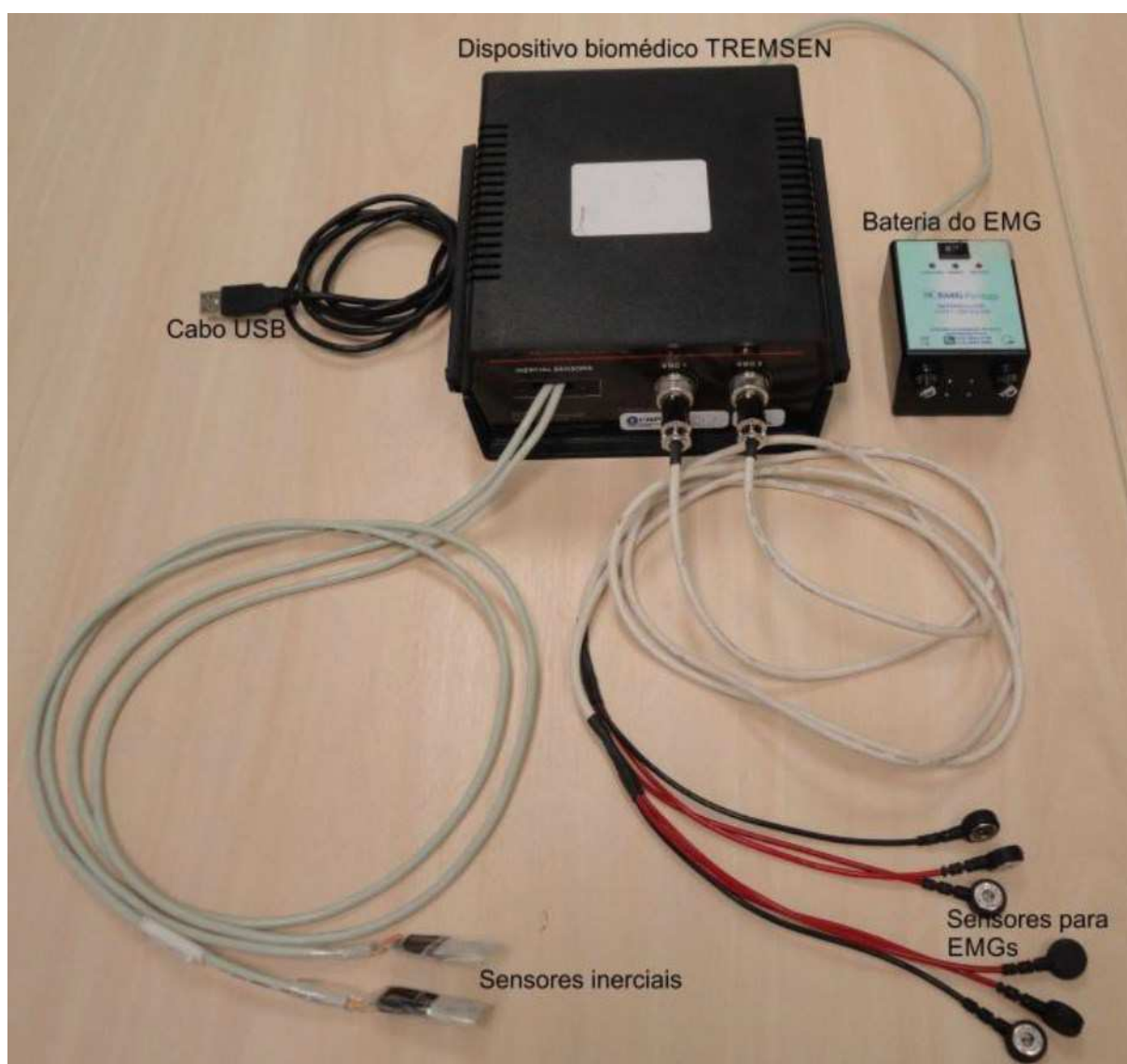
Este dispositivo possui *hardware* e *software* para aquisição, armazenamento e visualização dos dados em tempo real (Figura 2). É composto por EMG de superfície e sensores inerciais formado por um giroscópio L3G4200D com saída digital e três eixos, um acelerômetro e um magnetômetro LSM303DLM com saída digital e três eixos. O sistema é composto por duas IMUs (*Inertial Measurement units*) e se baseia na tecnologia MEMS. A comunicação com o microcontrolador ocorre por meio do protocolo I<sup>2</sup>C especificado pela *Philips Semiconductors* (atualmente NXP *Semiconductors*). As configurações dos sensores inerciais podem ser realizadas individualmente, mediante o protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C, conforme apresentado a seguir:

- Acelerômetro:  $\pm 2$ ,  $\pm 4$ ,  $\pm 6$ ,  $\pm 8$ , ou  $\pm 16$  g;
- Giroscópio:  $\pm 245$ ,  $\pm 500$ , ou  $\pm 2000^\circ/\text{s}$ ;
- Magnetômetro:  $\pm 2$ ,  $\pm 4$ ,  $\pm 8$ , ou  $\pm 12$  Gauss.

A EMG de superfície apresenta uma frequência de amostragem dos dados de 50 Hz. O condicionador da atividade eletromiográfica filtra o sinal bruto de modo a estimar apenas a envoltória do sinal.

Os dados analógicos dos sensores são convertidos em digitais pelo conversor A/D de 12 bits. O microcontrolador lê as informações dos sensores e transmite os dados ao computador pela comunicação (USB) *Universal Serial Bus*.

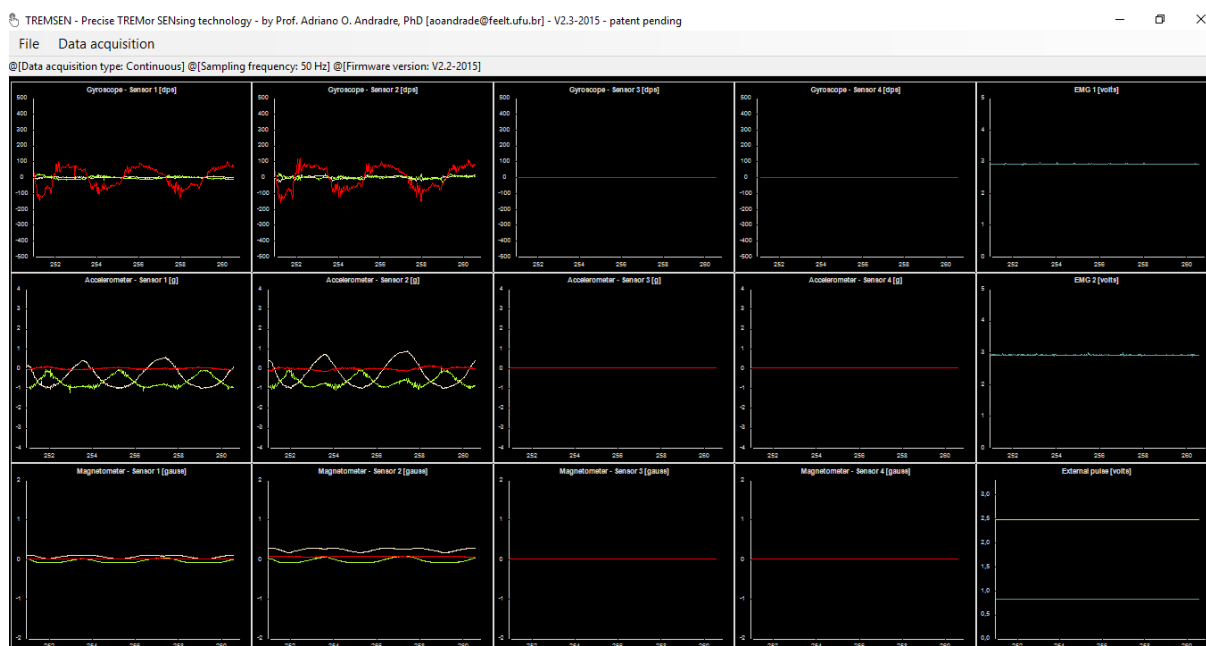
Figura 1: Dispositivo Biomédico e seus componentes (TREMSSEN).



Fonte: Organizado pela pesquisadora



Figura 2: Tela do *software* para visualização do sinal coletado sincronizado e em tempo real.



Fonte: Organizado pela pesquisadora

### 3.2 Delineamento do estudo e coleta de dados

Este estudo foi conduzido na (UFU) Universidade Federal de Uberlândia e teve sua aprovação pela CONEP (CAAE: 07075413.6.0000.5152– Anexo A). Os voluntários foram divididos em dois grupos, um com indivíduos hígidos (G1) e o outro com indivíduos com DP(G2).

Os participantes da pesquisa foram informados previamente sobre o experimento, o qual não oferecia nenhum risco à saúde e nem à integridade física e/ou moral. Toda a coleta foi realizada de forma não invasiva e não trazia nenhum benefício financeiro ao participante e, após esclarecimentos, assinaram o termo de consentimento para participação no estudo (Anexo B).

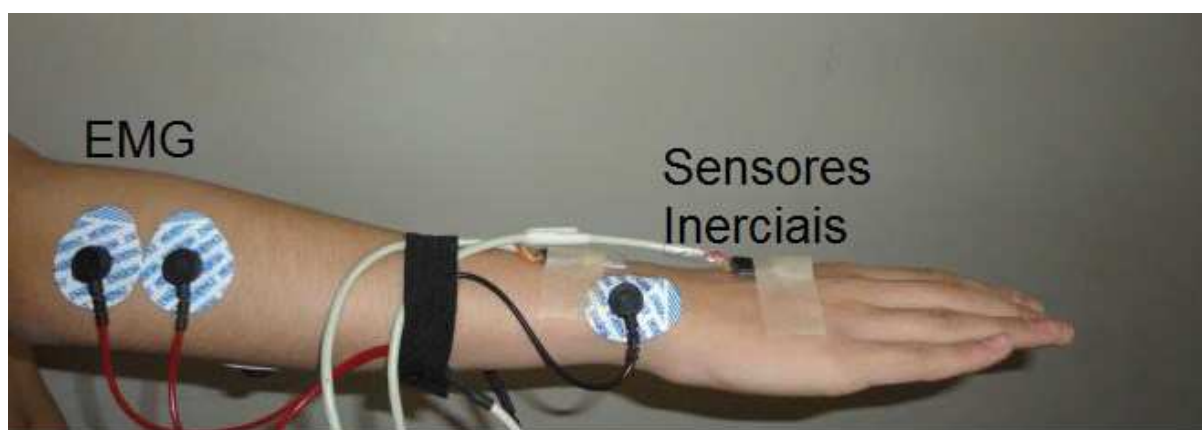
Os voluntários realizaram o protocolo de coleta proposto pela pesquisadora, compreendendo três coletas consecutivas, com os eletrodos e sensores

posicionados no membro superior dominante dos indivíduos hígidos, e do membro superior mais comprometido dos indivíduos com DP. Todos tiveram seus antebraços previamente tricotomizados e higienizado com álcool a 70% no local de colocação dos eletrodos auto-adesivos para coleta do sinal eletromiográfico.

Utilizou-se 2 sensores inerciais (MinIMU 9, ST *Microelectronics*, Suíça), ambos com acelerômetro, giroscópio e magnetômetro. Os eixos X, Y e Z foram orientados nas direções verticais, médio-lateral e anteroposterior, respectivamente. Estes foram fixados com fita microporosa, um no dorso da mão seguindo o alinhamento do terceiro dedo e o outro no terço distal do antebraço, seguindo o mesmo alinhamento do primeiro eletrodo.

Para a coleta do sinal de eletromiografia de superfície usamos eletrodos de 10mm de diâmetro auto-adesivos com gel sólido da Meditrace que foram posicionados simultaneamente aos sensores inerciais, nos músculos extensores e flexores do punho. Os eletrodos de referência foram posicionados nas proeminências ósseas da primeira articulação do polegar e processo estilóide da ulna, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Posicionamento do sensor inercial (IMU) no dorso da mão e região posterior do antebraço, e do sensor eletromiográfico sobre os músculos extensores e flexores do punho.



Fonte: Organizado pela pesquisadora

O primeiro grupo (G1) foi composto por 99 indivíduos hígidos (20 a 98 anos) da comunidade local. As coletas foram realizadas no laboratório NIATS e na

residência do próprio voluntário, para evitar o inconveniente de deslocamento dos voluntários mais velhos, muitos eram institucionalizados ou dependentes de cuidadores. Para sanar esta dificuldade deslocou-se com equipamento para abranger no mínimo uma amostra de cada idade dentro do intervalo estabelecido no protocolo que foi de 20 a 98 anos, exceto 97 anos, o qual não foi encontrado nos locais visitados e que se adequasse ao protocolo de coleta (Quadro 1). Devido a fragilidade da pele dos voluntários mais velhos, foram tomados alguns cuidados quanto a retirada dos eletrodos como umedecer a pele com água ou com óleo para não provocar lesão cutânea.

Quadro 1. Características dos indivíduos do grupo hígido G1

Grupo Total de indivíduos hígidos	
Idade Média (anos)	58,12 ± 39,88
Variação em (anos)	20 a 98
Nº de sujeitos	99

Fonte: Organizado pela pesquisadora.

O segundo grupo (G2) foi composto por 5 participantes (45 a 67 anos) (Quadro 2), todos da associação de Parkinson da cidade de Uberlândia – MG, com diagnóstico comprovado da doença, e previamente avaliado por profissional da associação, por meio da escala *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (UPDRS) (Anexo C). A coleta foi realizada na associação e tinha que coincidir com os dias de atendimento dos voluntários na mesma.

Quadro 2: Características dos indivíduos do grupo com doença de Parkinson G2

Grupo total de indivíduos com doença de Parkinson	
Idade média em anos	59,2 ± 15,8
Variação em anos	45 a 75
Nº de sujeitos	5

Fonte: Organizado pela pesquisadora.

Utilizou-se como critério de exclusão todo indivíduo do G1 que apresentasse história de doença neuromotora ou em uso de medicação que pudesse afetar o movimento voluntário. Sendo assim foi possível obter amostras do padrão de atividade dentro do índice de normalidade. Do G2 a exclusão foi para voluntários sem diagnóstico confirmado de DP ou que estivesse em estágio inicial da doença ou ainda no qual não era possível visualizar qualquer alteração motora.

