



Universidade Federal do Pará

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento

PROPOSTA DE AVALIAÇÃO MOTORA MULTIDIMENSIONAL EM PORTADORES
DE DOENÇA DE PARKINSON USANDO SMARTPHONES

Stephani Nazare e Silva Martins

BELÉM-PA

2023

Universidade Federal do Pará
Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento
Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento

PROPOSTA DE AVALIAÇÃO MOTORA MULTIDIMENSIONAL EM PORTADORES
DE DOENÇA DE PARKINSON USANDO SMARTPHONES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, do Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, UFPA para obtenção do título de Mestre em Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart

BELÉM-PA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586 Silva MARTINS, STEPHANI NAZARE E.
PROPOSTA DE AVALIAÇÃO MOTORA
MULTIDIMENSIONAL EM PORTADORES DE DOENÇA DE
PARKINSON USANDO SMARTPHONES / STEPHANI
NAZARE E Silva MARTINS. — 2023.
40 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. . Givago da Silva Souza
Coorientador(a): Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo
de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Programa de Pós-
Graduação em Neurociências e Comportamento, Belém, 2023.

1. Doença de Parkinson. 2. Smartphones. 3. Motricidade.
4. Sensores inerciais. I. Título.

CDD 616.833

PROPOSTA DE AVALIAÇÃO MOTORA MULTIDIMENSIONAL EM PORTADORES
DE DOENÇA DE PARKINSON USANDO SMARTPHONES

Banca Examinadora

Discente: Sthephani Nazare e Silva Martins

Data da Defesa: Março/2023

Resultado:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Givago da Silva Souza – Orientador

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart– Coorientador

Prof. Dr. Bruno Lopes Santos Lobato (UFPA) – Membro

Prof. Dr. Anselmo de Athaíde Costa e Silva (UFPA) - Membro

DEDICATÓRIA

Aos meus avós, Adalgisa e Agostinho (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ao Universo e minha ancestralidade pelos dons e oportunidades recebidas.

Agradeço a todos que duvidaram e por vezes dificultaram o transcurso desse projeto de vida, vocês foram uma das forças motrizes que me impulsionou a conquistá-lo.

Gratidão ao Professores do PPGNC que mesmo nos momentos mais difíceis da Pandemia foram nosso suporte, especialmente ao professor Paulo Goulart, por ser e viver a docência de forma tão primorosa.

A professora Lane Krejkova pela gentileza de nos apoiar nesse estudo cedendo seus alunos e autorizar nossa coleta de dados no laboratório do “Grupo Parkinson” da UFPa.

Aos acadêmicos Alan Fabrício Santos Vieira e Nathalia Oliveira Teixeira pelo auxílio e disponibilidade na coleta dos dados.

A todos os sujeitos da pesquisa que tão gentilmente contribuíram participando da coleta de dados.

Esse projeto não seria viável sem o apoio, suporte e dedicação do meu orientador Prof. Dr Givago. Mesmo mudando diversas vezes de projeto devido as restrições impostas pela pandemia do COVID-19, sempre me direcionou norteando os caminhos que poderíamos traçar. Mesmo diante de momentos importantes em sua vida , nunca deixou de dar o suporte necessário especialmente na reta final desse projeto. Muito obrigada.

RESUMO

A doença de Parkinson é uma doença de alta prevalência mundial, possuindo em seu espectro sintomas motores e não motores. Os sinais cardinais motores da doença de Parkinson são: tremor, bradicinesia, instabilidade postural e a rigidez do movimento. A identificação correta desses sinais é classicamente clínica e subjetiva. Algumas escalas clínicas e equipamentos podem permitir a avaliação desses sinais. No entanto, a maioria dos equipamentos ainda são restritos a pesquisa clínica e de difícil acesso à maioria das pessoas. A presença de múltiplos sensores nos aparelhos de telefonia móvel (*smartphones*) abre a possibilidade da avaliação desses sinais e sintomas motores a um número maior de pessoas. O presente trabalho realizou uma avaliação do tremor de mão, do equilíbrio estático e dinâmico e da mobilidade de mão de pacientes com doença de Parkinson para construção de um indicador funcional motor desses pacientes. Para isso, foram utilizados aplicativos para aparelhos de telefonia móvel desenvolvidos na Universidade Federal do Pará. Através desses aplicativos foram obtidas as leituras dos sensores inerciais e da tela sensível ao toque. Foi feita avaliação em 4 etapas: avaliação do tremor da mão em repouso, avaliação do equilíbrio estático, avaliação do equilíbrio dinâmico durante o teste *Timed Up and Go* e a avaliação do *Finger Tapping Test*. Foram avaliados 9 pacientes com doença de Parkinson e 8 participantes como controle sem doença de Parkinson. Os resultados de cada teste foram comparados por testes estatísticos para comparação de duas amostras independentes. Em cada avaliação motora foram calculados escores z para converter todos os dados em unidades de desvio padrão e a avaliação de cada teste motor foi usada como uma dimensão em um espaço de visualização dos dados heptadimensional. Os resultados mostraram que em todos os testes motores, o grupo com doença de Parkinson apresentou maiores escores Z que o grupo controle, sendo que no TUG as diferenças foram inferiores que nos demais testes e a maior diferença entre controle e pacientes foi na avaliação do equilíbrio estático.

Pelo fato dos *smartphones* serem equipados com acelerômetros e giroscópios triaxiais onde podem ser utilizados aplicativos que possam avaliar de forma mais assertiva os prejuízos motores, concluímos que os mesmos podem ser usados como ferramenta de avaliação multidimensional em portadores de Doença de Parkinson.

Palavras-chave: Doença de Parkinson, Sensores inerciais, Smartphone, Motricidade

ABSTRACT

Parkinson's disease is a highly prevalent disease worldwide, with motor and non-motor symptoms in its spectrum. The cardinal motor signs of Parkinson's disease are tremor, bradykinesia, postural instability and the strain of movement. The correct identification of these signs is classically clinical and subjective. Some clinical scales and equipment may allow the assessment of these signs. However, most equipment is still restricted to clinical research and difficult for most people to access. The presence of multiple sensors in mobile cell phones (smartphones) opens the possibility of evaluating these motor signs and symptoms to a larger number of people. The present work carried out an evaluation of hand tremor, static and dynamic balance and hand mobility in patients with Parkinson's disease in order to construct a motor functional indicator for these patients. For this, applications for mobile devices developed at the Universidade Federal do Pará were used. Through these applications, the readings of the inertial sensors and the touch screen were obtained. The assessment was carried out in 4 stages: assessment of hand tremor at rest, assessment of static balance, assessment of dynamic balance during the Timed Up and Go test and assessment of the Finger Tapping Test. We evaluated 9 patients with Parkinson's disease and 8 participants as controls without Parkinson's disease. The results of each test were compared by statistical tests for comparing two independent samples. A multivariate analysis with Linear Discriminant Analysis was also performed to identify the distance between the groups of study participants. During the evaluation of motor cardinal signs, we observed a great variability of presentation among patients with Parkinson's disease, as these showed non-uniform impairments between the evaluated domains. For the evaluation of tremor in both the dominant and non-dominant hand, there was a significant difference between the control group and the Parkinson's group, with the non-dominant hand having the worst functionality between groups. The worst functionality in the assessment of both static and motor balance was seen in patients with Parkinson's disease, but in the Time up and go Test, no significant difference was seen between groups.

Smartphones are equipped with accelerometers and triaxial gyroscopes where applications that can more assertively assess motor impairments can be used, we conclude that they can be used as a multidimensional assessment tool in patients with Parkinson's disease.

Keywords: Parkinson's disease, Inertial sensors, Smartphone, Motricity

SUMÁRIO

Introdução	09
Objetivos	
Objetivo geral	14
Objetivos específicos	14
Método	15
Desenho experimental	15
Considerações éticas	15
Sujeitos	15
Procedimentos	15
Análise de dados: Extração dos parâmetros quantitativos dos testes	18
Análise de dados: descrição de um modelo multidimensional para análise funcional motora	22
Resultados	23
Discussão	33
Conclusão	36
Referências	37

Introdução

A mudança no perfil demográfico mundial relativo ao envelhecimento populacional tem modificado a prevalência das doenças crônicas e degenerativas com aumento progressivo. Dentre essas patologias, a Doença de Parkinson é a segunda doença neurológica crônico-degenerativa de maior prevalência no mundo, perdendo apenas para a Doença de Alzheimer (Tysnes & Storstein, 2017). Além disso, é a primeira relativa a distúrbios do movimento, podendo afetar indivíduos na proporção 1-2 por 1.000 habitantes (Balestrino & Schapira, 2020).

A Doença de Parkinson resulta de uma perda ou degeneração dos neurônios dopaminérgicos na substância negra do mesencéfalo, que está envolvida no controle motor (Beitz, 2014). Ocorre ainda o aparecimento de inclusões citoplasmáticas nos neurônios de agregados proteicos de alfa-sinucleína conhecidas por Corpúsculos de Levy, que atrapalham o funcionamento neuronal (Wong et al., 2014). A Doença de Parkinson idiopática pode estar associada a fatores de risco como idade, histórico familiar e exposição a pesticidas, porém sua causa específica é desconhecida (Armstrong & Okun, 2020).

A doença apresenta sintomas cardinais caracterizados por tremor, rigidez, bradicinesia/acinesia e instabilidade postural, entretanto a apresentação clínica pode incluir sintomas motores e não motores (Beitz, 2014). Os sintomas não motores incluem perda olfatória, distúrbios do sono, disfunções autonômicas, sintomas psiquiátricos e alterações cognitivas. O diagnóstico é essencialmente clínico, todavia investigações complementares são necessárias para o diagnóstico diferencial com outras formas de parkinsonismo (Armstrong & Okun, 2020; Balestrino & Schapira, 2020).

Dentre os sintomas motores o mais conhecido é o tremor, que pode ser definido como um sintoma involuntário, rítmico, movimento oscilatório de uma parte do corpo. É um sintoma incapacitante geralmente associado a algumas doenças neurodegenerativas (Bhatia et al., 2018). O padrão-ouro para avaliação do tremor tem sido a Eletromiografia (EMG), porém o crescente estudo da aplicação dos sensores inerciais pode ajudar a complementar as informações, além de ser uma ferramenta menos invasiva com informações em tempo real (Postuma et al., 2015; Vescio et al., 2021).

