



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS MÉDICAS
DEPARTAMENTO DE NEUROPSIQUIATRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROPSIQUIATRIA E CIÊNCIAS DO
COMPORTAMENTO

IHANA THAÍS GUERRA DE OLIVEIRA GONDIM

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL COM
ACCELEROMETRIA TRIAXIAL E DE UM APLICATIVO COM ESTIMULAÇÃO
AUDITIVA RÍTMICA PARA A REABILITAÇÃO DA MARCHA DE PESSOAS COM
DOENÇA DE PARKINSON: um estudo de desenvolvimento tecnológico em saúde**

Recife

2021

IHANA THAÍS GUERRA DE OLIVEIRA GONDIM

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL COM
ACCELEROMETRIA TRIAXIAL E DE UM APLICATIVO COM ESTIMULAÇÃO
AUDITIVA RÍTMICA PARA A REABILITAÇÃO DA MARCHA DE PESSOAS COM
DOENÇA DE PARKINSON: um estudo de desenvolvimento tecnológico em saúde**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento do Centro de Ciências Médicas da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Doutor.

Área de concentração: Neurociências.

Orientadora: Profa. Dra. Maria das Graças Wanderley de Sales Coriolano

Recife
2021

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

- G637d Gondim, Ihana Thaís Guerra de Oliveira.
Desenvolvimento de um dispositivo portátil com acelerometria triaxial e de um aplicativo com estimulação auditiva rítmica para a reabilitação da marcha de pessoas com doença de Parkinson: um estudo de desenvolvimento tecnológico em saúde / Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim. – 2021.
106 f.: il.; 30 cm.
- Orientadora: Maria das Graças Wanderley de Sales Coriolano.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCM.
Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento. Recife, 2021.
Inclui referências, apêndices e anexos.
1. Desenvolvimento tecnológico. 2. Doença de Parkinson. 3. Acelerometria. 4. Estimulação acústica. 5. Marcha. I. Coriolano, Maria das Graças Wanderley de Sales (Orientadora). II. Título.

612.665 CDD (20.ed.)

UFPE (CCS2021-157)

IHANA THAÍS GUERRA DE OLIVEIRA GONDIM

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PORTÁTIL COM
ACCELEROMETRIA TRIAXIAL E DE UM APLICATIVO COM ESTIMULAÇÃO
AUDITIVA RÍTMICA PARA A REABILITAÇÃO DA MARCHA DE PESSOAS COM
DOENÇA DE PARKINSON: um estudo de desenvolvimento tecnológico em saúde**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento do Centro de Ciências Médicas da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Doutor.

Área de concentração: Neurociências.

Aprovada em: 13/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Daniella Araújo de Oliveira (Presidente e Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco/ Departamento de Fisioterapia

Profa. Dra. Cinthia Rodrigues de Vasconcelos (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco/ Departamento de Fisioterapia

Profa. Dra. Nadja Maria Jorge Asano (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco/ Departamento de Medicina Clínica

Prof. Dr. Marco Aurélio Benedetti Rodrigues (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco/ Departamento de Engenharia Eletrônica e Sistemas

Profa. Dra. Anabela Correia Martins (Examinador Externo)
Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra/ Departamento de Fisioterapia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que recorri buscando força, calma e sabedoria;

A minha orientadora Maria das Graças Coriolano por todo o seu conhecimento compartilhado, palavras de sabedoria e dedicação incessante na busca pelas parcerias, divulgação da pesquisa e escrita dos artigos;

Ao professor Dr. Otávio Gomes Lins pelo conhecimento compartilhado, apoio e orientação durante os anos iniciais da pesquisa;

A Dra. Nadja Asano e ao Dr. Amdore Asano por terem me acolhido no ambulatório de Neurologia do Hospital das Clínicas de Pernambuco, passando conhecimento e viabilizando o acesso aos pacientes do Programa Pró-Parkinson;

Aos pacientes do Programa Pró-Parkinson e da Associação de Parkinson de Pernambuco que contribuíram para a pesquisa, sempre acolhendo a equipe com muito carinho;

Aos profissionais de saúde que concordaram em participar da etapa de usabilidade;

Aos que fazem parte do Programa Pró-Parkinson, em especial a coordenadora Maria das Graças Coriolano, a fisioterapeuta Izaura Azevedo e aos bolsistas de iniciação científica Cleysiane de Oliveira e Samuel de Castro por toda dedicação a esta pesquisa;

A equipe de Engenharia do Departamento de Eletrônica e Sistemas representada pelo Professor Marco Aurélio Benedetti Rodrigues;

A todos que contribuíram para a produção do artigo de revisão integrativa e do artigo original (Caroline Souza, Izaura Azevedo, Cleysiane de Oliveira, Samuel de Castro, Marco Aurélio Rodrigues, Maria das Graças Coriolano e Otávio Lins);

Ao Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento;

Aos meus pais, Ana Célia Gondim e Abel Gondim, e irmão Antônio Augusto Gondim por me darem o apoio necessário para me manter firme neste propósito;

Ao meu esposo Davi Curi por estar sempre ao meu lado com palavras de apoio e incentivo, dando também suporte científico para a pesquisa;

A minha tia Maria das Graças Gondim, que sempre se fez presente em toda minha trajetória e nesta conquista;

Aos meus avós que sempre acreditaram em mim e me inspiraram a buscar conhecimento para ajudar o próximo;

Aos familiares, amigos, pacientes e todos que acreditaram e torceram por mais esta conquista.

RESUMO

Tecnologias de avaliação/monitoramento e de reabilitação da marcha com estimulação auditiva rítmica (EAR) em pessoas com doença de Parkinson (DP) estão em evidência no mercado tendo em vista vantagens como a portabilidade e o potencial terapêutico. O objetivo desta tese foi desenvolver um dispositivo portátil com acelerometria triaxial (Sistema de Monitoramento e Avaliação da Marcha- SisMAM) para mensuração de parâmetros espaço-temporais da marcha, bem como um aplicativo com EAR (ParkinsonSONS) para a reabilitação da marcha na DP. Esta pesquisa de desenvolvimento tecnológico em saúde apresentou três etapas: Etapa 1- Desenvolvimento de dois produtos (1- SisMAM; 2- ParkinsonSONS); Etapa 2- Avaliação da usabilidade do SisMAM e do ParkinsonSONS; Etapa 3- Teste de campo do ParkinsonSONS. O estudo foi realizado no Programa Pró-Parkinson do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no período de março de 2017 a dezembro de 2020, seguindo preceitos éticos. O SisMAM, um conjunto de quatro sensores com acelerometria triaxial para captação de sinais da marcha na DP, foi desenvolvido através de parceria com o Departamento de Eletrônica e Sistemas da UFPE. O ParkinsonSONS, fornecendo EAR com menu de músicas brasileiras e de metrônomo para a reabilitação da marcha na DP, foi desenvolvido junto com uma empresa contratada. A ideia de desenvolvimento sempre foi a de integrar os dois produtos. A usabilidade do SisMAM foi verificada mediante comparação com o sistema de avaliação humana- o teste de caminhada de 10 metros (TC10m), entre os membros da equipe de pesquisa e com uma paciente com 63 anos e DP leve (HY original 1) durante a fase ON da medicação. Para a usabilidade do ParkinsonSONS, aplicou-se o questionário MATch (Measuring Usability of Touchscreen Phone Applications) com 15 fisioterapeutas. Para o teste de campo do ParkinsonSONS, 15 pacientes com DP leve à moderada (HY original 1 a 3) realizaram TC10m para mensuração dos parâmetros espaço-temporais da marcha em três momentos: 1- caminhada sem a EAR; 2- caminhada com a EAR fornecida pelo ParkinsonSONS; 3- caminhada após a retirada da estimulação. Para a estimulação foi considerado o incremento de $\pm 10\%$ da cadência basal, optando-se pelas faixas musicais (com metrônomo ON) fornecidas pelo aplicativo. Erros na integração do SisMAM com o ParkinsonSONS foram detectados ainda na fase de usabilidade, sendo necessários novos ajustes antes de prosseguirmos com novos testes. Já o ParkinsonSONS, apresentou “usabilidade muito alta” por fisioterapeutas e, no teste de campo, proporcionou oferta da EAR com sucesso demonstrando potencial de uso para o treino da marcha na DP leve a moderada. A utilidade

clínica desta pesquisa foi a de desenvolver produtos pensados para facilitar o manejo dos pacientes, promover uma prática lúdica e ampliar o acesso à reabilitação.

Palavras-chave: desenvolvimento tecnológico; doença de Parkinson; acelerometria; estimulação acústica; marcha.

ABSTRACT

Technologies with gait assessment/monitoring and rehabilitation with rhythmic auditory stimulation (RAS) in people with Parkinson's disease (PD) are in evidence in the market due to advantages such as portability and therapeutic potential. The objective of this thesis was to develop a portable device with triaxial accelerometry (Gait Monitoring and Assessment System - SisMAM) for measuring spatiotemporal parameters of gait, as well as an application with RAS (ParkinSONS) for gait rehabilitation in PD. This research on technological development in health had three stages: Stage 1- Development of two products (1- SisMAM; 2- ParkinSONS); Step 2- Evaluating the usability of SisMAM and ParkinSONS; Step 3- ParkinSONS field test. The study was carried out in the Pro-Parkinson Program of the Hospital das Clínicas of the Federal University of Pernambuco (UFPE), from March 2017 to December 2020, following ethical principles. SisMAM, a set of four sensors with triaxial accelerometry for capturing gait signals in PD, was developed in partnership with the Department of Electronics and Systems at UFPE. ParkinSONS, providing a menu with RAS with Brazilian songs and metronome for gait rehabilitation in PD, was developed together with a contracted company. The development idea has always been to integrate the two products. The usability of SisMAM was verified by comparing it with the human evaluation system - the 10-meter walk test (10 MWT), between members of the research team and with a 63-year-old patient with mild PD (original HY 1) during the ON phase of the medication. For the usability of ParkinSONS, the MATcH (Measuring Usability of Touchscreen Phone Applications) questionnaire was applied with 15 physical therapists. For the ParkinSONS field test, 15 patients with mild to moderate PD (original HY 1 to 3) underwent the 10MWT to measure the spatiotemporal parameters of gait in three moments: 1- walk without RAS; 2- walk with the RAS provided by ParkinSONS; 3- walking after withdrawal of stimulation. For stimulation, an increase of $\pm 10\%$ of the basal cadence was considered, opting for the songs (with metronome ON) provided by the application. Errors in the integration of SisMAM with ParkinSONS were detected still in the usability phase, being necessary new adjustments before proceeding with new tests. ParkinSONS, on the other hand, presented “very high usability” by physical therapists and, in the field test, it provided RAS with success, demonstrating its potential use for gait training in mild to moderate PD. The clinical usefulness of this research was to develop products designed to facilitate the management of patients, promote a playful practice and expand access to rehabilitation.

Keywords: technological development; Parkinson disease; accelerometry; acoustic stimulation; gait.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1	DISFUNÇÕES DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON	12
2.2	ACELERÔMETROS ENQUANTO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DE PARÂMETROS ESPAÇO-TEMPORAIS DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON	14
2.3	ESTIMULAÇÃO AUDITIVA RÍTMICA PERSONALIZADA COMO ESTRATÉGIA DE REABILITAÇÃO DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON: PANORAMA GERAL E O USO DE APLICATIVOS ENQUANTO FERRAMENTA DE ACESSO	16
3	OBJETIVOS	20
3.1	OBJETIVO GERAL	20
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4	MÉTODOS	21
4.1	ASPECTOS ÉTICOS	21
4.2	DESENHO DE ESTUDO	21
4.3	LOCAL DO ESTUDO	21
4.4	AMOSTRA DO ESTUDO	21
4.5	FINANCIAMENTO DA PESQUISA	22
4.6	OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA	22
4.6.1	Etapa de desenvolvimento	22
4.6.1.1	Desenvolvimento do SisMAM	22
4.6.1.2	Desenvolvimento do ParkinSONS	23
4.6.2	Etapa de usabilidade	24
4.6.2.1	Etapa de usabilidade do SisMAM	24
4.6.2.2	Etapa de usabilidade do ParkinSONS	27
4.6.2.2.1	<i>Avaliação da usabilidade do ParkinSONS por fisioterapeutas</i>	30
4.6.3	Etapa de teste de campo do ParkinSONS	31
5	RESULTADOS	33
6	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICE A- TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E	40

ESCLARECIDO	
APÊNDICE B- ARTIGO DE REVISÃO INTEGRATIVA	42
APÊNDICE C- ARTIGO ORIGINAL	73
ANEXO A- CARTA DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA	99
ANEXO B- TESTE DE CAMINHADA DE 10 METROS	100
ANEXO C- CERTIFICADO DE REGISTRO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR	101
ANEXO D- MATCH (MEASURING USABILITY OF TOUCHSCREEN PHONE APPLICATIONS)	102
ANEXO E- CARTA DE SUBMISSÃO DO ARTIGO ORIGINAL	106

1 INTRODUÇÃO

A doença de Parkinson (DP) é a segunda doença neurodegenerativa mais comum, sendo mais incidente a partir dos 50 anos e frequente no sexo feminino. Caracteriza-se por sinais clínicos como bradicinesia, rigidez, tremor de repouso, instabilidade postural e alterações da marcha (ASCHERIO; SCHWARZSCHILD, 2016).

As principais alterações da marcha na DP são redução da velocidade, do comprimento da passada, do tempo de balanço e uma maior cadência. Tudo isso contribui para a variabilidade da marcha na doença, estando relacionada a uma dificuldade intrínseca para coordenar, temporalizar movimentos e programar uma ação, promovendo diminuição da mobilidade e aumento do risco de quedas (ZANARDI et al., 2021). Tendo em vista que se trata de uma doença que afeta principalmente idosos, países em desenvolvimento como o Brasil necessitam desenvolver estratégias efetivas e acessíveis de avaliação, monitoramento e reabilitação da marcha (ELLIS et al., 2015).

A avaliação e o monitoramento de parâmetros espaço-temporais da marcha na DP podem ser realizados pelo uso de dispositivos portáteis de acelerometria ou de instrumentos convencionais restritos ao ambiente de laboratório. Dispositivos portáteis de acelerometria quando comparados aos sistemas convencionais de laboratório apresentam um menor custo e a possibilidade de serem usados fora do ambiente clínico, apesar disso, os que são disponíveis ainda parecem apresentar menor precisão e acurácia na leitura dos sinais (GONDIM et al., 2020). Faz-se importante o desenvolvimento de um dispositivo portátil de acelerometria capaz de fornecer informações precisas do padrão de marcha do paciente com DP para incorporar estes dados em estratégias de reabilitação da marcha.

Dentre as estratégias para a reabilitação da marcha consideradas promissoras na DP, tem-se a estimulação auditiva rítmica (EAR). Essa utiliza o ritmo através das batidas de um metrônomo, música associadas às batidas do metrônomo ou somente a música, para sincronização ou marcação temporal do movimento, facilitando a marcha (LEUK et al., 2020; GHAI et al., 2018). Para promover uma EAR adequada na DP, faz-se necessário que este estímulo seja personalizado para o padrão de marcha de cada paciente (BELLA et al., 2018; GHAI et al., 2018).

Considerando a diversidade de padrões de marcha na população, sistemas portáteis que integram sensores de acelerometria a aplicativos com EAR em *smartphone* para a reabilitação da marcha de pessoas com DP vêm ganhando visibilidade e interesse (GONDIM

et al., 2020; AHOLT et al., 2019; GARZO et al., 2018; ELLIS et al., 2015; LOPEZ et al., 2014).

Este estudo de desenvolvimento tecnológico em saúde teve como objetivo desenvolver um dispositivo portátil com acelerometria triaxial (Sistema de Monitoramento e Avaliação da Marcha- SisMAM) para mensuração de parâmetros espaço-temporais da marcha, bem como um aplicativo com EAR (ParkinsonSONS) para a reabilitação da marcha de pessoas com DP.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DISFUNÇÕES DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON

A DP é descrita como uma doença neurológica progressiva decorrente da degeneração dos neurônios dopaminérgicos da substância negra localizada no mesencéfalo (WIRDEFELDT et al., 2011). Com a depleção dopaminérgica, surgem os sinais clínicos da doença, tais como bradicinesia, rigidez, tremor de repouso e instabilidade postural, impactando negativamente na marcha (VILA et al., 2021; ZANARDI et al., 2021; ARMSTRONG & OKUN et al., 2020).

A marcha também é afetada diretamente pelo comprometimento da produção da dopamina devido a alterações na região cortical que estão relacionadas ao planejamento e sequenciamento dos movimentos (PETERSON; HORAK, 2016). Há uma diminuição da habilidade para manter padrão e ritmo constantes, com uma dificuldade intrínseca para coordenar, temporalizar movimentos e programar uma ação (MOON et al., 2016).

Pessoas com DP andam com maior cadência, menor comprimento do passo/passada, maior tempo na fase de duplo apoio, maior rigidez axial, assimetria de parâmetros da marcha entre os membros e redução da amplitude nas articulações de quadril (ZANARDI et al., 2021), do joelho e do tornozelo (MIRELMAN et al., 2019). Assim, a marcha pode se apresentar lenta, com passos curtos e arrastados, dissociação prejudicada de cinturas escapular e pélvica e redução do balanço dos membros superiores (VILA et al. 2021; ZANARDI et al., 2021).

No estágio inicial da doença, os sinais são frequentemente unilaterais, com predomínio da redução do comprimento do passo e da velocidade da marcha em comparação a adultos saudáveis da mesma idade. Essas alterações são consideradas inespecíficas para a doença, uma vez que são comuns a várias outras patologias. Já sinais como a amplitude reduzida do balanço dos braços e o aumento da assimetria entre os membros são considerados como mais específicos para a DP e, muitas vezes, apontados como os primeiros sinais motores (MIRELMAN et al., 2019).

No estágio moderado ao avançado, os sinais passam a se manifestar bilateralmente, com comprometimento da estabilidade postural (MIRELMAN et al., 2019), além do agravamento das variáveis cinéticas e espaço-temporais (velocidade, cadência, duração do ciclo de caminhada, tempo e duração do duplo apoio, duração do balanço, largura do passo e comprimento da passada) (VILA et al., 2021).

O comprimento do passo reduzido e de forma assimétrica entre os membros (VILA et al., 2021) é reflexo de uma modulação deficiente pela falta da regulação interna, devido à baixa "excitabilidade interna" do córtex motor e pré-motor pelos núcleos da base (MORRIS et al., 1994). Mudanças na amplitude de movimento e da postura também contribuem para o prejuízo dessa variável (MIRELMAN et al., 2019).

Em relação à redução do balanço dos braços durante a marcha na DP, essa pode estar relacionada à bradicinesia (a lentidão dos movimentos, como a menor frequência de oscilação do braço) e hipometria (a amplitude reduzida dos movimentos, como a menor amplitude do balanço do braço), sendo mais visível no lado do corpo mais afetado devido a um processo assimétrico de desnervação dopaminérgica nigroestriatal (ZAMPIER et al., 2018; WU; HALLETT; CHAN, 2015).

Pessoas com DP quando solicitadas a realizar incremento tanto na frequência quanto na amplitude do balanço dos braços durante a marcha, podem apresentar uma mudança positiva sobre os parâmetros espaço-temporais como a velocidade da passada. Isso pode ocorrer devido ao mecanismo atencional que influencia um aumento da atividade cortical na região frontal. Esses achados sinalizam a importância de solicitar movimentos do braço durante a terapia de exercícios nos protocolos de reabilitação com enfoque na marcha (ZAMPIER et al., 2018).

A velocidade da marcha em pessoas com DP é significativamente mais lenta do que em saudáveis, sendo considerada um importante fator preditor de progressão da doença (ZANARDI et al., 2021). Em estágios iniciais, os indivíduos respondem bem ao tratamento com Levodopa, obtendo o aumento da velocidade na fase *on* (sob efeito do medicamento). No entanto, com o avançar da doença e necessidade do aumento da dose, promovem como efeitos colaterais os distúrbios de movimento como a discinesia (movimentos involuntários anormais) (SMULDERS et al., 2016; STOWE et al., 2010).

Além disso, a marcha torna-se "em bloco" com a progressão da doença, apresentando pouca dissociação entre ombros e quadril, podendo haver fenômenos rítmicos como festinação e episódios de congelamento (*freezing*). A festinação é caracterizada por passos pequenos e rápidos no início e final do caminhar e, frequentemente, precede episódios de *freezing*. Acredita-se que o *freezing* esteja relacionado a lesões no estriado, no lobo frontal e nas projeções frontais dos núcleos da base. Este fenômeno é mais comumente experimentado durante o início da caminhada, giro e quando se depara com obstáculos, portas, situações estressantes e distração (GAO et al., 2020; MITCHELL et al., 2019; YANG et al., 2016).

O *freezing*, juntamente com a instabilidade postural, é a causa mais comum de quedas e contribui significativamente para o risco de fraturas (LORD et al., 2020). Da instabilidade postural, a redução do tempo de reação a respostas de equilíbrio e a postura com cabeça e tronco fletidos dificultam ajustes quando há súbitos deslocamentos do corpo. A rigidez axial e a redução do balanço dos braços na DP podem contribuir para esta dificuldade (BEKKERS et al., 2018; ZAMPIER et al., 2018; FIETZEK et al. 2017).

Considerando-se que as alterações da marcha podem atuar como um preditor de progressão da DP, necessita-se investir em estratégias acessíveis de avaliação, monitoramento e de reabilitação da marcha na DP (BROGNARA et al., 2019; ELLIS et al., 2015; HOVE; KELLER, 2015; ROIZ et al., 2010).

2.2 ACELERÔMETROS ENQUANTO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DE PARÂMETROS ESPAÇO-TEMPORAIS DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON

À medida que a DP progride, ocorre um aumento das disfunções motoras. Com o desenvolvimento de tecnologias em saúde, sensores inerciais como acelerômetros têm sido cada vez mais utilizados para monitoramento do nível de atividade física, detecção de queda, sintomas motores e, também, para obtenção de parâmetros espaço-temporais da marcha na DP (SICA et al., 2021; LU et al., 2020).

Os parâmetros espaço-temporais descrevem as principais variáveis do ciclo da marcha e refletem a capacidade do paciente de cumprir as exigências gerais durante a caminhada, ou seja, aceitação de peso, fase de apoio, fase de balanço e avanço da marcha (ZAGO et al., 2018). Os principais parâmetros espaço-temporais são: velocidade (distância percorrida pelo corpo por unidade de tempo); cadência (número de passos por unidade de tempo); comprimento da passada (distância entre o contato do calcanhar de um pé com o solo e o próximo contato do mesmo pé) e comprimento do passo (distância entre o toque do calcanhar de um pé no solo e o toque do calcanhar do outro pé no solo) (YONEYAMA et al., 2014; ZAGO et al., 2018).

A cinemática humana ocorre em mais de um eixo de movimento, assim acelerômetros triaxiais são preferidos para medir o movimento em três eixos ortogonais, simultaneamente, permitindo medir o deslocamento e a aceleração. A amostragem dos sinais de acelerometria é constituída por três vetores, onde cada um representa a aceleração do sensor em um dos três eixos do plano cartesiano, onde o eixo X capta movimentos laterais, o eixo Y as oscilações

perpendiculares e o eixo Z os sinais referentes às oscilações verticais (BROGNARA et al., 2019; ROCHA; MARRANGHELLO, 2013).

São diversos tipos de acelerômetros, cada qual contendo em suas características variadas formas de utilização, vantagens e desvantagens. Com base na portabilidade e no tipo de tecnologia utilizada, podem ser classificados em três grupos: vestíveis, não-vestíveis e híbridos. Os vestíveis são definidos como tecnologias usadas no corpo, ou embutidas em relógios, pulseiras e roupas. Os não vestíveis são aqueles restritos ao ambiente de laboratório, como as passarelas instrumentadas. Já os híbridos, são uma mistura de tecnologias que combinam dispositivos vestíveis e não vestíveis (GONDIM et al., 2020; ZAGO et al., 2018; VIENNE et al., 2017; GODINHO et al., 2016; DEMONCEAU et al., 2015; ROCHA; MARRANGHELLO, 2013).