A Tabela 1 apresenta os dados clínicos dos indivíduos com DP, dados estes retirados de avaliações prévias realizadas por profissionais da associação de Parkinson (Uberlândia – MG). Desta avaliação foram considerados apenas alguns itens da escala UPDRS (Anexo C), tais como os itens 16, 20, 21, 23 e 25 da avaliação motora de membro superior. O item 16 avalia o tremor, o item 20 avalia o tremor de repouso sendo considerado só os índices de mão direita e mão esquerda, o item 21 avalia o tremor de ação nas mãos direita e esquerda, o item 23 os movimentos de pinça, o item 25 movimentos de pronação e supinação, após, os escores foram somados e quanto maior o índice maior será o comprometimento motor da extremidade superior do indivíduo com DP.

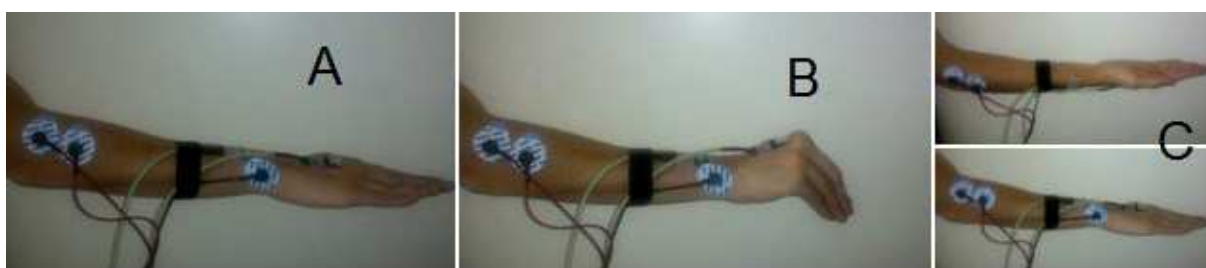
Tabela 1- Dados clínicos dos sujeitos com a doença de Parkinson

Voluntário	Idade	Score UPDRS item 16	Score UPDRS item 20	Score UPDRS item 21	Score UPDRS item 23	Score UPDRS item 25	Soma
1	63	1	1	0	2	2	6
2	46	1	1	0	2	2	6
3	75	3	3	3	2	1	13
4	45	1	1	1	2	1	6
5	67	1	1	1	2	2	7

Fonte: Associação de Parkinson de Uberlândia-MG

Para início das coletas os eletrodos e sensores foram devidamente posicionados sobre o antebraço e dorso da mão dos voluntários do G1 e G2. Os quais em um primeiro momento permanecem com o membro estático e o antebraço em semiflexão (Figura 4 – A) por no mínimo 5 segundos, em seguida, na mesma posição do antebraço, realiza pinça polpa a polpa com todos os dedos (Figura 4 – B), após pronação e supinação do antebraço (Figura 4 - C), ambos também por no mínimo 5 segundos, repetiu-se este protocolo por três vezes sequenciais.

Figura 4: (A) Atividade estática do antebraço. (B) Movimento de pinça polpa a polpa com todos os dedos. (C) Movimento de prono supinação do antebraço.

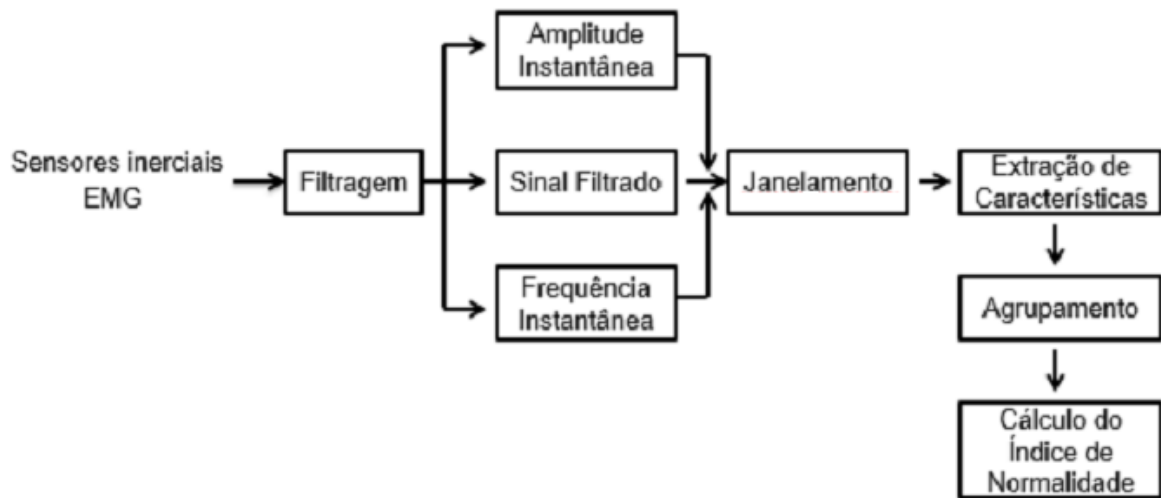


Fonte: organizado pela pesquisadora

### 3.3 Processamento dos dados

A composição de um padrão de movimento para cada atividade, marcações do tempo inicial e final consiste no início e fim da execução de cada atividade, marca os eventos relevantes durante a coleta. Foram anotados para os registros de cada sensor. Essas marcações foram realizadas por um marcador de pulso sendo conferidas manualmente para a extração de características em *Matlab* R2015a (*MathWorks* Inc., USA), em outro momento utilizou-se o algoritmo TSNE ( *T-Distributed Stochastic Neighbor Embedding*) no programa estatístico R para análise de dados, agrupamento, cálculo do índice de normalidade. A Figura 5 ilustra etapas do processamento dos dados.

Figura 5: Diagrama do processamento dos dados.



Fonte Adaptado de Peres (2016).

Os dados usando os sensores inerciais (acc, giro e mag), cujo foi realizado o cálculo do vetor resultante, e os sinais eletromiográficos foram coletados e armazenados para posteriormente gerar três novas séries temporais para cada atividade realizada sendo: o sinal de amplitude instantânea o da frequência instantânea, e o sinal filtrado, conforme métodos descritos em (ANDRADE, 2005).

Características de amplitude e de dispersão foram extraídas de cada uma das 3 novas séries temporais.

### 3.3.1 Filtragem

Filtros *Butterworth* de 4ª ordem, passa-banda, com frequência de corte entre 1 e 25HZ foram implementados digitalmente para atenuação de frequências indesejáveis, com parâmetros específicos para cada sinal. Além disso, filtros com polinômios de 20ª ordem também foram aplicados para excluir tendências não lineares.

### **3.3.2 Geração do sinal filtrado, amplitude e frequência instantânea**

A partir do sinal coletado, foi gerado um sinal de frequência instantânea, amplitude instantânea e gerado uma nova série temporal com o sinal filtrado, tal como detalhado em (ANDRADE et al., 2005). Este processo foi feito para cada atividade realizada.

#### **3.3.2.1 Amplitude Instantânea**

A amplitude instantânea é um conceito muito comum em modulação de sinais ou processamento de sinais em Engenharia Biomédica. Também conhecida como envelope, é descrita como a magnitude do sinal e foi estimada por meio da transformada de Hilbert.

#### **3.3.2.2 Frequência Instantânea**

A frequência de uma senóide é uma medida muito bem estabelecida, sendo o inverso do tempo que o sinal leva para sair de um ponto de repouso, atingir seu valor máximo, cair até seu valor mínimo e então voltar para a situação de repouso. Calcular a frequência de sinais estacionários não é uma tarefa tão complexa, pois basta calcular quantas vezes este sinal se repete por segundo. Quando tratamos de sinais não estacionários como por exemplo um sinal de EMG, esta noção de frequência perde seu sentido. Um sinal não estacionário é um sinal cuja frequência se altera com o tempo. Com a necessidade de se encontrar a frequência destes sinais, surge a ideia de frequência instantânea.

A noção de frequência instantânea é geralmente usada na área de comunicações, radar, medidas de tremores sísmicos e em engenharia biomédica. A frequência instantânea é um parâmetro que define a localização do pico do espectro de frequência do sinal conforme ele varia no tempo (BOUASHASH et al., 1992).

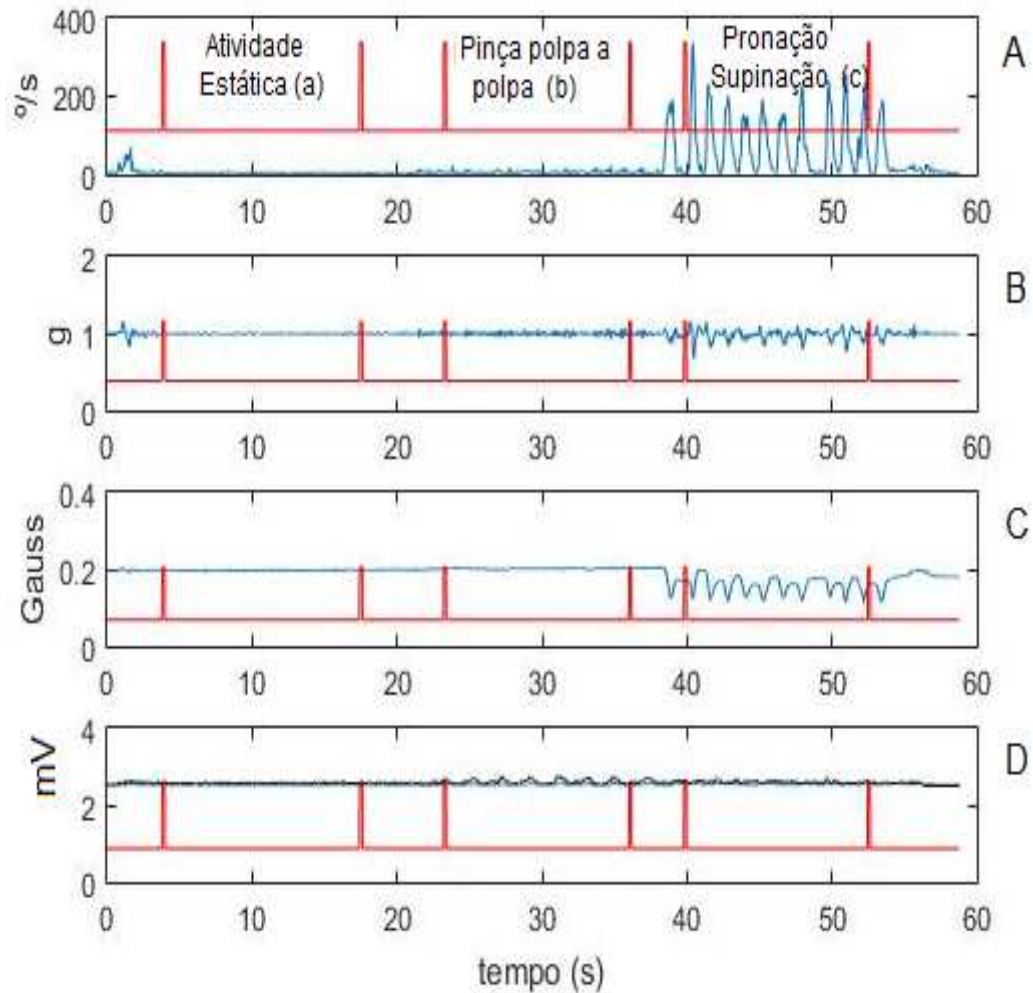
### **3.3.3 Janelamento**

O janelamento é realizado para evitar que informações irrelevantes do sinal sejam processadas.

Foi criado um algoritmo de janelamento para agilizar o processo de extração de características. Foram selecionados trechos do sinal que continham a atividade a ser estudada, sendo previamente anotadas com marcadores de pulso e conferidos um a um manualmente. Realizou-se três atividades sequenciais cada uma com no mínimo 5 segundos de duração, sendo suas características extraídas de cada trecho do sinal. A Figura 6 mostra o início e fim de cada atividade, em uma sequência de coleta, com os sensores inerciais e eletromiografia.



Figura 6: Janelamento do sinal; após conferência manual dos pulsos, anteriormente marcado com marcador de pulso. Intervalos representam: (a) atividade estática, (b) pinça polpa a polpa, (c) Pronação e supinação e seus respectivos sensores inerciais: Giroscópio (A), Acelerômetro (B), Magnetômetro (C), Eletromiografia (D).



Fonte: Organizado pela pesquisadora.

### 3.3.4 Extração das características

A extração de características foi usada para detectar um segmento específico de informação obtida dos dados disponíveis. Entretanto a extração de características não é independente das transformações, ou seja, em muitos casos é necessária

uma transformação antes de se extraírem as características para tornar acessível as informações que antes estavam ocultas (BRAVI; LONGTIN; SEELY, 2011)

Nesse estudo utilizamos técnicas de extração de características, sem a necessidade da aplicação de técnicas de transformação, as quais se encontram descritas na literatura (ANDRADE, 2005), e que foram desenvolvidas e previamente utilizadas em nosso laboratório NIATS.

O Quadro 3 apresenta as características extraídas relacionadas à amplitude do sinal (PEAK, MAV, MAVFD, MAVSD, MAVFDN, MAVSDN), e à dispersão dos dados (STD, RANGE) de cada sinal utilizado neste estudo.

Quadro 3: Descrição das características usadas nesse estudo. O código *Matlab* correspondente também está representado.

Característica	Descrição	Fórmula
<i>MAV</i>	Estima o valor absoluto médio de um vetor.	$MAV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N  X_i $
<i>PEAK</i>	Estima o valor máximo de um vetor, considera somente valores positivos da janela	$PEAK = \max \{x_i\}_{i=1}^N$
<i>MAVSDN</i>	Estima a média do valor absoluto da segunda diferença do sinal normalizado	$MAVSDN = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^{N-2} \frac{ x_{i+2} - x_i  - \bar{x}}{\sigma}$
<i>MAVSD</i>	Estima a média do valor absoluto da segunda diferença	$MAVSD = \frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^{N-2}  x_{i+2} - x_i $
<i>MAVFD</i>	Estima a média do valor absoluto da primeira diferença	$MAVFD = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1}  x_{i+1} - x_i $
<i>MAVFDN</i>	Estima a média do valor absoluto da primeira diferença do sinal normalizado	$MAVFDN = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{ x_{i+1} - x_i  - \bar{x}}{\sigma}$
<i>STD</i>	Desvio padrão	$STD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$
<i>RANGE</i>	Estima a diferença entre o valor máximo e o mínimo observados	$RANGE = \max \{x_i\}_{i=1}^N - \min \{x_i\}_{i=1}^N$

Fonte: ANDRADE et al., Pelvic movement variability of healthy and unilateral hip joint involvement individuals. Biomedical Signal Processing and Control (Print), v. 32, p. 10-19, 2017.