Além do tremor, outro sintoma característico é a bradicinesia, que pode ser definida como uma lentificação do movimento associada a um decremento na amplitude ou na velocidade conforme o movimento é continuado (Anang et al., 2014). Esse sintoma pode ser visto em mãos, pés, dedos, mas também pode ocorrer na voz, na face, no tronco e na marcha.

Além do tremor e bradicinesia, outro sintoma motor é a rigidez, que é definida como uma lentificação do movimento passivo no qual o paciente fica numa posição de relaxamento da musculatura com o examinador manipulando os membros ou o pescoço. Durante o movimento passivo, ocorre uma resistência na qual observamos o sinal conhecido como “roda denteadas” (Balestrino & Schapira, 2020). Apesar de não haver um método padrão-ouro para avaliação da bradicinesia, a sua quantificação é clínica (Khodakarami et al., 2021).

O sinal da roda denteadas é um sinal semiológico muito característico da Doença de Parkinson. Ele é avaliado durante o exame físico e é caracterizado pela rigidez muscular em toda a amplitude do movimento passivo, tanto na extensão quanto na flexão. A hipertonía é interrompida regularmente, como um mecanismo de roda dentada, a uma frequência de 6-9 Hz, que é maior do que o tremor de repouso (4-5 Hz) e o tremor postural (5-6 Hz) (Betini et al., 2019).

Dentre os sintomas da síndrome motora da Doença de Parkinson, as dificuldades na marcha e equilíbrio são um problema frequente e limitante (Del Din et al., 2019). São várias as formas como se manifestam: *freezing* ou congelamento da marcha, festinação (aceleração involuntária da marcha para evitar a queda) e a progressiva perda da estabilidade postural (Grabli et al., 2013). Essas alterações são marcadamente importantes de serem avaliadas pois são o motivo da alta prevalência de quedas em portadores de Parkinson. As alterações da marcha e postura constam ainda como um desafio terapêutico, pois são pouco responsivas ao tratamento medicamentoso (Silva de Lima et al., 2017).

A identificação dos sinais cardinais é prioritariamente clínica e pode ser auxiliada pelo uso de escalas ou instrumentos de alto custo. Por exemplo, o tremor pode ser avaliado clinicamente por escalas, como a parte III do instrumento MDS-UPDRS (do inglês *Movement Disorder Society-sponsored Unified Parkinson's Disease Rating Scale*), por acelerômetros, eletromiografia ou sistema de vídeos (Vescio et al., 2021). O equilíbrio por ser avaliado por escalas como a escala de BERG e o teste de Tinetti ou pelo uso de plataformas de força (Opara et al., 2017). Se de um lado as escalas permitem uma grande aplicabilidade e facilidade de acesso às pessoas, elas podem apresentar menor sensibilidade de identificação do problema que os aparelhos quantitativos, enquanto esses são de alto custo e exigem um alto conhecimento técnico para seu uso.

Em busca de um instrumento com maior acessibilidade para avaliar a funcionalidade motora dos pacientes com doença de Parkinson, estudos vêm mostrando como aparelhos de telefonia móvel podem ser utilizados para identificação dos diferentes sinais cardinais da doença de Parkinson (Kuosmanen et al., 2020). Dentre essas novas medidas alternativas para

avaliar os sinais cardinais da doença de Parkinson está o uso de sensores inerciais em aparelhos vestíveis (também conhecidos pelo termo inglês *weareables*) e *smartphones* (Vescio et al., 2021). A Tabela 01 mostra algumas referências de estudos que usaram aparelhos portáteis para avaliação da funcionalidade motora de pacientes com doença de Parkinson.

Tabela 01

Estudos usando aparelhos portáteis para avaliação da funcionalidade motora de pacientes com doença de Parkinson.

Referência	Função motora avaliada	Aparelho usado
Kostikis et al. (2014)	Tremor	<i>Smartphone</i>
De Araújo et al. (2014)	Tremor	<i>Wearable</i>
San-Segundo et al. (2020)	Tremor	<i>Wearable</i>
Sigcha et al. (2021)	Tremor	<i>Smartwatch</i>
Lopes-Blanco et al. (2019)	Tremor	<i>Smartwatch</i>
Sahin et al. (2022)	Tremor	<i>Smartphone</i>
Abou et al. (2021)	Equilíbrio	<i>Smartphone</i>
Hubble et al. (2015)	Equilíbrio	<i>Wearable</i>
Yahalom et al. (2020)	Equilíbrio	<i>Smartphone</i>
Zhan et al. (2018)	Equilíbrio	<i>Smartphone</i>
Surangsrirat et al. (2022)	Quantidade de movimento	<i>Smartphone</i>
Lee et al. (2016)	Quantidade de movimento	<i>Smartphone</i>
Page et al. (2022)	Quantidade de movimento	<i>Smartphone</i>
Alberts et al. (2021)	Quantidade de movimento	<i>Smartphone</i>

Kuosmanen et al. (2020) desenvolveram um estudo quase-experimental com a criação de um aplicativo para o monitoramento remoto do tremor e sua relação com a severidade de doença. Tais autores concluíram que o uso dos sensores já presentes nos *smartphones* é um recurso de alta aplicabilidade, uma vez que houve relevância estatística entre os dados dos sensores e a severidade de doença avaliada pela escala UPDRS parte III.

Alterações do equilíbrio e da marcha são alguns dos sinais motores que também já foram investigados através da tecnologia dos sensores portáteis (Moral-Munoz et al., 2018). O equilíbrio estático normalmente é avaliado à partir do registro de oscilações corporais na posição de pé com olhos abertos e fechados com o mínimo de mobilidade possível; para o equilíbrio dinâmico é comumente avaliado durante o registro das mudanças inerciais durante o

teste de *Timed Up and Go* ou de alguma outra tarefa como caminhada, sentar e levantar etc (Ponciano et al., 2020). Utilizando o acelerômetro e giroscópio embutidos no *smartphone*, Rashid et al. (2022) desenvolveram um aplicativo para avaliar o equilíbrio e a marcha em quatro tarefas motoras: duas estáticas para medir equilíbrio e duas dinâmicas para avaliação da marcha. Os dados coletados mostraram-se confiáveis e reprodutíveis com significância estatística.

A bradicinesia é um dos sintomas motores mais incapacitantes na Doença de Parkinson. Sua avaliação pode ser feita através do teste *Finger Tapping*, onde o paciente é solicitado a tocar de forma repetida um mesmo alvo por um curto tempo. Esse teste sofreu adaptação para telas sensíveis ao toque presentes em smartphones e assim foram sendo desenvolvidos vários protocolos através de aplicativos (Djurić-Jovičić et al., 2017).

Após o ano de 2020, com o surgimento da pandemia do COVID-19, o monitoramento a distância de pacientes ganhou destaque, uma vez que o isolamento social e os esforços em saúde foram voltados para o controle da doença em foco. A tecnologia através da telemedicina foi essencial na disseminação do conhecimento da doença de forma global e levou atendimento médico de forma remota em várias áreas (Bhaskar et al., 2020).

Dentro da neurologia clínica o exame físico é essencial para o diagnóstico de diversas patologias, sendo a Doença de Parkinson um modelo padrão de diagnóstico essencialmente clínico que é dificultado pelo monitoramento a distância. O desenvolvimento de tecnologias que monitorem o indivíduo de forma remota com dados confiáveis e a baixo custo seria algo de extrema valia dentro desse contexto.

Sendo assim, a partir de modos convencionais é muito difícil ter acesso a uma avaliação motora completa instrumentalizada dos pacientes com doença de Parkinson devido ao alto custo dos métodos padrão-ouro para as diferentes avaliações e a necessidade de pessoal qualificado para isso. O uso de tecnologias presente em *smartphones* abre a possibilidade de se concentrar em apenas um instrumento portátil com aplicativos que permitam a avaliação funcional motora em diferentes domínios baseados nos sinais cardinais da doença de Parkinson.

Objetivos

Geral

Propor uma avaliação multidimensional da funcionalidade motora baseado na avaliação dos sinais cardinais motores da Doença de Parkinson usando smartphones.

Específicos

Avaliar o tremor da mão dominante e não dominante de pessoas com ou sem doença de Parkinson utilizando sensores inerciais presentes em *smartphone*.

Avaliar o equilíbrio estático usando sensores inerciais de *smartphone* de pessoas com ou sem doença de Parkinson.

Avaliar o equilíbrio dinâmico usando sinais de sensores inerciais de *smartphone* obtidos durante o teste *Timed Up and Go* em pessoas com e sem Doença de Parkinson.

Avaliar a quantificação de movimento usando a tela sensível ao toque de *smartphone* em pessoas com e sem Doença de Parkinson.

Método

Esta pesquisa trata-se de um estudo quantitativo observacional do tipo transversal, no qual foi feita comparação multidimensional da avaliação da funcionalidade motora de pacientes com doença de Parkinson e pessoas saudáveis avaliados por sensores lidos por aplicativos para smartphone.

Todos os procedimentos deste presente estudo foram aprovados pelo comitê de ética em pesquisa com seres humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará (protocolo #1.338.241). Os procedimentos do presente projeto seguem as recomendações da declaração de Helsinki e suas atualizações. Todos os procedimentos foram explicados aos participantes e foi dado consentimento por escrito para participação no estudo.

Foram recrutados 9 pacientes com doença de Parkinson (com média de 72,44 anos de idade) e 8 participantes sem doença de Parkinson (com média de 58,25 anos de idade). Os pacientes com doença de Parkinson foram recrutados no Programa de apoio “Grupo Parkinson”, projeto de apoio a pacientes com doença de Parkinson coordenado pela Professora Doutora Lane Krejcová, docente da Universidade Federal do Pará. Os participantes sem doença de Parkinson foram recrutados por conveniência entre pessoas conhecidas pelos autores do estudo através de convite direto. Os participantes com doença de Parkinson obrigatoriamente deveriam ter sido diagnosticados por médico neurologista há pelo menos 1 ano. Os participantes do grupo de pessoas sem doença de Parkinson deveriam apresentar-se sem doenças neurodegenerativas, sem terem sido submetidos a cirurgias nos membros superiores e inferiores, não estarem em uso de medicamentos que influenciem a função motora. Todos os participantes tiveram a dominância manual testada usando a versão resumida do Inventário de Dominância Manual de Edinburgh (Veale, 2014).