Os sensores inerciais vestíveis estão em expansão quando comparados aos não-vestíveis, provavelmente, porque são de menor custo, discretos, de fácil manuseio (permite o uso em ambiente externo) e mais objetivos (BROGNARA et al., 2019; DEMONCEAU et al., 2015). Também, podem ter seu uso associado ao *smartphone*, possuindo como principal vantagem a possibilidade de gerar dados sobre parâmetros espaço-temporais da marcha de forma portátil e, ainda, ter seus dados armazenados e incorporados a um aplicativo (App) com recursos como a EAR, para uma reabilitação personalizada da marcha na DP (AHOLT et al., 2019; GARZO et al., 2018; ELLIS et al., 2015; LOPEZ et al., 2014).

Tecnologias que integram sensores inerciais vestíveis e um App com EAR com enfoque na marcha em pessoas com DP (AHOLT et al., 2019; GARZO et al., 2018; ELLIS et al., 2015; LOPEZ et al., 2014) estão em evidência no mercado; entretanto, ainda apresentam desafios como o aprimoramento da precisão da leitura dos parâmetros espaço-temporais quando comparados aos sistemas convencionais restritos ao laboratório; da experiência da interface usuário-aplicativo; do custo do que é apresentado. Assim, o desenvolvimento de tecnologias como essas ainda se constitui como uma possibilidade de inovação terapêutica (GONDIM et al., 2020; GODINHO et al., 2016; DEMONCEAU et al., 2015; LORD et al., 2013).

2.3 ESTIMULAÇÃO AUDITIVA RÍTMICA PERSONALIZADA COMO ESTRATÉGIA DE REABILITAÇÃO DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON: PANORAMA GERAL E O USO DE APLICATIVOS ENQUANTO FERRAMENTA DE ACESSO

Intervenções terapêuticas convencionais para DP, como o uso de medicamentos e a estimulação cerebral profunda (DBS), possuem eficácia limitada para problemas da marcha, sendo necessária a associação com estratégias de reabilitação (BELLA et al., 2015).

A EAR é uma estratégia neurológica promissora usada para facilitar a reabilitação da marcha de pessoas com DP. Geralmente, utilizam-se a batida do metrônomo, a associação de músicas às batidas do instrumento ou somente a música como recurso sonoro rítmico (LEUK et al., 2020; GHAI et al., 2018; BELLA et al., 2015; NOMBELA et al., 2013).

Através da demarcação do ritmo, a EAR fornece uma orientação temporal na DP que facilita os movimentos e a manutenção de um padrão rítmico durante a caminhada. Esta sincronização auditiva-motora se justifica pelo sistema auditivo, considerado um processador mais rápido e preciso de informações temporais do que os sistemas visuais e táteis, possuir interações imediatas e estáveis com o sistema motor em vários níveis corticais, subcorticais e espinais (GHAI et al., 2018; HOVE; KELLER, 2015; THAUT et al., 2010).

A incorporação da EAR na DP deve ser precoce e personalizada com variações de frequência de $\pm 10\%$ em relação à cadência preferida do paciente, por um período mínimo de 20–45 minutos em 3–5 dias por semana para uma melhora da marcha (GHAI et al., 2018). Dentre os benefícios, destacam-se o aumento da velocidade, do comprimento da passada e uma melhor regularização da cadência e da relação da duração entre a fase de apoio e de balanço (GHAI et al., 2018; PAU et al., 2016; HOVE; KELLER, 2015; ROCHA et al., 2014; SPAULDING et al., 2013; THAUT et al., 2010).

Quanto ao tipo de estímulo auditivo, o metrônomo pode ser a opção mais adequada para pessoas com DP que tenham prejuízo cognitivo, visto que é um estímulo mais simples (ROCHESTER et al., 2009). Já a música, parece ser a opção mais lúdica e envolvente, possuindo benefícios cognitivos, psicossociais, comportamentais e motores para pessoas com DP. A música apresenta a capacidade de ativar memórias, emoções e estimular o sistema de recompensa. Também, reduz a percepção de fadiga (sintoma comum na DP), incentivando a continuidade do exercício (ZHOU et al., 2021; BRANCATISANO et al., 2020; ROSE et al., 2019; COCHEN DE COCK et al., 2018; KARAGEORGHIS et al., 2012).

Evidência sugere que caminhar em um ritmo musical agradável é mais benéfico para melhorar a amplitude da passada e o balanço do braço em pessoas com DP do que com uma

pista isócrona (PARK et al., 2020). Além disso, a familiaridade com a música pode influenciar uma velocidade de marcha mais rápida e menor variabilidade de passada devido a dois mecanismos: 1- menor demanda cognitiva exigida ao solicitar a sincronização dos passos com uma batida familiar; 2- aumento do prazer ao ouvir uma música familiar, contribuindo para um melhor desempenho (LEOW et al., 2015).

Para além dos efeitos imediatos, a música parece permitir que pessoas com DP mantenham o sincronismo do passo mesmo que cessado o estímulo auditivo. Isso pode ser por envolver a repetição de uma melodia e/ou letra que parece induzir um maior efeito da habilidade do sistema motor de se acoplar ao sistema auditivo e conduzir os padrões de movimento (ROSE et al; 2019). Apesar disso, é importante lembrar que a resposta a qualquer estímulo auditivo pode ser altamente variável entre as pessoas com DP devido a diferenças individuais na habilidade de sincronizar seus passos com uma batida, bem como de detectar se seus passos estão ou não alinhados com essa batida (BELLA et al., 2018).

Essa habilidade é sustentada pela atividade residual dos circuitos neuronais (gânglios da base-tálamo-redes corticais), que é mais prejudicada em algumas pessoas do que em outras na DP, e por vias funcionais alternativas (redes cerebelo-tálamo-corticais). Assim, é importante investigar a habilidade rítmica do paciente para rastrear a batida antes de fornecer a EAR como recurso terapêutico (BELLA et al., 2018).

Também, é interessante que o paciente seja questionado quanto a sua preferência de estímulo auditivo. Em estudo recente (ROSE et al., 2019), alguns pacientes preferiram música alegando que “o problema do metrônomo era que, uma vez que você o perdia, não havia como encontrar o caminho de volta”. Outros preferiram o metrônomo por sentirem que a música “os empurrou para fora do caminho”. Como já foi dito anteriormente, a resposta a qualquer estímulo auditivo pode ser altamente variável entre as pessoas com DP e a EAR tem que ser personalizada.

Ademais, apesar de evidências sustentando o uso da EAR personalizada para a marcha na DP, há insuficiência de vagas em serviços públicos de saúde especializados e dificuldade de locomoção e/ou financeira para centros que ofereçam essa terapia como principais entraves para o acesso. Assim, aplicativos com EAR baseados em smartphones poderiam ser uma alternativa interessante para viabilizar uma terapia em ambiente externo, como no domicílio (GHAI et al., 2018; PAU et al., 2016; BELLA et al., 2015; HOVE; KELLER, 2015; ROCHA et al., 2014; SPAULDING et al., 2013; THAUT et al., 2010).

Aplicativos baseados em *smartphones* têm sido empregados enquanto ferramenta capaz de viabilizar o acesso a uma EAR personalizada para o treino de marcha na DP. Lopez et al.

(2014) trouxeram que o seu estudo foi o primeiro a investigar um aplicativo para smartphone (aplicativo Listenmee®) que permitia frequências de sons individualizadas para sincronização da caminhada. O paciente e o profissional poderiam escolher a taxa de estimulação desejada (de lenta a muito rápida) e optar por 4 categorias de sons: “ambiente”, “bateria”, “eletrônicos” e “vozes”, cada uma com 25 sons diferentes. Além disso, era integrado com o *Google maps*, permitindo o registro e acompanhamento do desempenho da rota de caminhada do usuário, e contemplava uma plataforma de telemedicina. Uma versão comercial do aplicativo pode ser encontrada no *Google Play Store*, estando disponível na língua inglesa e contendo um custo para a sua aquisição e para outros sons que o usuário deseje ter. O uso do aplicativo Listenmee® não se popularizou no Brasil, provavelmente, pelo idioma adotado, custo ou pela não identificação com os sons ofertados.

Ellis et al. (2015) descreveram um aplicativo móvel baseado em smartphone (“SmartMOVE”) capaz de avaliar a marcha sem sensores externos e de fornecer EAR. Os autores relataram erros de medição e destacaram a importância da participação ativa de um usuário bem treinado para garantir a qualidade dos dados coletados. Detalhes sobre o aplicativo não foram esclarecidos no artigo, porém uma imagem de sua tela sugere que contempla EAR mediante metrônomo e uma lista de músicas, bem como a existência de um campo para o usuário escolher a duração do estímulo.

Garzo et al. (2018) apresentaram o sistema *BeatHealth*, que compreende um aplicativo móvel com EAR, sensores de marcha e site. O aplicativo para smartphone recebe as informações dos sensores e adapta o ritmo da música para sincronização com a marcha da pessoa com DP. O site foi planejado com o principal objetivo de fornecer acesso aos dados espaço-temporais registrados nas caminhadas, podendo ser acessado pelos profissionais de saúde e pelos pacientes. Além disso, quando acessado pelos profissionais de saúde, o site apresentava funções adicionais como a possibilidade de definir parâmetros do treinamento (ex: número, frequência e duração das sessões) e de acompanhar o progresso do paciente por meio de gráficos. A avaliação final do sistema mostrou que ele era utilizável, mas também indicou áreas para melhorias uma vez que foram constatados erros como na sincronização de dados.

Aholt et al. (2019) integraram um aplicativo com EAR existente para *Android* intitulado “HOOP” (*mHealth tOol for parkinson's disease*) a sensores inerciais para viabilizar a captação de dados espaço-temporais da marcha do paciente, o treino com EAR personalizada e o monitoramento deste treino. O sistema, além de permitir o armazenamento de dados, também oferece ao usuário a possibilidade de receber feedback sobre a porcentagem de

exercício executado corretamente, a frequência do metrônomo e a cadência alcançada. Apesar de ser um sistema interessante, necessita de aprimoramentos como tornar mais fácil a fixação dos sensores e incluir música para melhorar a adesão dos usuários.

Por fim, apesar de tecnologias que integram avaliação/monitoramento e reabilitação da marcha com EAR em pessoas com DP estarem em evidência no mercado, ainda apresentam lacunas.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um dispositivo portátil com acelerometria triaxial (Sistema de Monitoramento e Avaliação da Marcha- SisMAM) para mensuração de parâmetros espaço-temporais da marcha, bem como um aplicativo com estimulação auditiva rítmica (ParkinsonSONS) para a reabilitação da marcha de pessoas com doença de Parkinson.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver e verificar a usabilidade do SisMAM *versus* sistema convencional de avaliação humana da marcha (TC10 metros) em paciente com DP;
- Desenvolver e investigar a usabilidade do ParkinsonSONS como aplicativo com uso baseado em *smartphone* em amostra de fisioterapeutas;
- Realizar teste de campo utilizando a EAR fornecida pelo ParkinsonSONS na marcha de pessoas com DP.

4 MÉTODOS

4.1 ASPECTOS ÉTICOS

A presente pesquisa obteve parecer favorável do comitê de ética em pesquisa com seres humanos do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco (CCS/UFPE) obtendo o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 81445817.0.0000.5208/ Parecer nº 2.532.257 (ANEXO A), estando de acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 466/12. Todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE A).

4.2 DESENHO DO ESTUDO

Esta pesquisa de desenvolvimento tecnológico em saúde apresentou três etapas: Etapa 1- Desenvolvimento de dois produtos (1- dispositivo portátil de acelerometria- SisMAM- para avaliação da marcha de pessoas com DP; 2- aplicativo com EAR- ParkinSONS- com uso baseado em *smartphone* para a reabilitação da marcha de pessoas com DP); Etapa 2- Avaliação da usabilidade do SisMAM e do ParkinSONS; Etapa 3- Teste de campo do ParkinSONS.

4.3 LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi realizado no Programa Pró-Parkinson do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), sendo conduzido no período de março de 2017 a dezembro de 2020.

4.4 AMOSTRA DO ESTUDO

A amostra foi não probabilística do tipo intencional (amostra de conveniência).

4.5 FINANCIAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa contou com recursos do Edital de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica em Saúde – 01/2016 da Pró-Reitoria para Assuntos de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco (PROPESQ/UFPE).

4. 6 OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA

4.6.1 Etapa de Desenvolvimento

4.6.1.1 Desenvolvimento do SisMAM

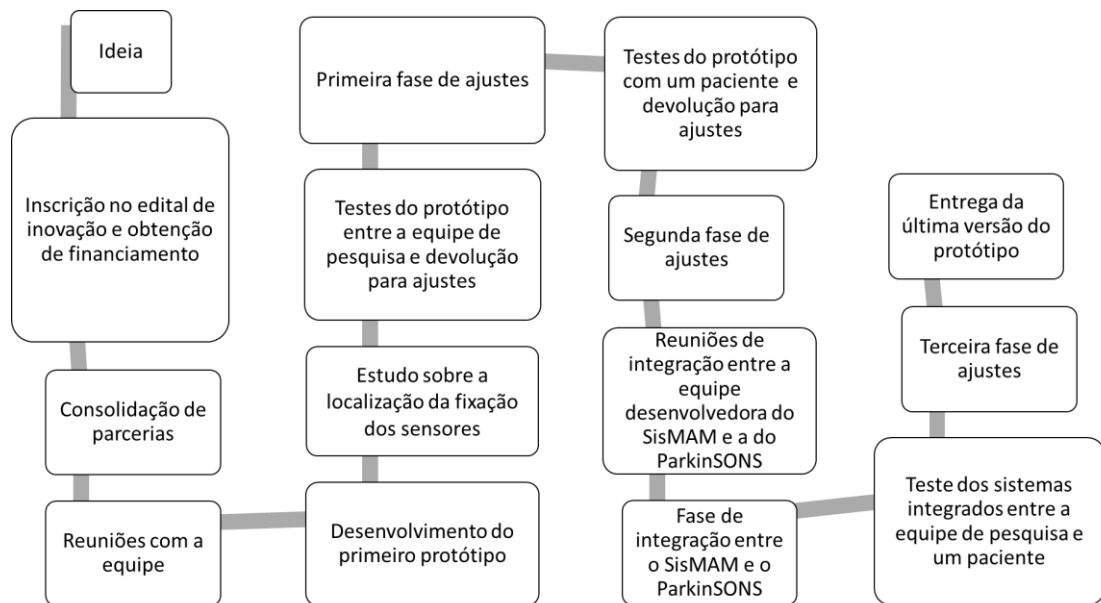
O SisMAM, através de sinais captados por acelerometria triaxial, foi desenvolvido visando possibilitar uma avaliação e monitoramento objetivos dos seguintes parâmetros espaço-temporais da marcha na DP: número de passos, tempo, distância, cadência, velocidade, comprimento do passo e da passada.

Para o presente estudo, foram implantados quatro acelerômetros triaxiais, onde o eixo X capta movimentos laterais, o eixo Y as oscilações perpendiculares e o eixo Z os sinais referentes às oscilações verticais (BROGNARA et al., 2019; ROCHA; MARRANGHELLO, 2013). Os dados adquiridos pelo equipamento desenvolvido foram enviados por meio do protocolo *Bluetooth* para uma plataforma modular de software desenvolvida para esse fim (INOCÊNCIO et al., 2019).

O mecanismo dos acelerômetros se faz a partir da movimentação dos segmentos ou locais onde os sensores são fixados que, com sua inércia em relação a uma base fixa no interior, é detectada e transformada em sinais elétricos. O mecanismo básico para medir a aceleração é descrito nos termos de uma massa que está sobre os princípios da Lei de Hooke ($F=kx$) e da Segunda Lei de Newton ($F=ma$). A quantidade e disposição dos sensores definem o espaço de navegação e o grau de liberdade do objeto em movimento (ABADIE, 2011; LIMA et al, 2013). A escolha da quantidade e dos locais de fixação dos sensores do SisMAM ocorreu mediante análise da equipe de engenharia e fisioterapia para melhor aquisição dos dados.

O SisMAM foi desenvolvido através de uma parceria do Grupo Pró-Parkinson com o Departamento de Eletrônica e Sistemas da Universidade Federal de Pernambuco. As etapas que envolveram o desenvolvimento do SisMAM foram compiladas na figura 1.

Figura 1 – Passo a passo da etapa de desenvolvimento do Sistema de Monitoramento e Avaliação da Marcha – SisMAM.



Fonte: A autora (2021).

A ideia original da pesquisa é a de que os sinais gerados pelo SisMAM sejam exportados, via *Bluetooth*, e traduzidos no aplicativo ParkinSONS, havendo uma interface entre os dois produtos desenvolvidos.

4.6.1.2 Desenvolvimento do ParkinSONS

O aplicativo intitulado “ParkinSONS” foi desenvolvido para ser uma ferramenta capaz de proporcionar a EAR personalizada (com menu de músicas brasileiras e de metrônomo) para a reabilitação da marcha do paciente com DP.

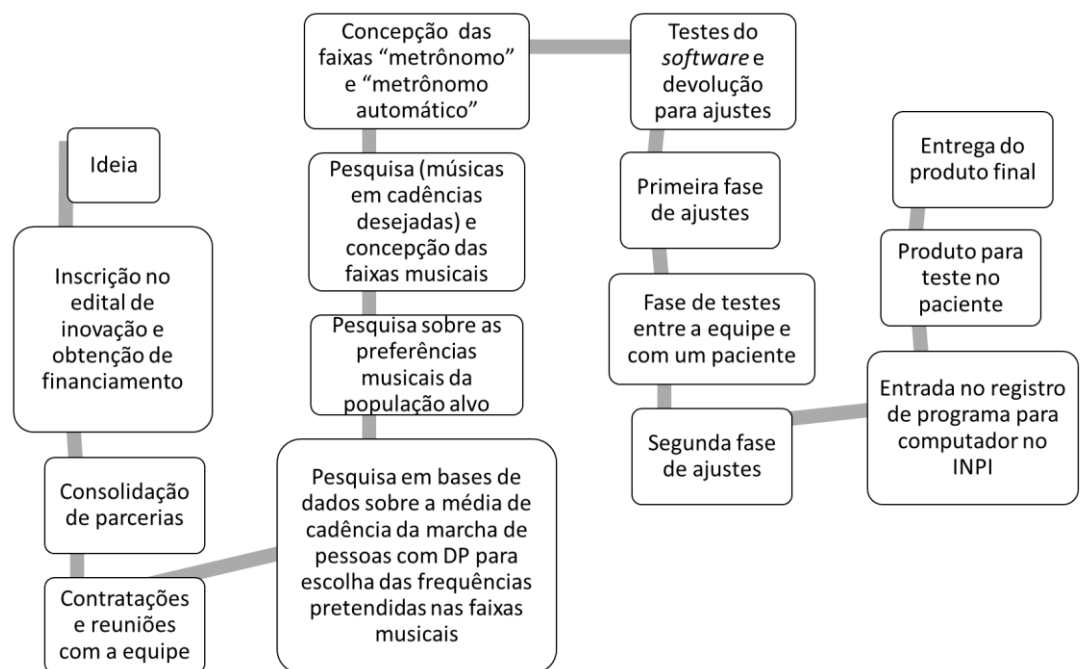
A escolha das 6 faixas com música foi obtida a partir de três etapas: 1- pesquisa em bases de dados sobre a média de cadência da marcha da população com DP para escolha das frequências pretendidas nas músicas; 2- entrevista com pacientes do Programa Pró-Parkinson e outras pessoas pareadas em idade- 60-89 anos- sobre suas preferências musicais; 3- baseando-se nessas preferências, busca e seleção por três fisioterapeutas e um profissional da música de músicas cujas cadências deveriam estar dentro da faixa terapêutica estimada para a reabilitação funcional na população com DP.

Além disso, após etapa de usabilidade e aprimoramentos, o ParkinSONS foi pensado para ser um aplicativo integrado ao SisMAM, via *Bluetooth*, recebendo os sinais e traduzindo-

os. Também, gerar e armazenar relatórios para monitoramento e acompanhamento da evolução do tratamento do paciente. Todas as informações poderão ser acessadas por profissionais e pelos pacientes, através da conexão interativa do celular.

As etapas que envolveram o desenvolvimento do aplicativo foram compiladas na figura 2.

Figura 2 – Passo a passo da etapa de desenvolvimento do aplicativo ParkinSONS



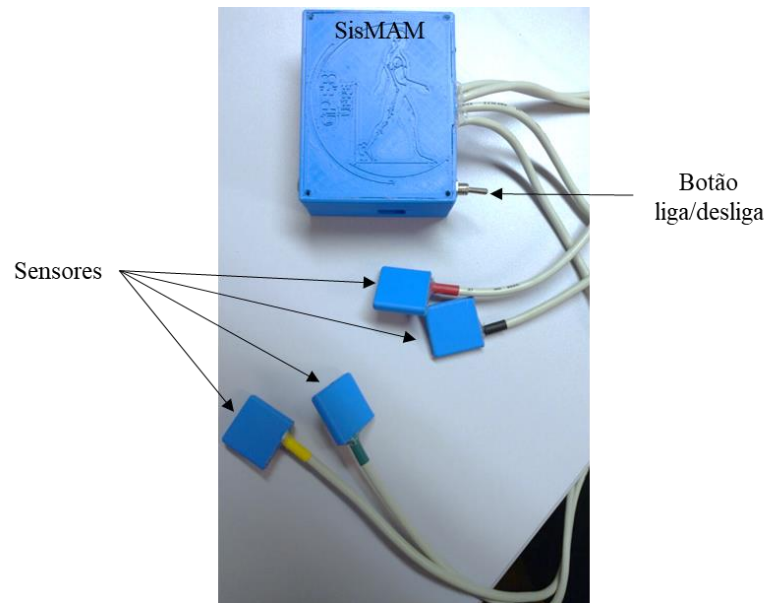
DP= doença de Parkinson; INPI= Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Fonte: A autora (2021).

4.6.2 Etapa de Usabilidade

4.6.2.1 Etapa de Usabilidade do SisMAM

A última versão do protótipo (Figura 3) possui um conjunto de quatro sensores com acelerometria triaxial para captação de sinais da marcha do paciente com DP e teve seu uso integrado ao ParkinSONS.

Figura 3 – Sistema de Monitoramento e Avaliação da Marcha – SisMAM



Fonte: A autora (2021).

Para teste da usabilidade teve-se o seguinte passo a passo:

Inicialmente, houve a fixação da caixa de comando e dos sensores nos locais de referência e, após isso, a caixa de comando era ligada para pareamento com o *smartphone*. A escolha dos locais de fixação ocorreu mediante análise da equipe de engenharia e fisioterapia. A caixa de comando do protótipo foi colocada dentro de uma bolsa com elástico que ficava presa na cintura do paciente e os quatro sensores com fios foram fixados com cintas de velcro da seguinte forma (Figura 4):

- Par vermelho e preto em um membro inferior com a seguinte disposição → marcação preta= abaixo do joelho, na região lateral da perna e marcação vermelha= região abaixo do maléolo lateral no pé;
- Par amarelo e verde no outro membro inferior com a seguinte disposição → marcação verde= abaixo do joelho, na região lateral da perna e marcação amarela= região abaixo do maléolo lateral no pé.

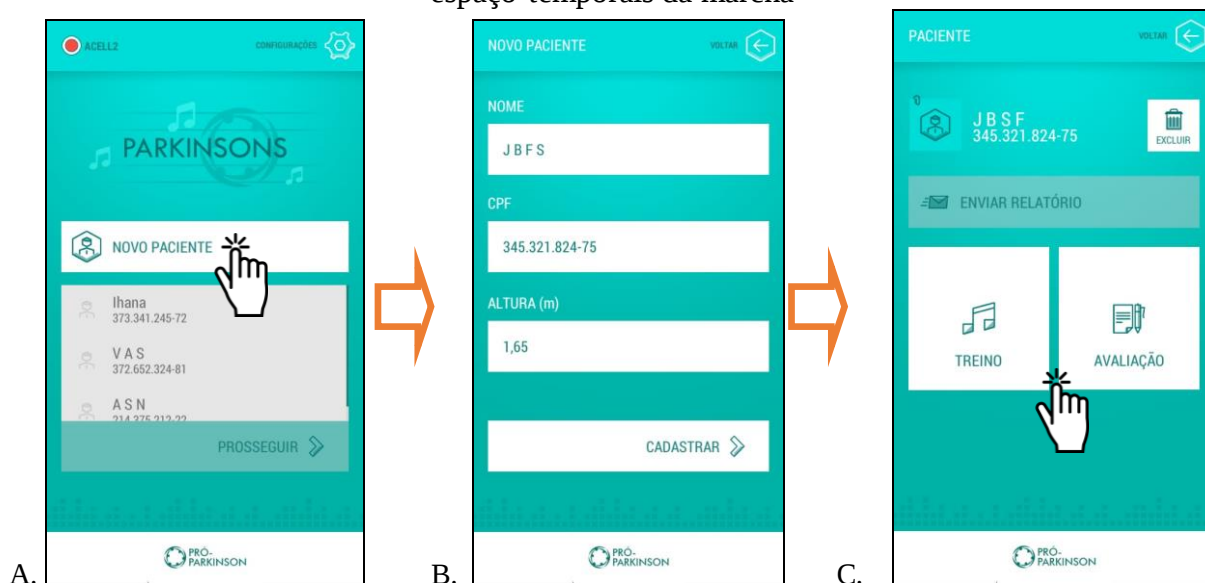
Figura 4 – Locais de fixação dos sensores do SisMAM.