### 3.3.4.1 (T-SNE) *T-Distributed Stochastic Neighbor Embedding* agrupamento dos dados

Visualizar dados com múltiplas dimensões é um problema em diversas áreas de pesquisas. Existem atualmente diversas técnicas que tentam representar esses dados multidimensionais em um mapa de duas ou três dimensões, sendo a *Principal Component Analysis* (PCA) uma das mais utilizadas atualmente (OLIVEIRA et al., 2003). A ideia de diminuição de dimensão de dados é preservar ao máximo a estrutura dos dados multidimensionais em um espaço bidimensional. Técnicas como o PCA tentam capturar variações lineares dos dados, mantendo dados não semelhantes distantes uns dos outros. O problema com as técnicas que se baseiam na linearidade dos dados é que as vezes é mais importante manter dados similares próximos uns aos outros no espaço bidimensional, o que é tipicamente impossível com técnicas como o PCA (MAATEN; HINTON, 2008).

O TSNE tenta fazer essa redução na dimensão dos dados mantendo o máximo possível a estrutura original dos dados no espaço multidimensional para o espaço bidimensional. Dessa forma objetos similares são colocados próximos uns aos outros e objetos não similares são plotados distantes uns dos outros.

Nesse trabalho, o TSNE foi utilizado em uma tabela de dados de múltiplas variáveis para que se pudesse gerar um mapa que representasse as diferentes atividades realizadas pelos participantes da pesquisa. O TSNE capta as variações dos dados no espaço multidimensional e representa essas variações em um espaço bidimensional.

Ao utilizar o TSNE e plotar os dados em um mapa 2D, é possível ver agrupamentos de dados. Dados semelhantes se agrupam em determinados espaços do mapa enquanto que dados diferentes aparecem distantes uns dos outros. Espera-se, portanto, que grupos sejam formados por dados que apresentam similaridades por se originarem de uma mesma atividade. Logo, ao analisar o protocolo de coleta de dados, é possível prever o surgimento de 3 grupos distintos de dados, pois foram realizadas 3 diferentes atividades por cada participante da pesquisa.

#### **3.3.4.2. Índice de normalidade**

Para estabelecer o índice de normalidade desse estudo, foram plotados em um mapa 2D os pontos relativos a cada indivíduo. Para cada atividade realizada na coleta, formou-se no mapa um grupo de dados. Em cada grupo de dados, calculou-se um ponto centroide e então calculou-se a distância euclidiana entre o centroide e o indivíduo saudável mais distante do centroide naquele grupo de dados. Essa distância máxima foi determinada como de valor 1. Dessa forma, o índice representaria o quanto cada ponto está distante do centroide. Logo, quanto maior o valor do índice, mais distante está o sinal em relação à tendência central do grupamento de dados (para exemplificar, supondo que algum sinal apresentasse índice 2, significa que este estaria o dobro da distância do centroide, tendo o ponto mais distante como referência).

Dessa forma todos os índices foram calculados para todos os indivíduos (DP e saudáveis). Um índice entre 0 e 1 representa que o indivíduo realizou a atividade de forma semelhante ao do grupo G1 (hígido). A partir de 1, quanto maior o índice for, pior foi a performance do indivíduo realizando aquela determinada tarefa.

Foi gerado um índice para cada indivíduo, para cada atividade realizada. Os diferentes métodos de processamento utilizados não influenciam na forma como o índice é calculado.

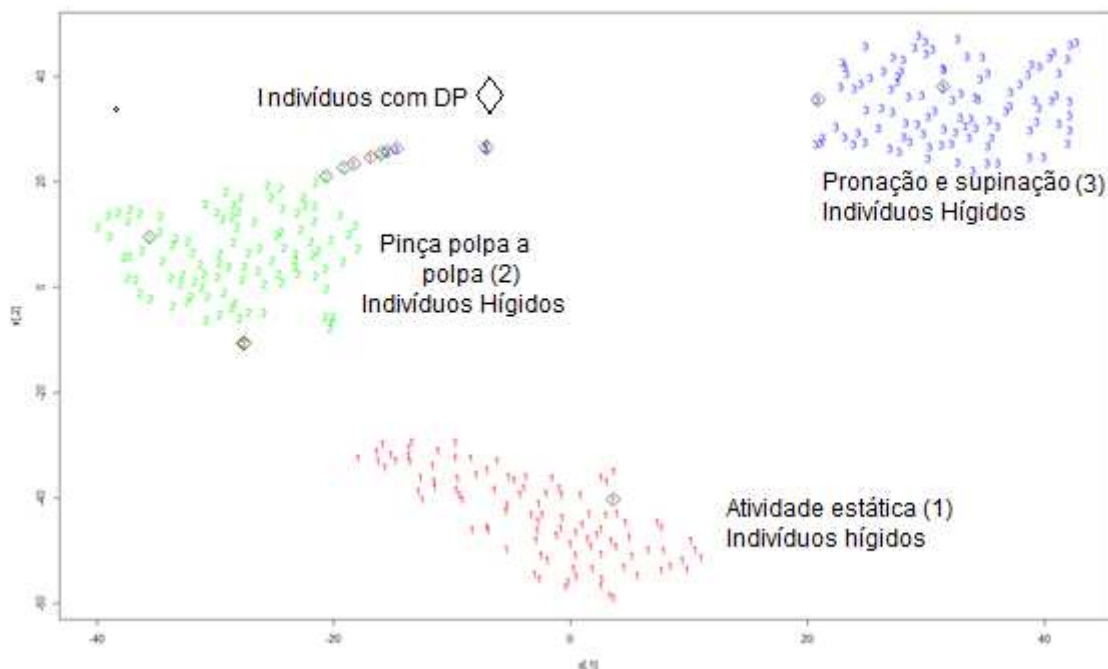
# CAPÍTULO 4

## RESULTADOS

Os resultados apresentados consideram a análise dos dados de indivíduos hígidos, coletados em voluntários da sociedade, a maioria em suas residências, casas de repouso, asilos com amostras de idades variadas abrangendo no mínimo uma amostra de cada idade dentro do intervalo estabelecido no protocolo que foi de 20 a 98, exceto 97 anos, conforme quadro 1. A coleta de dados de indivíduos com DP foram realizadas na associação de Parkinson em Uberlândia conforme quadro 2.

A Figura 7 mostra um gráfico de pontos das 3 atividades desenvolvidas pelos participantes da pesquisa representada por números e cores. Sendo 1 (cor vermelha) a Atividade 1; o número 2 (cor verde) a Atividade 2 e o número 3 (cor azul) a Atividade 3. As atividades realizadas pelos indivíduos com doença de DP foram marcadas com um losango preto ao redor. As componentes do gráfico são resultantes do agrupamento do algoritmo TSNE.

FIGURA 7: Gráfico de pontos das atividades realizadas pelos indivíduos hígidos e indivíduos com DP marcadas com um losango preto utilizando dados extraídos do sinal filtrado.



Fonte: organizado pela pesquisadora

Um índice de normalidade foi criado para que se pudesse estabelecer quantitativamente o quanto o padrão motor de um indivíduo com DP é diferente daquele de uma pessoa hígida. Entre 0 e 1 é considerado um índice normal para a realização da atividade. Quanto maior que 1 for esse índice, maior é a distinção do padrão motor daquele indivíduo. Caso a atividade em análise seja a de repouso, então o padrão motor é o tremor.

As Figuras 8, 9 e 10 mostram o gráfico da densidade do índice criado para indivíduos hígidos realizando as Atividades 1, 2 e 3 respectivamente utilizando os dados extraídos do sinal filtrado.

FIGURA 8: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal filtrado.



Figura 9: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal filtrado.

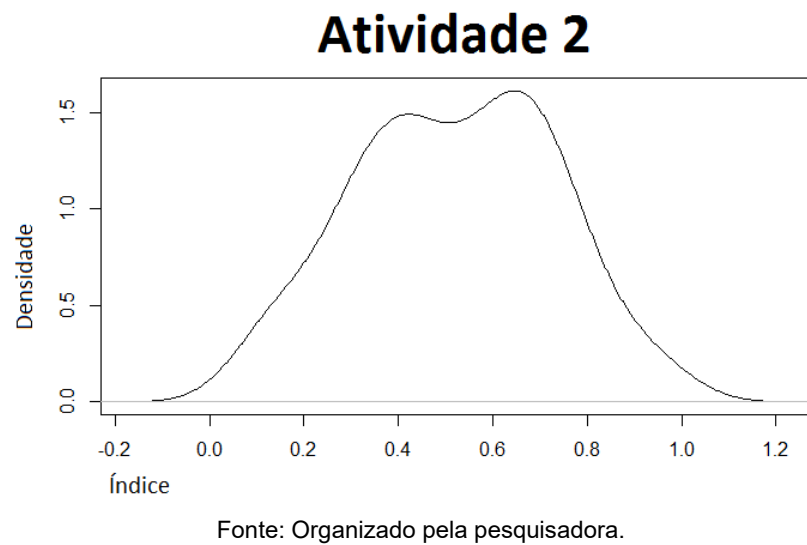
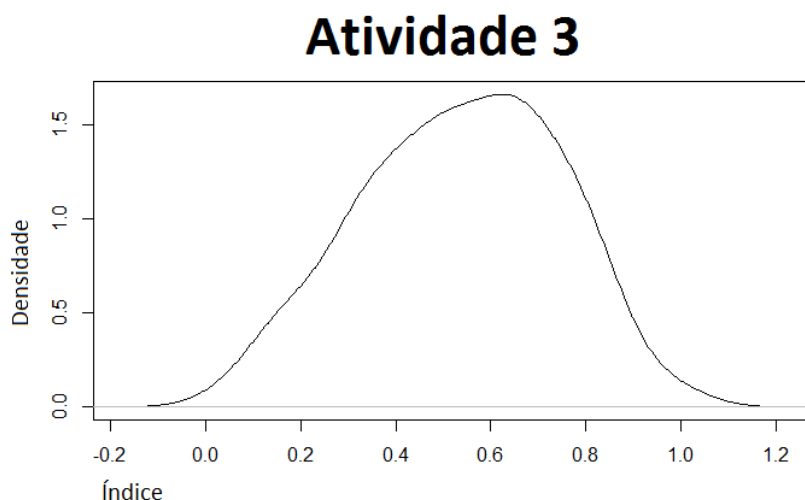




Figura 10: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal filtrado.

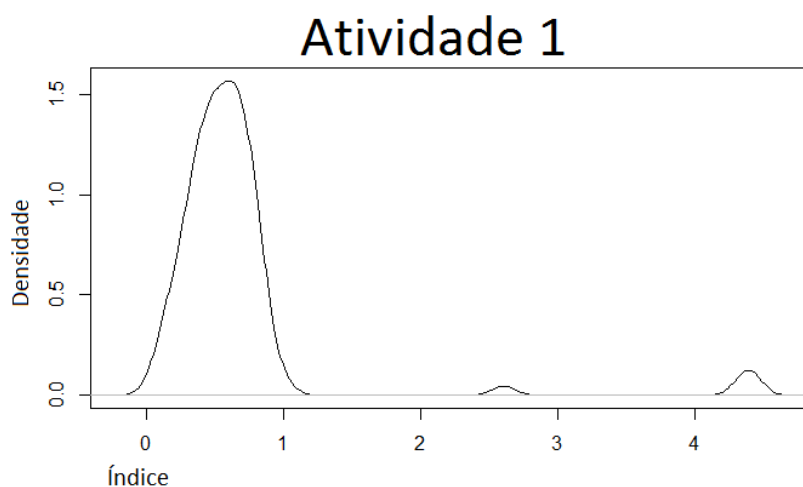


Fonte: Organizado pela pesquisadora.

As Figuras 11, 12 e 13 mostram o gráfico da densidade do índice criado para indivíduos hígidos e com DP realizando as Atividades 1, 2 e 3 respectivamente.

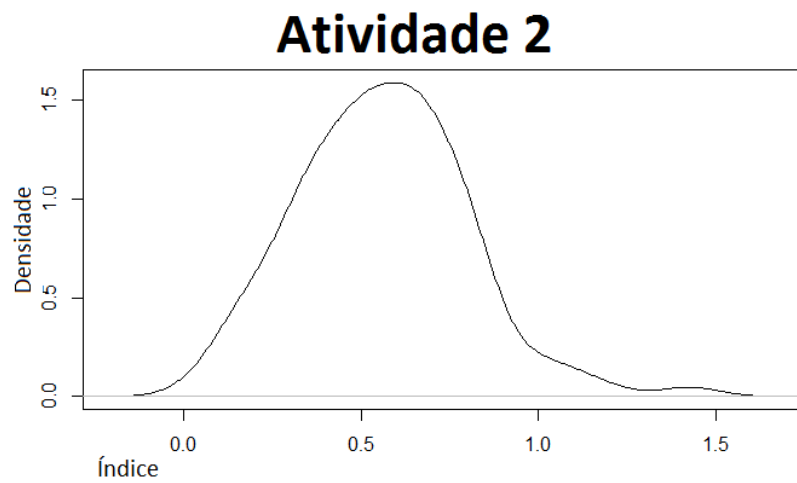
Pelas Figuras 11, 12 e 13 é possível ver o quanto o índice dos indivíduos com DP foi maior que a média de indivíduos saudáveis, utilizando os dados extraídos do sinal filtrado.

FIGURA11: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal filtrado.



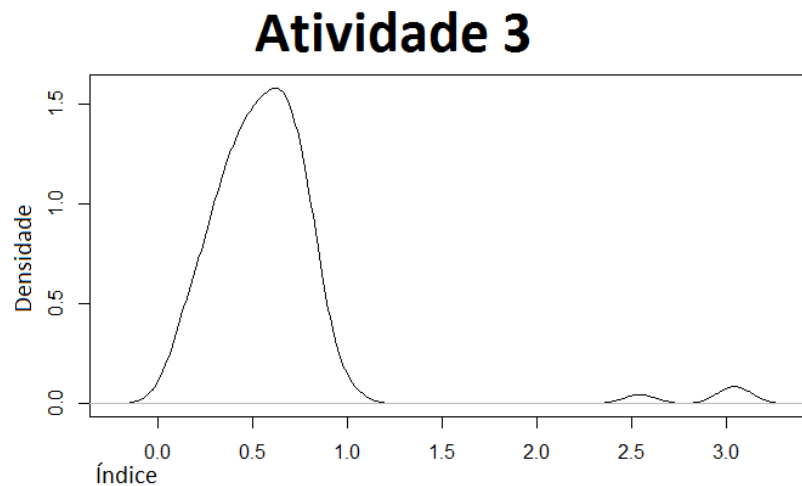
Fonte: Organizado pela pesquisadora

Figura 12: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal filtrado.