Procedimentos

Todos os participantes foram avaliados clinicamente por um neurologista e tiveram diferentes funções motoras (tremor de mão, controle do equilíbrio estático e dinâmico, mobilidade e quantidade de movimento). Para isso foi usado um aparelho de telefonia móvel Samsung Galaxy A10S (156,8 mm x 75,8 mm x 7,8 mm, 168 g, Seul, Coréia do Sul). Neste aparelho foram instalados os aplicativos *Momentum Science* para registro de sensores inerciais triaxiais com taxa de aquisição de 20 Hz e *Momentum Touch* para registro de toques na tela do aparelho com taxa de aquisição de 120 Hz. Os dois aplicativos foram desenvolvidos na

Universidade Federal do Pará e têm sido validados para diferentes tarefas motoras (de Araújo et al., 2020; de Costa Moraes et al., 2022; Duarte et al., 2022a; Duarte et al., 2022a; Rodrigues et al., 2022; Santos et al., 2022; Brito et al., em submetido em 2023).

Avaliação do equilíbrio

A avaliação do equilíbrio foi dividida em três etapas: avaliação do equilíbrio estático com os olhos abertos, avaliação do equilíbrio com os olhos fechados e durante a tarefa do teste *Time Up and Go*. Em todas essas etapas, o smartphone foi fixado à cintura do participante através de uma cinta, que além de prender junto à região dorsal da coluna vertebral (nível L3-L5) do participante, permitia também a manipulação da tela do aparelho para controle do aplicativo.

A avaliação do equilíbrio estático foi feita com o participante na posição ortostática, com os braços relaxados ao lado do corpo, pernas distanciadas na largura dos ombros e pés descalços sobre uma superfície plana. Foi realizado o registro do acelerômetro através do aplicativo *Momentum Science* por 60 segundos, em condições de olhos abertos e fechados e apoio bipedal com intervalo de 1 minuto entre os testes.

A avaliação da mobilidade e **equilíbrio dinâmico** foi realizada usando o aplicativo *Momentum Science* para a leitura dos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) do smartphone durante a realização do teste *Timed Up and Go*. Antes de iniciar o registro, foi solicitado ao participante que ficasse sentado em uma cadeira sem apoio das costas e com os pés apoiados no chão mantendo as articulações do quadril e joelho em 90° de amplitude articular. O registro foi iniciado e após 5 segundos do início do registro. Foi pedido ao participante que se levantasse e caminhasse no ritmo desejado em uma linha reta com comprimento 3 metros. Ao fim dos 3 metros, o participante voltava para a cadeira, girava em frente a ela e se sentava novamente na cadeira. O registro foi interrompido 5 segundos depois do participante sentar-se de volta na cadeira.

Avaliação do tremor de mão

Para a avaliação do tremor de mão, foi solicitado que o participante ficasse confortavelmente sentado em uma cadeira, com os membros superiores repousados sobre uma mesa e a mão pendente fora da mesa, ao nível do terço distal do antebraço. O *smartphone* foi fixado à região dorsal da mão do participante, próximo ao corpo do 3° metacarpo, por uma fita dupla face. O aplicativo *Momentum Science* foi usado para registro dos sinais acelerométricos

na posição de repouso da mão por 30 segundos. O teste foi realizado na mão dominante e na mão não dominante.

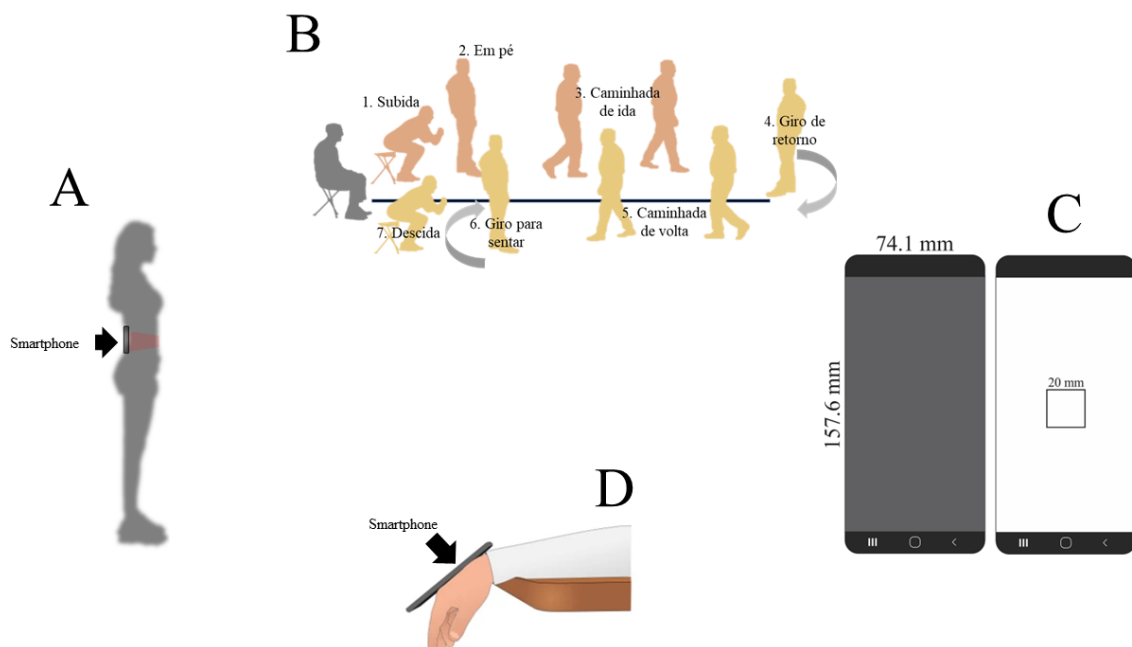
Avaliação da quantidade de movimento da mão

A avaliação da quantificação de movimento da mão foi realizada usando o aplicativo *Momentum Touch*, no qual foi aplicado o *Finger Tapping Test*. Para este teste, foi solicitado ao participante que percutisse a tela sensível ao toque (6.4-inches Dynamic AMOLED, QHD+ Display 3040 x 1440 Pixels, HDR10 19:9 Aspect Ratio, Gorilla Glass 6, 536 pixels per inch, 120 Hz resolução de captura) do smartphone o mais rápido possível. Para isso, o participante foi posicionado sentado em um assento que o permitia apoiar os pés no chão e os braços repousando sobre uma mesa. O smartphone foi posicionado em frente ao participante e, com cada uma das mãos tocando a superfície da mesa, foi pedido que o participante percutisse um quadrado central na tela do smartphone. O teste durou 30 segundos.

A Figura 01 mostra um esquema dos testes realizados com o *smartphone*.

Figura 01

Procedimentos realizados no presente estudo



Nota: (A) Avaliação do equilíbrio estático com olhos abertos e fechados com o smartphone fixado por um cinto na cintura do participante. (B) Circuito do teste *Time up and Go* no qual o participante levanta, caminha em linha reta de 3 metros, gira e retorna pela mesma linha e senta-

se novamente no assento. (C) Dimensões do smartphone e do estímulo mostrado para a tarefa do teste *Finger Tapping*, no qual o participante deveria percutir com a maior frequência possível no centro do quadrado da tela. (D) Registro do tremor de repouso da mão. O smartphone foi preso à região dorsal da mão por uma fita dupla face.

Análise de dados: Extração dos parâmetros quantitativos dos testes

Equilíbrio estático

Os registros foram exportados do celular em formato de texto e foram analisados em rotinas computacionais escritas em linguagem MATLAB/GNU OCTAVE. As séries temporais foram processadas por funções de *detrend*, interpolação para 100 Hz e filtragem passa-banda bidirecional de atraso de fase nula entre 0,1 e 10 Hz por um filtro Butterworth de segunda ordem e foram convertidos para unidades gravitacionais. Os sinais acelerométricos dos eixos antero-posterior e médio-lateral foram usados na análise. Desses sinais foram extraídos os seguintes parâmetros:

- Amplitude RMS: É uma medida de magnitude da oscilação em unidades gravitacionais e foi calculada seguindo as Equações 1 e 2.

$$RMS_{AP} = \sqrt{\frac{AP^2}{n}} \text{ (Equação 1)}$$

$$RMS_{ML} = \sqrt{\frac{ML^2}{n}} \text{ (Equação 2)}$$

Onde *RMS* é a amplitude RMS (do inglês *root mean square*), *AP* é o vetor de aceleração do deslocamento ântero-posterior, *ML* é o vetor de aceleração do deslocamento médio-lateral e *n* é o número de pontos do vetor.

- Aceleração total É a integral da resultante de aceleração durante todo o teste (Equação 3). Este parâmetro é correspondente ao deslocamento total na avaliação clássica do equilíbrio estático sobre plataforma de força.

$$I = \sum \sqrt{AP^2 + ML^2} \text{ (Equação 3)}$$

Onde *I* é a integral da resultante da aceleração durante o todo o teste, *AP* e *ML* representam os vetores de aceleração ântero-posterior e médio-lateral, respectivamente.

- Área da elipse que cobre 95% dos pontos do estatocinograma. Este parâmetro é correspondente à área do estatocinesiógrama da avaliação clássica do equilíbrio estático. O Código 1 MATLAB/GNU OCTAVE para o cálculo da área é mostrado abaixo.

$$[vec, val] = eig(cov(AP, ML))$$

$$Area = \pi \times prod(2.4478 * sqrt(svd(val)))$$

Onde *vec* são autovetores, *val* são autovalores, *eig* é a função MATLAB/GNU OCTAVE para cálculo dos autovalores e autovetores, *cov* é a função MATLAB/GNU OCTAVE para cálculo da covariância, *AP* e *ML* são os vetores acelerométricos dos eixos ântero-posterior e médio-lateral, *svd* é a função MATLAB/GNU OCTAVE para realizar a decomposição em valores singulares, *prod* é função para calcular o produto escalar e *pi* é constante matemática com valor 3,1415....