Fonte: A autora (2021).

O smartphone ficava com o fisioterapeuta e esse próximo ao paciente durante o teste. No ParkinSONS, o novo paciente foi cadastrado na tela inicial através da inclusão de nome, CPF e altura. Em seguida, a opção “Avaliação” era disponibilizada e devia ser clicada para, a partir do pareamento com o SisMAM, iniciar a leitura dos parâmetros espaço-temporais da marcha (Figura 5).

Figura 5 – A. Tela inicial do ParkinSONS com cadastro do novo paciente; B. Tela para cadastro através da inclusão de nome, CPF e altura; C. Tela com opção “Avaliação” que deve ser clicada para, a partir do pareamento com o SisMAM, iniciar a leitura dos parâmetros espaço-temporais da marcha



Fonte: A autora (2021).

A comparação dos dados gerados pelo sistema desenvolvido foi realizada com os mensurados pelo sistema de avaliação humana no teste de caminhada de 10 metros (TC10m) (ANEXO B). O TC10m foi escolhido por ser comumente empregado na prática clínica para avaliação da marcha na DP (LINDHOLM et al., 2018). Esses dados foram: tempo (segundos), distância (metros), cadência (número de passos/tempo em segundos) e velocidade (metros/segundo). Testes foram realizados entre os membros da equipe de pesquisa e com uma paciente com 63 anos e DP leve (HY original 1) durante a fase ON da medicação. Optou-se por uma idosa jovem e com doença leve por entender que o principal problema enfrentado ao longo das etapas de desenvolvimento tinha sido a leitura dos sensores para velocidades mais altas em espaços reduzidos (10 metros).

O TC10m foi realizado ao mesmo tempo em que o SisMAM foi testado para fins comparativos dos dados obtidos entre os dois sistemas de avaliação, “avaliação humana vs SisMAM”. O resultado da avaliação foi o resultado da média de 3 testes realizados.

O TC10m é um teste para análise cinemática da marcha (WATSON, 2002) como o tempo, cadência e a velocidade média. Este teste requer um caminho de 10 m em linha reta, com os 2m iniciais reservados para aceleração, 6m para andar em velocidade auto-selecionada, e os 2m finais para desaceleração. Marcadores são colocados na posição 2m e 8m ao longo do caminho e o paciente é instruído a caminhar em um ritmo confortável de um extremo ao outro. Um fisioterapeuta utiliza um cronômetro para determinar quanto tempo leva para o paciente atravessar os 6m centrais do percurso. Aciona-se o cronômetro assim que o hálux do paciente toca/atravessa o primeiro marcador, interrompendo a cronometragem assim que toca/atravessa o segundo marcador. Dentro dos 6 metros centrais um segundo fisioterapeuta faz a contagem do número de passos do paciente, enquanto um terceiro faz a filmagem para a comprovação dessa contagem.

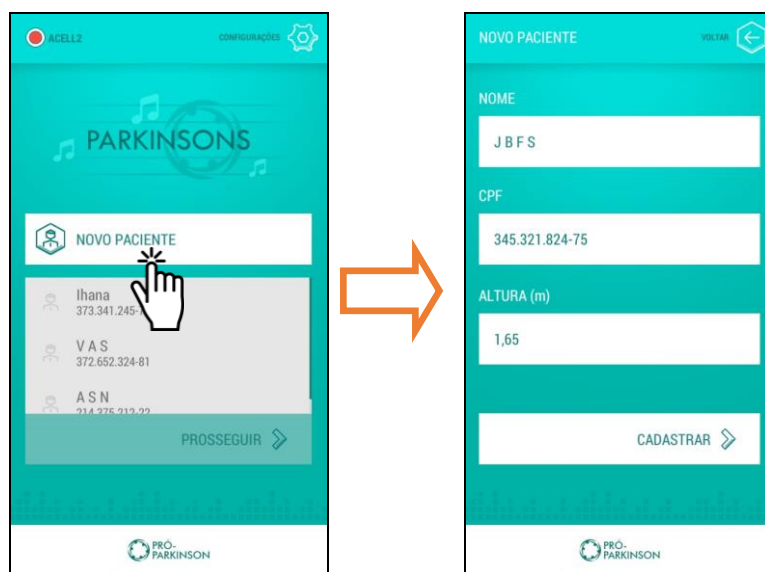
Para análise da concordância entre os testes (TC10m com SISMAM versus TC10m habitual na prática clínica), pensou-se no coeficiente de correlação intraclasse (CCI) aleatório de uma via, seguido de representação gráfica, em pares, pelo diagrama de Bland-Altman. Entretanto, devido a evidentes problemas técnicos com a transmissão dos dados do SISMAM para o aplicativo Parkinsons, a usabilidade do sistema não seguiu para testes.

4.6.2.2 Etapa de Usabilidade do ParkinSONS

A última versão do aplicativo foi oferecida no idioma português para o sistema operacional *Android* de *smartphones*, sendo registrada no Instituto Nacional da Propriedade

Industrial- INPI (ANEXO C). As telas do aplicativo são simples e intuitivas, com botões brancos, tamanho grande e fonte escura de fácil identificação e visualização, o que facilita a navegação. Com o aplicativo instalado no *smartphone*, observa-se na tela inicial a opção para cadastro do novo paciente através da inclusão de nome, CPF e altura (Figura 6).

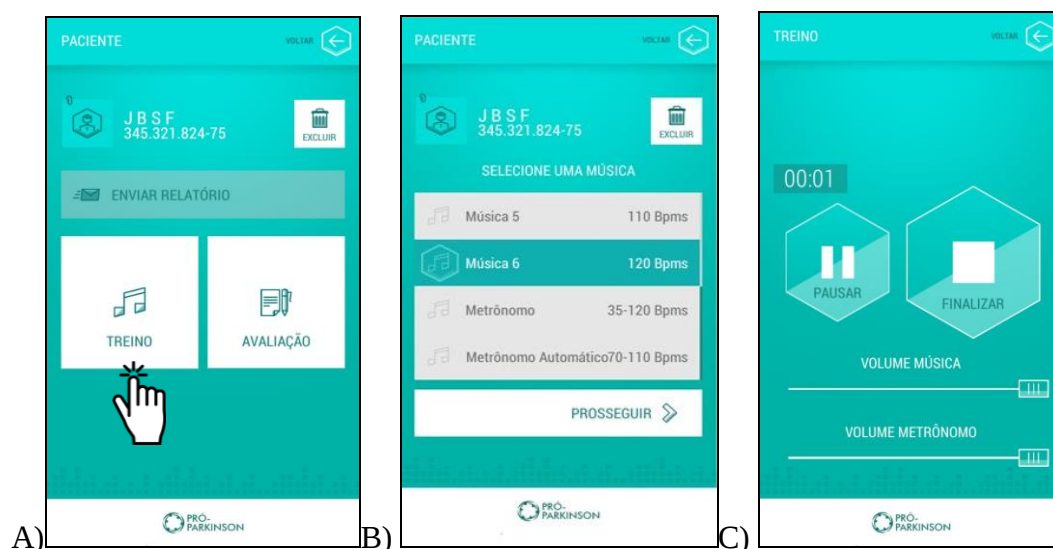
Figura 6 – Tela inicial do aplicativo ParkinSONS e cadastro do novo paciente através da inclusão de nome, CPF e altura



Fonte: A autora (2021).

Na tela seguinte o terapeuta deve selecionar a opção “Treino” (Figura 7A), sendo exibido um menu com 6 faixas de músicas populares brasileiras (um diferencial do presente aplicativo) com os ritmos nas frequências 70 bpm, 80 bpm, 90 bpm, 100 bpm, 110 bpm e 120 bpm, 1 faixa de “metrônomo” que permite livre escolha entre as frequências 35, 45, 60, 70, 80, 90, 100, 110 ou 120 bpm e 1 faixa de “metrônomo automático”, cuja frequência oscila automaticamente entre 70 e 110 bpm (Figura 7B). Se a faixa escolhida for a musical e esta for iniciada, o terapeuta pode pausar e finalizar o treino a qualquer momento, bem como pode ajustar o volume da música e/ou do metrônomo (Figura 7C).

Figura 7 – Tela do aplicativo ParkinSONS com A) opção “Treino” sendo selecionada; B) após selecionada a opção treino, a tela com 6 faixas musicais, 1 faixa de “metrônomo” livre e 1 faixa de “metrônomo automático”; C) após selecionada e iniciada uma faixa musical, a tela com as opções pausar e finalizar, bem como de ajustar o volume da música e/ou do metrônomo



Fonte: A autora (2021).

A faixa “metrônomo”, quando selecionada, permite livre escolha da cadência entre 35-120 bpm e foi pensada para possibilitar cadências menores para treinos funcionais de atividades/tarefas mais complexas. Além disso, pode ser utilizada para aqueles que, por algum motivo, não queiram realizar o treino com músicas (Figura 8). O terapeuta pode iniciar, pausar e finalizar o treino, bem como ajustar o volume do metrônomo.

Figura 8 – Tela do aplicativo ParkinSONS da faixa “metrônomo”



Fonte: A autora (2021).

Quanto à faixa “metrônomo automático”, a frequência de cadência não pode ser escolhida pelo terapeuta, pois essa oscila automaticamente entre 70 e 110 bpm, sendo pensada para a simulação da marcha com variações de velocidade, tal qual acontece em situações cotidianas que impõem adaptações do padrão da marcha a mudanças bruscas. O terapeuta tem as opções de iniciar, pausar e finalizar o treino, bem como ajustar o volume do metrônomo.

4.6.2.2.1 Avaliação da usabilidade do ParkinSONS por fisioterapeutas

Para esta etapa foram recrutados 15 fisioterapeutas adultos de ambos os sexos, autônomos ou vinculados a serviços públicos e privados em Recife, Pernambuco, Brasil. Foram incluídos aqueles com, pelo menos, 5 anos de formação e com experiência na área de reabilitação Neurofuncional, sendo excluídos aqueles que não responderam ao questionário na íntegra.

Usabilidade é a “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso”. Esta se refere à relação que se estabelece entre usuário, tarefa, interface, equipamento e demais aspectos do ambiente no qual o usuário utiliza o sistema. Eficiência neste contexto está relacionada a capacidade do produto fazer o que é esperado dele; eficácia está relacionada ao modo como este produto melhora a realização das tarefas dos usuários e satisfação é uma medida de conforto e de atitude do usuário em relação ao uso deste produto (PREECE et al., 2005).

A usabilidade em seu conceito mais abrangente pode se referir à facilidade de uso do *design* aplicado a diferentes tipos de usuário e ambientes. Para melhor qualificar usabilidade em um produto, podem ser implementados alguns parâmetros pelos desenvolvedores a fim de auxiliar no desenvolvimento e tornar o desenho da interface menos complexa e frustrante. Heurísticas são, segundo Nielsen (1994), regras/diretrizes para encontrar uma melhor maneira de resolver um problema de forma eficiente com um bom custo-benefício e resultados confiáveis. Elas descrevem propriedades comuns em interfaces. Estas propriedades são derivadas de estudos de aspectos psicológicos, computacionais e sociológicos do problema. Estas regras são utilizadas tanto para direcionar o *design* de interface quanto na avaliação da usabilidade (PREECE et al., 2005).

O MATch (*Measuring Usability of Touchscreen Phone Applications*) (ANEXO D) é um conjunto de heurísticas adaptadas de Nielsen para os dispositivos móveis e decompostas em uma série de itens de medida que representam efetivamente uma boa usabilidade (SALAZAR et al., 2012; NUNES et al., 2013). Trata-se de um questionário autoaplicável, composto por

48 perguntas distribuídas em dez heurísticas: 1- visibilidade do status do sistema; 2- correspondência entre o sistema e o mundo real; 3- controle e liberdade do usuário; 4- consistência e padrões; 5- reconhecimento em vez de lembrança; 6- flexibilidade e eficiência de uso; 7- estética e design minimalista; 8- pouca interação homem/dispositivo; 9- interação física e ergonomia; 10- legibilidade e layout. Para cada pergunta o usuário do aplicativo tem três opções de resposta (sim, não e não se aplica) e a soma das respostas gera uma pontuação que classifica o nível de usabilidade do aplicativo em cinco categorias: usabilidade muito baixa (até 30 pontos), usabilidade baixa (>30-40 pontos), usabilidade razoável (>40-50 pontos), usabilidade alta (>50-60 pontos) e usabilidade muito alta (>60 pontos).

O MATcH foi aplicado com fisioterapeutas por um pesquisador previamente treinado. O resultado do MATcH e a categorização da usabilidade foi obtida através da calculadora disponível em: <http://match.inf.ufsc.br:90/index.html> (FEIJÓ; GONÇALVES & GOMEZ et al., 2013). Após a aplicação do MATcH, os fisioterapeutas foram questionados sobre sugestões de melhoria para o aplicativo.

4.6.3 Etapa de teste de campo do ParkinSONS

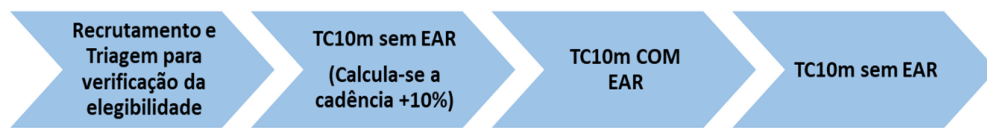
Foi realizado para avaliar o efeito imediato da EAR fornecida pelo aplicativo ParkinSONS, optando-se por música associada a batidas do metrônomo, sobre os parâmetros espaço-temporais da marcha em amostra piloto de 15 pacientes com DP leve a moderada.

Foram critérios de inclusão: idade ≥ 50 anos; diagnóstico clínico de DP idiopática de acordo com a Portaria conjunta nº 10 de 31 de outubro de 2017 do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017); no estágio leve a moderado da doença conforme a versão original da escala de Hoehn e Yahr (HY 1 a 3) (HOEHN & YAHR, 1967). Dos critérios de exclusão: ter problema de audição que comprometesse a EAR; ser incapaz de caminhar 10 metros sem ajuda; ter outra desordem neurológica e/ou ortopédica, reumatológica e vascular que impactasse a marcha; disfunção cardiorrespiratória não controlada; comprometimento cognitivo identificado pelo Mini Exame do Estado Mental de acordo com a escolaridade (FOLSTEIN; FOLSTEIN & MCHUGH, 1975); depressão grave identificada pelo inventário de depressão de Beck (BECK et al., 1961).

Foram realizadas três tomadas do TC10m em velocidade confortável para o paciente com avaliação e monitoramento de parâmetros espaço-temporais da marcha (tempo, número de passos, velocidade e cadência) por três avaliadores. Assim, obtivemos a média da cadência do paciente e realizamos o incremento médio de 10% da cadência para a escolha da música

adequada no menu do aplicativo ParkinSONS. Após o incremento da cadência e seleção do estímulo auditivo adequado, ele foi convidado a andar no ritmo da batida da música (com volume de metrônomo ON), colocando um *headphone* e sendo instruído a realizar três novas tomadas do TC10m com o uso da EAR. Por fim, retirou-se o *headphone* e foram realizadas mais três novas tomadas do TC10m em velocidade confortável para o paciente (Figura 9). Houve um tempo de repouso de 2 minutos entre cada etapa. Tudo foi realizado durante a fase ON da medicação do paciente.

Figura 9 – Fluxograma do protocolo teste



Fonte: A autora (2021).

O volume sonoro oferecido foi de aproximadamente 75 dB, nível bem acima daquele percebido por adultos mais velhos com perda auditiva, que é de 25 a 40 dB (DALTON et al., 2003).

Os dados foram tabulados em planilha de Microsoft Excel e compilados através de estatística descritiva. A distribuição dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk, optando-se pela Prova de Friedman. Os testes foram realizados no software de estatística SPSS versão 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, EUA), considerando $P < 0.05$.

5 RESULTADOS

Desta tese resultaram 1 registro de programa de computador intitulado “Estimulação Auditiva Rítmica” pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (ANEXO C, página 101) e 02 artigos como primeira autora.

O primeiro artigo intitulado “Portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease: an integrative review”, uma revisão integrativa que teve como objetivo reunir evidências científicas dos últimos cinco anos (2014 a 2019) sobre as formas de uso, vantagens e desvantagens de acelerômetros portáteis para a avaliação de parâmetros espaço-temporais da marcha de pessoas com doença de Parkinson. O artigo foi aceito e publicado na revista *Archives of Gerontology and Geriatrics* no segundo semestre de 2020 (Fator de impacto 2.128; Qualis B1 para o extrato de Medicina II e A1 para o extrato de Educação Física) (APÊNDICE B, página 42).

O segundo artigo intitulado “Development of a mobile application with rhythmic auditory stimulation for gait rehabilitation in Parkinson's disease”, o principal artigo desta pesquisa. Trata-se de uma pesquisa de desenvolvimento tecnológico em saúde que teve como objetivo o desenvolvimento de um aplicativo com estimulação auditiva rítmica para a reabilitação da marcha na doença de Parkinson, a avaliação da sua usabilidade e o seu teste clínico, sendo submetido (ANEXO E, página 106) na revista *Archives of Gerontology and Geriatrics* em fevereiro de 2021 (Fator de impacto 2.128; Qualis B1 para o extrato de Medicina II e A1 para o extrato de Educação Física) (APÊNDICE C, página 73).

6 CONCLUSÕES

Este estudo desenvolveu um dispositivo portátil com acelerometria triaxial (SisMAM) para mensuração de parâmetros espaço-temporais da marcha e um aplicativo com EAR (ParkinsonSONS) para a reabilitação da marcha na DP.

A versão mais atual do dispositivo SisMAM, com seus quatro sensores com acelerometria triaxial, apresentou erros importantes de leitura de dados na integração com o ParkinsonSONS ainda na fase de usabilidade. Assim sendo, serão necessários novos ajustes visando seu aprimoramento antes de prosseguirmos com novos testes.

Já a versão mais atual do aplicativo ParkinsonSONS, apresentou “usabilidade muito alta” por fisioterapeutas e, no teste de campo, proporcionou oferta da EAR com sucesso demonstrando potencial de uso para o treino da marcha na DP leve a moderada. Destacou-se por suas telas simples e intuitivas, com menu que contempla seis faixas musicais brasileiras, uma faixa com metrônomo para livre seleção da frequência de batida e uma com metrônomo que oscila automaticamente a frequência de batida. Além disso, como seu uso não depende da conexão com o SisMAM, está mais próximo de seguir para o mercado.

Acredita-se que a utilidade clínica desta pesquisa foi a de desenvolver produtos baseados em tecnologia voltada à saúde e pensados para facilitar o manejo dos pacientes, promover uma prática lúdica e ampliar o acesso à reabilitação e, por isso, ressalta-se a importância de fomento na área. Nesta tese, a escassez de fomento de recursos financeiros para o desenvolvimento de tecnologias de saúde no país foi a principal barreira encontrada.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, A. K. **Acelerômetro MEMS para Navegação Inercial**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico Aeronáutico, São José dos Campos, 2011.
- AHOLT, K. et al. A Mobile Solution for Rhythmic Auditory Stimulation Gait Training. **41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)**, p. 309-312, 2019.
- ARMSTRONG, M.J.; OKUN, M.S. Time for a New Image of Parkinson Disease. **JAMA Neurology**, 2020.
- ASCHERIO, A.; SCHWARZSCHILD, M. A. The epidemiology of Parkinson's disease: risk factors and prevention. **The Lancet Neurology**, v. 15, n. 12, p. 1257-1272, 2016.
- BECK, A. T. et al. An inventory for measuring depression. **Archives of general psychiatry**, v. 4, p. 561-571, 1961.
- BEKKERS, E. M. J. et al. Balancing between the two: Are freezing of gait and postural instability in Parkinson's disease connected? **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 94, p. 113–125, 2018.
- BELLA, S. D. et al. Effects of musically cued gait training in Parkinson's disease: beyond a motor benefit. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1337, p. 77-85, 2015.
- BELLA, S. D. et al. Individualization of music-based rhythmic auditory cueing in Parkinson's disease. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 2018.
- BRANCATISANO, O.; BAIRD, A.; THOMPSON, W. F. Why is music therapeutic for neurological disorders? The Therapeutic Music Capacities Model. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 112, p. 600-615, 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde do Brasil. Secretaria de Atenção à Saúde. **Portaria conjunta nº 10, de 31 de outubro de 2017**.
- BROGNARA, L. et al. Assessing Gait in Parkinson's Disease Using Wearable Motion Sensors: A Systematic Review. **Diseases**, v. 7, n. 18, 2019.
- COCHEN DE COCK, V.; DOTOV, D.G.; IHALAINEN, P. et al. Rhythmic abilities and musical training in Parkinson's disease: do they help?. **npj Parkinson's Disease**, v. 4, n. 8, 2018.
- DALTON, D. S. et al. The impact of hearing loss on quality of life in older adults. **The Gerontologist**, v. 43, p. 661–668, 2003.
- DEMONCEAU, M. et al. Contribution of a Trunk Accelerometer System to the Characterization of Gait in Patients with Mild to Moderate Parkinson's disease. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 19, n. 6, p. 1803-8, 2015.

ELLIS, R. J. et al. A Validated Smartphone-Based Assessment of Gait and Gait Variability in Parkinson's Disease. **PLoS One**, v. 10, n. 10, 2015.

FEIJÓ, V. C.; GONÇALVES, B. S.; GOMEZ, L. S. R. Heurística para Avaliação de Usabilidade em Interfaces de Aplicativos Smartphones: Utilidade, Produtividade e Imersão. **Design & Tecnologia**, v. 3, n. 6, 2013.

FIETZEK, U. M. et al. Spatial constraints evoke increased number of steps during turning in Parkinson's disease. **Clinical Neurophysiology**, v. 128, p. 1954–1960, 2017.

FOLSTEIN, M. F.; FOLSTEIN, S. E.; MCHUGH, P. R. Mini-Mental State. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. **Journal of Psychiatric Research**, v. 12, p. 189–98, 1975.

GAO, C. et al. Freezing of gait in Parkinson's disease: pathophysiology, risk factors and treatments. **Translational Neurodegeneration**, v. 9, 2020.

GARZO, A. et al. Design and development of a gait training system for Parkinson's disease. **PLoS One**, v. 13, n. 11, 2018.

GHAJ, S. et al. Effect of rhythmic auditory cueing on parkinsonian gait: A systematic review and meta-analysis. **Scientific Reports**, v. 8, 2018.

GODINHO, C. et al. A systematic review of the characteristics and validity of monitoring technologies to assess Parkinson's disease. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v.13, n. 24, 2016.

GONDIM, I. T. G. O. et al. Portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease: an integrative review. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 90, 2020.

HOEHN, M. M.; YAHR, M. D. Parkinsonism: onset, progression and mortality. **Neurology**, v. 17, p. 427–442, 1967.

HOVE, M. J.; KELLER, P. E. Impaired movement timing in neurological disorders: rehabilitation and treatment strategies. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1337, n. 1, 2015.

KARAGEORGHIS, C. I. et al. The BASES Expert Statement on use of music in exercise, **Journal of Sports Sciences**, v. 30, n. 9, p. 953– 956, 2012.

KRONE, C. **Validação de Heurísticas de Usabilidade para Celulares Touchscreen**. Grupo de Qualidade de Software/INCoD/UFSC. Florianópolis – SC, 2013.

LEOW, L. A.; RINCHON, C.; GRAHN, J. Familiarity with music increases walking speed in rhythmic auditory cuing. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1337, p. 53–61, 2015.