Fonte: organizado pela pesquisadora.

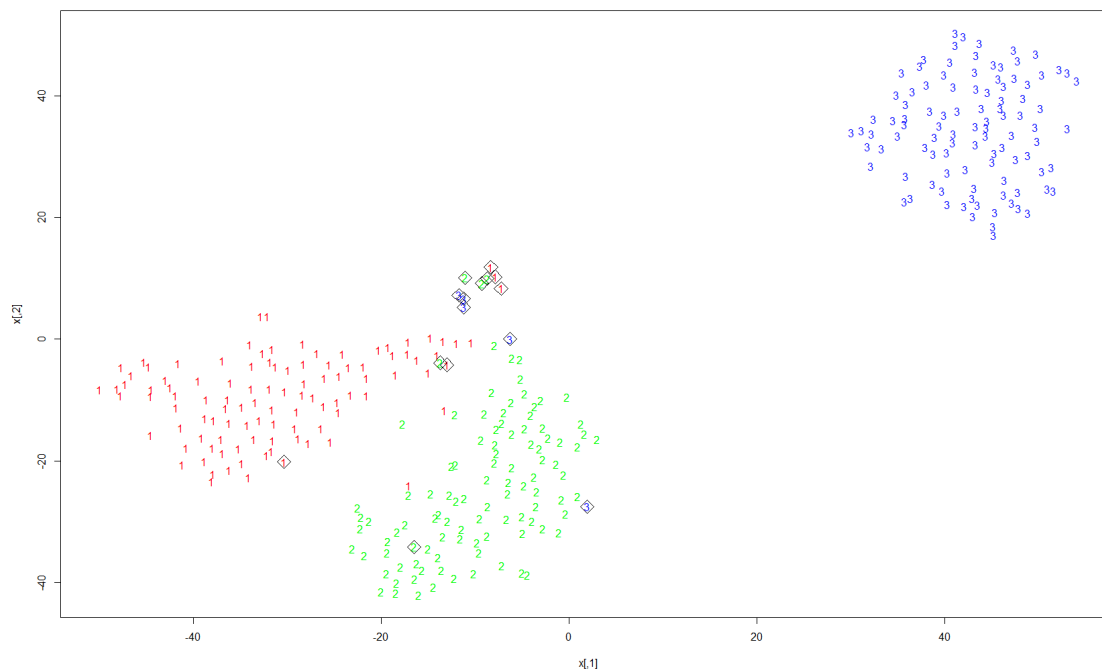
FIGURA 13: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal filtrado.



Fonte: Organizado pela pesquisadora

A Figura 14 mostra um gráfico de pontos das 3 atividades desenvolvidas utilizando características extraídas do sinal da frequência instantânea.

FIGURA 14: Gráfico de pontos das atividades realizadas pelos indivíduos hígidos e indivíduos com DP marcadas com um losango preto utilizando dados extraídos do sinal de frequência instantânea.



Fonte: Organizado pela pesquisadora

As figuras 15, 16 e 17 mostram o gráfico da densidade do índice criado de indivíduos hígidos realizando as Atividades 1, 2 e 3 respectivamente utilizando os dados extraídos do sinal da frequência instantânea.

FIGURA 15: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.

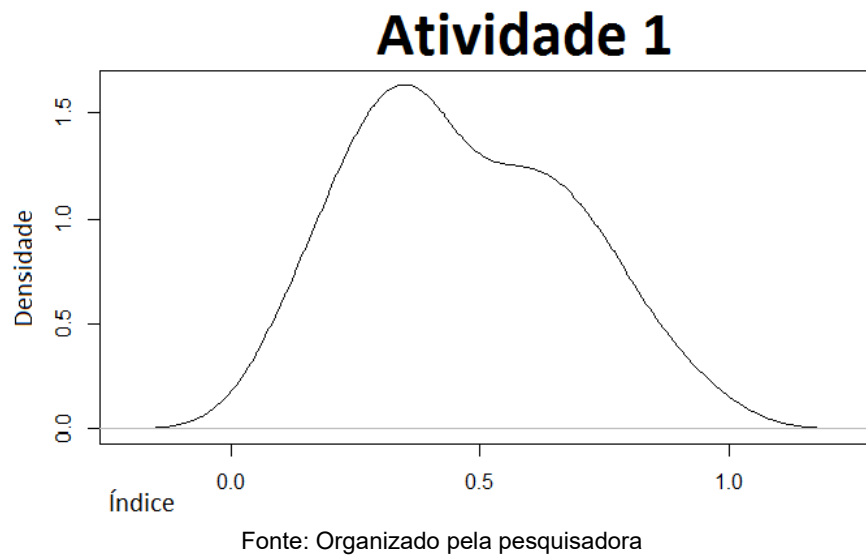


FIGURA 16: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.

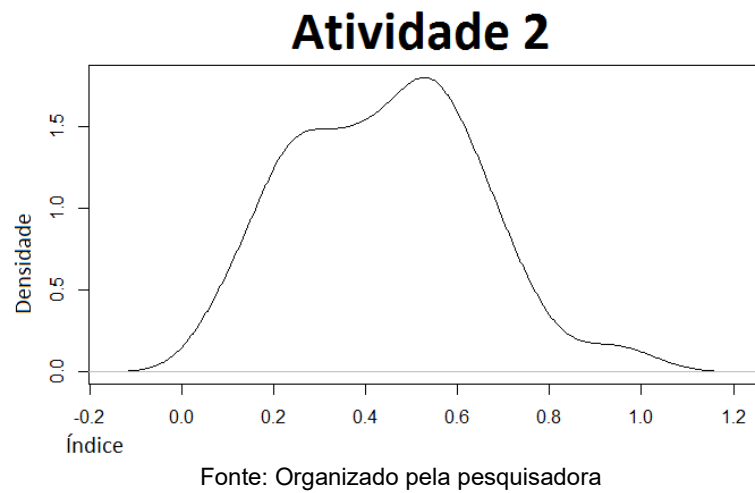
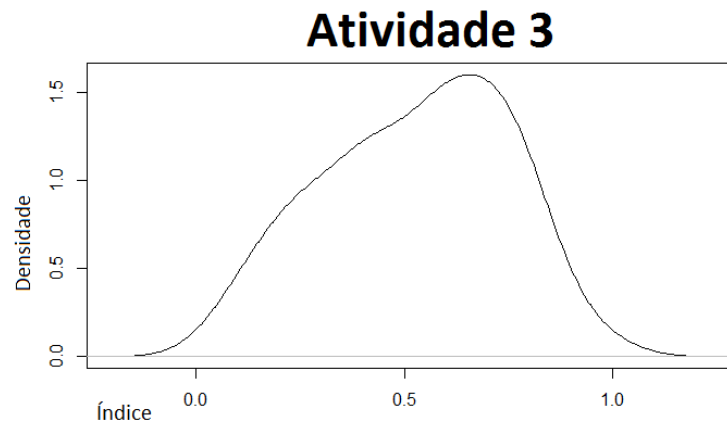


FIGURA 17: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.



As figuras 18, 19 e 20 mostram o gráfico da densidade do índice criado para indivíduos hígidos e com DP realizando as Atividades 1, 2 e 3 respectivamente utilizando dados do sinal de frequência instantânea.

FIGURA 18: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.

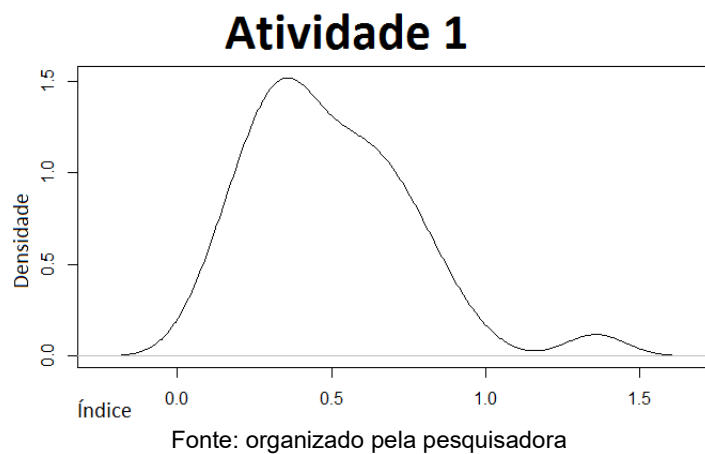
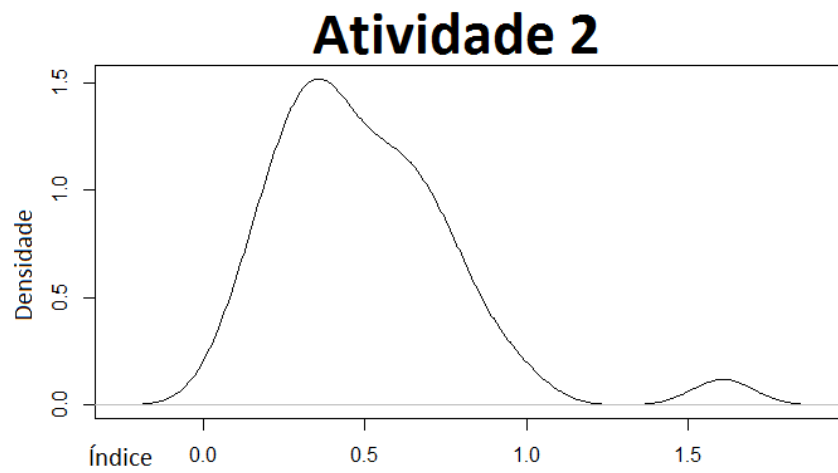
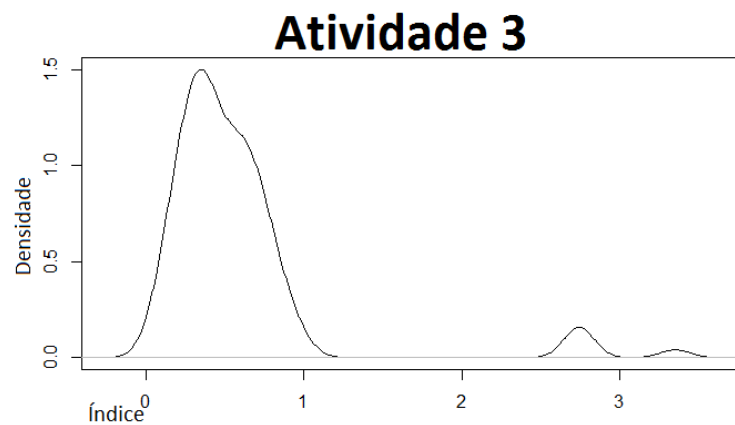


FIGURA 19: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora

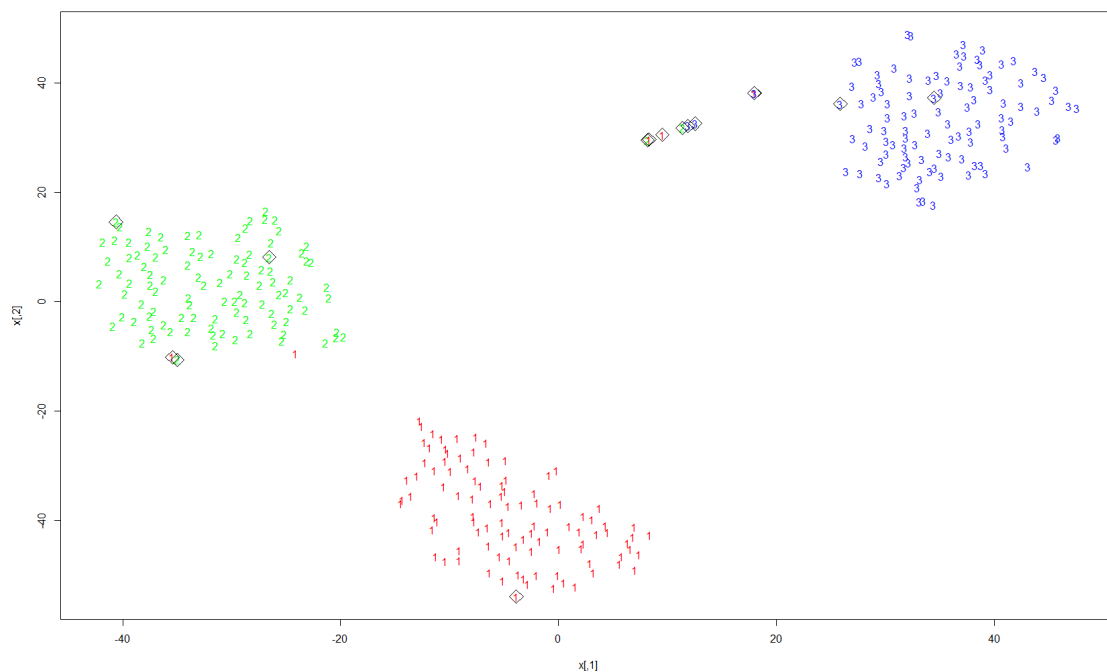
FIGURA 20: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal de frequência instantânea.



Fonte: Organizado pela pesquisadora

A Figura 21 mostra um gráfico de pontos das 3 atividades desenvolvidas utilizando as características extraídas do sinal de amplitude instantânea.

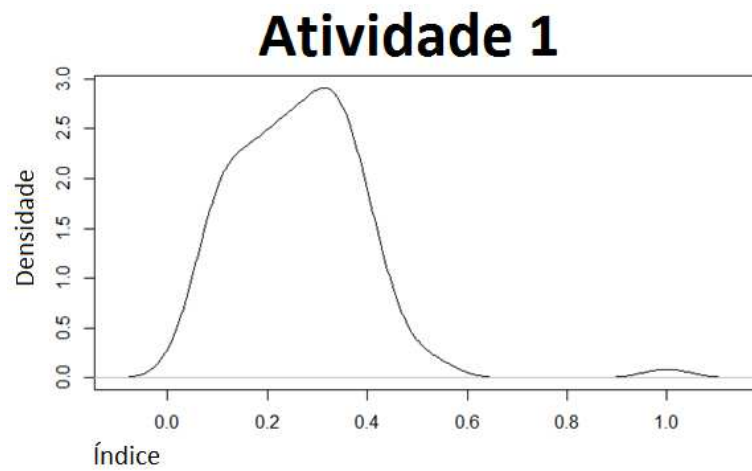
FIGURA 21: Gráfico de pontos das atividades realizadas pelos indivíduos hígidos e indivíduos com DP marcadas com um losango preto utilizando dados do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora

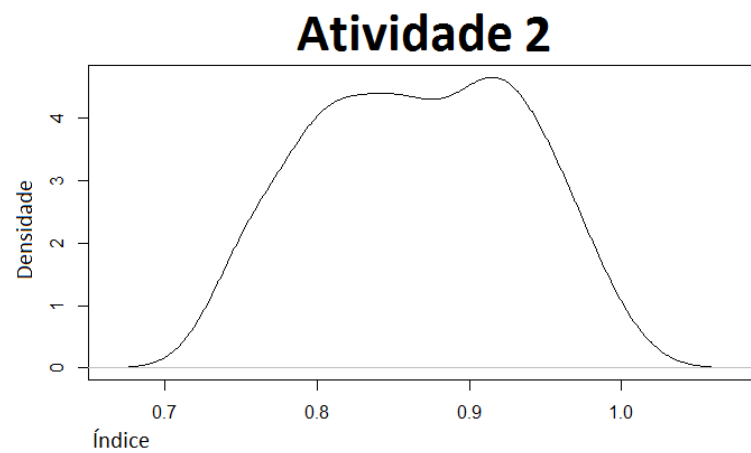
As Figuras 22, 23 e 24 mostram o gráfico da densidade do índice criado de indivíduos hígidos realizando as Atividades 1, 2 e 3 respectivamente utilizando os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.