Mobilidade e Equilíbrio dinâmico

Os sinais acelerométricos e giroscópicos foram exportados em formato de texto e analisados em rotinas escritas em linguagem MATLAB/GNU OCTAVE. Os sinais foram processados por função de *detrend*, interpolação para 100 Hz e filtragem passa-banda bidirecional de atraso de fase nula entre 0,1 e 10 Hz por um filtro Butterworth de segunda ordem e foram convertidos para unidades gravitacionais para os sinais acelerométricos e em graus por segundo. Os sinais extraídos dos 3 eixos de cada sensor foram convertidos em um vetor resultante seguindo a Equação 4.

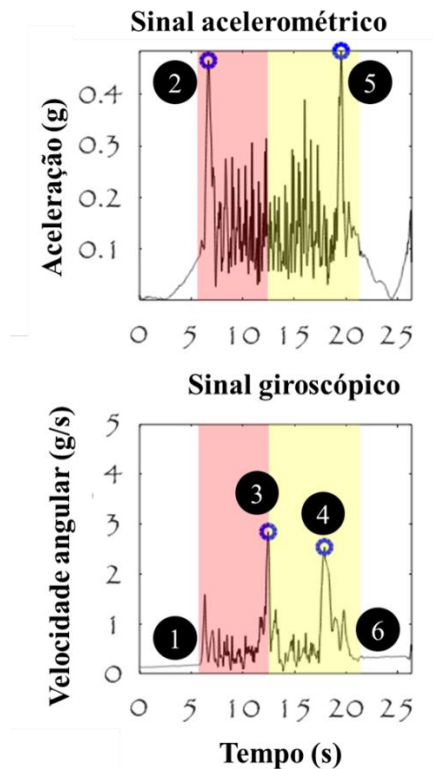
$$vr = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \text{ (Equação 4)}$$

Onde *vr* é o vetor resultante das séries temporais de cada sensor, *x*, *y* e *z* são as séries temporais registradas nos 3 diferentes eixos em cada sensor.

Os parâmetros quantitativos da avaliação do equilíbrio dinâmico foram extraídos dos vetores resultantes de acordo com os eventos inerciais identificados nestas séries temporais que são ilustrados na Figura 02.

Figura 02

Eventos inerciais esperados para acontecer durante o teste Timed up and go



Nota: (1) Início da subida da cadeira, (2) alcance da postura de pé, (3) giro para retorno, (4) giro para sentar, (5) descida para a cadeira e (6) finalização do teste.

Uma vez que seja identificados os eventos inerciais mostrados na Figura XX, é possível calcular os seguintes parâmetros:

- (i) Tempo total = tempo de início do teste – tempo de fim do teste
- (ii) Tempo de subida = Tempo para atingir a posição de pé – o tempo de início do teste
- (iii) Tempo de ida = Tempo do ponto máximo do giro de retorno – tempo para atingir a posição de pé
- (iv) Tempo de volta = Tempo do ponto máximo do giro para sentar - Tempo do ponto máximo do giro de retorno
- (v) Tempo de descida = Tempo de término do teste – tempo para iniciar a descida na cadeira
- (vi) Valor máximo de aceleração para atingir a posição de pé
- (vii) valor máximo de aceleração para atingir a posição de pé
- (viii) Velocidade angular máxima durante o giro de retorno
- (ix) Velocidade angular máxima durante o giro para sentar

(x) Impulso de subida = valor máximo de aceleração para atingir a posição de pé/tempo de subida

(xi) Impulso de descida = valor máximo de aceleração para iniciar a sentada/tempo de descida

Avaliação do tremor de repouso da mão

Os sinais acelerométricos foram exportados em formato de texto e analisados em rotinas escritas em linguagem MATLAB/GNU OCTAVE. Os sinais foram processados por função de detrend, interpolação para 100 Hz e foram convertidos para unidades gravitacionais. Os sinais extraídos dos 3 eixos de cada sensor foram convertidos em um vetor resultante seguindo a Equação 4. O sinal do vetor resultante foi dividido em 5 janelas de 5 segundos e em cada uma delas se passou uma transformada de Fourier e foram extraídos os seguintes parâmetros: amplitude RMS, a amplitude total, a assimetria da distribuição da série temporal, a curtose da distribuição da série temporal, a entropia aproximada e frequência mediana. A amplitude RMS foi calculada seguindo os mesmos princípios da Equação 1, a amplitude total é a diferença entre o máximo valor e o mínimo valor da série temporal, a assimetria e a curtose são medidas de distribuição de frequência dos valores da série temporal, a entropia é uma medida de regularidade do sinal e frequência mediana é a frequência na qual a soma cumulativa do espectro Fourier é igual metade da energia total do espectro. A média das 5 janelas de registro foi considerada para a análise seguinte.

Avaliação do teste de Finger Tapping

A série temporal composta pelos tempos e coordenadas espaciais dos toques realizados na tela do smartphone foram exportadas em arquivos de texto para serem analisadas em rotinas programadas em MATLAB/GNU OCTAVE. Dessas séries temporais foram extraídos os seguintes parâmetros:

Variáveis globais: número total de toques na tela e número de erros na tarefa. O erro foi considerado quando o participante tocava fora do quadrado central da tela.

Variáveis temporais: mediana da série temporal de frequências de toques, frequência máxima da série temporal de frequências de toques, frequência mínima da série temporal das frequências de toque.

Variáveis espaciais: deslocamento total (calculado seguindo os mesmos princípios da Equação 3), elipse de cobria 95% dos pontos tocados na tela (calculada seguindo os princípios do Código 1), semi-eixos maior e menor da elipse.

Sendo assim, foram extraídos 4 parâmetros quantitativos da avaliação do equilíbrio estático com os olhos abertos, 4 parâmetros quantitativos da avaliação do equilíbrio estático com os olhos fechados, 11 parâmetros quantitativos da avaliação do equilíbrio dinâmico, 6 parâmetros quantitativos da avaliação do tremor de repouso da mão dominante, 6 parâmetros quantitativos da avaliação do tremor de repouso da mão não dominante, 9 parâmetros quantitativos para avaliação da quantidade de movimento da mão dominante e 9 parâmetros quantitativos para avaliação da quantidade de movimento da mão não dominante, totalizando 49 parâmetros quantitativos da avaliação funcional motora.

Análise de dados: descrição de um modelo multidimensional para análise funcional motora

Para cada um dos 49 parâmetros quantitativos da função motora dos participantes do grupo Controle foi calculado o valor da média e do desvio-padrão. Com esses valores, foi calculado o escore z (Equação 5) de todas as medidas de todos os parâmetros dos participantes controle e do grupo Parkinson. O uso do escore z é uma forma colocar todos os domínios motores em uma única escala, que será a quantidade de desvios-padrões da média de uma população considerada controle (Chubb & Simpson, 2012).

$$z = \frac{(x-u)}{s} \text{ (Equação 5)}$$

Após a conversão dos escores z , foi calculada a distância Euclidiana dos parâmetros da avaliação do equilíbrio estático com olhos abertos, do equilíbrio estático com os olhos fechados, do equilíbrio dinâmico, do tremor de repouso da mão dominante, do tremor de repouso da mão não dominante, da quantidade de movimento da mão dominante e da quantidade de movimento da mão não dominante. Foram considerados como valores significativamente distantes da população controle aqueles indicadores com escores z superiores a ± 1.96 escores z . Assim, a funcionalidade motora de cada participante pode ser representada por sete valores indicativos de cada teste realizado (domínios) para ser apresentado em um gráfico de radar. A área do gráfico de radar foi calculada como indicador final da funcionalidade motora de cada participante.

Foi realizada uma estatística descritiva sobre os dados indicadores da funcionalidade motora nos diferentes domínios e global e avaliação do ajuste da distribuição dos dados à normalidade usando o teste de Shapiro-Wilk. Caso os dados apresentassem distribuição normal, os valores dos indicadores funcionais dos grupos com e sem doença de Parkinson foram

comparados usando o teste t de Student e caso não apresentassem distribuição normal, os grupos foram comparados usando o teste de Mann-Whitney, considerando o nível de confiança de 5%.

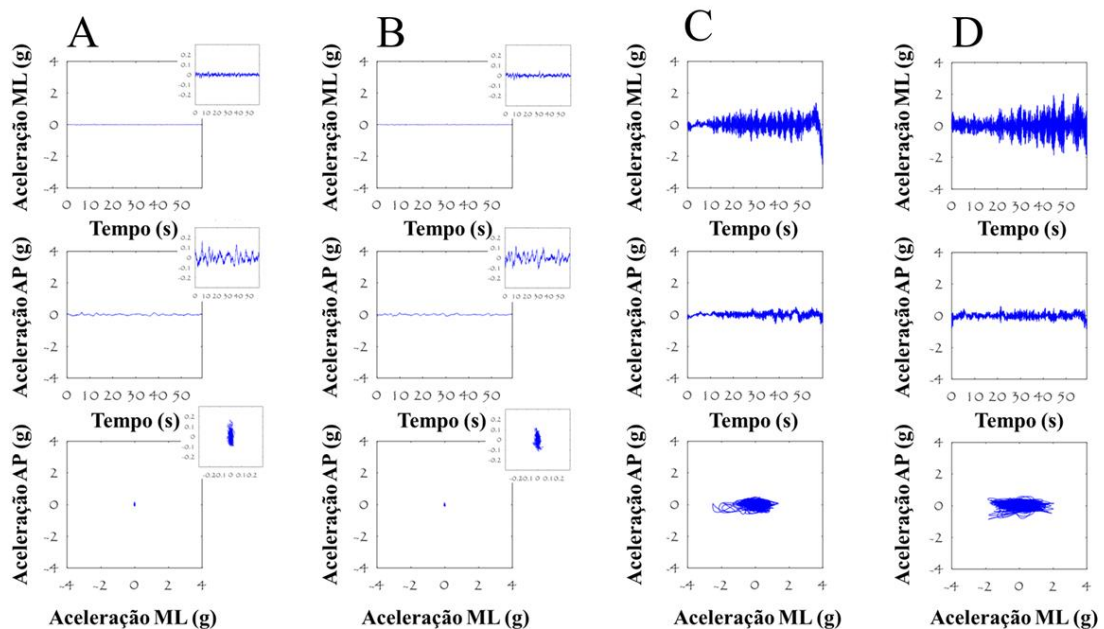
Resultados

Avaliação do equilíbrio estático

A Figura 03 apresenta os registros das oscilações corporais de dois participantes ilustrativos do grupo controle (A, condição com os olhos abertos; B, condição de olho fechado) e do grupo com doença de Parkinson (C, condição com os olhos abertos; D, condição com os olhos fechados). Neste exemplo mostrado da Figura X, a oscilação do participante com doença de Parkinson foi quase 10 vezes maior que a do participante do grupo controle. Nota-se oscilação corporal exacerbada no eixo médio-lateral, ao contrário da maior oscilação no eixo ântero-posterior que é vista no participante e normalmente esperado para uma pessoa saudável.