LEUK, J. S. P.; LOW, L. L. N.; TEO, W. P. An Overview of Acoustic-Based Interventions to Improve Motor Symptoms in Parkinson's Disease. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 12, p. 243, 2020.

- LIMA, J. J. et al. Dispositivo para Análise Dinâmica da Marcha Humana Utilizando Sensores Inerciais MEMS. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 5, p. 122, 2013.
- LINDHOLM, B. et al. The clinical significance of 10-m walk test standardizations in Parkinson's disease. **Journal of neurology**, v. 265, n. 8, p. 1829-1835, 2018.
- LOPEZ, W.O. et al. Listenmee and Listenmee smartphone application: synchronizing walking to rhythmic auditory cues to improve gait in Parkinson's disease. **Human Movement Science**, v. 37, p. 147-56, 2014.
- LORD, S. R. et al. Freezing of Gait in People with Parkinson's Disease: Nature, Occurrence, and Risk Factors. **Journal of Parkinson's Disease**, v. 10, n. 2, p. 631-640, 2020.
- LORD, S.; GALNA, B., ROCHESTER, L. Moving forward on gait measurement: toward a more refined approach. **Movement Disorders**, v. 28, p. 1534-43, 2013.
- LU, R. et al. Evaluation of Wearable Sensor Devices in Parkinson's Disease: A Review of Current Status and Future Prospects. **Parkinson's disease**, v. 23, 2020.
- MIRELMAN, A. et al. Gait impairments in Parkinson's disease. **Lancet Neurology**, v. 18, n. 7, p. 697-708, 2019.
- MITCHELL, T., CONRADSSON, D., PAQUETTE, C. Gait and trunk kinematics during prolonged turning in Parkinson's disease with freezing of gait. **Parkinsonism & Related Disorders**, v. 64, p. 188-193, 2019.
- MOON, Y. et al. Gait variability in people with neurological disorders: A systematic review and meta-analysis. **Human Movement Science**, v. 47, p. 197-208, 2016.
- MORRIS, M. E. et al. The pathogenesis of gait hypokinesia in Parkinson's disease. **Brain**, v. 117, p. 1169-81, 1994.
- NETO, J. B. **Mecânica newtoniana, lagrangiana e hamiltoniana**. Editora Livraria da Física, 2004. ISBN 8588325268.
- NIELSEN, J. “Enhancing the explanatory power of usability heuristics”, in Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems celebrating interdependence - CHI '94. New York, USA: ACM Press, 1994.
- NOMBELA, C. et al. Into the groove: Can rhythm influence Parkinson's disease? **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 37, p. 2564-70, 2013.
- NUNES, J. V. et al. **Elaboração e validação de um checklist para avaliação de usabilidade de aplicativos para celular touchscreen**. In Proceedings of Conference Interaction South America (ISA), Recife/Brasil, 2013.
- PARK, K. S. et al. Musical pleasure beneficially alters stride and arm swing amplitude during rhythmically-cued walking in people with Parkinson's disease. **Human Movement Science**, v. 74, 2020.
- PAU, M. et al. Effects os Physical Rehabilitation Integrated with Rhythmic Auditory Stimulation on Spatio-Temporal and Kinematic Parameters of Gait in Parkinson's Disease.

Frontiers in Neurology, v.7, 2018.

PETERSON, D. S.; HORAK, F.B. Neural Control of Walking in People with Parkinsonism. **Physiology (Bethesda)**, v. 31, n. 2, p. 95-107, 2016.

PREECE, J.; ROGERS, Y; SHARP, H. **Design de Interação: além da interação homem-computador**. Tradução: Viviane Possamai – Porto Alegre: Bookman, 2005.

PUNT, M. et al. Effect of arm swing strategy on local dynamic stability of human gait. **Gait Posture**, v. 41, p. 504–509, 2015.

ROCHA, F. S.; MARRANGHELLO, G. F. Propriedades de um acelerômetro eletrônico e possibilidades de uso no ensino de mecânica. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 7, n 1, 2013.

ROCHA, P. A et al. Effects of external cues on gait parameters of Parkinson's disease patients: a systematic review. **Clinical Neurology and Neurosurgery**, v. 124, p. 127-34, 2014.

ROCHESTER, L. et al. Does auditory rhythmical cueing improve gait in people with Parkinson's disease and cognitive impairment? A Feasibility study. **Movement Disorders**, v. 24, n. 6, 2009.

ROIZ, R. M. et al. Gait analysis comparing Parkinson's disease with healthy elderly subjects. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 68, n. 1, p. 81-86, 2010.

ROSE, D. et al. Music and Metronomes Differentially Impact Motor Timing in People with and without Parkinson's Disease: Effects of Slow, Medium, and Fast Tempi on Entrainment and Synchronization Performances in Finger Tapping, Toe Tapping, and Stepping on the Spot Tasks. **Parkinson's Disease**, 2019.

SALAZAR, L. H. A. et al. **Customizando heurísticas de usabilidade para celulares**. In Proceedings of simpósio brasileiro de fatores humanos em sistemas computacionais, Cuiabá/Brasil, 2012.

SICA, M. et al. Continuous home monitoring of Parkinson's disease using inertial sensors: A systematic review. **PLoS One**, v. 16, n. 2, 2021.

SMULDERS, K. et al. Pharmacological treatment in Parkinson's disease: Effects on gait. **Parkinsonism and Related Disorders**, v. 31, 2016.

SPAULDING, S. J. et al. Cueing and gait improvement among people with Parkinson's disease: a meta-analysis. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 94, n. 3, p. 562-70, 2013.

STOWE, R. et al. Evaluation of the efficacy and safety of adjuvant treatment to levodopa therapy in Parkinson s disease patients with motor complications. **Cochrane database of systematic reviews (Online)**, n. 7, 2010.

THAUT, M. H.; ABIRU, M. Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. **Music Perception**, v. 27, n.4, p. 263–9, 2010.

VIENNE, A. et al. Inertial Sensors to Assess Gait Quality in Patients with Neurological Disorders: A Systematic Review of Technical and Analytical Challenges. **Frontiers in Psychology**, v. 8, 2017.

VILA, M. H. et al. Analysis of Gait for Disease Stage in Patients with Parkinson's Disease. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.18, n. 2, p. 720, 2021.

WATSON, M.J. Refining the ten-metre walking test for use with neurologically impaired people. **Physiotherapy**, v. 88, p. 386-397, 2002.

WIRDEFELDT, K. et al. Epidemiology and etiology of Parkinson's disease: a review of the evidence. **European Journal of Epidemiology**, v.26, 2011.

WU, T.; HALLETT, M.; CHAN, P. Motor automaticity in Parkinson's disease. **Neurobiology of Disease**, v.82, p. 226-234, 2015.

YANG, W. et al. Motion analysis of axial rotation and gait stability during turning in people with Parkinson's disease. **Gait & Posture**, v. 44, p. 83–88, 2016.

YONEYAMA, M. et al. Accelerometry-Based Gait Analysis and Its Application to Parkinson's Disease Assessment— Part 1: Detection of Stride Event. **Ieee transactions on neural systems and rehabilitation engineering**, v. 22, n. 3, 2014.

ZAGO, M. et al. Gait evaluation using inertial measurement units in subjects with Parkinson's disease. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 42, p. 44–48, 2018

ZAMPIER, V. C. et al. Gait bradykinesia and hypometria decrease as arm swing frequency and amplitude increase. **Neuroscience Letters**, v. 20, n. 687, p. 248-252, 2018.

ZANARDI, A. P. J. et al. Gait parameters of Parkinson's disease compared with healthy controls: a systematic review and meta-analysis. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 752, 2021.

ZHOU, Z. et al. Effects of music-based movement therapy on motor function, balance, gait, mental health, and quality of life for patients with Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. **Clinical Rehabilitation**, 2021.

APÊNDICE A- TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PRÓ-PARKINSON-FISIOTERAPIA (HC-UFPE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS - Resolução 466/12)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa “**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INTERFACE COMPUTADORIZADA INTEGRADO A ESTIMULAÇÃO AUDITIVA RÍTMICA PARA MONITORAMENTO E TREINAMENTO DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON**”, que está sob a responsabilidade da pesquisadora: Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim, Avenida Barão de Bonito, 505, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-080- Telefone: (81)34535619 ou (81)998047220 (podendo ligar a cobrar), e-mail: ihanafisio@hotmail.com, e está sob a orientação do Prof. Dr. Otávio Gomes Lins, telefone para contato: (81) 2126-8539, e-mail: oglins@hotmail.com e coorientação da Profª Drª Maria das Graças Wanderley de Sales Coriolano, telefone para contato: (81)2126-3664/ 21268555, e-mail: gracawander@hotmail.com.

Este Termo de Consentimento pode conter informações que o/a senhor/a não entenda. Caso haja alguma dúvida, pergunte à pessoa que está lhe entrevistando para que o/a senhor/a esteja bem esclarecido (a) sobre sua participação na pesquisa. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, caso aceite em fazer parte do estudo, rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa o (a) Sr.(a) não será penalizado (a) de forma alguma. Também garantimos que o (a) Senhor (a) tem o direito de retirar o consentimento da sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Neste estudo participarão indivíduos com diagnóstico clínico de doença de Parkinson idiopática cadastrados no Programa Pró-Parkinson entre 40-80 anos de idade; nos estágios leve a moderado da doença e que desejarem participar do estudo.

DESCRIÇÃO DA PESQUISA: Os participantes realizarão uma avaliação da marcha e da qualidade de vida através de testes, escalas e questionários específicos. Em seguida, serão submetidos a uma intervenção e, por último, serão reavaliados. A intervenção irá depender do grupo que o paciente participará. Se pertencer ao grupo Controle (sem uso de aplicativo com estimulação auditiva rítmica na sessão de treino da marcha), receberá um atendimento fisioterapêutico com protocolo convencional. Caso seja do grupo Experimental, terá o acréscimo do uso de aplicativo com estimulação auditiva rítmica no treino da marcha na seção de treino de marcha do protocolo de fisioterapia convencional. A estimulação Auditiva Rítmica é uma técnica de reabilitação que se utiliza de estímulos sonoros (música, por exemplo) para reabilitação. O presente estudo recrutará seus voluntários no ambulatório de neurologia do Hospital das Clínicas. Todas as avaliações e o tratamento fisioterapêutico serão realizados no ambulatório de fisioterapia do Hospital das Clínicas da UFPE. O objetivo desta pesquisa é desenvolver um sistema de interface computadorizada integrado a estimulação auditiva rítmica para monitoramento e treinamento da marcha na doença de Parkinson.

ESCLARECIMENTO DO PERÍODO DE PARTICIPAÇÃO DO VOLUNTÁRIO NA PESQUISA: O período correspondente às avaliações, reavaliações e protocolo de atendimento fisioterapêutico durará cerca de 2 meses com cada paciente. Serão realizadas 10 sessões, 2 vezes por semana, com duração de 50 minutos. Além disso, receberão o manual do Programa Pró-Parkinson (disponível na íntegra no endereço eletrônico: www.proparkinson.wordpress.com), que será entregue impresso e gratuitamente.

RISCOS: No presente estudo não há procedimentos invasivos e manobras impactantes. No que se refere aos questionários, pode haver o risco do Sr.(a) sentir-se constrangido(a). Para minimizar o mesmo, a coleta dos dados será realizada de forma individualizada e em ambiente que permita confidencialidade dos dados. Caso você não queira responder alguma pergunta, não haverá insistência, assim como nenhum prejuízo para você. Dor, desconforto muscular ou cansaço poderão ocorrer durante e após a realização dos exercícios. Em caso de desconforto ou mal-estar, será encaminhado ao setor de urgência do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco.

BENEFÍCIOS: O paciente receberá um atendimento fisioterapêutico gratuito e que poderá beneficiá-lo na

adequação da marcha e na melhora da sua qualidade de vida. Também, com os resultados do estudo será possível compreender o impacto da adição do uso do aplicativo com estimulação auditiva rítmica na seção de treino da marcha de um protocolo fisioterapêutico convencional para a doença de Parkinson.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (entrevistas, vídeos e fotos) ficarão sob a responsabilidade da pesquisadora responsável e serão armazenados em computador da pesquisadora responsável (no local acima informado), havendo também uma cópia em CD/DVD no Ambulatório de Neurologia do Hospital das Clínicas (HC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. Professor Moraes Rego - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901, 1º andar, sala do Pró-Parkinson. Telefone: (81)2126-3664/(81) 98863-2852, email: proparkinsonfisio@gmail.com; pelo período mínimo de 5 anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: **(Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cepcps@ufpe.br).**

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo **“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INTERFACE COMPUTADORIZADA INTEGRADO A ESTIMULAÇÃO AUDITIVA RÍTMICA PARA MONITORAMENTO E TREINAMENTO DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON”**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisa):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

Impressão
digital

APÊNDICE B- ARTIGO DE REVISÃO INTEGRATIVA

Portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease: an integrative review

Portable accelerometers in Parkinson's disease

Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim^{1*}; Caroline de Cássia Batista de Souza²; Marco Aurélio Benedetti Rodrigues²; Izaura Muniz Azevedo³; Maria das Graças Wanderley de Sales Coriolano³; Otávio Gomes Lins¹

1 Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Engenharia, S/N, Prédio dos Programas de Pós-Graduação do Centro de Ciências da Saúde, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-600.

2 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/nº - Cidade Universitária, Recife/PE – Brasil, CEP: 50.740-550 - Prédio da Coordenação da Área II.

3 Programa de Pós-Graduação em Gerontologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego S/N, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50.739.970.

*** corresponding author:**

Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim

Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Engenharia, S/N, Prédio dos Programas de Pós-Graduação do Centro de Ciências da Saúde, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-600. ihanafisio@hotmail.com

Portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease: an integrative review

Abstract

Purpose: The progression of Parkinson's disease causes an increase in motor dysfunctions, which makes it necessary to evaluate and monitor these changes. This integrative review aimed to gather studies – without any language restrictions – on the use, advantages and disadvantages of portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease published between 2014 and 2019.

Methods: Articles were selected from the PubMed, Web of Science and Science Direct databases by combining descriptors from the Health Sciences Descriptors (DeCS) and Medical Subject Headings (MeSH) – "accelerometry", "accelerometer", "ActiGraph", "gait", "gait analysis", "gait rehabilitation", "walking inertial sensors", "Parkinson disease", "Parkinson" and "Parkinson's disease" – using OR and AND. The adapted Critical Appraisal Skill Program was used to analyze the methodological quality.

Results: All the studies used portable wearable and wireless triaxial accelerometers. Among all types of accelerometers discussed, commercial wearable devices not based on smartphones and prototypes of wearable devices based and not based on smartphones can be pointed out. There was no standardization for the protocols of use, but the sensors were more often attached to the lower back (L3/L4/L5 vertebrae). The advantages included lower cost, possibility of use in outdoor environments and less complexity of data reading for non-specialized users. However, they still seem to show reduced precision and accuracy.

Conclusions: Due to the still insufficient number of articles published on the subject, we consider the need for further research, which should detail protocols of evaluation, advantages and disadvantages in stages of disease.

Keywords: Parkinson's disease, Gait, Accelerometry, Accelerometer, Walking inertial sensors, Monitoring technologies

1 Introduction

Parkinson's disease (PD) is a neurological disease caused by progressive loss of the dopaminergic neurons located in the compact part of the substantia nigra, causing reduction of dopamine levels and, consequently, damage to the motor system. This disease is characterized by the presence of cardinal signs, such as bradykinesia, resting tremor, stiffness and postural instability (Haji Ghassemi et al., 2018; De Lima et al., 2017; Yoneyama et al., 2014).

People with PD walk with slower gait speed and decreased height and step length, which characterizes a slow and shuffling gait (Bryant et al., 2016). Some studies suggest the increase of cadence in PD as a mechanism of adaptation for the reduction of the step length (Matsumoto et al., 2014).

As the disease progresses, there is an increase in motor dysfunctions, which makes it necessary to evaluate and monitor these changes (Zago et al., 2018). With the advancements in healthcare technologies, inertial sensors, such as accelerometers and gyroscopes, have been increasingly used in ambulatory monitoring of physical activity, detection of falls, freezing of gait as well as the acquisition of spatio-temporal gait parameters (Yoneyama et al., 2014; Zago et al., 2018).

Spatio-temporal parameters describe the main variables for the gait cycle and reflect the patient's ability to meet the general requirements during walking, that is, weight acceptance, single limb support and the advancement of the swing limb (Zago et al., 2018). The main spatio-temporal parameters are: gait velocity (the distance covered by the body per unit of time); gait cadence (the number of steps per unit of time); stride length (the distance between heel strike of one foot on the ground and the next strike of the same foot); and step length (distance between the heel strike of one foot on the ground and the strike of the heel of the other foot on the ground) (Yoneyama et al., 2014).

There are several types of accelerometers and each of them has various characteristics about the use, advantages and disadvantages (Godinho et al., 2016). Today, accelerometers are smaller and easier to use. They can be discreetly fixed on the body of people with PD, who are subject to several levels of acceleration in various clinical practices (Klucken et al., 2013; Santanna, Salarian, and Wickstrom, 2011; Weiss et al., 2015; Zago et al., 2018).

Thus, this study aimed to gather scientific evidence on the use, advantages and disadvantages of portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters of people with PD in the last five years (2014 to 2019).

2 Methods

This is an integrative literature review, which allows the synthesis and critical analysis of scientific knowledge on a particular topic or guiding question, contributing to evidence-based health practice (Callahan, 2010).

The study comprised six methodological steps: (1) identification of the topic and selection of the guiding question, (2) establishment of inclusion and exclusion criteria of the studies, (3) definition of the information to be extracted from the selected studies and their respective categorization, (4) methodological evaluation of the included studies, (5) interpretation of the results and (6) presentation of the review and synthesis of knowledge.

For the first stage, the following guiding question was elaborated: Between 2014 and 2019 what scientific evidence was published about the use, advantages, and disadvantages of portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease? Next, eligibility criteria were established to allow articles to be obtained and selected through a search performed until 21 January 2019, by searching the PubMed, Web of Science and Science Direct databases. The articles were independently selected by two reviewers, considering the following sequence to verify eligibility: titles, abstracts and full text articles were read. In case of discrepancies, reviewers resolved these by consensus.

Manual searches were also conducted using the reference lists from included articles to identify relevant studies based on the inclusion and exclusion criteria.

Inclusion criteria were: original articles the main objective of which was to evaluate the use of portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal parameters of gait (time, distance, number of steps or stride, velocity, cadence, step length and stride length) of people diagnosed with Parkinson's disease; and articles published between the years 2014 and 2019. There were no restrictions based on the language of the article. We excluded articles with non-PD population; articles that analyzed PD and other neurological dysfunctions; articles that used portable accelerometers only as a measurement instrument of spatio-temporal parameters of gait of people diagnosed with PD; and articles that gave emphasis to the use of accelerometers to evaluate measurements of posture transitions, balance or detection of freezing. Also, review articles, books and documents, expert opinions, conference documents and duplicates were excluded.

The articles were searched with descriptors indexed at the Health Science Descriptors (DeCS) and the Medical Subject Headings (MeSH) – “accelerometry”, “accelerometer”, “actiGraph”, “gait”, "gait analysis", "gait rehabilitation", “walking inertial sensors”, "Parkinson disease", “Parkinson” and "Parkinson's disease". The Boolean operators were: OR and AND. The search strategy used was: (Accelerometry OR Accelerometer OR ActiGraph) AND (Gait OR "Gait analysis" OR "Gait rehabilitation" OR "Walking inertial sensors") AND ("Parkinson Disease" OR Parkinson OR "Parkinson's Disease") (Chart 1).

Chart 1 Search strategy

Database	Type of search	Keywords and strategy	No. of articles retrieved	No. Of articles included
PubMed	All Fields	(Accelerometry OR Accelerometer OR ActiGraph) AND (Gait OR "Gait analysis" OR "Gait rehabilitation" OR "Walking inertial sensors") AND ("Parkinson Disease" OR Parkinson OR "Parkinson's Disease") Filters: Humans	77	06

Years→ 2014-2019				
Science Direct	Title, abstract or keywords	(Accelerometry OR Accelerometer OR ActiGraph) AND (Gait OR "Gait analysis" OR "Gait rehabilitation" OR "Walking inertial sensors") AND ("Parkinson Disease" OR Parkinson OR "Parkinson's Disease")	297	01
Filters: Years→ 2014-2019 Article types→ Research articles- Case reports- Short communications				
Web of science	Title	(Accelerometry OR Accelerometer OR ActiGraph) AND (Gait OR "Gait analysis" OR "Gait rehabilitation" OR "Walking inertial sensors") AND ("Parkinson Disease" OR Parkinson OR "Parkinson's Disease")	14	01
	Cross-checking reference and citation lists		01	01
Final sample				09

Based on the portability and type of technology used, the studies were classified into three groups, namely (i) wearable, (ii) non-wearable and (iii) hybrid. Wearable devices were defined as electronic technology or computers designed to be worn on the body, or embedded into watches, bracelets, clothing, and others. Hybrid devices were defined as the blend of technologies that combined wearable and non-wearable devices.

For the methodological analysis of the included articles, an instrument adapted from the Critical Appraisal Skill Programme (CASP) was applied. The adapted CASP has 10 items in the scoring: (1) clear and justifiable objective; (2) adequate methodology; (3) presentation and discussion of theoretical and methodological procedures; (4) adequate selection of sample; (5) detailed data collection; (6) relationship between researcher and researched; (7) preserved ethical aspects; (8) rigorous and substantiated analysis of data; (9) presentation and discussion of the results; and (10) contributions, limitations and indications of new research questions. For each item, the value 0 (zero) or 1 (one) is assigned, and the final result is the sum of the scores, with a maximum score of 10 points. The selected articles were classified according to the scores: level A – 6 to 10 points (good methodological quality and reduced

bias) or level B – at least 5 points (satisfactory methodological quality, but with increased risk of bias) (Toledo, Takahashi, and De-La-Torre-Ugarte-Guanilo, 2011).

3 Results

Of the 389 articles found, a total of nine articles composed the final sample (Figure 1). Further information on the final sample is displayed in Table 1.

Four articles (44.4%) included patients with PD in the mild to moderate stages of the disease, two articles reported (22.2%) mild to severe stages, one article described (11.1%) moderate to severe stages, one article (11.1%) reported only the mild stage and one article (11.1%) reported only the moderate stage (Table 1).

All studies (100%) used portable wearable and wireless three-dimensional accelerometers. Among the accelerometers discussed, the commercial models included: Axivity AX3, Locomotrix®, Shimmer3, Fitbit Charge HR™, Garmin vivosmart® HR, ActivPAL3™ and BTS® G-Sensor. Two articles (22.2%) addressed accelerometry systems connected to the smartphone (Table 2).

Regarding the positioning of the sensors, four articles (44.4%) opted for the use of the acceleration sensor at the level of the L3/L4/L5 lumbar vertebrae; one (11.1%) used it at waist level; one (11.1%) used two sensors on the top of the shoe, associated with a third sensor at the lumbar region; one (11.1%) used sensors at the ankles and on the mid-thigh of the legs; one (11.1%) used sensors in each shoe below the ankle; and one article (11.1%) investigated two wrist-worn devices and compared them to another commercial portable accelerometer with the sensor placed on the right thigh (Table 2). Most of them (88.8%) conducted the assessments in an indoor environment and only one (11.1%) in indoor and outdoor environments (Table 2).

Major characteristics about the use, advantages and limitations of portable accelerometers used in the included studies are summarized in Table 2.

After the studies were read in full, they were assessed for methodological quality and eight studies (88.8%) were classified as level A and one (11.1%) was classified as level B according to the adapted CASP (Table 1).