FIGURA 22: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora

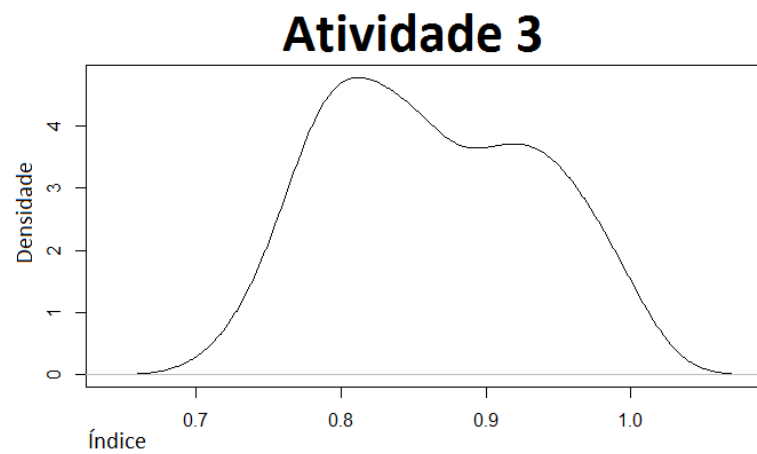
FIGURA 23: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 2 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora



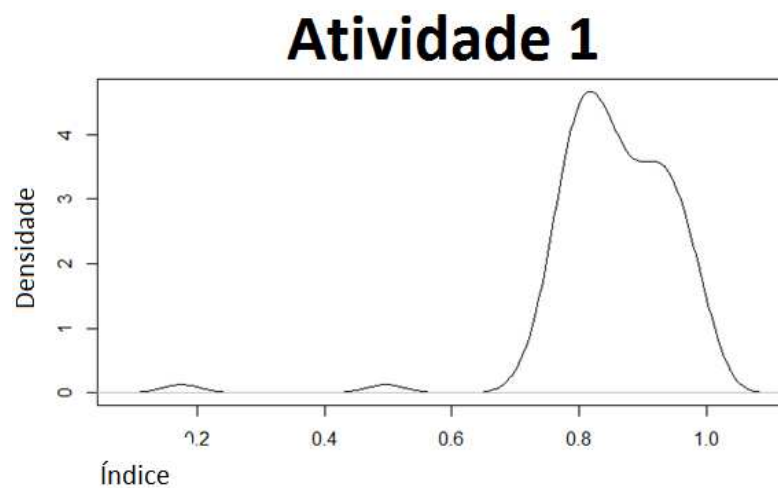
FIGURA 24: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos realizando a Atividade 3 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora

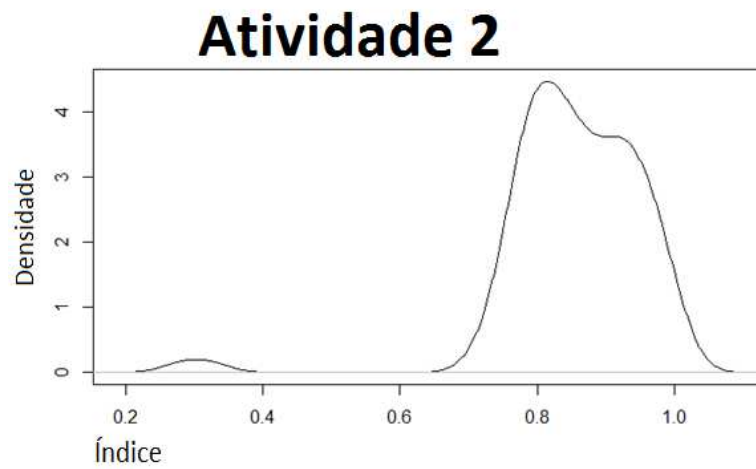
As Figuras 25, 26 e 27 mostram o gráfico da densidade do índice criado para indivíduos hígidos e com DP realizando as atividades 1, 2 e 3 respectivamente utilizando dados do sinal de amplitude instantânea.

FIGURA 25: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



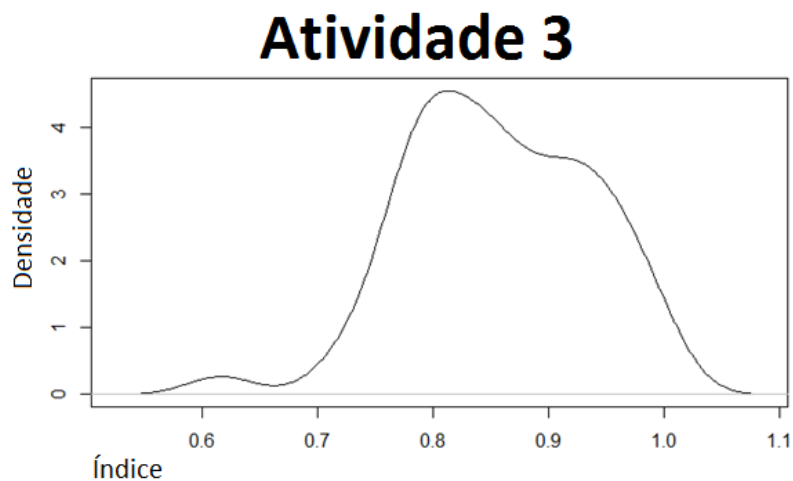
Fonte: organizado pela pesquisadora

FIGURA 26: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora

FIGURA 27: Gráfico de densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP realizando a Atividade 1 com os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora

Um resumo do índice de normalidade calculado para todos os indivíduos com DP realizando as 3 atividades com os 3 diferentes métodos de processamento é mostrado na tabela 2 a seguir.

TABELA 2: Índice gerado para todos os indivíduos com DP para as 3 Atividades realizadas e as 3 formas de processamento dos dados.

Método de Pré-Processamento	Individuo	Atividade		
		1	2	3
Amplitude instantânea	100	2,916004	6,2492503	6,3787309
	101	2,727074	1,0762857	1,2163441
	102	0,4985912	0,2321413	0,526497
	103	3,1849709	0,9000151	0,2527597
	104	2,9928263	5,2723537	6,4326013
Frequência instantânea	100	1,4242325	1,5531105	6,281809
	101	1,2567595	1,5624786	6,144458
	102	0,2608548	0,6546713	5,346835
	103	0,9536114	1,2378956	5,984019
	104	1,3497295	1,6151011	6,237813
Sinal filtrado	100	2,679173	1,1298631	2,7792045
	101	2,9698538	1,0304154	2,3391316
	102	0,3190286	0,6979489	0,1364562
	103	13,000594	16,6765744	0,7153952
	104	2,3835779	3,0244081	2,8380791

Fonte: organizado pela pesquisadora

# CAPÍTULO 5

## DISCUSSÃO

Este estudo propôs um índice numérico obtido a partir de informações de sensores inerciais e de eletromiografia para caracterizar índices de normalidade na realização de diferentes atividades motoras.

Na atualidade, diversos estudos trabalham com o reconhecimento de padrões e gestos, a partir de informações fornecidas por diferentes tipos de equipamentos como câmeras de vídeo, Kinect, realidade virtual, e sensores inerciais isolados que captam imagens e movimento para posteriores imitações, e processamento de dados (GIACOMOSSI, 2011; PIMENTEL, 2012).

Especificamente no caso da DP, vários estudos têm buscado avaliações mais objetivas, porém ainda não são aplicadas rotineiramente em avaliações clínicas. Em geral, as avaliações ainda são realizadas por meio de escalas subjetivas como a UPDRS, as quais são extensas e dependentes da habilidade do avaliador (RAMAKER et al., 2002; Lee et al., 2015).

Tendo como evidência a Figura 7 podemos ver que é possível distinguir as 3 atividades realizadas pelos participantes da pesquisa. O algoritmo TSNE conseguiu agrupar as diferentes atividades e mostrá-las em um espaço bidimensional, facilitando a visualização dos dados desse estudo.

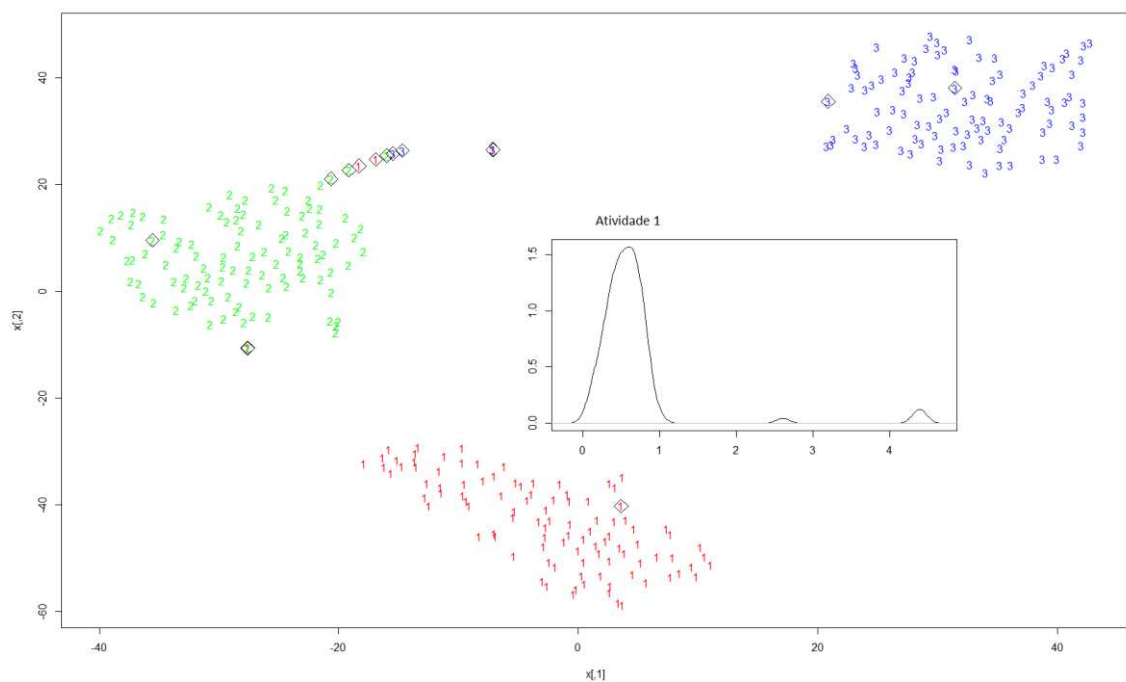
Porém foi criado um índice de normalidade utilizando somente os dados dos indivíduos hígidos. Foi posicionado um centroide no centro do grupo de indivíduos hígidos para cada tarefa. Então estabeleceu que a distância entre o centroide e o indivíduo mais distante seria igual a 1, e o índice dos demais indivíduos foi calculado tomando como base a distância euclidiana de cada ponto, normalizada pela distância entre o centroide e o ponto mais distante.

Por meio das Figuras 8,9,10,15,16,17,22,23,24 que mostram os índices dos indivíduos hígidos notamos que os dados estão todos concentrados entre 0 e 1 e

que a maior parte dos dados está concentrada no centro da curva, com algumas exceções que serão tratadas uma a uma.

Observando as Figuras 8, 9 e 10 respectivamente, vemos que a dispersão dos dados ao longo da curva ocorre de forma esperada, sendo poucos dados na distância mínima (próximo ao centroide), poucos dados distantes do centroide e a maioria dos dados na distância média (entre 0,0 e 0,6). Para todos os casos em que os dados mostrarem uma curva semelhante ao das Figuras 8, 9 e 10 chamaremos de caso típico.

FIGURA 28: Gráfico de pontos e da densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP dando destaque para a análise da Atividade 1 utilizando os dados extraídos do sinal filtrado.



Fonte: organizado pela pesquisadora

Pela figura 28 é possível ver a massa de indivíduos hígidos em vermelho na parte inferior do gráfico de pontos e um indivíduo com DP no meio deles. Pelo fato desse indivíduo estar junto da massa de indivíduos hígidos, pode dizer que o mesmo realizou a atividade 1 tão bem quanto um indivíduo hígido, não ficando evidente a presença do tremor. Pela Tabela 2 podemos ver que esse é o indivíduo 102.