Figura 03

Registros acelerométricos obtidos durante tarefa de equilíbrio estático



(A) Registros de um participante representativo do grupo controle em condição de olhos abertos. (B) Registros de um participante representativo do grupo controle em condição de olhos fechados. (C) Registros de um participante representativo do grupo com doença de Parkinson em condição de olhos abertos. (D) Registros de um participante representativo do grupo com doença de Parkinson em condição de olhos fechados. Gráficos superiores

representam as oscilações nos eixo médio-lateral, gráficos intermediários representam as oscilações ântero-posteriores e os gráficos inferiores representam o estatoacelerograma (correlação entre as oscilações nos dois eixos acima citados). Em A e B foram colocados pequenos painéis ampliando os registros com escala 10 vezes menor para permitir a melhor visualização dos dados.

A Tabela 02 mostra a mediana (intervalo interquartil) dos escores z dos participantes do grupo com doença de Parkinson. Observou-se que todos os parâmetros quantitativos apresentaram escores z medianos acima do valor de 1,96, sendo que os parâmetros RMS AP e aceleração total foram os que mais se distanciaram do grupo controle.

Tabela 02

Escores z medianos (intervalo interquartil) dos parâmetros quantitativos da avaliação do equilíbrio estáticos do grupo com doença de Parkinson e controle.

	Grupo Parkinson	Grupo controle
<i>Olhos abertos</i>		
RMS AP	29,36 (44,6)*	-0,44 (1,45)
RMS ML	9,64 (20,1)*	0,35 (0,8)
Aceleração total	10,9 (7,6)*	0,11 (0,8)
Área	5,74 (12,8)*	-0,37 (0,6)
<i>Olhos fechados</i>		
RMS AP	9,55 (24)*	-0,31 (0,01)
RMS ML	9,21 (20,4)*	-0,32 (0,02)
Aceleração total	3,53 (5)*	-0,31 (0,01)
Área	4,71 (4,5)*	-0,28 (0,02)

Nota: os índices destacados com * foram aqueles com valor de 1,96

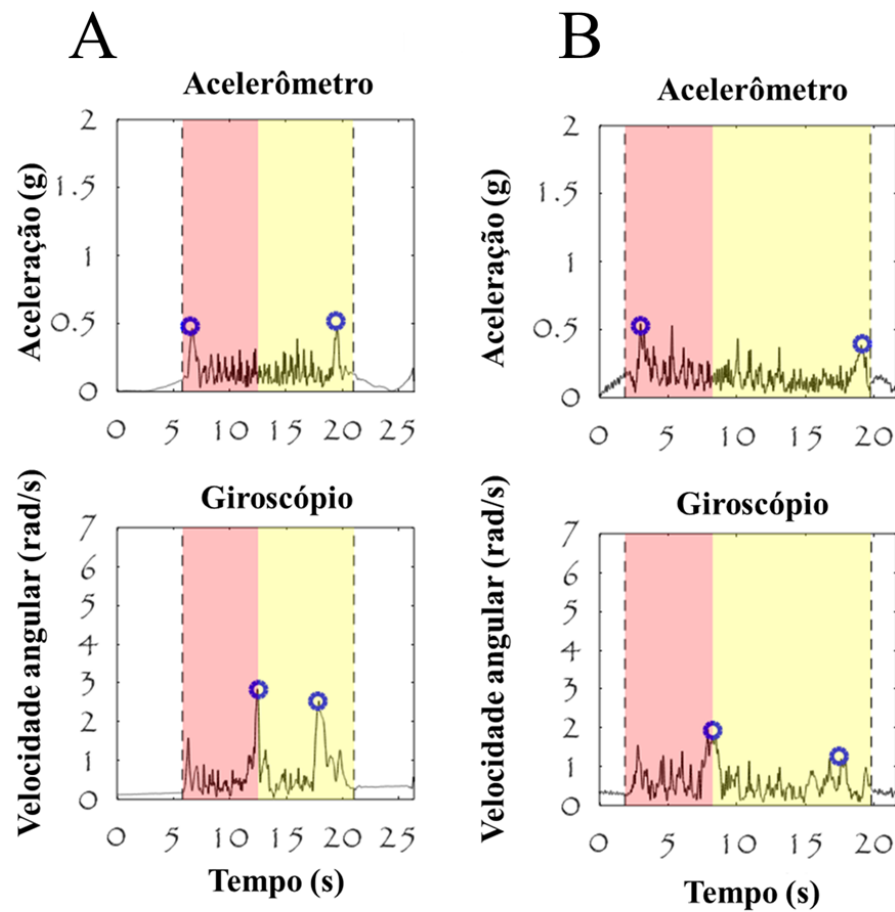
Avaliação do equilíbrio dinâmico

A figura 04 mostra os sinais inerciais obtidos por um participante representativo do grupo controle (A) e por um participante representativo do grupo com doença de Parkinson (B). Ambos os pacientes apresentaram os eventos esperados nas séries temporais do acelerômetro e do giroscópio. A Tabela 02 mostra os valores de mediana (intervalo interquartil) de escores z obtidos para cada parâmetro do grupo de participantes com doença de Parkinson. Foi observado que os parâmetros que têm maiores escores z foram o tempo de descida (único parâmetro com

escore z mediano acima de 1,96), o tempo total do teste e as velocidades angulares máximas atingidas durante os giros.

Figura 04

Registros inerciais obtidos durante o teste Timed up and Go



Nota: (A) Participante do grupo controle. (B) Participante do grupo com doença de Parkinson. Os gráficos superiores mostram as variações acelerométricas durante o teste e os gráficos inferiores mostram as variações da velocidade angular durante o teste. Sombra vermelha representa a fase de ida e sombra amarela representa a fase de volta. Os círculos azuis marcam os valores máximos de aceleração na subida, descida e nos giros de volta e para sentar.

Tabela 3

Escores z medianos (intervalo interquartil) dos parâmetros quantitativos da avaliação do equilíbrio dinâmico do grupo com doença de Parkinson e controle.

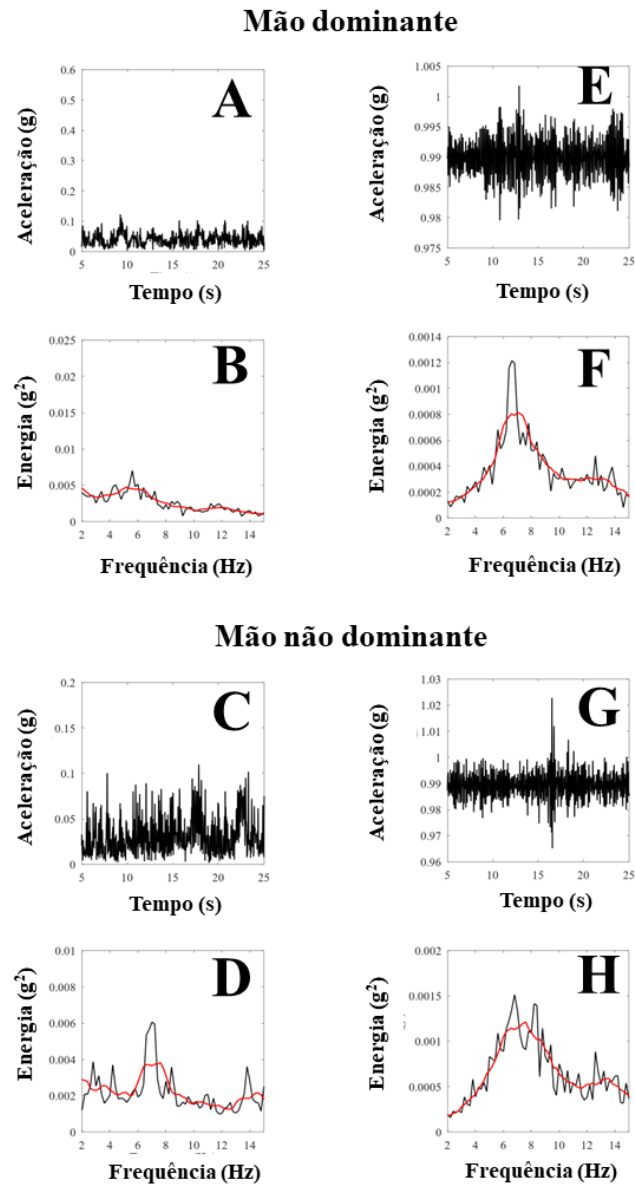
	Grupo Parkinson	Grupo controle
Tempo total (s)	1,33 (3)	-0,25 (1,4)
Tempo de subida (s)	-0,22 (1,4)	0,006 (0,9)
Tempo de ida (s)	0,79 (3,7)	-0,08 (0,9)
Tempo de volta (s)	0,69 (2,8)	-0,18 (1,1)
Tempo de descida (s)	9,52 (2,7)*	0,04 (0,7)
Aceleração máxima de subida (g)	-0,98 (1,7)	0,14 (1)
Aceleração máxima de descida (g)	-1,23 (1,5)	0,02 (1,2)
Velocidade angular máxima no giro de retorno (graus/s)	-1,58 (1,3)	0,29 (1,7)
Velocidade angular máxima no giro para se sentar (graus/s)	-1,61 (1,5)	0,2 (1,4)
Impulso de subida (g/s)	+ 0,36 (3,1)	-0,08 (1,2)
Impulso de descida (g/s)	-0,38 (1,2)	-0,23 (0,4)

Avaliação do tremor de repouso da mão

A Figura 05 mostra o registro do tremor de repouso da mão de um participante representativo do grupo controle (A e B, mão dominante; C e D, mão não dominante) e do grupo com doença de Parkinson (E e F, mão dominante; G e H, mão não dominante). De um modo geral, os pacientes com doença de Parkinson apresentaram maiores tremores.