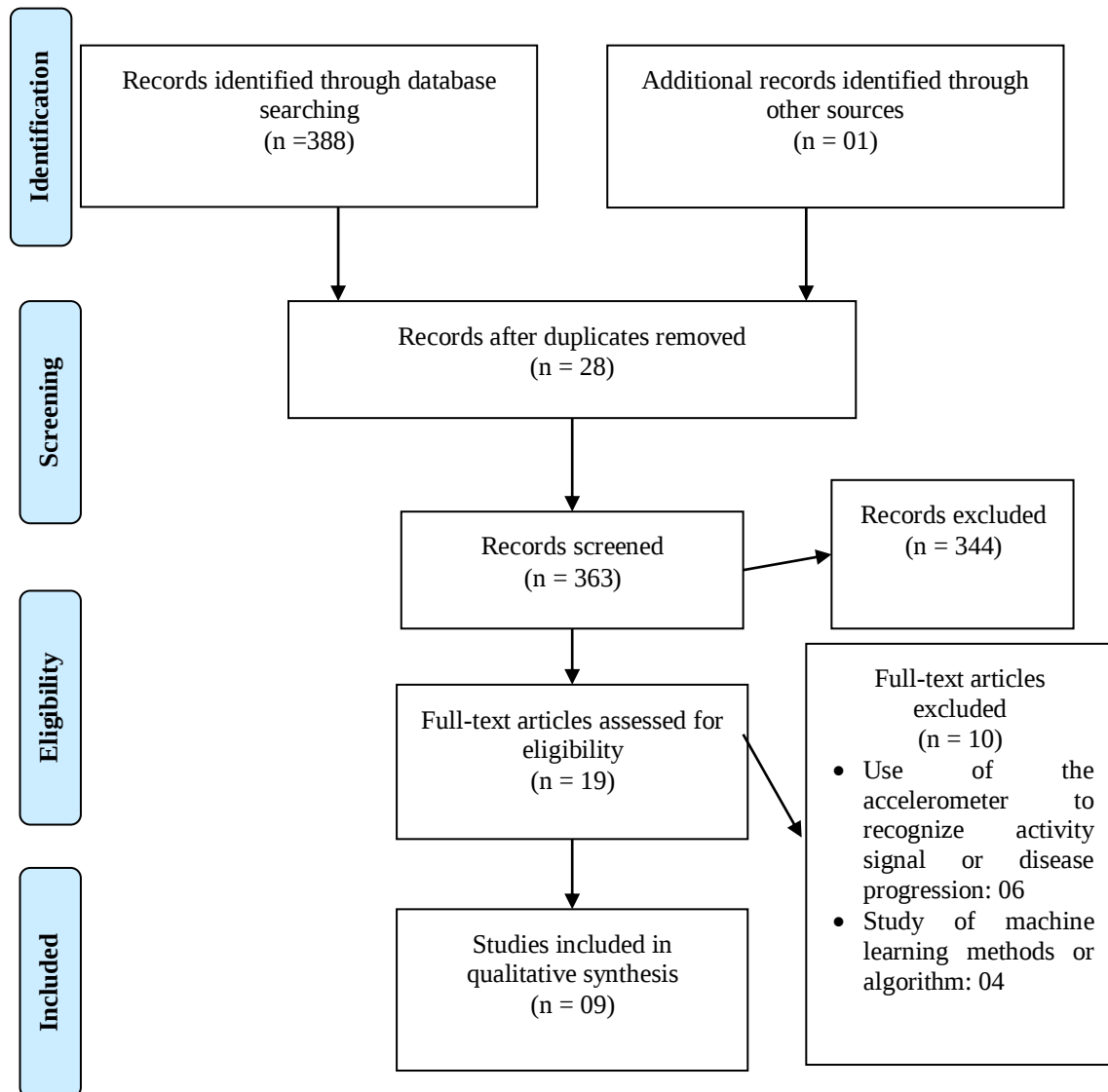


Figure 1 Flowchart with final sample.

Table 1: Description of each included study

Author / Year / Country	Study Design	Sample	Spatio-temporal Measures	Equipment	Major Findings	Level/ CASP Score
Del Din, Godfrey & Rochester (2016) UK	Longitudinal Study	PD participants (Hoehn & Yahr stage I-III):30 (66.9 ± 9.4 years) Healthy age-matched controls: 30 (66.6 ± 7.7 years)	Step time Stance time Swing time Step length Step velocity Variability gait characteristics Asymmetry gait characteristics	A single triaxial accelerometer-based system (Axivity AX3, York, UK; dimensions: 23.0 × 32.5 × 7.6 mm; weight: 9 g).	Agreement between the inertial measurement units (IMU) and an instrumented walkway for PD was: excellent agreement for step time (Pearson correlation- $r=0.997$), stance time ($r=0.854$), and step velocity ($r=0.890$); good agreement for step length($r=0.850$); moderate agreement for swing time ($r=0.618$); poor to moderate for all variability and asymmetry characteristics.	A 8/10
Demonceau et al. (2015) Belgium	Cross-sectional study	PD-1 H&Y stage <II:32 (64.5±7.1 years) PD-2 H&Y stage II-III: 32 (65.3±8.5 years) Control healthy participants: 32 (64.8±9.9 years)	Walking speed Normalized speed Cadence Stride length Stride length normalized to height Regularity index Symmetry index Mechanical powers	A commercial accelerometer-based system (Locometrix®, Centaure Metrix, Evry, France) less than 50g (box 80 x 35 x 18 mm). *speed was obtained by mean of an electronic stopwatch.	Did not provide data regarding agreement between spatio-temporal parameters of the IMU presented (Locometrix®) and an instrumented gait analysis system. For them, a trunk accelerometer could be useful in clinical practice to identify spatio-temporal parameters of gait in early patients suffering from PD and could help to the differentiation of patients suffering from mild and moderate stages of the disease.	A 7/10
Ellis et al. (2015) Singapore	-	PD subjects (H&Y stage I-V): 12 (49.8-77.5 years) Age-matched healthy controls: 12 (51-79.9 years)	Step time Step length	The SmartMOVE app runs on an Apple iPod Touch (running iOS 6.1). Records 6 channels of IMU data, all at 100 Hz.	Did not provide data regarding agreement between measurement spatio-temporal gait parameters based on comparison of devices. However, the authors suggest that SmartMOVE offers moderate-to-high accuracy in characterizing differences in step time and step length (mean and coefficient of variation) between PD patients and healthy controls and during a rhythmic auditory cueing paradigm.	A 8/10
Casamassima et al. (2014)	-	PD patients (H&Y I-III): 05	Cadence Step length	The system is essentially composed of: 1. The inertial sensor nodes; 2. An	Good agreement between IMU and GAITRite method, with a bias close to zero	B 5/10

Italy		(50.87 years)	Trunk posture Gait speed Gait asymmetry Clearance	Android mobile phone; 3. The intelligence on-board able to compute gait features and to propose real-time auditory feedback.	and a standard deviation (SD) within 3% for stride duration and 2% for stride length. The performance obtained among the five subjects and the two sides is consistent, revealing a good inter-subject and inter-hardware reliability. The system may be exploited in the future as methods to assess gait, both in a laboratory setting and in an out-of-the lab environment. Further analysis is desirable to validate the spatio-temporal feature estimation.	
Hundza et al. (2014) Canada	-	PD participants (H&Y stage I-IV):06 (70-84 years) Control participants: 07 (25-42 years)	Stride time Stride time variation Number of strides Stride length	A wireless IMU-based gait analysis system (4 IMUs in total), each incorporating a gyroscope and an accelerometer.	Average SD of stride time errors from comparisons between IMU versus video (termination of forward swing) was 11.84 ms for the PD group. The comparison between the pressure mat and the video (heel strike) yielded larger SD of stride time errors with 18.81 ms for the PD group. The stride length error mean was 11.02 $\pm$ 7.62 cm for the PD group. The mean stride length error for PD group with pronounced shuffling gait was worse than that for controls when compared to either the pressure mat or the video based reference system. The authors recommend a hybrid approach for the accurate measurement.	A 6/10
Kluge et al. (2017) Germany	-	PD participants (H&Y 2.4 $\pm$ 0.8): 04 (70.5 $\pm$ 6.6 years) Control participants (healthy): 11 (33.6 $\pm$ 5.7 years)	Stride time Stance time Swing time Stride length Gait velocity	An inertial measurement setup composed of two Shimmer3 sensors (Shimmer, Dublin, Ireland), which contained a three-axis gyroscope (range: $\pm$ 500 $^{\circ}$ s $^{-1}$) and a three-axis accelerometer (range: $\pm$ 8g), sampling at a rate of 102.4 Hz. The data was transferred via Bluetooth to a mobile device for storage.	The sensor-based system was able to accurately capture spatio-temporal gait parameters as compared to the reference camera-based system for PD gait. The two systems were highly correlated for all gait parameters ($r > 0.82$): stride time ($r=0.99$), stance time ($r=0.99$), swing time ($r=0.82$), stride length ($r=0.93$) and velocity ($r=0.98$).	A 6/10
Lamont et al. (2018)	-	PD participants (H&Y stage I-	Number of strides	Fitbit Charge HR TM (Fitbit Inc., San Francisco, California, USA) and	The both wristworn devices compared to the ActivPAL3 TM recorded low error	A 8/10

Australia		II): 33 (68.8±8 years)		Garmin vivosmart ® HR (Garmin International, Olathe, USA), which are small wearable wrist-worn activity trackers. They were compared with ActivPAL3™ (PAL Technologies Ltd., Glasgow, UK), which is a 15g triaxial accelerometer that records data at a frequency of 20Hz and provides measurements in 15s.	(absolute percentage error APE< 3.0%) and high consistency (intraclass correlation coefficient ICC≥0.88 when walking at a self-selected pace indoors or out and high error levels (APE 37–60%) and poor consistency (ICC=0.36) at the lowest cadence (60 steps/min), tending to underestimate step counts. For cadences of 80 and above, the Garmin demonstrated low error (APEs < 5.0%). At these cadences, the step count recorded by Garmin, was also strongly associated with the ActivPAL3™ (ICC:0.68–0.89, p < 0.05). The Fitbit counted steps with greater error (APE 3.5–17.6%) and poorer consistency (ICCs: 0.17–0.42; p > 0.065) for each of the cadences between 80 and 140 steps/min. The Garmin may offer a more valid measure of steps in people with PD.	
Okuda et al. (2016) Japan	-	DP participants (H&Y stage III-IV): 16 (67.2 ±7 years) Healthy young adults: 14 (28.6 ±8.2 years) Healthy old adults: 10 (70.4 ± 4.2 years)	Gait velocity and acceleration	A triaxial wireless accelerometer (38 mm wide, 38 mm deep, 10 mm high, 18.2 g of weight).	Did not provide data regarding agreement between spatio-temporal parameters of the IMU presented and an instrumented gait analysis system. For them, a trunk triaxial accelerometer can be useful in PD patients to elucidate gait differences (velocity and acceleration) as compared with healthy adults and in conjunction with the Unified Parkinson's Disease Rating Scale for evaluating whether rehabilitation can improve gait.	A 6/10
Zago et al. (2018) Italy	-	DP participants (H&Y III): 22 (69.4 ±6.1 years)	Cadence Stride length Stride duration Step length Stance duration Swing duration Double support duration	The IMU included a triaxial accelerometer (16 bit/axes, up to 1000Hz) with multiple sensitivity (± 2, ± 4, ± 8, ± 16g), a 16-bit triaxial magnetometer (± 1200µT, up to 100Hz) and a triaxial gyroscope (16 bit / axis, up to 8000Hz), with	IMU was able to safely measure most of the spatio-temporal gait parameters compared to a gold-standard optoelectronic motion capture system. All gait variables measured were not statistically different, with the exception of gait velocity (p < 0.05); probability of type-II error was lower	A 9/10

multiple sensitivity (± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 °/s).

than 0.2 except for stance/swing and stride duration. Positive, high correlations were obtained for cadence (Spearman correlation coefficient $R_s=0.91$), velocity ($R_s=0.87$), stride duration ($R_s=0.86$) and stride length ($R_s=0.84$); positive, moderate correlation for the other parameters. All correlations were statistically significant, $p < 0.05$.

Table 2: Major characteristics on use, advantages and limitations of portable accelerometers used in the included studies

Author / Year	Use of accelerometers	Major advantages of the portable accelerometer system used	Major limitations of the portable accelerometer system used
Del Din, Godfrey & Rochester (2016)	• Wearable; • Attached directly to the skin with double sided tape on the fifth lumbar vertebra (L5).	Axivity AX3: • Lower cost (<£100) than laboratory conventional gait analysis methods; • Small and light; • Wireless; • Can provide a continuous sampling of whole body movement in controlled or habitual environments for PD and healthy patients; • Excellent agreement was found for mean step time, stance time, step length, and step velocity for healthy older adults control and for step time, stance time, and step velocity for PD when compared to an instrumented walkway; • Good agreement was found for swing time for healthy patients and step length for PD when compared to an instrumented walkway.	• Lack of gyroscope; • Attached directly to the skin - can be uncomfortable; • May require calibration; • Moderate agreement for swing time for PD with a laboratory reference system; • Poor agreement for variability and asymmetry with a laboratory reference system.
Demonceau et	• Wearable;	Locometrix®:	• Requires professional monitoring to

al. (2015)

- Incorporated in an elastic belt fastened at the waist. The acceleration sensor was placed in L3-L4 inter-vertebral space.
- Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods;
- Small and light;
- Wireless;
- Allows evaluation of a patient and monitoring of the treatment progress. The test can be performed in 3 minutes and allows automatic calculation of many walking and running characteristics (including asymmetry and variability);
- Translates raw data into a computer program -The accelerometer system includes a triaxial acceleration sensor and a computer program developed for the processing of acceleration signals and the calculation of gait outcomes;
- May provide clinically useful information for the screening and follow-up of PD patients.
- analyze the data provided;
- Acceleration sensor is placed on the trunk attached to a belt. It can be uncomfortable;
- The software has to be purchased and users should learn how to use it. It requires more experience and support from the French developer team to solve questions raised by the users.

Ellis et al.
(2015)

- Wearable;
- Associated with a smartphone app secured at the subject's navel using an elastic strap.
- SmartMOVE system:
 - Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods;
 - Utilizes the smartphones' IMUs to record gait movements during walking;
 - Offers flexible parameter settings;
 - Is integrated into a comprehensive cloud-based system offering data archiving, data sharing, and personalized music playlist generation;
 - Offers moderate-to-high accuracy in characterizing of differences in measures of gait between PD patients and healthy subjects, and also in
- Need to improve the stability of device placement on the torso, with an eye towards minimizing errors in step timing and step length estimation;
- Requires the active participation of a well-trained user to ensure that the quality of collected data is high;
- Need to improve the user interface experience with SmartMOVE (e.g., numeric or graphical representations of data);
- Large in size;
- May require calibration.

		characterizing changes in first-moment outcome measures of gait during a rhythmic auditory cueing paradigm.	
Casamassima et al. (2014)	• Wearable; • Three sensors and one processing unit (a smartphone) - Two sensors were mounted on the shoes and a third one mounted on the trunk. A feedback was provided using vocal messages delivered via headphones.	• Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods; • A wireless body sensor network based on IMUs, connected with a smartphone used as a portable processing platform; • An intelligence on-board able to compute gait features and to propose real-time feedback; • Feedback is provided using vocal messages delivered via headphones; • Easy to charge battery; • The firmware was designed to optimize the hardware components and for allowing the sensing units to work in different modes: data streaming via Bluetooth; data logging in the internal FLASH memory; with an on-board processing if necessary.	• To improve the usability of the sensing units, in particular in an unsupervised environment (the patient's house or in daily life), careful energy management of hardware and firmware resources is necessary to increase their battery lifetime; • Three sensors → Difficult to self-mount sensors on one's own body; • May require calibration.
Hundza et al. (2014)	• Wearable; • Individual IMUs were fastened to the anterior shank just proximal to the ankle joint and also to the anterior aspect of the mid-thigh of each of the subject's legs (i.e., 4 IMUs in total) with velcro straps.	• Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods; • Wireless IMUs, each incorporating a gyroscope and an accelerometer, for gait cycle detection; • High accuracy in identifying gait events and gait cycles in healthy controls and those with advanced PD with shuffling gait patterns; • Sufficient sensitivity to detect relatively small changes in stride time variability resulting, for example, from exercise programs;	• Difficult to self-mount sensors on one's own body; • May require calibration.

	• The number of continuous strides is dictated by the needs of the clinician or researcher rather than by limitations of the laboratory conventional gait analysis system; • Improvements over prior IMUS and pressure-based systems in probability of gait event detection and timing accuracy for pronounced shuffling gait patterns.		
Kluge et al. (2017)	• Wearable; • The sensors were attached laterally to each shoe below the ankle joint by using rigid sensor mounts. All subjects wore the same shoe model (Adidas Duramo 6, Herzogenaurach, Germany).	Shimmer3: • Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods; • Sensor-based gait analysis system that employs small and lightweight sensors worn only on the feet; • Free movements (wireless); • Used state-of-the-art algorithms; • Was able to accurately capture spatio-temporal gait parameters as compared to the reference camera-based system for normal and mildly affected gait of patients with PD.	• The highest errors occurred for stance and swing time; • For severely limited gait, stride segmentation might work less reliably. Deviations from the template due to abnormal gait waveforms can lead to falsely undetected strides, potentially biasing the results, as only well detected strides would be considered in subsequent analysis and interpretation of the data; • Reliability was only assessed for healthy adults; • The correct reattachment of the sensors to the body poses a potential error source regarding test–retest reliability; • Stride detection and the accuracy of gait parameters might be affected in unsupervised free living environments due to a higher variability of activities-future studies are needed in an unsupervised environment.
Lamont et al. (2018)	• Wearable; • The Fitbit Charge HR™ and Garmin vivosmart® HR are used like a watch;	Fitbit Charge HR™: • Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods; • Small and light - like a watch;	Fitbit Charge HR™ • Less accurate than Garmin vivosmart® HR and ActivPAL3™.

- The ActivPAL3™ was attached on the right thigh with hypoallergenic tape.

- Free movements;
- Valid measures of step count during indoor and outdoor walking at a self-selected pace.

Garmin vívosmart® HR:

- Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods;
- Small and light - like a watch;
- Free movements;
- Valid measures of step count during indoor and outdoor walking at a self-selected pace;
- Step count recorded was highly consistent with the ActivPAL3™ across cadences of 80–140 step/min;
- May offer a more valid measure of steps in people with Parkinson's disease than Fitbit Charge HR™.

ActivPAL3™:

- Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods;
- Small and slim thigh-worn monitor;
- Established accuracy for measuring step count in older adults with and without limited motor function (Taraldsen et al. 2011), and has been used widely in people with PD (Galna, Lord, and Rochester 2013; Lamont et al. 2018).

Fitbit Charge HR™ and Garmin vívosmart® HR:

- Both activity trackers were less accurate at low cadence;
- Step count measures from both devices were not reflective intensity of activity;
- Further research is however required to confirm the accuracy of wrist-worn devices in “free-living” conditions where there are likely to be periods of slower walking, shorter and longer walking distances and periods of upper limb use that may influence device accuracy;
- It is not suggested that commercially available wrist-worn devices should be considered a replacement for more rigorous research grade activity monitors;
- Were tested only in H&Y I e II.

ActivPAL3™:

- Accuracy for detecting stepping is compromised at very slow (i.e., <0.5 m/s) walking speeds;
- Studies have used a variety of attachment methods and it is not clear whether the type of attachment (e.g., PAL stickies vs. piece of Hypafix) may influence wear compliance;
- Affixed with hypoallergenic tape, but can be uncomfortable;
- It is not known to what extent methods of instruction impact on correct monitor attachment, re-attachment and wear compliance.

Okuda et al.
(2016)

- Wearable;
- Placed at the L4 level and held with a surgical tape around the waist.

- A triaxial wireless accelerometer;
- Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods;
- Small and light;

- Placed at the level of the L4 spinous process, and held there with surgical tape around the waist- can be uncomfortable;
- Few explanations about its use in

Zago et al.
(2018)

- Wearable;
- The sensor was placed at the L5 level by means of an elastic belt.

- Might be useful in conjunction with the Unified Parkinson's Disease Rating Scale for evaluating whether rehabilitation can improve gait.

BTS® G-Sensor:

- A commercial portable device made up by the BTS® G-Sensor, communicating with the receiving unit (personal computer) via a Bluetooth link, and by a software program, BTS® G-Studio, for data recording, processing, reporting and storage;
- The IMU includes a triaxial accelerometer with multiple sensitivity, a 16-bit triaxial magnetometer, and a triaxial gyroscope, with multiple sensitivity;
- Lower cost than laboratory conventional gait analysis methods;
- Cheaper cost per recording;
- Real-life and laboratory-independent setting;
- The main spatio-temporal gait parameters detected by the IMU were mostly comparable to the output of marker-based optical motion analysis systems;
- Was able to reliably measure most spatio-temporal gait parameters in PD patients.

Parkinson's disease.

- A correctly position can be difficult- Requires the sensor to be placed at the L5 level by means of a provided elastic belt, with the power connector pointing upwards and the logo facing out. The position of the sensor has to be kept vertical to correctly define the reference system;
- Less accurate in computing walking speed in PD patients;
- Need to improve the current algorithms, especially when the locomotion function is severely compromised – as in patients with PD.

4 Discussion

The unanimous decision to use wearable and wireless portable triaxial accelerometers was the main characteristic of the portable gait assessment technologies found in the included studies. Three-dimensional inertial measurement units (3D IMUs), also known as wearable inertial sensors, can be defined as body-worn electronic or computer-designed technologies, (Godinho et al., 2016) and they are used in gait assessment of healthy individuals and people with neurological dysfunctions (Vienne et al., 2017). Also, when comparing these technologies with non-wearable sensors, which are restricted to laboratory environments, such as the camera-based or pressure-based gait analysis systems, the use of wearable sensors is expanding probably because they are discrete, easily operated and more objective for gait assessment (Demonceau et al., 2015).

Among the triaxial accelerometers discussed in the present study, the commercial wearable devices not based on smartphones (Axivity AX3, Locometrix®, Shimmer3, Fitbit Charge HR™, Garmin vivosmart® HR, ActivPAL3™ and BTS® G-Sensor) as well as the prototypes of wearable devices based and not based on smartphones can be pointed out.

Wearable devices not based on smartphones

Axivity AX3

Del Din, Godfrey, and Rochester (2016) introduced the use of the Axivity AX3 commercial model at L5 level which, when compared to the laboratory reference system (instrumented walkway system, GAITRite®), yielded excellent agreement for step time, stance time and step velocity in PD, good agreement for step length, moderate agreement for swing duration and poor agreement for variability and asymmetry. The poor agreement for gait variability and asymmetry may have been influenced by a limitation of the algorithm used or by an intrinsic limitation of the comparison between two systems that measure different properties,

i.e., continuous motion vs. single footfall events (instrumented walkway). According to the authors, gait variability and asymmetry in people with PD seem to be more evident in the wearable system than in the GAITRite®, since an instrumented walkway detects steps and a wearable accelerometer-based system continuously tracks the position of the body resulting in a continuous signal. In contrast, previous studies (Godinho et al., 2016; Nelson et al., 2002) recommend GAITRite® in PD, suggesting that it is a valid and useful tool for detecting step patterns as well as time and distance measurements in people at the initial stage of the disease.

As for the major advantages, Axivity AX3 can record up to 21 days of continuous data, is water resistant (up to 1.5 meters) and seems to be suitable for use in a variety of environments, such as in instrumented gait analysis in a controlled walking environment and daily life gait monitoring (including at home) (Del Din, Godfrey, and Rochester, 2016; Godinho et al., 2016). As for limitations, Del Din, Godfrey, and Rochester (2016) indicate that it is still necessary to optimize and explore gait quantification algorithms for the utilization of data as prognostic markers of the disease. Notably, that study included a small sample and restricted to mild to moderate PD. Therefore, the use of the device in a population with more severe gait dysfunction should be further investigated.

Locometrix®

Demonceau et al. (2015) positioned the commercial model Locometrix® at lower back (L3-L4 vertebrae) in people with mild to moderate PD, supporting previous studies that state that the positioning of accelerometry devices in traditional investigations (i.e., non-smartphone devices) is more common at the third lumbar vertebra (Ellis et al., 2015; Zijlstra, 2004). In this review, we did not observe a standardization of the positioning of the wearable sensors not based on smartphones, but the sensors were more commonly placed between L3 and L5 vertebrae

(Demonceau et al., 2015; Del Din, Godfrey, and Rochester, 2016; Okuda et al., 2016; Zago et al., 2018).

According to the French manufacturer of Locometrix®, this device is capable of evaluating patients with PD and monitoring the progress during the treatment. In addition, it allows an automatic and quick calculation of various walking and running characteristics, including asymmetry and gait variability. Regarding gait variability, the protocol described by Demonceau et al.(2015) stood out, as it seemed to be able to detect early alterations in gait in PD during the “on” phase of the medication, and this information is clinically useful for the screening and monitoring of the patient. The authors’ protocol may be successful due to fact that it is in line with the recommendations for the ideal assessment system for gait variability in PD patients (Galna, Lord, and Rochester, 2013): to use a continuous walking protocol, rather than multiple short intermittent walks; to use at least 30 steps when calculating variability (50 steps or more are preferable); and to calculate gait variability by combining data from left and right steps (Galna, Lord, and Rochester, 2013). The study limitations include the small sample size and the fact that the system has not been tested in patients in stages with greater gait impairment. One barrier to the use of the system is the translation of the raw data, which depends on a software program provided by the same French company. The users need to purchase the program, learn its features, and be able to have more specialized analysis.