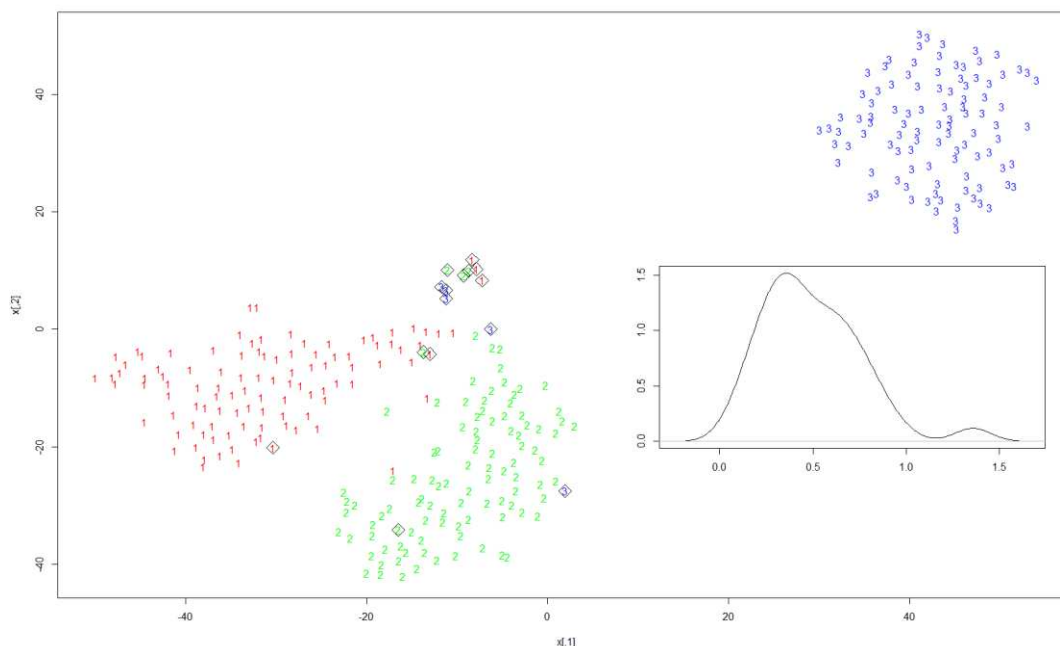
Na parte superior da Figura 28, é possível notar 4 pontos vermelhos, que representam indivíduos que não conseguiram realizar a Atividade 1 da forma como deveriam, provavelmente devido a severidade do tremor. Ao apreciar esta mesma Figura 28, é possível ver o aparecimento de um indivíduo com um índice entre 2 e 3 e alguns indivíduos com um índice próximo de 4. A área da curva mostrada próximo ao índice 4 é maior pois se olharmos próximo aos pontos da Atividade 2, vemos 2 indivíduos tentando realizar a Atividade 1. A área da curva entre o índice 2 e 3 é menor que a área após o índice 4. Há mais indivíduos com um índice próximo a 4 do que entre 2 e 3.

Pelo gráfico de pontos da Figura 28, evidenciamos que alguns indivíduos com DP conseguiram realizar a Atividade 2 tão bem quanto aos indivíduos hígidos. Se comparado a Atividade 1, os índices de indivíduos com DP realizando a Atividade 2 foram menores que os índices desses mesmos indivíduos realizando a Atividade 1. Como o tremor da DP é um tremor de repouso, os índices de reconhecimento de padrão foram menores durante o movimento realizado na atividade proposta, e também o grau de comprometimento dos voluntários não foi homogêneo sendo alguns voluntários com maior ou menor comprometimento.

Ao tomarmos como base o gráfico de pontos da Figura 28, podemos notar que junto a massa de indivíduos hígidos, existem 2 indivíduos com DP que realizaram a Atividade 3 tão bem quanto aos indivíduos hígidos. Olhando para o canto superior esquerdo da Figura 28 notamos que alguns indivíduos com DP não conseguiram realizar a Atividade 3 como deveriam. Esse fato fica evidente quando observamos o gráfico de densidade do índice (Figura 13). Um indivíduo um pouco mais próximo da massa de pontos visto sob a curva acima do índice de 2,5; e 2 indivíduo um pouco mais distantes que podem ser observados sob a curva em cima do índice 3.

Analisando os dados obtidos pelo sinal de frequência instantânea, e observando-se as Figuras 15 e 17 fica evidente um caso típico de distribuição dos índices de normalidade dos indivíduos hígidos. É possível ver na Figura 16 que a massa dos dados termina próximo a 0,8; e existe um indivíduo que está distante da massa dos dados, por isso nota-se uma deformidade no final da curva da Figura 16. O mesmo pode ser observado na Figura 29 a seguir:

FIGURA 29: Gráfico de pontos e da densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP, destaque para a análise da Atividade 1 que utiliza dados extraídos do sinal de frequência instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora.

Existe um ponto da Atividade 1 que está distante dos demais pontos. Este ponto pode influenciar de forma negativa o resultado do índice dos indivíduos com DP, tornando os índices menores do que na verdade deveriam ser; sendo o índice calculado a partir da distância entre o centroide e o ponto mais distante.

Utilizando os dados extraídos do sinal de frequência instantânea podemos evidenciar que é possível distinguir as 3 atividades realizadas pelos participantes da pesquisa. Quando foi utilizado os dados do sinal de frequência instantânea, fica evidente que o grupo de dados de indivíduos que realizaram a Atividade 1 está mais próximo ao grupo de indivíduos que realizaram a Atividade 2 do que na Figura 28.

Pelo gráfico de pontos da Figura 29 podemos observar dois indivíduos com DP que realizaram a Atividade 1 tão bem quanto os demais indivíduos hígidos, enquanto os outros 3 indivíduos realizaram a atividade de forma parecida porém é possível ver que seus índices foram um pouco acima do índice máximo de normalidade. Tendo como base a tabela 2, fica evidente que os índices de indivíduos

com DP foram semelhantes, porém seu índice de normalidade foi maior que o índice máximo de normalidade (Figura 19), sendo menores na Atividade 1 quando utilizado dados do sinal de frequência instantânea que quando utilizado dados do sinal filtrado.

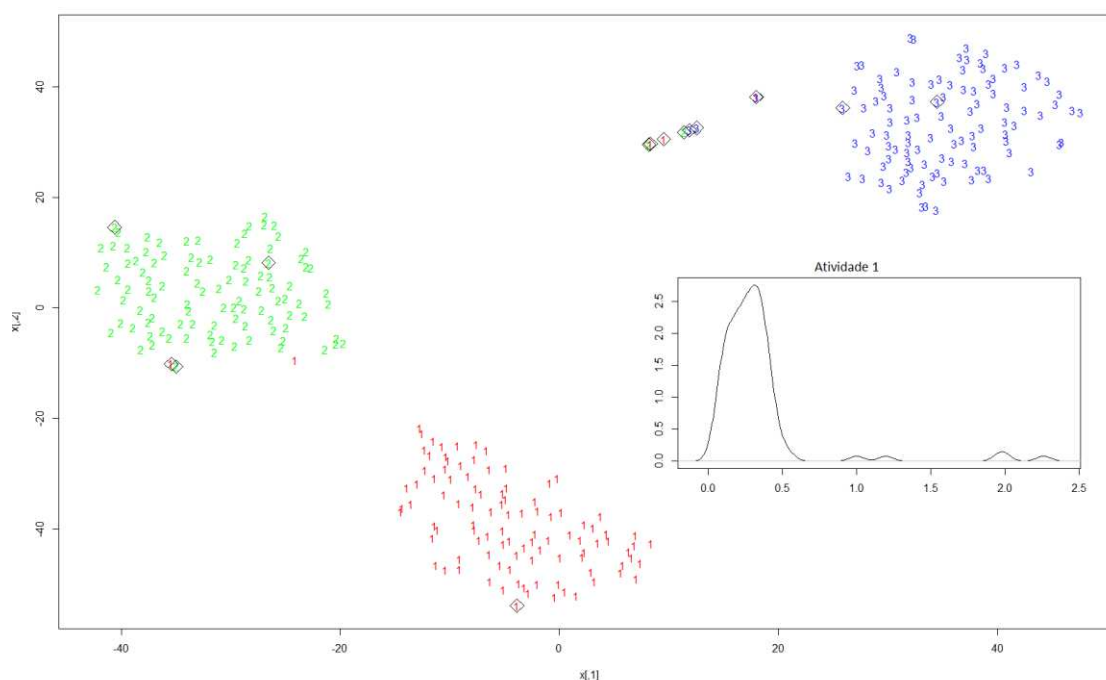
Quando foram utilizados os dados extraídos do sinal filtrado, foi possível perceber que apenas 1 indivíduo com DP recebeu um índice dentro do padrão de normalidade (Figura 28), porém quando utilizado os dados do sinal de frequência instantânea, 2 indivíduos receberam o índice de normalidade dentro do padrão normal. Esse fato pode ser explicado devido ao ponto discutido anteriormente que está distante da massa de dados. Ao olhar para o indivíduo 103 na Tabela 2, é possível verificar que seu índice calculado foi de 0.9536. Se não houvesse o indivíduo hígido que está fora da massa dos dados, o índice do indivíduo 103 seria maior que o índice de normalidade.

Ao observar a Figura 29 podemos ver que 1 indivíduo com DP realizou a Atividade 2 de forma semelhante aos indivíduos hígidos.

Apreciando as Figuras 22, 23 e 24, podemos ver que utilizando os dados do sinal de amplitude instantânea, nenhuma das tarefas apresentou a distribuição típica esperada. A Figura 22 mostra que a maioria dos dados estão concentrados entre 0,0 e 0,6 e existe um indivíduo distante dos demais dados. Esse evento pode ser evidenciado com mais clareza a seguir na Figura 30. Esse indivíduo pode influenciar de forma negativa o índice dos indivíduos com DP. Se olharmos para a massa de dados que está entre 0,0 e 0,6 vemos que os dados apresentam uma distribuição típica esperada. É provável que o indivíduo responsável por esse dado, seja o mesmo indivíduo que está causando este mesmo efeito nos dados extraídos do sinal de frequência instantânea.



FIGURA 30: Gráfico de pontos e da densidade do índice de indivíduos hígidos e com DP, dando destaque para a análise da Atividade 1 utilizando os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea.



Fonte: organizado pela pesquisadora.

Utilizando os dados extraídos do sinal de amplitude instantânea podemos ver que é possível distinguir as 3 atividades realizadas pelos participantes da pesquisa. Pelo gráfico de pontos podemos ver um indivíduo com DP que realizou a Atividade 1 tão bem quanto os demais indivíduos saudáveis, enquanto os outros indivíduos realizaram a atividade de forma diferente do que fizeram os indivíduos hígidos.

O mesmo fato ocorreu utilizando os 3 métodos de pré-processamento do sinal. Esse fato pode receber diversas explicações. Um motivo pode ser que a doença dessa pessoa não esteja em um estado tão avançado, por isso o indivíduo em questão (102) conseguiu realizar as atividades tão bem quanto uma pessoa hígida, para todos os métodos de pré-processamento. Outra possível explicação é que o indivíduo possa estar sob o uso de medicamentos no momento da coleta de dados mascarando os sintomas da doença. Fatores fisiológicos e psicológicos também podem influenciar nos sintomas da DP.

É interessante notar também que existe um indivíduo hígido que realizou a Atividade 1 de forma semelhante a Atividade 2. Se olharmos para o grupo de pontos

verdes, veremos no canto inferior direito um ponto vermelho. Como todos os indivíduos com DP estão marcados com um losango preto em volta, sabemos que aquele ponto vermelho se refere a um indivíduo hígido. Como a Atividade 1 se baseia no indivíduo permanecer com o braço parado, pode ser que o indivíduo em questão tenha feito algum movimento com o braço que levou ao fato ocorrido.

Observando o gráfico de pontos com os dados da frequência instantânea (Figura 29) vemos que existem dois pontos vermelhos próximos a massa de pontos verdes e notamos que dois indivíduos hígidos realizaram a Atividade 1 e 2 de forma semelhante. Como o algoritmo TSNE agrupou a Atividade 1 tão próxima a Atividade 2, esta ocorrência poderia não ser percebida, mas pelo fato de os dados terem sido processados utilizando também os dados de amplitude instantânea, podemos ver que de fato houve um indivíduo que realizou a Atividade 1 de forma semelhante a Atividade 2. Vale notar também que este fato não pode ser percebido utilizando os dados do sinal filtrado (Figura 28).

Outra forma de analisar o fato é olhando para a Figura 22. Como o índice é calculado a partir da distância entre o centroide e o ponto mais distante, vemos que a massa de dados está concentrada entre o índice 0,0 até 0,6 aproximadamente e existe uma pequena curva sobre o índice 1 que provavelmente se refere ao indivíduo em questão.

Contudo, observamos que o índice não foi capaz de identificar todos os casos de DP como atípicos, quer seja em pelo menos um dos sinais avaliados. A correlação dos dados da UPDRS e dos índices obtidos pela avaliação objetiva poderia esclarecer o desempenho de alguns participantes com DP em cada uma das tarefas avaliadas. Além disso, técnicas para identificação e remoção de *outliers* podem ser implementadas para tornar mais homogêneo o modelo de cada atividade para pessoas híginas e aumentar o desempenho do índice no discernimento entre pessoas híginas e com disfunções neuromotoras. Contudo, o impacto do aumento de diagnósticos falsos positivos devem ser levados em consideração. Por fim, a adequação de um índice como o proposto carece de estudos populacionais com uma amostra mais abrangente e diversificada em diferentes estágios da doença, podendo ser realizada em trabalhos futuros.

# CAPÍTULO 6

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo buscou-se calcular um índice de normalidade de atividades realizadas com o membro superior por indivíduos hígidos, e encontrar o melhor método para o reconhecimento e o agrupamento de dados dos padrões de movimento, permitindo assim, comparar indivíduos com DP a valores de normalidade, utilizando a associação de sensores inerciais (acc, giro e mag) e a eletromiografia, durante atividades estática e cinética de antebraço e mão.

Os resultados demonstraram que é possível caracterizar os padrões de movimento de indivíduos hígidos com indivíduos com DP, usando o algoritmo de agrupamento TSNE no programa R.

Notou-se que na atividade estática houve melhores resultados quanto a diferenciação de atividade realizadas por indivíduos com DP de atividade realizadas por indivíduos hígidos. Nas atividades cinéticas alguns indivíduos com DP conseguiram realizar o movimento de maneira equivalente aos indivíduos hígidos.

Com isso, a utilização do índice como se encontra pode ser capaz de identificar progressão no quadro clínico de pacientes com DP e de várias outras doenças neuromotoras, assim como estabelecer um marco de acompanhamento clínico e evolução motora.

Mas a aplicação clínica desse índice quantitativo no diagnóstico carece de maiores estudos acerca da sensibilidade e sensibilidade aceitáveis em cada caso, sendo que ainda um grande desafio para pesquisas futuras.

## PUBLICAÇÕES

ZARUZ, M.J.F; LIMA, F. M; DAIBERT, E. F; ANDRADE, A.O. Queimaduras no Triângulo Mineiro (Brasil): Estudo Epidemiológico de uma Unidade de queimados. Revista Brasileir de queimaduras, v. 15, p. 97-103. 2016.

ZARUZ,M.J.F; PAIXAO, A. P. S.; ZARUZ, T. F.; RABELO, A. G.; ANDRADE, A. O. Protocolo experimental para caracterizar o tremor fisiológico e correlacionar com o envelhecimento por meio de sensores inerciais e eletromiografia de seuperfície. In: VII Simpósio de Engenharia Biomédica, 2015, Uberlândia. Anais do VII Simpósio em Engenharia Biomédica - Tecnologia a favor da vida. 2015. p. 316 – 320.