Figura 05

Registros do tremor de repouso da mão de participante do grupo controle (A-D) e do grupo com doença de Parkinson (E-H).



Nota: A linha vermelha representa um modelo de média móvel sobre os valores de energia espectral.

Os maiores escores z medianos (intervalo interquartil) do grupo com doença de Parkinson foram observados na amplitude RMS, além de serem os únicos a apresentar-se com valores superiores a 1,96.

Tabela 04

Escores z medianos (intervalo interquartil) dos parâmetros quantitativos da avaliação do tremor de mão do grupo com doença de Parkinson e controle.

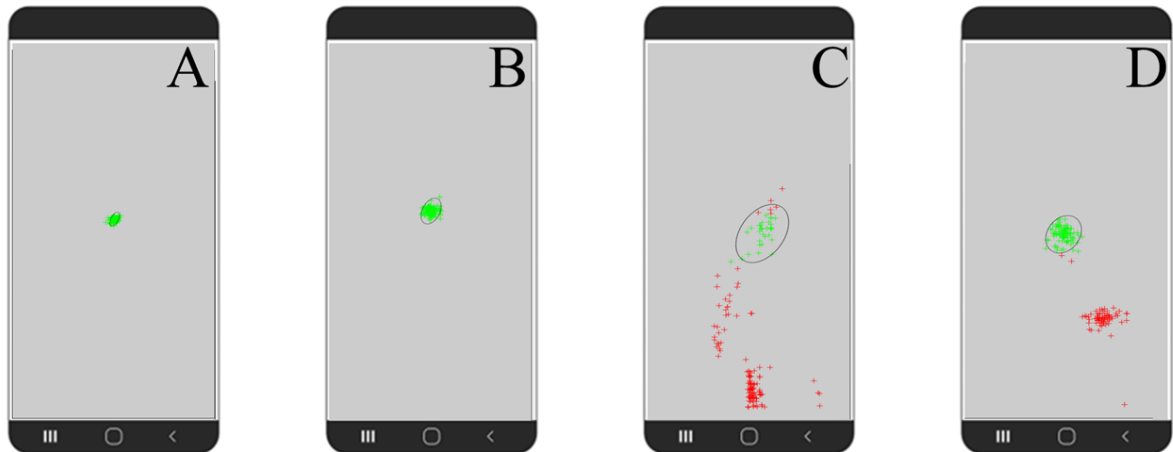
	Grupo Parkinson	Grupo controle
<i>Mão dominante</i>		
RMS	6,7 (107,1)	0,16 (1,7)
Amplitude	-1,34 (6,9)	0,26 (1,1)
Assimetria	-0,31 (5,2)	0,15 (1,9)
Curtose	-0,02 (1,3)	0,36 (1,9)
Entropia aproximada	0,3 (0,6)	-0,5 (1,9)
Frequência mediana	0,94 (0,9)	-0,31 (1,9)
<i>Mão não dominante</i>		
RMS	13,5 (55,4)	-0,15 (1,3)
Amplitude	-0,19 (2,6)	- 0,41 (1,6)
Assimetria	-0,57 (2,8)	-0,09 (0,4)
Curtose	-0,43 (0,6)	-0,3 (0,7)
Entropia aproximada	0,27 (1,1)	0,19 (0,8)
Frequência mediana	0,03 (0,9)	0,23 (1)

Avaliação da quantidade de movimento da mão

A Figura 06 mostra a marcação de toques na tela do smartphone exercido por um participante representativo do grupo controle e do grupo com doença de Parkinson usando a mão dominante e a mão não dominante. As cruzes em verde representam os toques corretos (dentro do quadrado central da tela) e as cruzes vermelhas representam os toques executados fora da área central (erros). O participante controle (assim como os demais do grupo controle) tocou prioritariamente dentro da área-alvo, enquanto o participante com doença de Parkinson cometeu diversos erros e espalhou os toques em uma grande área da tela.

Figura 06

Resultado do teste de Finger Tapping de um participante do grupo controle (A, mão dominante; B, mão não dominante) e de um participante com doença de Parkinson (C, mão dominante; D, mão não dominante)



Nota: As cruces verdes representam toques dentro do alvo e as cruces vermelhas representam toques fora do alvo. A elipse representa uma área que cobre 95% das coordenadas de toques corretos realizados pelo participante durante o teste.

Os maiores escores z medianos do teste realizado com a mão dominante do grupo com doença de Parkinson foram encontrados no número de erros e semi-eixo maior da elipse, enquanto os maiores escores z medianos do teste realizado com a mão não dominante do grupo com doença de Parkinson foram encontrados no número de erro, área, semi-eixos maior e menor da elipse.

Tabela 05

Escores z, medianos (intervalo interquartil) dos parâmetros quantitativos da avaliação da quantidade de movimento do grupo com doença de Parkinson e controle.

	Grupo Parkinson	Grupo controle
<i>Mão dominante</i>		
Número total de toques	-0,35 (0,9)	-0,2 (1,1)
Número de erros	2,47 (31,1)	-0,35 (0)
Frequência mediana	-1,56 (0,3)	-0,25 (1,5)
Frequência máxima	-0,03 (0,6)	-0,1 (0,9)
Frequência mínima	-0,09 (0,1)	-0,06 (1,8)
Deslocamento total	-0,84 (1,3)	-0,2 (1)
Area	1,77 (4,7)	-0,37 (0,5)
Semi-eixo maior	2,97 (2,9)	-0,35 (1,1)
Semi-eixo menor	0,67 (4,2)	-0,21 (0,9)
<i>Mão não dominante</i>		
Número total de toques	-0,83 (2,5)	-0,19 (1,4)
Número de erros	2,48 (31)	-0,35 (0)
Frequência mediana	-0,11 (1)	-0,07 (1,4)
Frequência máxima	-0,34 (1,7)	-0,27 (1,4)
Frequência mínima	-3,52 (0,9)	0,36 (1)
Deslocamento total	-0,74 (2,5)	-0,18 (1,2)
Area	4,24 (3,6)	0,06 (1,1)
Semi-eixo maior	3,36 (1,8)	0,46 (1,5)
Semi-eixo menor	3,38 (1,4)	0,19 (1)

Comparação entre grupos de indicadores motores global em cada domínio motor

Para a avaliação da funcionalidade motora global, propõem-se neste trabalho usar os indicadores funcionais de cada domínio como vetores de um mapa de radar de sete lados, no qual o tamanho do vetor representa o grau de funcionalidade motora no domínio e a área do gráfico de radar representar o indicador global da funcionalidade motora do participante. A Figura 07 mostra dois mapas de radar de participantes representativos do grupo controle e a Figura 08 mostra seis mapas de radar de participantes do grupo com doença de Parkinson. Os controles apresentaram vetores cujas distâncias eram semelhantes e se criou uma área

relativamente homogênea dentro do heptágono funcional. Já com os participantes com doença de Parkinson pode-se observar que a maioria deles apresentavam alguns domínios com maiores vetores que outros criando polarizações de perdas nas áreas do gráfico de radar.

A Tabela 06 mostra os valores medianos (intervalo interquartil) dos indicadores motores global e dos diferentes domínios motores. De um modo geral, o grupo de pacientes com doença de Parkinson apresentou valores significativamente maiores dos indicadores motores global e nos diferentes domínios. O domínio com menor diferença entre os dois grupos foi a avaliação do equilíbrio dinâmico, enquanto o domínio com maior distância entre os grupos foi o equilíbrio estático com os olhos abertos.

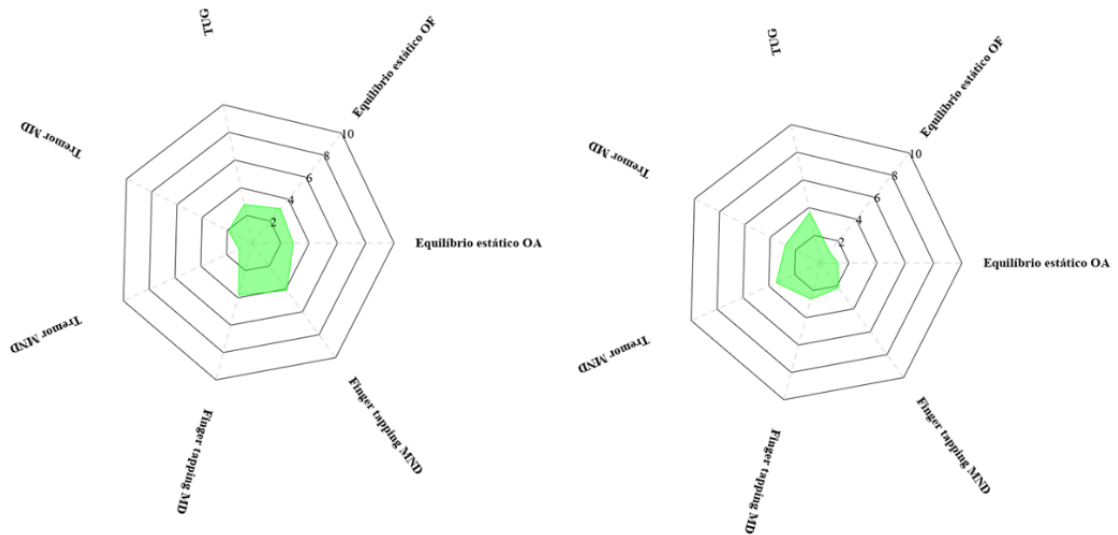
Tabela 06

Comparação dos escores z resultantes global e em cada domínio para as distâncias euclidianas derivadas das variáveis de cada teste motor.