Shimmer3

Kluge et al.(2017) evaluated a new gait analysis system based on light sensors (Shimmer3) used only on the feet for the extraction of spatio-temporal gait parameters. The results suggest good agreement between the sensor-based and the camera-based gait analysis in mildly affected gait of people with PD. Although no bias was observed for the stride time, the stance time was slightly overestimated and the swing time was underestimated, respectively, by

37ms. The stride length was underestimated by 1.4 cm and the velocity was underestimated by 1.2 cm/sec. Velocity showed higher errors at higher walking speeds. We would like to emphasize that the accuracy of the wearable sensors can be influenced by the gait pattern and velocity as well as by anatomical positioning of the device (Chow et al., 2017). Regarding positioning, fixation at reattachment of the sensors to the body represented a potential source of error for the test-retest reliability. In this context, the authors attached the sensors using a non-removable sensor mount that was rigidly attached to the shoe so that the same sensor position could be assured at each retest measurement. Some of the limitations to the study lie in the fact that gait was exclusively assessed in a laboratory environment and the limited field of view of the reference system restricted the captured movements. Further limitations were that the sample only included four people with PD and there was little clarification of the eligibility criteria; therefore, their findings should be carefully interpreted. Ultimately, it should be investigated whether the severely affected gait can be assessed by the system, given that altered gait waveforms, such as in severely limited gait, can lead to falsely undetectable steps.

Fitbit Charge HR™ and Garmin vivosmart® HR vs. ActivPAL3™

Lamont et al. (2018) studied two wrist-worn devices (Fitbit Charge HR™ and Garmin vivosmart® HR) and compared them with another commercial portable accelerometer, the sensor of which is attached to the right thigh (ActivPAL3™) in people with mild and moderate PD. Both commercial activity trackers showed low error (<3%) and moderate to high consistency at self-selected pace in indoor (controlled) and outdoor environments (a 500m outdoor walk with terrain challenges) compared to the ActivPAL3™. Garmin recorded low error (<5%) and high agreement on the number of steps for all target cadences ≥ 80 steps/min. Fitbit had higher error and was less consistent for all target cadences ≥ 80 steps/min. In this study, we would like to emphasize the practical use of the devices in different environments, such as in free-living

environments. This is interesting because clinical or laboratory environments can cause deviations from daily walking patterns and suffer the effects of potential expectations of health professionals and patients (Kluge et al., 2017). In addition, data collected in outdoor environments are those that seem to better discriminate the disease (Godinho et al., 2016).

In addition to the practicality of use, activity monitors, such as Fitbit Charge HR™ and Garmin vivosmart® HR, provide visual feedback on the volume of activity performed and can therefore promote exercise and physical activity (Lyons et al., 2017). Nevertheless, further investigation is needed to know whether the accuracy of wrist-worn devices may be even lower in people with PD due to reduced arm swings often observed during walking in this population (Lamont et al., 2018). Surveys also suggest that commercial wrist-worn devices should be considered as a substitute for activity monitoring devices, which are normally attached to the hip, waist or leg. Previous studies had suggested that these wrist-worn devices are less accurate than the others in healthy populations and in people with alterations in gait and with neurological conditions (Chow et al., 2017; Fulk et al., 2014). In addition, we do not know whether the limitation of use would be even greater for populations with a more severe degree of PD.

BTS® G

Zago et al.(2018) investigated spatio-temporal gait parameters in PD (H&Y 3) with a commercial portable device composed of a BTS® G sensor (BTS SpA, Milano, Italy), communicating with a receiving unit (computer) via Bluetooth link, and the software program BTS® G-Studio for data recording, processing, reporting and storage. Algorithms merge the sensor data at 200Hz and the final report provides spatio-temporal gait parameters and pelvic tilt angles. As intrinsic advantages of the system, they underline cheaper purchase prices, cheaper costs per recording, portability of the system and laboratory-independent settings. In that study, the device was able to safely measure most spatio-temporal gait parameters in PD compared to a

gold-standard optical motion capture system (Zago et al., 2018). Therefore, they used a previously valid protocol (the Walk protocol), integrated with the G-Studio software, which requires the sensor to be placed at L5 vertebra by means of an elastic belt, with the force connector pointing up, logo facing outwards and position of the sensor held vertically to correctly set the reference system.

For the authors, in addition to a relatively small sample size, the difference detected among some parameters was probably due to the different algorithm used in the two systems (inertial sensors vs. optical motion capture system) to detect gait events. For Pau et al.(2018), clinicians should avoid making absolute comparisons of spatio-temporal gait parameters calculated by inertial sensors with those obtained for the same individual through optical motion capture systems. According to the authors, these are not reliability/precision problems but problems due to the different strategies that people with PD can adopt when tested under different conditions.

Prototypes of wearable devices not based on smartphones

Hundza et al.(2014) for the validation of the IMU-based gait analysis system, collected temporal and spatial gait parameter data simultaneously using (1) wireless IMUs, each incorporating a gyroscope and an accelerometer; (2) a pressure mat system (GAITRite® CIR Systems Inc. Havertown, PA, USA); and (3) a high-speed video camera system (Canon EX-FH25 Exilim) accompanied by a linear grid. Individual IMUs were fastened to the ankle joint and also to the mid-thigh of each of the subject's legs (i.e., 4 IMUs in total). The authors maintain that the system incorporating a gyroscope and an accelerometer is portable, has relatively low cost and is capable of acquiring gait data during continuous walking, where the number of continuous strides is dictated by the needs of the clinician or researcher rather than by limitations of the gait analysis

system. Also, they emphasized that pressure mat systems produce greater errors in people with PD than an IMU-based system, when compared with the video reference system.

As in the study conducted by Del Din, Godfrey, and Rochester (2016), despite the recommendation of the use of GAITRite® in PD in previous studies (Godinho et al., 2016; Nelson et al., 2002), the findings support the idea that pressure mat systems are not reliable or accurate for some gait parameters in specific clinical populations, such as individuals whose gait is such that they shuffle their feet when they walk (Mansfield and Lyons, 2003). Regarding limitations, although the authors conclude that their system is an adequate tool for gait assessment in PD, they suggest a hybrid approach, which combines a synchronized external speed measurement with their system, providing the accurate mean stride length the calculated from velocity and mean stride time measurements derived from the IMU. In addition, we would like to highlight the small sample size of six users with PD (Hundza et al., 2014).

Okuda et al. (2016) used a triaxial wireless accelerometer that appears to be an AirSense™ prototype (38 mm wide, 38 mm deep, 10 mm high, 18.2 g of weight, Bycen, Kobe, Japan) positioned at L4 vertebra level to monitor gait in people with PD in the "on" phase during a short walk for a brief period of time. The authors only suggest that accelerometer-based monitoring can be performed in conjunction with the Unified Parkinson's Disease Rating Scale to assess whether rehabilitation can improve gait. We would like to emphasize that the article explores very little about the accelerometer and its advantages and disadvantages, which proves to be insufficient to provide insights on the use of this system in people with PD.

Prototypes of wearable smartphone-based devices

Ellis et al. (2015) and Casamassima et al. (2014) used smartphone-based accelerometry. Smartphone-based gait analysis can be used as an alternative to conventional gait analysis

methods, particularly when such methods are costly, uncomfortable or inconvenient (Ellis et al., 2015).

Ellis et al. (2015) described the validation of gait analysis accuracy in PD patients (H&Y 1 to 4) and age-matched healthy elderly for a new smartphone-based mobile application ("SmartMOVE") attached to the waist. In addition to the assessment function, SmartMOVE is an interesting option because it also offers rhythmic auditory cueing, suggesting that it is a promising non-pharmacological alternative for the personalized rehabilitation of gait with rhythmic auditory stimulation. For the validation of gait analysis accuracy, concurrent validity was obtained by simultaneous recording of walking patterns using footswitches and GAITRite® sensor walkway. One limitation to the assessment tool lies in the fact that the individual step length is derived from regression models of machine learning method and, therefore, it would be associated with stochastic measurement errors, such as some degree of noise during events given the limited resolution of the device (i.e., 100 Hz sampling rate) or unintentional movement of the device during walking. These stochastic measurement errors on individual steps could, in turn, translate into inflated estimates of step length variability. Furthermore, the authors maintain that it is still possible to improve the experience of the user-SmartMOVE interface through, for example, the provision of numerical or graphical representations of data.

Casamassima et al.(2014) also presented a smartphone-based system that evaluates gait characteristics and provides real-time audio feedback to the users in order to help them perform a more efficient gait pattern, stimulating the process of motor learning (Nieuwboer et al., 2009; Rochester et al., 2010). Two sensors were mounted on the shoes, a third sensor was mounted on the trunk and feedback was provided using vocal messages delivered via headphones to people with mild to moderate PD. These sensors evaluate spatio-temporal parameters such as cadence, step length, gait velocity, gait asymmetry and trunk flexion. Also, thanks to the tracking

capability of the user's path, it can serve as a localization system. For the authors, the information returned to the user during training is intended to reflect the nature of the instructions normally provided to the patient by the therapist during traditional rehabilitation, but with greater accuracy and reliability. Further studies are foreseen to deeply evaluate the type of feedback provided to the user, as it has been originally intended to provide similar messages to therapists. And yet, it is also capable of providing music or other sound modalities to the user depending on the requirements of the actual walking pattern.

The comparison between the fixation of devices described by Ellis et al. (2015) and Casamassima et al. (2014) showed that the simplest fixation is reported by Ellis et al. (2015). The authors decided to affix the smartphone on the waist – on the ventral surface of the body – for two main reasons: (1) to enhance usability so that a user (patient) could interact with the device without assistance; and (2) to profit from potential camera or video recording applications, which would require that the smartphone's camera face forwards.

Regardless of the fixation site, the device should always be well affixed; therefore, the active participation of a well-trained user is essential to ensure that quality of the collected data is high (Ellis et al., 2015). As for the methodological gaps, we can highlight the reduced sample size in both studies, especially in the study conducted by Casamassima et al. (2014). The latter included only five people with PD in their sample and obtained a low score using the methodological quality analysis tool. Thus, careful attention should be exercised in interpreting the findings. In addition, it can be pointed that it is still unknown whether the devices would also be effective to evaluate cases of more severe gait dysfunction (e.g., shuffling steps or frequent gait freezing episodes), since patients in more severe stages were excluded from the sample in both studies.

Notably, most of the articles included (Casamassima et al., 2014; Demonceau et al., 2015; Del Din, Godfrey, and Rochester, 2016; Lamont et al., 2018) investigated the use of the devices in people with PD in the mild to moderate stages of the disease. Clinical professionals seek subtle signs capable of identifying abnormalities in the early and moderate stages of PD given that the visual detection of gait impairment is more challenging (Demonceau et al., 2015). Nevertheless, we maintain that research in patients with higher levels of gait impairment is necessary to clarify usability in this specific population.

The use of accelerometers is still considered unusual in the daily clinical examination of PD patients, probably due to the lack of information about their relevance and clinical significance of their outcomes (Demonceau et al., 2015). Additionally, acquiring kinematic information from sensor-based systems is still a challenge due to effects of inertial drift and alignment of inertial reference (Robles-García et al., 2015). It is essential to explore novel technologies as provided in this literature review. They are a source of impartial and accurate gait measurements, which have been increasingly used as key prognostic markers for the development of the disease (Demonceau et al., 2015; Galna, Lord, and Rochester, 2013; Godinho et al., 2016). Also, since gait disturbances are the main causes of falls in patients with neurological diseases, they can act as a clinical warning tool and, consequently, a fall prevention tool (Ellis et al., 2015).

We would like to underline the relevance of the present review, since its findings will support healthcare professionals in clinical decision making, who seek useful and practical solutions for the management of the care of people with PD. However, due to the still insufficient number of articles published on the subject, we believe that further research is needed to evaluate portable accelerometers as an instrument to measure spatio-temporal gait parameters in PD. It should provide comprehensive analysis of the assessment protocols as well as advantages and

disadvantages of use in sufficiently representative samples for the various stages of the disease. Ultimately, there should be an attempt to standardize these protocols.

5 Conclusions

There was no standardization for the protocols of use, but the sensors were more often attached to the lower back (L3/L4/L5 vertebrae). The advantages when compared to conventional gait analysis systems performed in a laboratory included: lower cost; lower recording cost; portability, allowing the use in outdoor environments; and less complexity of reading for non-specialized users. In addition, smartphone-based sensors have shown to be an interesting alternative in healthcare settings, not only for the assessment of spatio-temporal gait parameters in PD but also as an adjunct tool in gait rehabilitation. However, one disadvantage lies in the fact that portable devices still seem to show reduced precision and accuracy, with greater susceptibility to noise and external factors.

Due to the still insufficient number of articles published on the subject, we consider the need for further research, which should detail protocols of evaluation, advantages and disadvantages in different stages of disease, in particular in patients with higher levels of gait impairment and in people with the need of gait rehabilitation.

Acknowledgements

Not applicable.

References

- Bryant, M. S., Rintala, D. H., Hou, J. G., Collins, R. L., Protas, E. J. (2016). Gait variability in Parkinson's disease: levodopa and walking direction. *Acta Neurologica Scandinavica*, 134, 83–86.

- Callahan, J. L. (2010). Constructing a manuscript: distinguishing integrative literature reviews and conceptual and theory articles. *Human Resource Development Review*, 9, 300–304.
- Casamassima, F., Ferrari, A., Milosevic, B., Ginis, P., Farella, E., Rocchi, L. (2014). A wearable system for gait training in subjects with Parkinson's disease. *Sensors (Switzerland)*, 14, 6229–46.
- Chow, J. J., Thom, J. M., Wewege, M. A., Ward, R. E., Parmenter, B. J. (2017). Accuracy of step count measured by physical activity monitors: the effect of gait speed and anatomical placement site. *Gait and Posture*, 57, 199–203.
- Demonceau, M., Donneau, A. F., Croisier, J. L., et al. (2015). Contribution of a trunk accelerometer system to the characterization of gait in patients with mild-to-moderate Parkinson's disease. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19, 1803–8.
- Del Din, S., Godfrey A., Rochester L. (2016). Validation of an accelerometer to quantify a comprehensive battery of gait characteristics in healthy older adults and Parkinson's disease: toward clinical and at home use. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20, 838–47.
- Ellis, R. J., Ng, Y. S., Zhu, S., et al. (2015). A validated smartphone-based assessment of gait and gait variability in Parkinson's disease. *PLoS ONE*, 10, 1-22.
- Fulk, G. D., Combs, S. A., Danks, K. A., Nirider, C. D., Raja, B., Reisman, D. S. (2014). Accuracy of 2 activity monitors in detecting steps in people with stroke and traumatic brain injury. *Physical Therapy*, 94, 222-9.
- Galna, B., Lord, S., Rochester, L. (2013). Is gait variability reliable in older adults and Parkinson's disease? Towards an optimal testing protocol. *Gait and Posture*, 37, 580–85.
- Godinho, C., Domingos, J., Cunha, G., et al. (2016). A systematic review of the characteristics and validity of monitoring technologies to assess Parkinson's disease. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 13, 1–10.
- Haji Ghassemi, N., Hannink, J., Martindale, C. F., et al. (2018). Segmentation of gait sequences in sensor-based movement analysis: a comparison of methods in Parkinson's disease. *Sensors (Switzerland)*, 18, 1–15.
- Hundza, S. R., Hook, W. R., Harris, C. R., et al. (2014). Accurate and reliable gait cycle detection

- in Parkinson's disease. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 22, 127–37.
- Klucken, J., Barth, J., Kugler, P., et al. (2013). Unbiased and mobile gait analysis detects motor impairment in Parkinson's disease. *PLoS ONE*, 8, e56956.
- Kluge, F., Gaßner, H., Hannink, J., Pasluosta, C., Klucken, J., Eskofier, B. M. (2017). Towards mobile gait analysis: concurrent validity and test-retest reliability of an inertial measurement system for the assessment of spatio-temporal gait parameters. *Sensors (Switzerland)*, 17, 1522.
- Lamont, R. M., Daniel, H. L., Payne, C. L., Brauer, S. G. (2018). Accuracy of wearable physical activity trackers in people with Parkinson's disease. *Gait and Posture*, 63, 104–8.
- De Lima, A. L. S., Hahn, T., Evers, L. J. W., et al. (2017). Feasibility of large-scale deployment of multiple wearable sensors in Parkinson's disease. *PLoS ONE*, 12, 1–15.
- Lyons, E. J., Swartz, M. C., Lewis, Z. H., Martinez, E., Jennings, K. (2017). Feasibility and acceptability of a wearable technology physical activity intervention with telephone counseling for mid-aged and older adults: a randomized controlled pilot trial. *JMIR mHealth and uHealth*, 5, e28.
- Mansfield, A., Lyons, G. M. (2003). The use of accelerometry to detect heel contact events for use as a sensor in fes assisted walking. *Medical Engineering and Physics*, 25, 879–85.
- Matsumoto, L., Magalhães, G., Antunes, G., Torriani-Pasin, C. (2014). Effect of rhythmic auditory cue on gait in patients with Parkinson's disease. *Revista Neurociências* 22, 404–9.
- Nelson, A. J., Zwick, D., Brody, S., et al. (2002). The validity of the gaitrite and the functional ambulation performance scoring system in the analysis of Parkinson gait. *NeuroRehabilitation*, 17, 255–62.
- Nieuwboer, A., Rochester, L., Müncks, L., Swinnen, S. P. (2009). Motor learning in Parkinson's disease: limitations and potential for rehabilitation. *Parkinsonism and Related Disorders*, 15, 53–58.
- Okuda, S., Takano, S., Ueno, M., et al. (2016). Gait analysis of patients with Parkinson's disease using a portable triaxial accelerometer. *Neurology and Clinical Neuroscience* 4, 93–97.
- Pau, M., Corona, F., Pili, R., et al. (2018). Quantitative assessment of gait parameters in people

- with Parkinson's disease in laboratory and clinical setting: are the measures interchangeable? *Neurology International*, 10, 111–17.
- Robles-García, V., Corral-Bergantiños, Y., Espinosa, N., et al. (2015). Spatiotemporal gait patterns during overt and covert evaluation in patients with Parkinson's disease and healthy subjects: is there a hawthorne effect? *Journal of Applied Biomechanics*, 31, 189–94.
- Rochester, L., Baker, K., Hetherington, V., et al. (2010). Evidence for motor learning in Parkinson's disease: acquisition, automaticity and retention of cued gait performance after training with external rhythmical cues. *Brain Research*, 1319, 103–11.
- Santanna, A., Salarian, A., Wickstrom, N. (2011). A new measure of movement symmetry in early Parkinsons disease patients using symbolic processing of inertial sensor data. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58, 2127–35.
- Taraldsen, K., Askim, T., Sletvold, O., et al. (2011). Evaluation of a body-worn sensor system to measure physical activity in older people with impaired function. *Physical Therapy* 91, 277–85.
- Toledo, M. M., Takahashi, R. F., De-La-Torre-Ugarte-Guanilo, M. C. (2011). Elementos de vulnerabilidade individual de adolescentes ao HIV/AIDS. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 64, 370–75.
- Vienne, A., Barrois, R. P., Buffat, S., Ricard, D., Vidal, P. P. (2017). Inertial sensors to assess gait quality in patients with neurological disorders: a systematic review of technical and analytical challenges. *Frontiers in Psychology*, 8, 1–12.
- Weiss, A., Herman, T., Giladi, N., Hausdorff, J. M. (2015). Association between community ambulation walking patterns and cognitive function in patients with Parkinson's disease: further insights into motor-cognitive links. *Parkinson's Disease*, 2015, 1–11.
- Yoneyama, M., Kurihara, Y., Watanabe, K., Mitoma, H. (2014). Accelerometry-based gait analysis and its application to Parkinson's disease assessment— part 1: detection of stride event. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 22, 613–22.
- Zago, M., Sforza, C., Pacifici, I., et al. (2018). Gait evaluation using inertial measurement units in subjects with Parkinson's disease. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 42, 44–48.
- Zijlstra, W. (2004). Assessment of spatio-temporal parameters during unconstrained walking. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 39–44.

APÊNDICE C- ARTIGO ORIGINAL

Development of a mobile application with rhythmic auditory stimulation for gait rehabilitation in Parkinson's disease

A mobile app with auditory cue for Parkinson's disease

Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim^{*1,3}; Izaura Muniz Azevedo^{1,2}; Samuel Mateus Félix de Castro¹; Cleysiane Araújo de Oliveira¹; Maria das Graças Wanderley de Sales Coriolano^{1,2}; Otávio Gomes Lins^{1,3}

1 Programa Pró-Parkinson, Ambulatório de Neurologia, Hospital das Clínicas, Av. Professor Moraes Rego, s/n, Cidade Universitária, Recife – Pernambuco (PE), CEP: 50740-900.

2 Programa de Pós-Graduação em Gerontologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego S/N, Cidade Universitária, Recife – PE, CEP: 50.739.970.

3 Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Engenharia, S/N, Prédio dos Programas de Pós-Graduação do Centro de Ciências da Saúde, Cidade Universitária, Recife – PE, CEP 50740-600.

*** corresponding author:**

Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim

Programa de Pós-Graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Engenharia, S/N, Prédio dos Programas de Pós-Graduação do Centro de Ciências da Saúde, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50740-600.

ihanafisio@hotmail.com

Development of a mobile application with rhythmic auditory stimulation for gait rehabilitation in Parkinson's disease

Abstract

Purpose: To develop a mobile application with rhythmic auditory stimulation (RAS) for gait rehabilitation in Parkinson's disease (PD), to assess its usability, and to perform field tests.

Methods: This research on technological development in healthcare was conducted in three steps: 1- Mobile application development; 2- Usability; 3- Field tests. The application development focused on RAS in PD. The MATch tool (Measuring Usability of Touchscreen Phone Applications) was applied to physiotherapists to test usability. Field tests evaluated the immediate effects of RAS on spatiotemporal parameters of gait in people with mild to moderate PD. A 10-meter walk test was used to measure these parameters at three moments: 1- walking without RAS; 2- walking with RAS; 3- walking after withdrawal of stimulation. The auditory stimulation considered a 10% increase in baseline cadence.

Results: The ParkinSONS App was developed in Brazilian Portuguese for Android operating system. It has simple and intuitive screens, a list of six Brazilian songs, one metronome option with selection of cueing frequency, and one metronome with automatic oscillation of cueing frequency. It obtained “very high usability” in MATch. In the field tests, people with PD showed a statistically positive tendency to reduce average gait time with RAS with music associated with metronome beats.

Conclusions: The ParkinSONS App seems to be a practical, playful and promising tool for gait training with RAS in mild to moderate PD. Further studies of mobile applications with RAS for different populations are suggested.

Keywords: Parkinson's disease, Gait, Auditory cue, Rhythmic auditory stimulation, Smartphone App

1 Introduction

Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disorder characterized by motor symptoms, such as tremor at rest, bradykinesia, stiffness and postural instability, which negatively impact the kinematic parameters of gait (Zanardi et al., 2021; Vila et al., 2021; Armstrong & Okun et al., 2020).

The gait in people with PD is sluggish, slow, with short steps and a bent forward body position, as well as with reduced arm swing amplitude and asymmetry (Armstrong & Okun et al., 2020; Wilson et al., 2020; Zampier et al., 2018). This gait variability is likely to decrease the ability to maintain a steady walking and rhythm pattern, which is related to an intrinsic difficulty in coordinating and temporizing movements as well as scheduling an action (Moon et al., 2016).

Rhythmic auditory stimulation (RAS) has been considered a promising rehabilitation strategy for improving gait in PD. RAS utilizes metronome rhythmic beats, association of music with metronome beats or music cues alone, providing the patient with a temporal orientation that may facilitate functional recovery of their movements, and consequently improve walking (Leuk et al., 2020; Ghai et al., 2018; Hove & Keller, 2015).