ZARUZ,M.J.F; PAIXAO, A. P. S.; ZARUZ, T. F.; RABELO, A. G.; ANDRADE, A. O.. Protocolo experimental para caracterizar o tremor fisiológico e correlacionar com o envelhecimento por meio de sensores inerciais e eletromiografia de superfície. 2015, (Apresentação de Trabalho/Simpósio)

ZARUZ,M.J.F; LIMA, F. M; WALTER, S; TRAUE, H. C.; ANDRADE, A. O. Vital parameters linear trend evaluation as a function of the subjective pain perception in a burn patient. In: 11 Congresso Brasileiro de Dor, 2014, São Paulo. 11 Congresso Brasileiro de Dor. São Paulo: Revista Dor, 2014. p. 54 – 54

ZARUZ,M.J.F; LIMA, F. M; WALTER, S; DAIBERT, E. F.; Pereira, A. A.; ANDRADE, A. O.. Assessment of the linear correlation between vital signs and perceptual pain in the context of burn individuals. 2014,(Apresentação de Trabalho/Congresso)

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D.; SANTOS, F. O Impacto Da Doença De Parkinson Na Qualidade De Vida De Dois Grupos De Doentes – a Fisioterapia Como Diferença. **Revista da Faculdade de Ciências da Saúde**. v. , n 7, p. 440–451, set. 2010.
- ANDRADE, A. O. **Decomposition and analysis of electromyographic signals**. Tese Doutorado em Cybernetics. University of Reading, UR, Inglaterra, 2005.
- ANDRADE, A. O. et al. Pelvic movement variability of healthy and unilateral hip joint involvement individuals. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 32, p. 10-19, 2017.
- ANDREWS, C. J.; BURKE, D.; LANCE, J. W. The response to muscle stretch and shortening in Parkinsonian rigidity. **Brain**, v. 95, n. 4, p. 795–812, 1972.
- BASMAJIAN, J. V. Muscles Alive. Their Functions Revealed by Electromyography. **Academic Medicine**, v. 37, n. 8, p 802, 1962. ISSN 1040-2446.
- BOUASHASH, B. Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal: part 1: fundamentals. **Proceedings of the IEEE** v. 80 n. 4. Abril.1992.
- BORGES, V.; FERRAZ, H. B. Tremores. **Revista Neurociências**, v. 14, p. 43–47, 2006.
- BRAVI, A.; LONGTIN, A.; SEELY, A. J. Review and classification of variability analysis techniques with clinical applications. **Biomed Eng Online**, v. 10, n. 1, p. 90, 2011.
- BROWN, R. G., MARSDEN, C. D. Dual task performance and processing resources in normal subjects and patients with Parkinson's disease, **Brain**, v. 114, n. 1, p. 215–231, 1991.
- CAMARGO, A. C. R. et al. O Impacto da Doença de Parkinson na Qualidade de Vida: Uma Revisão de Literatura, **Rev. Bras. Fisioter.**, v.8, n 3, p. 267-272, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, G. et al. Efeito de uma intervenção cognitivomotora sobre os sintomas depressivos de pacientes com doença de Parkinson. **Jornal Brasileiro de Psiquiatria**, v. 61, n. 2, p. 78–83, 2012.
- DE LUCA, C. J.; LUCA, C. DE; DE LUCA, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of applied biomechanics**, v. 13, n. July 1993, p. 1–38, 1997.
- DE MATTOS, J. P. Diagnóstico diferencial dos tremores. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 56, n. 2, p. 320–323, 1998.
- ELBLE, R. J. Characteristics of physiologic tremor in young and elderly adults. **Clinical Neurophysiology**, 114 p. 624 -635, 2003.

ERTZGAARD, P. et al. A new way of assessing arm function in activity using kinematic Exposure Variation Analysis and portable inertial sensors - A validity study. **Manual Therapy**, v. 21, p. 241–249, 2016.

FARINA, D.; MERLETTI, R.; ENOKA R. M. The extraction of neural strategies from the surface EMG. **Journal of Applied Physiology**, v. 96, n.4, p. 1486–1495, 2012.

GIACOMOSSI, L. C. Método não invasivo utilizando acelerometro para classificar movimentos normais e anormais de humanos. Dissertação. Curitiba, 2011.

GREENBERG, D. A.; AMINOFF, M. J.; SIMON, R. P. **Neurologia clínica**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2005

GRIMALDI, G.; MANTO, M. Neurological tremor: Sensors, signal processing and emerging applications. **Sensors**, v. 10 p. 1399 – 1422, 2010.

GOETZ, C. G. et al. Movement Disorder Society-Sponsored Revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Scale presentation and clinimetric testing results. **Movement Disorders**, v. 23, n. 15, p. 2129–2170, 2008.

GOULART, F.; PEREIRA, L. X. Uso de escalas para avaliação da doença de Parkinson em fisioterapia. **Fisioterapia e Pesquisa**, v 2, n 1, p. 49-56, jan-abril. 2006.

HEIMFARTH, T. Microsensores Magnéticos Tipo Fluxgate Planar Utilizando Ligas de NiFe Eletrodepositadas. dissertação p. 82, jan. 2010.

IKUTA, Y. M. et al. Avaliação da função cognitiva em pacientes com doença de Parkinson. **Revista paraense de medicina**, v. 26, n. 1, p. 1–6, 2012.

KABATA, W.; VITORELLO, I. Configurações Alternativas Para Magnetômetros “Fluxgate” Com Núcleo Amorfo. **Revista Brasileira de Geofísica**. v 25-2 p. 159 -169, 2007.

KING, L. A, HORAK, F. B. Delaying Mobility Disability in People with Parkinson Disease using a Sensorimotor Agility Exercise Program. **Physical Therapy**. v. 89. n.4, p.384-393, 2009.

KONRAD, P. The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. **Noraxon INC. USA**. p. 1 – 61. 2006

Lee, H. J.; et al. Clinicians' Tendencies to Under-Rate Parkinsonian Tremors in the Less Affected Hand. **PLOS One**. v.10, p. 6, 2015.

LEHMAN, G. J.; MCGILL, S. M. The Importance of Normalization in the Interpretation of Surface Electromyography: v. 22, n. 7, p. 444–446, 1999.

MAGRINELLI et al. Pathophysiology of Motor Dysfunction in Parkinson's Disease as the Rationale for Drug Treatment and Rehabilitation. **Hindawi Publishing Corporation**, v 2016, p 1-18, 2016.

MASSANO, J. [Parkinson's disease: a clinical update]. **Acta médica portuguesa**, v. 24 Suppl 4, p. 827–34, 2011.

MANSUR, P. H. G. et al. A review on techniques for tremor recording and quantification. **Critical reviews in biomedical engineering**, v. 35, n. 5, p. 343–62, 2007.

MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. Instrumentação em Eletromiografia. **Laboratório de biofísica**, p. 1–29, 2006.

MELLO, M. P. B.; BOTELHO, A. C. G. Correlação das Escalas de Avaliação Utilizadas na Doença de Parkinson com Aplicabilidade na Fisioterapia. **Fisiot. em Movimento**. v.23, n. 1 ,121-127, 2010.

MENDES, F. A.S. Aprendizado motor após treinamento baseado em realidade virtual na Doença de Parkinson: efeitos das demandas motoras e cognitivas dos jogos. **Tese de Doutorado e Neurociencias**. p. 122, 2012.

MORRISON, S.; NEWELL, K. M. Aging , Neuromuscular Decline , and the Change in Physiological and Behavioral Complexity of Upper-Limb Movement Dynamics. **Journal of Aging Research**. v. 2012, p. 1- 14, 2012.

NIJZMAND, K. et al. Quantitative Evaluation of Parkinson ' s Disease using sensor based smart Glove. **IEEE Computer Society Washington**. p. 1-8, 2011.

NICKEL, R. et al. Estudo Descritivo de Desempenho Ocupacional do Sujeito com Doença de Parkinson: O Uso da CIF como Ferramenta para a Classificação de Atividade e Participação. **Acta Fisiátrica**. v.17, n.1, P. 13-17, 2010.

NILSSON, F. M. Parkinson ' s disease and affective disorder: The temporal relationship. v. 2012, n. April, p. 96–109, 2012.

NUTT, J. G. et al. Freezing of gait: moving forward on a mysterious clinical phenomenon. **The Lancet Neurology**. v. 10, n. 8, p. 734–744, 2011.

OROZ, M. C. R. et al. Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: features and pathophysiological mechanisms. **The Lancet Neurology**, v. 8, n. 12, p. 1128–1139, 2009.

PERES, L. B. Classificação de atividade eletromiográfica facial de indivíduos saudáveis e com hanseníase por meio de máquina de vetores de suporte. Dissertação de mestrado. UFU. P. 1-65. 2016.

PINO, G. DI et al. Parameters Analysis. **IEEE RAS/EMBS** p. 1820–1825, 2012.

PRADO, A. L. . et al. Análise das manifestações motoras , cognitivas e depressivas em pacientes com doença de Parkinson. **Revista Neurociencias**, v. 16, n. 1, p. 10–15, 2008.

PRINGSHEIM, T. et al. The Prevalence of Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-analysis. **Movement Disorders**, v. 29, n. 13, 1584-1590, jun. 2014.

RAMAKER, C. et al. Systematic Evaluation of Rating Scales for Impairment and Disability in Parkinson ' s Disease. **Movement Disorders**, v. 17, n. 5, p. 867–876, 2002.

ROCHA, M.S. G. Alterações Posturais na Doença de Parkinson. **Rev. Neurocienc**, v. 23,n 4, p.475-476, 2015.

SANTOS, V. V. et al. Fisioterapia na Doença de Parkinson: Uma Breve revisão. **Rev. Bras. Neurol.** . v. 46, n.2, p. 17-25, 2010.

SHAEFFER, D. K. C OMMUNICATIONS MEMS Inertial Sensors : A Tutorial Overview. **IEEE Communications Magazine**, n. April, p. 100–109, 2013.

TAN, J. et al;On the use of instantaneous mean frequency estimated from the Hilbert spectrum of facial electromyography for differentiating core affects. In: 2012 5th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2012, Chongqing. 2012 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, 2012. p. 568.

RISSANEN, S. M. et al. Analysis of EMG and Acceleration Signals for Quantifying the Effects of Deep Brain Stimulation in Parkinson ' s Disease. **IEEE Transactions On Biomedical Engineering** v. 58, n. 9, p. 2545–2553, 2011.

SANTI, C. R. et al. Abordagem Fisioterapêutica na Doença de Parkinson. **Rev. Brasil. de Ciências do Evelhec. Humano**. v. 5, n. 1, p. 80-89, 2008.

VAN DER MAATEN, L. J. P.; HINTON, G. E. Visualizing high-dimensional data using t-sne. **Journal of Machine Learning Research**, v. 9, p. 2579–2605, 2008.

WANG, L.-P. et al. Design, Fabrication, and Measurement of High-Sensitivity Piezoelectric Microelectromechanical Systems Accelerometers. **Microelectromechanical Systems**, n. 4, p. 433–439, 2003.

WOLF, W. P. Versatile and Sensitive Vibrating-Sample Magnetometer. **The Review Of Scientific Instruments**. v. 30, n. 7, p. 548–557, 1959.



## ANEXO A

COMISSÃO NACIONAL DE  
ÉTICA EM PESQUISA

## PARECER CONSUBSTANCIADO DA CONEP

## DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** DESENVOLVIMENTO DE UMA ÓRTESE ATIVA PARA ATENUAÇÃO DO TREMOR DE MEMBRO SUPERIOR EM INDIVÍDUOS COM A DOENÇA DE PARKINSON

**Pesquisador:** Adriano de Oliveira Andrade

**Área Temática:** Equipamentos e dispositivos terapêuticos, novos ou não registrados no País;

**Versão:** 4

**CAAE:** 07075413.6.0000.5152

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Uberlândia/ UFU/ MG

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

## DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 470.492

**Data da Relatoria:** 23/10/2013

**Apresentação do Projeto:**

Trata-se de análise das respostas enviadas pelo pesquisador para as pendências apontadas no Parecer CONEP n. 361.526.

**Objetivo da Pesquisa:**

Conforme apresentado no Parecer CONEP n. 361.526.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Conforme apresentado no Parecer CONEP n. 361.526.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Conforme apresentado no Parecer CONEP n. 361.526.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Conforme apresentado no Parecer CONEP n. 361.526.

**Recomendações:**

Conforme apresentado no Parecer CONEP n. 361.526.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

1. Solicita-se apresentar a estrutura detalhada da órtese bem como o processo de caracterização da mensuração do tremor e da vibração compensatória.

**Endereço:** SEPN 510 NORTE, BLOCO A 1º SUBSOLO, Edifício Ex-INAN - Unidade II - Ministério da Saúde  
**Bairro:** Asa Norte **CEP:** 70.750-521  
**UF:** DF **Município:** BRASILIA  
**Telefone:** (61)3315-5878 **E-mail:** conep@saude.gov.br

## COMISSÃO NACIONAL DE ÉTICA EM PESQUISA



Continuação do Parecer: 470.492

RESPOSTA: A estrutura detalhada da órtese bem como o processo de caracterização da mensuração do tremor e da vibração compensatória estão muito bem descritos no manual do equipamento, em anexo.

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

2. Solicita-se apresentar as fases de obtenção dos resultados iniciais para posterior estudo em participante da pesquisa.

RESPOSTA: Os resultados iniciais para posterior estudo em participantes da pesquisa, também se encontram disponíveis no manual do equipamento, em anexo.

ANÁLISE: PENDÊNCIA ATENDIDA.

### Situação do Parecer:

Aprovado

### Considerações Finais a critério da CONEP:

Diante do exposto, a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466/2012 e na Norma Operacional N° 001/2013 do CNS, manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa proposto.

Situação: Protocolo aprovado.

BRASILIA, 27 de Novembro de 2013

---

**Assinador por:**  
**Jorge Alves de Almeida Venancio**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** SEPN 510 NORTE, BLOCO A 1º SUBSOLO, Edifício Ex-INAN - Unidade II - Ministério da Saúde  
**Bairro:** Asa Norte **CEP:** 70.750-521  
**UF:** DF **Município:** BRASILIA  
**Telefone:** (61)3315-5878 **E-mail:** conep@saude.gov.br

## ANEXO B

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está convidado (a) a participar da pesquisa intitulada “Índice Para Caracterização De Tarefa Motora Estática E Cinética Em Indivíduos Hígidos”, sob a responsabilidade dos pesquisadores Maria Jose ferreira Zaruz e Adriano de Oliveira Andrade.