	Grupo controle	Grupo Parkinson
Equilíbrio estático com olho aberto	1,36 (0,9)	34,75 (48,6)
Equilíbrio estático com olho fechado	1,46 (0,7)	14,18 (33,8)
Equilíbrio dinâmico (TUG)	3,17 (0,8)	4,6 (5,3)
Tremor de repouso da mão dominante	2,11 (0,8)	9,36 (102,5)
Tremor de repouso da mão não dominante	1,71 (1)	17,5 (53,3)
<i>Finger Tapping</i> da mão dominante	2,41 (1,5)	6,17 (29,8)
<i>Finger tapping</i> da mão não dominante	2,67 (1,1)	7,78 (25,9)
Global	14,42 (15,3)	3991,9 (20610,30)

Figura 07

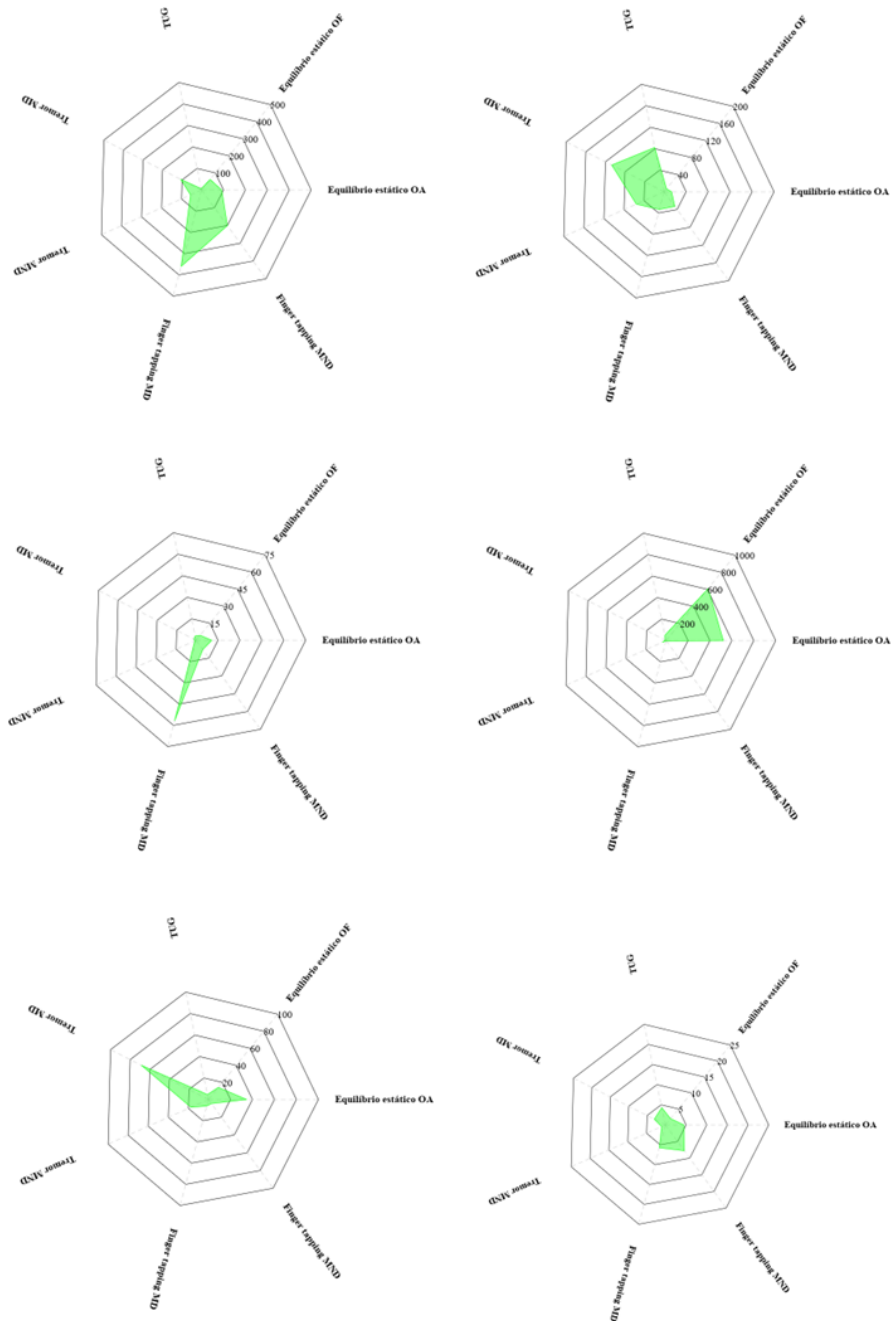
Mapas de funcionalidade motora de dois participantes do grupo controle



Nota: Os vetores dos controles (de forma semelhante aos dois exemplos mostrados) se concentraram dentro de áreas cujos raios não foram maiores que 8. A área em verde representa a funcionalidade multifuncional motora dos participantes.

Figura 08

Mapas de funcionalidade motora de seis participantes do grupo com doença de Parkinson



Nota: Os participantes do grupo com doença de Parkinson apresentaram áreas com polarização (maior vetor) em funções específicas e foi incomum achar participantes com perdas homogêneas entre os múltiplos testes. Os vetores dos participantes com doença de Parkinson variaram de valores de algumas dezenas a centenas. A área em verde representa a funcionalidade multifuncional motora dos participantes. Verificar que as escalas dos

participantes com Doença de Parkinson precisaram ser modificadas as escalas comparado com os gráficos do controle.

Discussão

O estudo atual buscou propor um índice único com base multiparamétrica para indicar a funcionalidade motora dos indivíduos portadores de Doença de Parkinson. Os sinais cardinais da doença – tremor, bradicinesia, equilíbrio e marcha – foram todos avaliados e quantificados em 49 parâmetros objetivos e posteriormente convertidos em único indicador global e 7 indicadores de diferentes domínios, como forma de caracterizar a severidade motora do participante com a doença.

Grande parte dos estudos já publicados avalia individualmente um dos sintomas motores dos pacientes com doença de Parkinson e busca a validação junto as escalas validadas como a UPDRS parte III. Poucos trabalhos buscaram avaliar as múltiplas funções motoras usando *smartphone* no mesmo paciente com doença de Parkinson, mas ainda quando assim fizeram, avaliaram cada funcionalidade de forma individualizada. A presente proposta é inovadora por buscar uma conversão das funcionalidades motoras individualizadas em parâmetros funcionais únicos, seja dentro de cada domínio motor ou de forma global.

Em relação a amostra, o grupo de portadores de doença coletados foi de 7 pacientes do sexo masculino e duas do sexo feminino, refletindo a maior prevalência da doenças em sujeitos do sexo masculino (Tysnes & Storstein, 2017).

Os parâmetros pesquisados sobre equilíbrio estático foram investigados via aplicativo com celular afixado a lombar dos indivíduos tal como no estudo de Rashid et al. (2022). Nosso estudo corrobora a literatura vigente, que afirma ser possível identificar perdas do equilíbrio em indivíduos portadores de Doença de Parkinson (Moral-Munoz et al., 2018). O prejuízo funcional encontrado foi relevante tanto para a tarefa de olhos abertos quanto para a tarefa de olhos fechados.

A investigação do equilíbrio dinâmico foi realizada durante o teste *Time up and Go*. A avaliação tradicional do teste refere-se basicamente ao tempo que se leva para completar a tarefa, mas a utilização de sensores inerciais permite a discriminação temporal e espacial (Clavijo-Buendía et al., 2020; Ponciano et al., 2019, 2020). Nosso estudo discriminou 11

variáveis relacionadas ao teste e estas foram comparadas ao grupo controle. A comparação dos escores z levou a observação de uma diferença entre grupos (3,17 no grupo controle para 4,6 no grupo Parkinson) porém essa diferença não se mostrou significativa. Foi o domínio mais semelhante ao grupo controle, sendo que apenas o parâmetro tempo de descida apresentou-se superior a 1,96 escores z. Outros estudos mostraram valor preditivo das medidas inerciais durante o teste *Timed Up and Go* (da Silva et al., 2017; Weiss et al., 2010).

A investigação do tremor de mão de pacientes com doença de Parkinson através de sensores inerciais vem sendo amplamente estudada (de Araújo et al., 2020), inclusive com a idealização de um mecanismo de inteligência artificial para detecção em tempo real do tipo de tremor apresentado pelo indivíduo (Jeon et al., 2017). Nosso estudo buscou identificar a presença do tremor na Doença de Parkinson e quanto esse tremor se afasta da normalidade. Essa comparação foi significativamente diferente na avaliação de grupos. Isso foi observado tanto para a mão dominante quanto para a mão não dominante. O parâmetro amplitude RMS foi o que mais se sobressaiu em relação ao controle, indicando que a amplitude do tremor é melhor indicador que a frequência, distribuição e regularidade dos valores registrados.

Para avaliação da bradicinesia nosso estudo avaliou o *Finger Tapping Test* adaptado para uso em *smartphone* por aplicativo desenvolvido na própria Universidade Federal do Pará. Vários outros estudos vêm desenvolvendo protocolos adaptados a *smartphones* para a investigação da bradicinesia com variações desse teste (Lee et al., 2016; Makai-Bölöni et al., 2021). Nosso estudo encontrou um número de erros ao alvo significativo em relação ao grupo controle. Na comparação dos escores z, notou-se diferença significativa na avaliação entre grupos, sendo de 6,17 (29,8) para o grupo Parkinson e 2,41 (1,5) no grupo controle para a mão dominante. Outro fator importante também foi a área de toque, que foi maior no grupo com doença de Parkinson, indicando perda da coordenação em atingir o alvo. No aplicativo atual, a área de elipse que registra o espalhamento espacial dos toques leva em consideração apenas os toques com acertos. A possível inclusão da área total dos toques, certos ou incorretos, pode adicionar maior valor preditivo a esse parâmetro.

A avaliação dos domínios e a área do gráfico de radar se mostraram promissoras quanto à avaliação motora do paciente com doença de Parkinson, mas algumas limitações ainda podem ser apontadas no presente estudo. Uma das limitações técnicas foi a pequena amostra de indivíduos captados para a pesquisa. Isso se deveu a irregularidade de frequência de alguns

participantes do “Grupo Parkinson” de apoio da UFPA, dificultando a coleta seriada dos testes. Alguns indivíduos concordaram na coleta de dados, mas devido à irregularidade de frequência, não foi possível a coleta de todos os testes necessários a pesquisa. O número de participantes em ambos os grupos pode ainda ser maior em estudos futuros e, especialmente no grupo com doença de Parkinson, o maior número de pacientes pode nos informar sobre mais fenótipos motores. No presente trabalho foi observado que alguns pacientes com doença de Parkinson apresentam escores z muito distante dos valores do controle, sendo que no gráfico de radar foi necessário usar escalas diferentes para visualização dos diferentes grupos, enquanto outros pacientes tiveram valores de escores z mais próximos do controle. Foi verificado que mesmo os pacientes mais afetados com piores índices, não são afetados de forma global em todos os domínios motores avaliados, mostrando uma heterogeneidade do comprometimento motor.