To promote adequate RAS in PD, it is necessary that the auditory stimuli be tailored to the gait pattern of each patient. Thus, given the variety of gait patterns in this population, smartphone-based RAS applications have been gaining visibility and interest, as they allow access to gait training with personalized auditory stimulation inside and outside the clinical settings (Bella et al., 2018; Ghai et al., 2018).

In the literature, few studies (Aholt et al., 2019; Garzo et al., 2018; Ellis et al., 2015; Lopez et al., 2014) have described technologies capable of providing gait training with personalized RAS in PD; however, access to these technologies is quite limited in developing countries. Further research on this topic is of utmost importance in order to allocate healthcare resources and improve patients' quality of life.

Thus, this research on technological innovations in healthcare aimed to develop a smartphone-based RAS application for gait rehabilitation in PD, its assessment of usability and field tests.

Methodology

Study Design

This research on technological innovations in healthcare had three steps: Step 1- Mobile application development; Step 2- Usability evaluation of the application by physiotherapists, using a transversal method; Step 3- Field tests using a quasi-experimental method.

Study location

The study was carried out in the Pro-Parkinson Program of the Hospital das Clínicas, University Hospital of the Federal University of Pernambuco (UFPE) from March 2018 to December 2020.

Study sample

This was an intentional non-probability sampling (convenience sampling).

For step 2 (Usability), physiotherapists were recruited from independent, public and private services in Recife-Pernambuco (Brazil). The physiotherapists who did not answer the questionnaire in full were excluded.

For step 3 (Field tests), the population consisted of people with mild to moderate PD. Inclusion criteria were: age ≥ 50 years; clinical diagnosis of idiopathic PD according to Joint Ordinance No. 10 of October 31, 2017 from the Ministry of Health of Brazil (Brazil, 2017); mild to moderate stage of the disease according to the original version of the Hoehn and Yahr scale (HY 1 to 3) (Hoehn & Yahr, 1967).

Exclusion criteria were: a hearing problem that might compromise RAS; inability to walk 10 meters without assistance; other neurological and/or orthopedic, rheumatological and vascular disorders that might affect gait; uncontrolled cardiorespiratory disorders; cognitive impairment identified by the Mini Mental State Examination according to educational level (Folstein, Folstein & McHugh, 1975); severe depression identified by the Beck Depression Inventory (Beck et al., 1961).

Operationalization of the research

Mobile Application Development

The mobile application called “ParkinsonSONS” was developed by the Pro-Parkinson Research Group with financial support from the National Support Program for Research and Technological Innovation in Health at UFPE. The steps involving the development of the mobile application were described in figure 1.

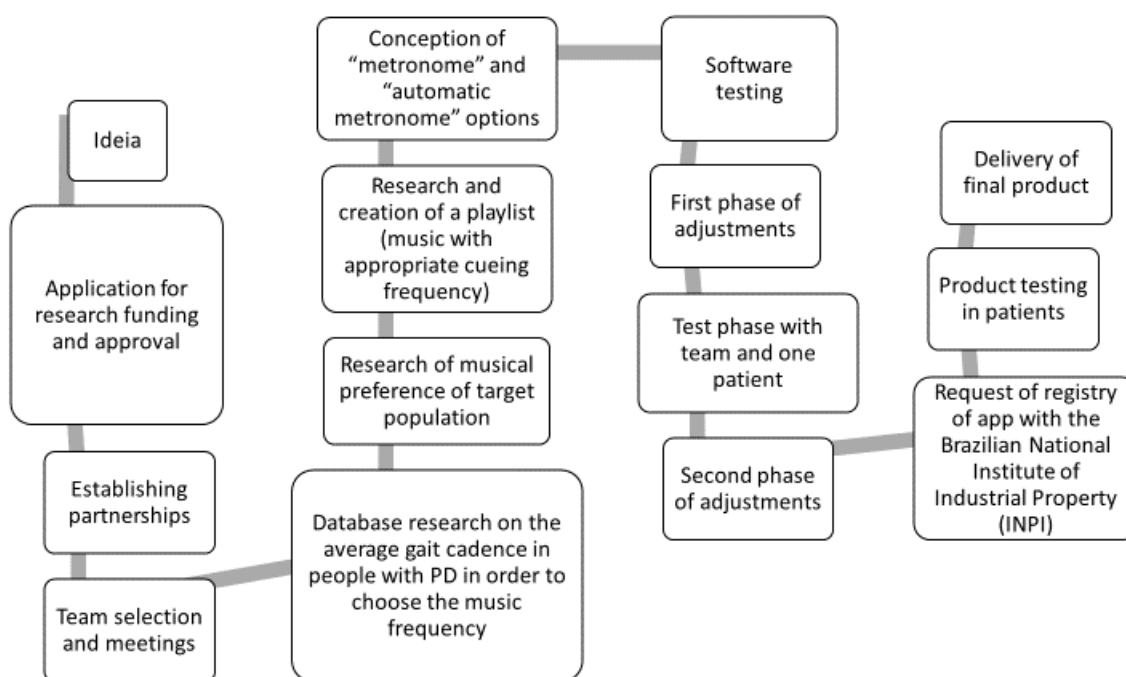


Figure 1- Step-by-step development process of the ParkinsonSONS App. PD= Parkinson's disease; INPI = National Institute of Industrial Property. Six songs were selected in three steps: 1- research in databases on the average walking cadence for people with PD to select the desired music frequencies; 2- interview with patients from the Pro-Parkinson Program and other people matched by age (i.e., 60-89 years) to explore their musical preferences; 3- based on these preferences, three physiotherapists and music professional searched and selected music with cadences within the estimated therapeutic range for gait rehabilitation in people with PD.

Usability evaluation of the ParkinSONS App by physiotherapists

Usability is the extent to which a product can be used to achieve goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a context of use (Preece, Rogers & Sharp, 2005).

The MATch tool (Measuring Usability of Touchscreen Phone Applications) was used to evaluate usability of the ParkinSONS App. It is a self-administered questionnaire, composed of 48 questions distributed in ten heuristics: 1- Visibility of system status; 2- Correspondence between the system and the real world; 3- User control and freedom; 4- Consistency and standards; 5- Recognition rather than recall; 6- Flexibility and efficiency of use; 7- Aesthetic and minimalist design; 8- Minimized human/device interaction; 9- Physical interaction and ergonomics; 10- Readability and layout. The application user is given three response options (“yes”, “no” and “not applicable”) for each question. The answers are converted to a number, which will be added to produce a score. The scale classifies 5 level of usability of the application, namely: very low usability (up to 30 points), low usability (> 30-40 points), reasonable usability (> 40-50 points), high usability (> 50-60 points) and very high usability (> 60 points).

The MATch questionnaire was administered to physiotherapists by a previously trained researcher. Its outcomes and classification of usability were obtained through the calculator available at: <http://match.inf.ufsc.br:90/index.html> (Feijó, Gonçalves & Gomez, 2013). Subsequently, the physiotherapists were asked to offer suggestions to improve the mobile application.

Field tests

Field tests were performed to assess the immediate effects of RAS with music associated with metronome beats on the spatiotemporal gait parameters in people with mild to moderate PD.

The 10-meter walk test (10MWT) was used for this assessment. The 10MWT provides a kinematic analysis of gait, such as time, cadence and speed (Watson, 2002). This test requires a 10m straight course: initial 2m for acceleration, 6m for walking at a self-selected speed, and the final 2m for deceleration. Markers are placed at 2m and 8m along the walkway and the patient is instructed to walk at a comfortable pace along the 10-meter course. For the intermediate 6 meters, one physiotherapist measures the time, another physiotherapist counts the number of steps and a third one films the procedure to confirm the count results. Three trials are performed and the average of these trials is calculated.

For this study, the 10MWT was performed to measure the following space-time parameters: time (s), number of steps, speed (m/s) and cadence (number of steps/second) at three moments.

Moment 1: Three trials of the 10MWT were performed at a comfortable speed to obtain the average basal space-time parameters. The average obtained from the patient's cadence was used for the cadence average accentuation of 10% and selection of the appropriate auditory stimulus from the list of songs of the ParkinSONS App.

Moment 2: Three trials of the 10MWT were performed with the patient using a mobile phone and headphones, which provided a rhythmic auditory stimulus at an appropriately increasing cadence according to the patient's gait. The patient was instructed to walk according to the beat of the music.

Moment 3: Three trials of the 10MWT were performed at a comfortable speed after removing the headphones.

The ParkinSONS App provided rhythmic auditory stimulation through a list of songs with marked and constant tempo. The music or stimulation was selected considering an average accentuation of 10% of cadence observed in the first 10MWT performance. After selecting the

music to be played (with the metronome “ON”), the mobile phone was connected to headphones and the patient was instructed to walk 10 meters matching ambulation speed with rhythmic cueing.

The data were entered in a Microsoft Excel spreadsheet and compiled using descriptive statistics. Data distribution was verified with the Shapiro-Wilk test, and based on the findings, the Friedman test was chosen. The tests were performed using SPSS statistical software version 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA), considering $P < 0.05$.

Ethical aspects

This research was approved by the Research Ethics Committee of the Federal University of Pernambuco (UFPE) (CAAE nº 81445817.0.0000.5208, UFPE, Recife, Brazil). All participants signed an informed consent form.

Results

Mobile application development

The final version of the ParkinSONS App is offered in Brazilian Portuguese for the Android operating system. The application screens are simple and intuitive, with white buttons, dark font color and large font size to facilitate data identification and visualization during navigation. Following the installation of the application on the smartphone, the home screen will prompt a new patient to register by entering his/her name, Individual Taxpayer Registration (CPF) number and height (Figure 2).

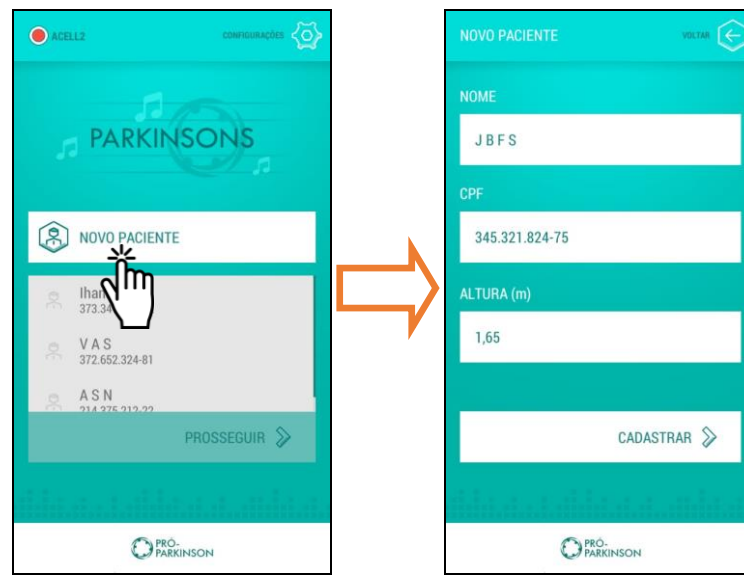


Figure 2: Home screen of the ParkinSONS App and registration of a new patient by entering his/her name, Individual Taxpayer Registration (CPF) number and height (Source: The author).

On the next screen, the user must select the option “Training” (Figure 3A), and a list with six popular Brazilian songs will be displayed (a differential feature of this application) with the cueing frequencies of 70 bpm, 80 bpm, 90 bpm, 100 bpm, 110 bpm and 120 bpm; 1 metronome marking the cueing frequencies of 35, 45, 60, 70, 80, 90, 100, 110 or 120 bpm; and 1 metronome automatically marking cueing frequencies of 70 to 110 bpm (Figure 3B). If a song is selected and played, the user can pause and end the training at any time, as well as adjust the volume of the music and/or the metronome (Figure 3C).

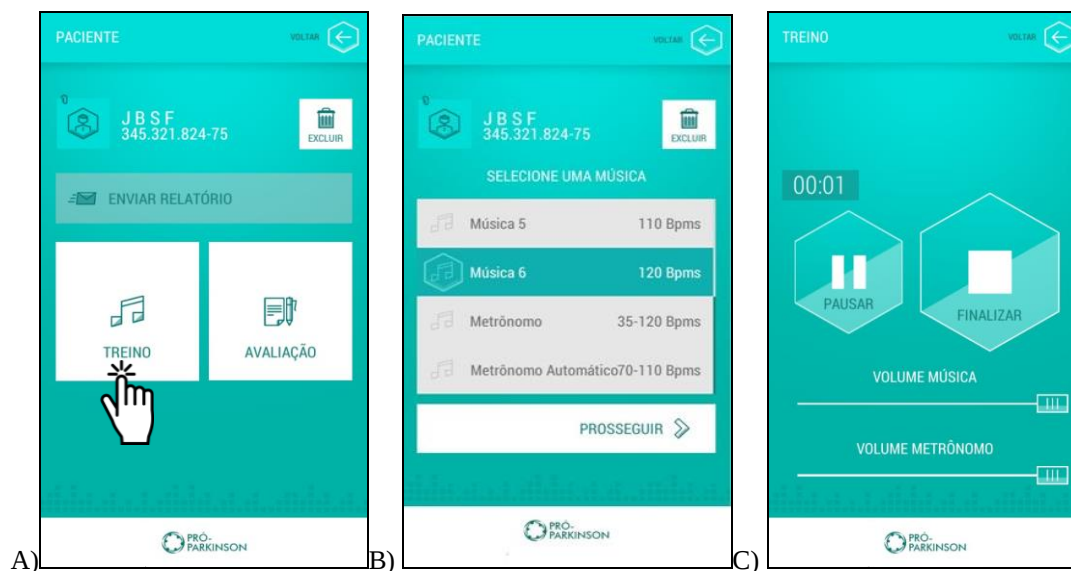


Figure 3: Screen of the ParkinSONS App with A) “Training” option; B) after selecting the “Training” option, the screen will prompt a list of 6 songs, 1 metronome option with free choice of frequency and 1 automatic metronome option; C) after selecting and starting a song, the screen will prompt the options “pause” and “end”, as well as the volume of the music and/or the metronome (Source: The author).

If the “metronome” option is selected, the user can select a cueing frequency between 35-120 bpm. This option also offers lower cadences for functional training of more complex activities/tasks and for users who, for some reason, do not want to perform the training with music (Figure 4). The user can start, pause and end training, as well as adjust the metronome volume.



Figure 4: Screen of the ParkinSONS App showing the “metronome” option (Source: The author).

As for the “automatic metronome” option, the cueing frequency cannot be chosen by the user, as it automatically oscillates between 70 and 110 bpm. It has been designed to simulate variations in gait speed, as it happens in everyday situations that require sudden adaptations in gait patterns. The therapist has the options to start, pause and end training, as well as adjust the metronome volume.

Usability evaluation of the application by physiotherapists

To assess usability, 15 physiotherapists with an average age of 34 (± 1.41) years were interviewed. They assigned varying points for the questions and the mean total score amounted to 66.16 (± 4.42) in the MATcH tool, corresponding to a “very high usability” for the ParkinSONS App. Details on the percentage of physiotherapists who answered “yes”, “no” and “not applicable” to the questions assessed in MATcH can be seen in table 1.

Table 1: Percentage (%) of physiotherapists who answered “yes” (if the question applies to the app), “no” (if the question does not apply to the app) or “not applicable” (if the application does not have the feature assessed by the question) for each item in the MATch tool (Measuring Usability of Touchscreen Phone Applications) regarding the usability of the ParkinSONS App.

MATch Domains		Percentage of Physiotherapists (n = 15) who answered “yes”, “no” and “not applicable” for each assessed item of MATch		
Heuristic 1- Visibility of system status		Yes (%)	No (%)	Not applicable (%)
1.	For each user action, does the application provide immediate and adequate feedback on its status?	66.6	0	33.3
2.	Are the selected interactive components clearly distinct from the rest?	100	0	0
3.	Are the texts about the status of the application clear and concise?	100	0	0
4.	Does it provide a status update for slower operations?	46.6	13.3	40
Heuristic 2- Match between system and the real world				
5.	Are the symbols and icons understandable and intuitive?	100	0	0
6.	Is the information arranged in a logical and natural order?	93.3	0	6.6
Heuristic 3- User control and freedom				
7.	Do the users, and not the application, start and end the tasks?	100	0	0
8.	Is it possible to identify the number of steps required to carry out a task?	73.3	20	6.6
9.	Is it possible to return to the previous screen at any time?	100	0	0
10.	In the case of applications associated with login or email accounts, does it allow easy access for more than one user?	80	0	20
11.	Can the users cancel an action in progress?	93.3	0	6.6
12.	Is the next step a clear action to perform task?	93.3	0	6.6
Heuristic 4- Consistency and standards				
13.	Do the screens with the same type of content have the same title?	73.3	13.3	13.3
14.	Do controls and buttons differ from the rest of the layout, making it clear that they are clickable?	93.3	0	6.6
15.	Does all textual information in the application use the same language?	100	0	0
16.	Are different functions presented to the user in a different manner?	86.6	13.3	0
17.	Are similar functions presented in a similar manner?	53.3	20	26.6
18.	Are controls that perform the same function in similar positions on the screen?	93.3	6.6	0
19.	Is the form of navigation consistent between screens in the application?	100	0	0
20.	Are links handled consistently between screens?	100	0	0
21.	Is the textual information presented in a standardized manner?	100	0	0
22.	Are the most important data and messages in the default position for the applications for this platform?	100	0	0
23.	Is it clear that data should be entered in input fields?	100	0	0
Heuristic 5- Recognition rather than recall				
24.	Are the words used in the texts and labels common and familiar to the user?	100	0	0
25.	Do the screen titles adequately describe their content?	100	0	0
Heuristic 6- Flexibility and efficiency of use				
26.	Does the application work correctly, without any error detection, during the interaction?	100	0	0
27.	Are the tasks relatively simple to perform?	100	0	0
28.	Are the most used functions easily accessible?	100	0	0
29.	Does the application use objects (icons) instead of buttons?	66.6	6.6	26.6

30. Do all screens keep menus and common application functions accessible?	86.6	0	13.3
Heuristic 7- Aesthetics and minimalist design			
31. Does the application show only information about the task being performed?	93.3	6.6	0
32. Are texts used only when they are really indispensable?	93.3	0	6.6
33. Is the menu esthetically simple and clear?	100	0	0
34. Does the application display a small amount of information on each screen?	100	0	0
35. Are screen/window titles and button/link labels short?	100	0	0
36. Are abbreviations avoided in the text?	73.3	0	26.6
Heuristic 8- Minimized human/device interaction			
37. Is the application navigation intuitive?	100	0	0
Heuristic 9- Physical interaction and ergonomics			
38. Do the buttons have an optimal size?	100	0	0
39. Is the main navigation in the default position for applications on this platform?	86.6	0	13.3
40. Can the buttons and controls be easily accessed with either hand?	100	0	0
41. Does the clickable area of the buttons and links occupy their entire area?	100	0	0
Heuristic 10- Legibility and layout			
42. Does the spacing between rows facilitate reading?	86.6	6.6	6.6
43. Does the font size facilitate reading?	100	0	0
44. Do the icons have enough contrast in relation to the background?	93.3	6.6	0
45. Do the texts have enough contrast in relation to the background?	93.3	6.6	0
46. Do the images have color and detail facilitate reading on a small screen?	100	0	0
47. Does the application highlight more important content, making it bigger, brighter or bold?	93.3	0	6.6
48. Does the alignment used facilitate reading?	86.6	0	13.3

Of the 15 physiotherapists interviewed, 7 offered suggestions to improve the application. The suggestions included: 1- feedback, storage of information and providing the physiotherapist with a patient's progression report (57.1%); 2- layout adjustment (28.6%); 3- a larger selection of songs (28.6%); 4- availability for iOS operating system (14.3%).

Field tests

Fifteen patients (9 men and 6 women) with PD were recruited, whose general characteristics are shown in table 2.

Table 2: Baseline characteristics of people with PD assessed by the ParkinSONS App field tests.

Variables	People with PD (n=15)
Age (average $\pm$ SD)	62 ($\pm$ 9.5) years
Stage of the disease (n)	
HY1	03
HY2	08
HY3	04
Time to diagnosis (average $\pm$ SD)	6.9 ($\pm$ 3.3) years
Baseline cadence (average $\pm$ SD)	112.6 ($\pm$ 8.3) steps/min

Note: PD= Parkinson's disease; SD= standard deviation; HY= Hoehn and Yahr scale.

People with PD completed the 10MWT in a shorter period of time using RAS with the ParkinSONS App, showing a statistically positive trend to reduce average time (Figure 5). Also, it was observed that the improvement in performance remained even after the withdrawal of the stimulus, suggesting a residual effect.

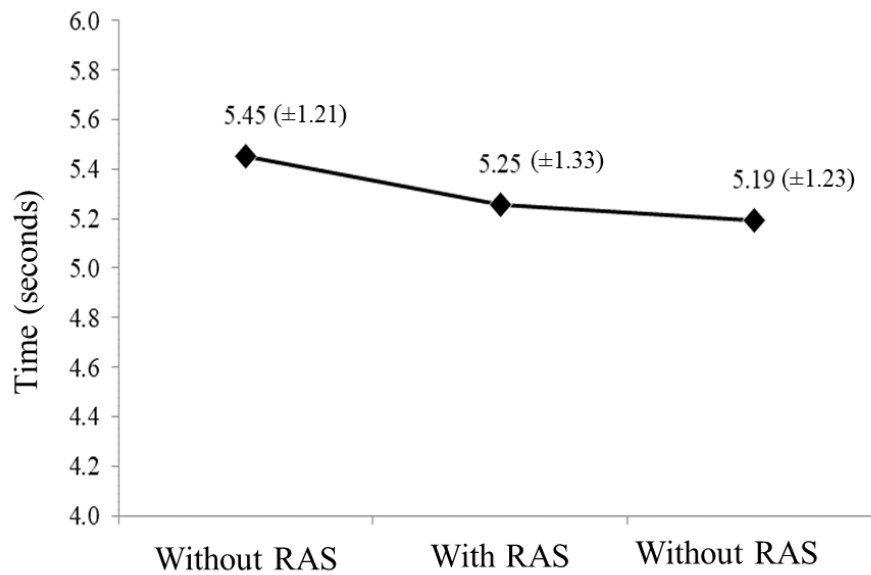


Figure 5: Immediate effects of RAS with the ParkinSONS App on the average gait time in the 10-meter walk test (10MWT) in people with Parkinson's disease. Friedman's test; $P=0.06$ for the 10MWT performed before RAS and the 10MWT performed after RAS.

The variable number of steps does not seem to be influenced by the use of RAS in the 10MWT (Figure 6), remaining constant throughout the experiment.

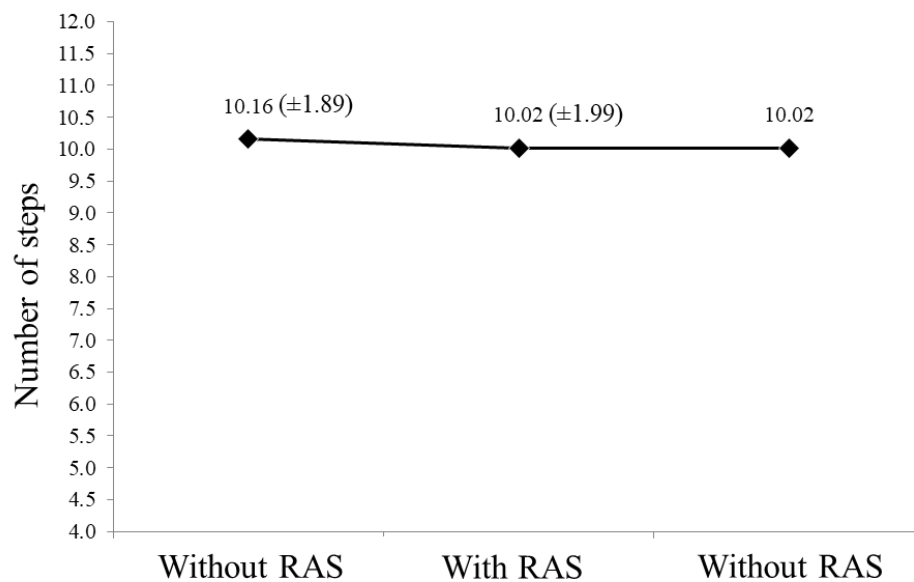


Figure 6: Immediate effects of RAS with the ParkinSONS App on the number of steps in the 10-meter walk test in people with Parkinson's disease. Friedman test, $P> 0.05$.