Nesta pesquisa estamos buscando propor um índice numérico que caracteriza padrões de normalidade de tarefas motoras estática e cinética para indivíduos hígidos. Usando sensores inerciais (acelerômetro, giroscópio e magnetômetro) e eletromiografia de superfície que serão posicionados sobre o antebraço e mão dos voluntários hígidos e com doença de Parkinson, de forma não invasiva, o objetivo é detectar sinais de atividade estática e cinética realizada pelos voluntários. Serão três tarefas consecutivas: manter o braço parado, realizar pinça polpa a polpa, e fazer pronação / supinação todos mantidas por no mínimo 5seg e previamente demonstradas aos voluntários.

O termo de Consentimento Livre e Esclarecido será obtido por um dos pesquisadores citados acima, o qual está à disposição para esclarecer qualquer dúvida em relação à pesquisa.

Para sua participação o voluntário deverá responder se tem alguma doença que causa tremor, ou se faz uso de qualquer medicação para doença neuromotora que afeta o movimento. Para a colocação dos sensores poderá ser necessário tricotomizar pequena área do antebraço, que será realizada com aparelho de depilar descartável.

Somente a equipe da pesquisa terá acesso a informações coletadas e serão mantidas em sigilo pelos pesquisadores. Os dados obtidos e informações de cada participante podem ser identificados por um período de cinco anos e depois excluídas.

Você não terá nenhum gasto e ou ganho financeiro por participar da pesquisa.

Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou coação.

Uma via original deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ficará com você.

Qualquer dúvida a respeito da pesquisa, você poderá entrar em contato com Maria Jose Ferreira Zaruz, fone (34 98827-3555) e Adriano de Oliveira Andrade da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, ou no endereço Av. João Naves de Ávila, 2121 – BI 3N – Campus Santa Mônica, CEP 38400-100 – Uberlândia – MG.

Poderá também entrar em contato com o comitê de Ética na Pesquisa com Seres Humanos – Universidade federal de Uberlândia na Av. endereço Av. João Naves de Ávila, 2121 – BI A, sala 224 – Campus Santa Mônica, CEP 38400-100 – Uberlândia – MG; fone 34 – 3239-4131.

Uberlândia, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

Assinatura dos pesquisadores

Eu aceito participar do projeto citado acima, voluntariamente, após ter sido esclarecido.

---

Participante da pesquisa

## ANEXO C

**ESCALA UNIFICADA DE AVALIAÇÃO PARA DOENÇA DE PARKINSON UPDRS****I. ESTADO MENTAL/COMPORTAMENTO/ESTADO EMOCIONAL****1. comportamento intelectual**

0= NENHUM.

1= MÍNIMO. Esquecimento consistente com lembrança parcial de eventos, sem outras dificuldades.

2= MODERADO. Perda moderada da memória, com desorientação. Dificuldade moderada para resolver problemas complexos. Mínimo, mas definitivo comprometimento das atividades em casa, com necessidade de ajuda ocasional.

3= GRAVE. Perda grave de memória com desorientação temporal e, frequentemente, de lugar. Grande dificuldade de resolver problemas.

4= GRAVE. Perda grave da memória com orientação preservada apenas para sua pessoa. Incapaz de fazer julgamentos ou resolver problemas. Necessita de muita ajuda para cuidados pessoais. Não pode ficar sozinho em nenhuma situação.

**2. desordem do pensamento (devido à demência ou intoxicação por drogas)**

0= nenhum.

1= sonhos vívidos.

2= alucinações "benignas" com julgamento (insight) mantido.

3= ocasionais a freqüentes alucinações sem julgamento, podendo interferir com as atividades diárias.

4= alucinações freqüentes ou psicose evidente. Incapaz de cuidar-se.

**3. depressão**

1= ausente.

2= períodos de tristeza ou culpa acima do normal. Nunca permanece por dias ou semanas.

3= depressão permanente com sintomas vegetativos (insônia, anorexia, perda de peso, desinteresse).

4= depressão permanente com sintomas vegetativos. Pensamento ou tentativa de suicídio.

**4. motivação/iniciativa**

0= normal.

1= mais passivo, menos interessado que o habitual.

2= perda da iniciativa ou desinteresse por atividades fora do dia-a-dia.

## II. ATIVIDADES DA VIDA DIÁRIA

### 5. fala

0= normal.

1= comprometimento superficial. Nenhuma dificuldade em ser entendido.

2= comprometimento moderado. Solicitado a repetir frases, às vezes.

3= comprometimento grave. Solicitado freqüentemente a repetir frases.

4= retraído, perda completa da motivação.

### 6. salivação

0= normal.

1= excesso mínimo de saliva, mas perceptível. Pode babar à noite.

2= excesso moderado de saliva. Pode apresentar alguma baba (drooling).

3= excesso acentuado de saliva. Baba freqüentemente.

4= baba continuamente. Precisa de lenço constantemente.

### 7. deglutição

0= normal.

1= engasgos raros.

2= engasgos ocasionais.

3= deglute apenas alimentos moles.

4= necessita de sonda nasogástrica ou gastrostomia.

### 8. escrita

0= normal.

1= um pouco lenta ou pequena.

2= menor e mais lenta, mas as palavras são legíveis.

3= gravemente comprometida. Nem todas as palavras são comprometidas.

4= a maioria das palavras não são legíveis.

### 9. cortar alimentos ou manipular

0= normal.

1= lento e desajeitado, mas não precisa de ajuda.

2= capaz de cortar os alimentos, embora desajeitado e lento. Pode precisar de ajuda.

3= alimento cortado por outros, ainda pode alimentar-se, embora lentamente.

4= precisa ser alimentado por outros.

### 10. vestir

0= normal.

1= lento mas não precisa de ajuda.

2= necessita de ajuda para abotoar e colocar os braços em mangas de camisa.

3= necessita de bastante ajuda, mas consegue fazer algumas coisas sozinho.

4= não consegue vestir-se (nenhuma peça) sem ajuda.

## 11. higiene

0= normal.

1= lento mas não precisa de ajuda.

2= precisa de ajuda no chuveiro ou banheira, ou muito lento nos cuidados de higiene.

3= necessita de assistência para se lavar, escovar os dentes, pentear-se, ir ao banheiro.

4= sonda vesical ou outra ajuda mecânica.

## 12. girar no leito e colocar roupas de cama.

0= normal.

1= lento e desajeitado mas não precisa de ajuda.

2= pode girar sozinho na cama ou colocar os lençóis, mas com grande dificuldade.

3= pode iniciar, mas não consegue rolar na cama ou colocar lençóis.

4= não consegue fazer nada.

## 13. quedas (não relacionadas ao freezing)

0= nenhuma.

1= quedas raras.

2= cai ocasionalmente, menos de uma vez por dia.

3= cai, em média, uma vez por dia.

4= cai mais de uma vez por dia.

## 14. freezing quando anda

0= nenhum.

1= raro freezing quando anda, pode ter hesitação no início da marcha.

2= freezing ocasional, enquanto anda.

3= freezing freqüente, pode cair devido ao freezing.

4= quedas freqüentes devido ao freezing.

## 15. marcha

0= normal.

1= pequena dificuldade. Pode não balançar os braços ou tende a arrastar as pernas.

2= dificuldade moderada, mas necessita de pouca ajuda ou nenhuma.

3= dificuldade grave na marcha, necessita de assistência.

4= não consegue andar, mesmo com ajuda.

## 16. tremor

0= ausente.

1= presente, mas infrequente.

2= moderado, mas incomoda o paciente.

3= grave, interfere com muitas atividades.

4= marcante, interfere na maioria das atividades.

## 17. queixas sensitivas relacionadas ao parkinsonismo

0= nenhuma.

1= dormência e formigamento ocasional, alguma dor.

2= dormência, formigamento e dor freqüente, mas suportável.

3= sensações dolorosas freqüentes.

4= dor insuportável.

### III. EXAME MOTOR

#### 18. fala

0= normal.

1= perda discreta da expressão, volume ou dicção.

2= comprometimento moderado. Arrastado, monótono mas compreensível.

3= comprometimento grave, difícil de ser entendido.

4= incompreensível.

#### 19. expressão facial

0= normal.

1= hipomimia mínima.

2= diminuição pequena, mas anormal, da expressão facial.

3= hipomimia moderada, lábios caídos/afastados por algum tempo.

4= fácies em máscara ou fixa, com pedra grave ou total da expressão facial.

Lábios afastados  $\frac{1}{4}$  de polegada ou mais.

#### 20. tremor de repouso

0= ausente.

1= presente mas infrequente ou leve.

2= persistente mas de pouca amplitude, ou moderado em amplitude mas presente de maneira intermitente.

3= moderado em amplitude mas presente a maior parte do tempo.

4= com grande amplitude e presente a maior parte do tempo.

#### 21. tremor postural ou de ação nas mãos

0= ausente.

1= leve, presente com a ação.

2= moderado em amplitude, presente com a ação.

3= moderado em amplitude tanto na ação quanto mantendo a postura.

4= grande amplitude, interferindo com a alimentação.

#### 22. rigidez (movimento passivo das grandes articulações, com paciente sentado e relaxado, ignorar roda denteada)

0= ausente.

1= pequena ou detectável somente quando ativado por movimentos em espelho de outros.

2= leve e moderado.

3= marcante, mas pode realizar o movimento completo da articulação.

4= grave e o movimento completo da articulação só ocorre com grande dificuldade.

#### 23. bater dedos continuamente – polegar no indicador em seqüências rápidas com a maior amplitude possível, uma mão de cada vez.

0= normal.

1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.

- 2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.
- 3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.
- 4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.
24. movimentos das mãos (abrir e fechar as mãos em movimentos rápidos e sucessivos e com a maior amplitude possível, uma mão de cada vez).
- 0= normal.
- 1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.
- 2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.
- 3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.
- 4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.
25. movimentos rápidos alternados das mãos (pronação e supinação das mãos, horizontal ou verticalmente, com a maior amplitude possível, as duas mãos simultaneamente).
- 0= normal.
- 1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.
- 2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.
- 3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.
- 4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.
26. agilidade da perna (bater o calcanhar no chão em sucessões rápidas, levantando toda a perna, a amplitude do movimento deve ser de cerca de 3 polegadas/  $\pm 7,5$  cm).
- 0= normal.
- 1= leve lentidão e/ou redução da amplitude.
- 2= comprometimento moderado. Fadiga precoce e bem clara. Pode apresentar parada ocasional durante o movimento.
- 3= comprometimento grave. Hesitação freqüente para iniciar o movimento ou paradas durante o movimento que está realizando.
- 4= realiza o teste com grande dificuldade, quase não conseguindo.
27. levantar da cadeira (de espalado reto, madeira ou ferro, com braços cruzados em frente ao peito).
- 0= normal.
- 1= lento ou pode precisar de mais de uma tentativa.
- 2= levanta-se apoiando nos braços da cadeira.
- 3= tende a cair para trás, pode tentar se levantar mais de uma vez, mas consegue levantar.
- 4= incapaz de levantar-se sem ajuda.
28. postura
- 0= normal em posição ereta.



- 1= não bem ereto, levemente curvado para frente, pode ser normal para pessoas mais velhas.
- 2= moderadamente curvado para frente, definitivamente anormal, pode inclinar-se um pouco para os lados.
- 3= acentuadamente curvado para frente com cifose, inclinação moderada para um dos lados.
- 4= bem fletido com anormalidade acentuada da postura.

#### 29. marcha

- 0= normal.
- 1= anda lentamente, pode arrastar os pés com pequenas passadas, mas não há festinação ou propulsão.
- 2= anda com dificuldade, mas precisa de pouca ajuda ou nenhuma, pode apresentar alguma festinação, passos curtos, ou propulsão.
- 3= comprometimento grave da marcha, necessitando de ajuda.
- 4= não consegue andar sozinho, mesmo com ajuda.

#### 30. estabilidade postural (respostas ao deslocamento súbito para trás, puxando os ombros, com paciente ereto, de olhos abertos, pés separados, informado a respeito do teste)

- 0= normal.
- 1= retropulsão, mas se recupera sem ajuda.
- 2= ausência de respostas posturais, cairia se não fosse auxiliado pelo examinador.
- 3= muito instável, perde o equilíbrio espontaneamente.
- 4= incapaz de ficar ereto sem ajuda.

#### 31. bradicinesia e hipocinesia corporal (combinação de hesitação, diminuição do balançar dos braços, pobreza e pequena amplitude de movimentos em geral)

- 0= nenhum.
- 1= lentidão mínima. Podia ser normal em algumas pessoas. Possível redução na amplitude.
- 2= movimento definitivamente anormal. Pobreza de movimento e um certo grau de lentidão.
- 3= lentidão moderada. Pobreza de movimento ou com pequena amplitude.
- 4= lentidão acentuada. Pobreza de movimento ou com pequena amplitude.

### IV. COMPLICAÇÕES DA TERAPIA (NA SEMANA QUE PASSOU)

#### A. DISCINESIAS

#### 32. duração. Que percentual do dia acordado apresenta discinesias?

- 0= nenhum
- 1= 25% do dia.
- 2= 26 - 50% do dia.
- 3= 51 – 75% do dia.
- 4= 76 – 100% do dia.

33. incapacidade. Quão incapacitante é a discinesia?

- 0= não incapacitante.
- 1= incapacidade leve.
- 2= incapacidade moderada.
- 3= incapacidade grave.
- 4= completamente incapaz.

34. discinesias dolorosas. Quão dolorosas são as discinesias?

- 0= não dolorosas.
- 1= leve.
- 2= moderada.
- 3= grave.
- 4= extrema.

35. presença de distonia ao amanhecer.

- 0= não
- 1= sim

## B. FLUTUAÇÕES CLÍNICAS

36. algum período off previsível em relação ao tempo após a dose do medicamento?

- 0= não
- 1= sim

37. algum período off imprevisível em relação ao tempo após a dose do medicamento?

- 0= não
- 1= sim

38. algum período off se instala subitamente? Em poucos segundos?

- 0= não
- 1= sim

39. qual o percentual de tempo acordado, em um dia, o paciente está em off, em média?

- 0= nenhum.
- 1= 25% do dia.
- 2= 26 - 50% do dia.
- 3= 51 – 75% do dia.
- 4= 76 – 100% do dia.

## C. OUTRAS COMPLICAÇÕES

40. o paciente apresenta anorexia, náusea ou vômito?

- 0= não
- 1= sim

41. o paciente apresenta algum distúrbio do sono? Insônia ou hipersonolência.

- 0= não
- 1= sim

42. o paciente apresenta hipotensão ortostática sintomática?

- 0= não
- 1= sim.