Essa avaliação pormenorizada pode indicar onde as terapias de reabilitação podem atuar de forma mais assertiva, melhorando a performance e a qualidade de vida do portador da doença. A principal limitação técnica foi a indisponibilidade de uma UPDRS-III atualizada do Grupo Parkinson para a comparação com o índice multiparamétrico de severidade obtido neste estudo. A última UPDRS realizada possuía mais de um ano e o recesso das atividades do grupo inviabilizou a sua atualização. Para o seguimento dos desdobramentos desse estudo, objetiva-se a realização da UPDRS para comparação com nosso índice.

A proposta aqui apresentada pode ser usada para avaliação no auxílio do diagnóstico e acompanhamento do tratamento medicamentoso e da reabilitação.

Conclusão

A utilização de sensores inerciais portáteis tanto individualizados para uso exclusivo no estudo biomecânico quanto presentes em *smartphones* é um campo vasto de estudo nos últimos 10 anos. A pandemia do COVID-19 veio de forma a acelerar esse processo de consolidação, dado o afastamento social imposto e a dificuldade de acesso dos indivíduos portadores de doenças crônicas aos serviços de saúde. Neste trabalho propusemos uma avaliação em vários domínios considerados sinais cardinais da doença de Parkinson buscando um indicador único de gravidade da doença.

Neste estudo durante a avaliação dos sinais cardinais motores observamos uma grande variabilidade de apresentação entre os participantes. Os indivíduos portadores de Doença de Parkinson mostraram prejuízos não uniformes entre os domínios avaliados.

Para avaliação do tremor tanto da mão dominante quanto da mão não dominante houve diferença significativa entre grupo controle e Grupo Parkinson, sendo a mão não dominante com pior funcionalidade entre grupos. A pior funcionalidade na avaliação do equilíbrio tanto estático quanto motor foi visto nos pacientes de Doença de Parkinson, porém no Teste *Time up and go* não foi vista diferença significativa entre grupos.

Pelo fato dos *smartphones* serem equipados com acelerômetros e giroscópios triaxiais onde podem ser utilizados aplicativos que possam avaliar de forma mais assertiva os prejuízos motores, concluímos que os mesmos podem ser usados como ferramenta de avaliação multidimensional em portadores de Doença de Parkinson.

Referências

- Anang, J. B. M., Gagnon, J., Bertrand, J., Romentes, S. R., Latreille, V., Passinet, M., Montplaisir, J., & Postuma, R. B. (2014). Predictors of dementia in Parkinson disease. *Neurology*, *83*, 1253–1260.
- Armstrong, M. J., & Okun, M. S. (2020). Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, *323*(6), 548–560. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.22360>
- Beitz, J. M. (2014). School of Nursing-Camden, Rutgers University, 311 N. 5. *Frontiers in Bioscience*, *6*(3), 65–74.
- Betini, B. G., Meira, A. T., & Teive, H. A. G. (2019). Camillo Negro and his contributions to neurology. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, *77*(9), 669–671. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20190038>
- Bhaskar, S., Bradley, S., Chattu, V. K., Adishes, A., Nurtazina, A., Kyrykbayeva, S., Sakhamuri, S., Moguilner, S., Pandya, S., Schroeder, S., Banach, M., & Ray, D. (2020). Telemedicine as the New Outpatient Clinic Gone Digital: Position Paper From the Pandemic Health System REsilience PROGRAM (REPROGRAM) International Consortium (Part 2). *Frontiers in Public Health*, *8*(September), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00410>
- Bhatia, K. P., Bain, P., Bajaj, N., Elble, R. J., Hallett, M., Louis, E. D., Raethjen, J., Stamelou, M., Testa, C. M., & Deuschl, G. (2018). Consensus Statement on the classification of tremors. from the task force on tremor of the International Parkinson and Movement Disorder Society. *Movement Disorders*, *33*(1), 75–87. <https://doi.org/10.1002/mds.27121>
- Clavijo-Buendía, S., Molina-Rueda, F., Martín-Casas, P., Ortega-Bastidas, P., Monge-Pereira, E., Laguarda-Val, S., Morales-Cabezas, M., & Cano-de-la-Cuerda, R. (2020). Construct validity and test-retest reliability of a free mobile application for spatio-temporal gait analysis in Parkinson's disease patients. *Gait and Posture*, *79*(November 2019), 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.04.004>
- Del Din, S., Galna, B., Godfrey, A., Bekkers, E. M. J., Pelosin, E., Nieuwhof, F., Mirelman, A., Hausdorff, J. M., & Rochester, L. (2019). Analysis of Free-Living Gait in Older Adults with and Without Parkinson's Disease and with and Without a History of Falls: Identifying Generic and Disease-Specific Characteristics. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, *74*(4), 500–506. <https://doi.org/10.1093/gerona/glx254>
- Djurić-Jovičić, M., Jovičić, N. S., Roby-Brami, A., Popović, M. B., Kostić, V. S., & Djordjević, A. R. (2017). Quantification of finger-tapping angle based on wearable sensors. *Sensors (Switzerland)*, *17*(2). <https://doi.org/10.3390/s17020203>
- Grabli, D., Karachi, C., Welter, M., Lau, B., Hirsch, E. C., Vidailhet, M., François, C., & Pierre, U. (2013). *Normal and pathological gait*. *83*(10). <https://doi.org/10.1136/jnnp-2012-302263>.Normal
- Jeon, H., Lee, W., Park, H., Lee, H. J., Kim, S. K., Kim, H. B., Jeon, B., & Park, K. S. (2017). Automatic classification of tremor severity in Parkinson's disease using a wearable device. *Sensors (Switzerland)*, *17*(9), 1–14. <https://doi.org/10.3390/s17092067>
- Khodakarami, H., Shokouhi, N., & Horne, M. (2021). A method for measuring time spent in

- bradykinesia and dyskinesia in people with Parkinson's disease using an ambulatory monitor. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00905-4>
- Kuosmanen, E., Wolling, F., Vega, J., Kan, V., Nishiyama, Y., Harper, S., van Laerhoven, K., Hosio, S., & Ferreira, D. (2020). Smartphone-based monitoring of Parkinson disease: Quasi-experimental study to quantify hand tremor severity and medication effectiveness. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(11). <https://doi.org/10.2196/21543>
- Lee, C. Y., Kang, S. J., Hong, S. K., Ma, H. Il, Lee, U., & Kim, Y. J. (2016). A validation study of a smartphone-based finger tapping application for quantitative assessment of bradykinesia in Parkinson's disease. *PLoS ONE*, 11(7), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158852>
- Makai-Böloni, S., Thijssen, E., Van Brummelen, E. M. J., Groeneveld, G. J., & Doll, R. J. (2021). Touchscreen-based finger tapping: Repeatability and configuration effects on tapping performance. *PLoS ONE*, 16(12 December), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260783>
- Moral-Munoz, J. A., Esteban-Moreno, B., Herrera-Viedma, E., Cobo, M. J., & Pérez, I. J. (2018). Smartphone Applications to Perform Body Balance Assessment: a Standardized Review. *Journal of Medical Systems*, 42(7), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0970-1>
- Opara, J. A., Małeckki, A., Małeczka, E., & Socha, T. (2017). Motor assessment in parkinson's disease. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 24(3), 411–415. <https://doi.org/10.5604/12321966.1232774>
- Ponciano, V., Pires, I. M., Ribeiro, F. R., Garcia, N. M., Pombo, N., Spinsante, S., & Crisóstomo, R. (2019). Smartphone-based automatic measurement of the results of the Timed-Up and Go test. *ACM International Conference Proceeding Series*, 239–242. <https://doi.org/10.1145/3342428.3343035>
- Ponciano, V., Pires, I. M., Ribeiro, F. R., Marques, G., Garcia, N. M., Pombo, N., Spinsante, S., & Zdravevski, E. (2020). Is the timed-up and go test feasible in mobile devices? A systematic review. *Electronics (Switzerland)*, 9(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/electronics9030528>
- Postuma, R. B., Berg, D., Stern, M., Poewe, W., Olanow, C. W., Oertel, W., Obeso, J., Marek, K., Litvan, I., Lang, A. E., Halliday, G., Goetz, C. G., Gasser, T., Dubois, B., Chan, P., Bloem, B. R., Adler, C. H., & Deuschl, G. (2015). MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 30(12), 1591–1601. <https://doi.org/10.1002/mds.26424>
- R. Balestrino; Schapira A.H.V. (2020). Parkinson disease. *European Journal of Neurology*, 27–42. <https://doi.org/10.1111/ene.14108>
- Rashid, U., Barbado, D., Olsen, S., Alder, G., Elvira, J. L. L., Lord, S., Niazi, I. K., & Taylor, D. (2022). *Balance Assessment*. 1–17.
- Silva de Lima, A. L., Evers, L. J. W., Hahn, T., Bataille, L., Hamilton, J. L., Little, M. A., Okuma, Y., Bloem, B. R., & Faber, M. J. (2017). Freezing of gait and fall detection in Parkinson's disease using wearable sensors: a systematic review. *Journal of Neurology*, 264(8), 1642–1654. <https://doi.org/10.1007/s00415-017-8424-0>
- Tysnes, O. B., & Storstein, A. (2017). Epidemiology of Parkinson's disease. *Journal of Neural*

- Transmission*, 124(8), 901–905. <https://doi.org/10.1007/s00702-017-1686-y>
- Vescio, B., Quattrone, A., Nisticò, R., Crasà, M., & Quattrone, A. (2021). Wearable Devices for Assessment of Tremor. *Frontiers in Neurology*, 12(June), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.680011>
- Wong, S. L., Gilmour, H., & Ramage-morin, P. L. (2014). *Parkinson 's disease : Prevalence , diagnosis and impact*. 82.
- Zhan, A., Mohan, S., Tarolli, C., Schneider, R. B., Adams, J. L., Sharma, S., Elson, M. J., Spear, K. L., Glidden, A. M., Little, M. A., Terzis, A., Dorsey, E. R., & Saria, S. (2018). Using Smartphones and Machine Learning to Quantify Parkinson Disease Severity: The Mobile Parkinson Disease Score. *JAMA Neurology*, 75(7), 876–880. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.0809>