The cadence and speed showed a slight increase with the use of RAS in the 10MWT, maintaining a pattern of stability even after removal of ParkinSONS (Figures 7 and 8).

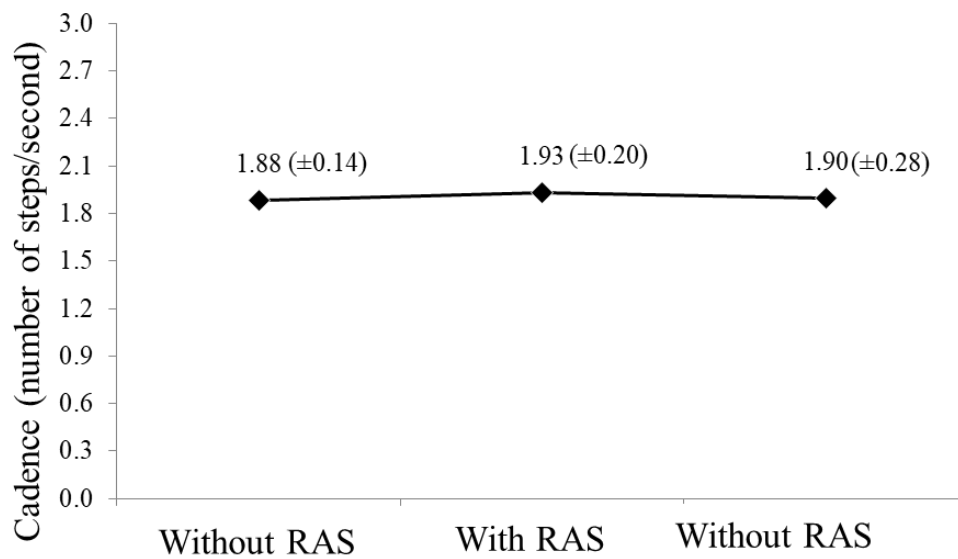


Figure 7: Immediate effects of RAS with the ParkinSONS App on cadence (number of steps/second) in the 10-meter walk test in people with Parkinson's disease. Friedman test, $P > 0.05$.

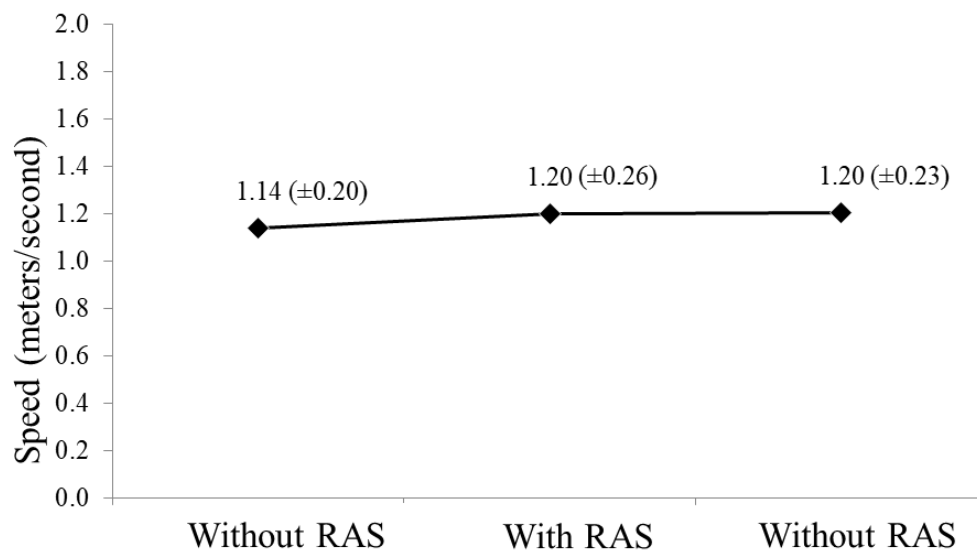


Figure 8: Immediate effects of RAS with the ParkinSONS App on speed (meters/second) in the 10-meter walk test in people with Parkinson's disease. Friedman test, $P > 0.05$.

Discussion

The ParkinSONS App

The present research introduced the development of the mobile application called “ParkinSONS”. It is a portable technology that aims to promote personalized and playful RAS during functional rehabilitation with emphasis on gait of people with PD.

Previous studies (Aholt et al., 2019; Garzo et al., 2018; Ellis et al., 2015; Lopez et al., 2014) reported the development of other technologies with RAS for personalized walking training in PD. The stimulus was given by metronome or music (Ellis et al., 2015); by metronome alone (Aholt et al., 2019); by music alone (Garzo et al., 2018); by auditory cueing, such as environmental sounds, drums, electronic sounds, voices (Lopez et al., 2014).

A differential feature of our application is the various options for the auditory stimulation: music alone, music associated with the metronome, metronome alone. In addition, all RAS options include a range of beat frequencies that were designed to suit the needs of people with PD based on the assessment and guidance of a health professional.

We believe that the ParkinSONS App stands out for offering well-thought-out songs to meet the musical taste of the average age group of the population of the country where the study was conducted. Importantly, RAS performed with familiar music seems to elicit faster walking speed and lower stride variability than with unfamiliar music. This can be explained by the fact that a less cognitive demand is required when synchronizing steps to a familiar beat (Ashoori, Eagleman & Jankovic, 2015; Leow, Rinchon & Grahn, 2015).

An additional feature of the ParkinSONS App is a metronome option that allows a choice of cueing frequency between 35-120 bpm and an automatic metronome option that oscillates automatically between 70 and 110 bpm. The latter was designed to enable lower cueing frequency for functional training of more complex activities/tasks in different areas of rehabilitation, such as in multimodal exercises (Capato et al., 2020).

The automatic metronome option, on the other hand, was designed for the simulation of gait with variations in speed (slow to fast), as it happens in everyday situations that require adaptations in gait patterns. It is well established that a quick response to a change in stimulation promotes a positive response to RAS training in PD (Bella et al., 2017). The automatic metronome option can also be used to test the patient's sensorimotor timing

abilities for RSA-related clinical decision making. This training possibility is not yet offered by existing applications on the market.

Usability

The ParkinSONS App obtained an overall score that classified it as having “very high usability”.

The items with higher scores in the MATcH tool were related to the clarity of the components, symbols, icons and messages; user control of the application; standardization of language and information; consistency of navigation, links and information; correct functioning without any error detection during the interaction; simplicity of use and functions; and interaction and ergonomics.

The major suggestions and potential improvements mentioned were related to status updates, identification of the number of steps required for a task, standardization of screen titles with the same content, and standardization of the presentation of different and similar functions.

The only study found about the usability assessment when addressing the design and development of a technological system for gait training with RAS in PD was conducted by Garzo et al. (2018). The authors consider usability assessment as an important diagnostic strategy to solve problems along the walkway. They emphasize the importance of involving stakeholders (professionals and users) from the beginning until the final evaluation of the product in order to improve it.

In our opinion, the usability step was fundamental to involve stakeholders in the project, as it signaled problems to be fixed and adjustments to be made before launching the application.

Among the suggestions given for improving the mobile application, the following points can be highlighted: feedback, information storage and a report on patient's progression for the physiotherapist, layout adjustments, a more comprehensive list of songs, and availability for iOS mobile operating system. Layout adjustments can be easily made, but the other suggestions are considered as future challenges.

Our aim is to design a system capable of integrating assessment/monitoring and treatment, of offering an interface with digital music libraries, and to make it available for iOS operating system.

Regarding the development of a ParkinSONS-integrated gait assessment/monitoring system for PD, the team has been working on a portable accelerometer system, as it is less expensive than conventional gait analysis methods (Gondim et al., 2020). This system would allow feedback, information storage and reports on the patient's progression to the physiotherapist.

Other studies (Aholt et al., 2019; Garzo et al., 2018; Ellis et al., 2015; Lopez et al., 2014) also propose the acquisition of data by means of accelerometry and the smartphone-based RAS application for people with PD. However, some aspects still need to be improved, namely, a robust precision data acquisition outside the controlled environment, system practicality, the experience of user-application interface, the offer of planned auditory stimuli, and especially a reduction of the proposed price.

Field tests

The ParkinSONS App was tested to assess the immediate effects of RAS with music associated with metronome beats on the spatiotemporal parameters of gait in people with mild to moderate PD.

It was possible to observe a statistically positive trend in the reduction of the time of gait performance with RAS. Also, this gain remained after the stimulus was removed,

suggesting a residual effect over time. These findings support the idea that RAS seems to be an especially effective technique on temporal parameters of gait in PD (Muthukrishnan et al., 2019).

In our view, this response may have been influenced by the type of auditory stimulus chosen – the use of music in the mobile application. Recent advances in neuroimaging have shown that music induces changes in the auditory-motor network that may facilitate timing and functional recovery of movements, involving emotions and activation of the brain reward system (Brancatisano, Baird & Thompson, 2020; Leuk et al., 2020; Cochen de Cock et al., 2018; Sihvonen et al., 2017).

Also, the recommended 10% accentuation in training cadence, in relation to the baseline cadence during walking, may have influenced the reduction of the time of gait performance (Ghai et al, 2018), because the selection of an adequate frequency of RAS in PD can optimize the effects on the gait pattern (Erra et al., 2019).

Training cadence has shown to be high in our sample, ranging from 100 to 120 bpm (maximum cadence offered by the application). This can be explained by the fact that our population already has a high average cadence under normal conditions, i.e., 112.6 ($\pm$ 8.3) steps/min, similar to the value of 106 ($\pm$ 2.3) steps/min found in the study conducted by Bella et al. (2017) with a similar population. However, it is important to note that our population included a small number of people aged 62 $\pm$ 9.5 years, in the early stages of the disease, participants of a multiprofessional assistance program and more physically active.

We consider that time of exposure to the stimulus may be the main reason for the insignificant impact on other investigated space-time parameters. In our research, people with PD were only exposed to the stimulus at a single moment, as the research focused on the development of a new technology with RAS and its usability. In clinical practice, we

recommend an exposure of a minimal period of 20-45 minutes per day and during at least 3–5 days a week (Ghai et al., 2018).

Additionally, even if a statistically significant response is not observed on the spatiotemporal parameters of gait, we recommend that the patient should not be discouraged to use RAS, as this stimulation may have beneficial effects beyond gait, such as increased motivation to walk (for example, using your favorite music) and improving your quality of life (Ashoori et al., 2015).

It is worth mentioning that some patients may have lost response to auditory rhythm stimulus, negatively affecting the gains expected by RAS (Bella et al., 2017). These differences in rhythmic ability may be associated with cognitive or attention demands of auditory stimuli (Ashoori et al., 2015; Leow et al., 2015). For these cases, we suggest the use of RAS with a simple isochronous beat, similar to an isochronous metronome (Koshimori & Thaut et al., 2018; Rochester et al., 2009).

Finally, given the exploratory nature of the present research, further studies should be carried out with subsequent controlled clinical trials and a representative sample in order to assess the effects of different RAS strategies offered by the technologies based on functional parameters of people with PD.

Conclusion

The ParkinSONS App stands out due to its simple and intuitive screens, a list of six Brazilian songs, one metronome option with cueing frequency selection, and one metronome that automatically oscillates the cueing frequency. It has shown "very high usability" by physiotherapists and appears to be a promising tool for gait training with RAS. In the field tests, the ParkinSONS App with RAS has proved to be successful as a potential tool in gait training in mild to moderate PD.

Our future challenge is to design a system capable of integrating assessment/monitoring and treatment, of offering an interface with digital music libraries, and to make it available for iOS operating system.

Studies on the development of mobile applications with RAS should be conducted in different populations to assess the effects of their use on functional parameters.

Acknowledgements

Not applicable.

References

- Aholt K, Eskofier BM, Martindale CF, et al. A Mobile Solution for Rhythmic Auditory Stimulation Gait Training. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2019;309-312. doi: 10.1109/EMBC.2019.8857143.
- Armstrong MJ, Okun MS. Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review. *JAMA.* 2020;323(6):548–560. doi:10.1001/jama.2019.22360.
- Ashoori A, Eagleman DM, Jankovic J. (2015). Effects of Auditory Rhythm and Music on Gait Disturbances in Parkinson's Disease. *Frontiers in neurology.* 2015; 6:234. doi: 10.3389/fneur.2015.00234.
- Beck AT, Ward CH, Mendelson M, Mock J, Erbaugh J. An inventory for measuring depression. *Archives of general psychiatry.* 1961;4:561-571. doi: 10.1001/archpsyc.1961.01710120031004.
- Bella SD, Benoit CE, Farrugia N, Keller PE, et al. Gait improvement via rhythmic stimulation in Parkinson's disease is linked to rhythmic skills. *Sci Rep.* 2017;7:42005. doi: 10.1038/srep42005.
- Bella SD, Dotov D, Bardy B, de Cock VC. Individualization of music-based rhythmic auditory cueing in Parkinson's disease. *Ann N Y Acad Sci.* 2018. doi: 10.1111/nyas.13859.

- Brancatisano O, Baird A, Thompson WF. Why is music therapeutic for neurological disorders? The Therapeutic Music Capacities Model. *Neurosci Biobehav Rev.* 2020;112:600-615. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.02.008.
- Capato TTC, de Vries NM, IntHout J, Barbosa ER, Nonnekes J, Bloem BR. Multimodal Balance Training Supported by Rhythmical Auditory Stimuli in Parkinson's Disease: A Randomized Clinical Trial. *J Parkinsons Dis.* 2020;10(1):333-346. doi: 10.3233/JPD-191752.
- Cochen De Cock V, Dotov DG, Ihalaenen P, et al. Rhythmic abilities and musical training in Parkinson's disease: do they help? *npj Parkinson's Disease.* 2018; 4:8. doi: 10.1038/s41531-018-0043-7.
- Ellis RJ, Ng YS, Zhu S, et al. A Validated Smartphone-Based Assessment of Gait and Gait Variability in Parkinson's Disease. *PLoS One.* 2015;10(10):e0141694. doi: 10.1371/journal.pone.0141694.
- Erra C, Mileti I, Germanotta M, et al. Immediate effects of rhythmic auditory stimulation on gait kinematics in Parkinson's disease ON/OFF medication. *Clin Neurophysiol.* 2019;130(10):1789-1797. doi: 10.1016/j.clinph.2019.07.013.
- Feijó, VC, Gonçalves BS, Gomez LSR. Heurística para Avaliação de Usabilidade em Interfaces de Aplicativos Smartphones: Utilidade, Produtividade e Imersão. *Design & Tecnologia.* 2013. doi: 10.23972/det2013iss06pp33-42.
- Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. Mini Mental State. A practical method for rating the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric ResRASch.* 1975;12(3):189-198. doi: 10.1016 / 0022-3956 (75) 90026-6.
- Garzo A, Silva PA, Garay-Vitoria N, et al. Design and development of a gait training system for Parkinson's disease. *PLoS One.* 2018;13(11):e0207136. doi: 10.1371/journal.pone.0207136.

- Ghai S, Ghai I, Schmitz G, Effenberg AO. Effect of rhythmic auditory cueing on parkinsonian gait: A systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2018;8(1):506. doi: 10.1038/s41598-017-16232-5.
- Gondim ITGO, de Souza CCB, Rodrigues MAB, Azevedo IM, Coriolano MGWS, Lins OG. Portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease: an integrative review. *Arch Gerontol Geriatr*. 2020;90:104097. doi: 10.1016/j.archger.2020.104097.
- Hoehn MM, Yahr MD. Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*. 1967; 17(5):427-42. doi: 10.1212/wnl.17.5.427.
- Hove MJ, Keller PE. Impaired movement timing in neurological disorders: rehabilitation and treatment strategies. *Ann NY Acad Sci*. 2015;1337(1):111-7. doi: 10.1111/nyas.12615.
- Koshimori Y, Thaut MH. Future perspectives on neural mechanisms underlying rhythm and music based neurorehabilitation in Parkinson's disease. *Ageing Res Rev*. 2018;47:133-139. doi: 10.1016/j.arr.2018.07.001.
- Leow LA, Rinchon C, Grahn J. Familiarity with music increases walking speed in rhythmic auditory cuing. *Ann N Y Acad Sci*. 2015;1337:53-61. doi: 10.1111/nyas.12658. Erratum in: *Ann N Y Acad Sci*. 2016;1363(1):177. PMID: 25773617.
- Leuk J, Low L, Teo WP. (2020). An Overview of Acoustic-Based Interventions to Improve Motor Symptoms in Parkinson's Disease. *Frontiers in aging neuroscience*, 2020;12: 243. doi: 10.3389/fnagi.2020.00243.
- Lopez WO, Higuera CA, Fonoff ET, Souza Cde O, Albicker U, Martinez JA. Listenmee and Listenmee smartphone application: synchronizing walking to rhythmic auditory cues to improve gait in Parkinson's disease. *Hum Mov Sci*. 2014;37:147-56. doi: 10.1016/j.humov.2014.08.001.

Ministério da Saúde do Brasil. Secretaria de atenção à saúde. Portaria conjunta nº 10, de 31 de outubro de 2017.

Moon Y, Sung J, An R, Hernandez ME, Sosnoff JJ. Gait variability in people with neurological disorders: A systematic review and meta-analysis. *Hum Mov Sci.* 2016; 47: 197-208. doi: 10.1016 / j.humov.2016.03.010.

Muthukrishnan N, Abbas JJ, Shill HA, Krishnamurthi N. Cueing Paradigms to Improve Gait and Posture in Parkinson's Disease: A Narrative Review. *Sensors (Basel).* 2019;19(24):5468. doi: 10.3390/s19245468.

Preece J, Rogers Y, Sharp H. Design de Interação: além da interação homem-computador. Tradução: Viviane Possamai – Porto Alegre: Bookman, 2005. 548 p.

Rochester L, Burn DJ, Woods G, Godwin J, Nieuwboer A. Does auditory rhythmical cueing improve gait in people with Parkinson's disease and cognitive impairment? A feasibility study. *Movement. Disorders.* 2009;24, 839–845. doi: 10.1002/mds.22400.

Sihvonen AJ, Särkämö T, Leo V, Tervaniemi M, Altenmüller E, Soinila S. Music-based interventions in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol.* 2017;16(8):648-660. doi: 10.1016/S1474-4422(17)30168-0.

Vila MH, Pérez R, Mollinedo I, Cancela JM. Analysis of Gait for Disease Stage in Patients with Parkinson's Disease. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(2):720. doi: 10.3390/ijerph18020720.

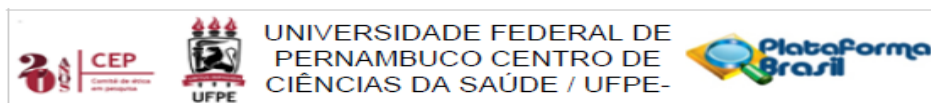
Watson MJ. Refining the ten-metre walking test for use with neurologically impaired people. *Physiotherapy.* 2002;88:386-397. doi: 10.1016/S0031-9406(05)61264-3.

Wilson J, Alcock L, Yarnall AJ, et al. Gait Progression Over 6 Years in Parkinson's Disease: Effects of Age, Medication, and Pathology. *Frontiers in aging neuroscience.* 2020; 12:577435. doi: 10.3389/fnagi.2020.577435.

Zampier VC, Vitório R, Beretta VS, et al. Gait bradykinesia and hypometria decrease as arm swing frequency and amplitude increase. *Neurosci Lett*. 2018;687:248-252. doi: 10.1016/j.neulet.2018.09.051.

Zanardi APJ, da Silva ES, Costa RR, et al. Gait parameters of Parkinson's disease compared with healthy controls: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2021;11(1):752. doi: 10.1038/s41598-020-80768-2.

ANEXO A- CARTA DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INTERFACE COMPUTADORIZADA INTEGRADO A ESTIMULAÇÃO AUDITIVA RÍTMICA PARA MONITORAMENTO E TREINAMENTO DA MARCHA NA DOENÇA DE PARKINSON

Pesquisador: Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 81445817.0.0000.5208

Instituição Proponente: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

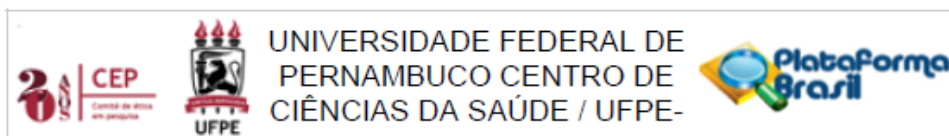
DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.532.257

Apresentação do Projeto:

Apresenta-se como projeto de inovação tecnológica na saúde que objetiva desenvolver um sistema de interface computadorizada integrado a estimulação auditiva rítmica (EAR) para avaliação, monitoramento e treinamento da marcha na doença de Parkinson (DP). Diante da alteração e variabilidade da marcha na doença de Parkinson (DP) que promove dificuldade em coordenar, temporalizar movimentos, programar uma ação, mobilidade, perda da independência e aumento do risco de quedas.

Será conduzido em duas etapas: 1- desenvolvimento de dispositivo; 2- teste clínico.



Continuação do Parecer: 2.532.257

Declaração de Pesquisadores	declaracao.jpg	20/12/2017 12:21:29	Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRostoAssinada.pdf	20/12/2017 11:48:09	Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 08 de Março de 2018

Assinado por:
LUCIANO TAVARES MONTENEGRO
(Coordenador)



ANEXO B- TESTE DE CAMINHADA DE 10 METROS

TESTE DE CAMINHADA DE 10 METROS

Nome: _____ Data da avaliação: _____

Informações gerais:

- Paciente caminha sem assistência em um trecho de 10 metros. O tempo e o número de passos são medidos nos 6 metros intermediários. Os dois metros nas extremidades serão para permitir a aceleração e desaceleração
 - A cronometragem e a contagem de passos (após filmagem) são iniciadas quando um dos hálux do paciente cruza a marca dos dois metros iniciais
 - A cronometragem e a contagem dos passos (após filmagem) são cessadas quando um dos hálux do paciente cruza a marca dos 8 metros
- O indivíduo será instruído a caminhar em sua velocidade normal, a do seu cotidiano.
- A cadência é calculada em passos por minuto. A velocidade é calculada em metros por minuto
- O resultado final é dado pela média de três testes



Comando a ser dado ao paciente:

- Eu direi “um, dois, três e já”. Quando eu disser “já”, caminhe normal e confortavelmente até eu disser “pare” na linha dos 10 metros.

Coleta do paciente:

Tempo e número de passos

Tempo do teste 1 _____

Número de passos do teste 1 _____

Tempo do teste 2 _____

Número de passos do teste 2 _____

Tempo do teste 3 _____

Número de passos do teste 3 _____

Velocidade¹ e cadência²

Velocidade do teste 1 _____

Cadência do teste 1 _____

Velocidade do teste 2 _____

Cadência do teste 2 _____

Velocidade do teste 3 _____

Cadência do teste 3 _____

Média das 3 velocidades _____

Média das 3 cadências _____

Observações quanto ao calçado: () Tipo havaianas () Tênis

() Sandália com salto de até 2 cm () Sandália salto > 2 cm () Calçado que prende no tornozelo sem salto

() Calçado que prende no tornozelo com salto de até 2 cm () Calçado que prende no tornozelo salto > 2 cm

Assinatura dos avaliadores

ANEXO C- CERTIFICADO DE REGISTRO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR




REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: BR512020001451-8

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 04/06/2018, em conformidade com o 52º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Estimulação Auditiva Rítmica

Data de criação: 04/06/2018

Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Autor(es): MARIA DAS GRAÇAS WANDERLEY DE SALES CORIOLANO; ITHANA THAÍS GUERRA DE OLIVEIRA GONDIM; IZAUARA MUNIZ AZEVEDO; NADJA MARIA JORGE ASANO; ANDRE GUESCEL C ASANO; OTÁVIO GOMES LINS; CARLA CABRAL DOS SANTOS ACCIOLY LINS

Linguagem: C#

Campo de aplicação: SD-06

Tipo de programa: AP-01

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:
c155751e64001025f0c114a0c0c45a2e9a8d7c7a9148586d0fbc0e500f8433ec6a89e4337ecc57cea1b92a89d54dbba96
96095ba20930e65807ba396dc501

Expedido em: 04/08/2020

Aprovado por:
Helmar Alvares

Chefe da DIPTO - Portaria/INPI/DIRPA Nº 09, de 01 de julho de 2019

ANEXO D- MATCH (MEASURING USABILITY OF TOUCHSCREEN PHONE APPLICATIONS)



MATcH

Checklist para Avaliação da Usabilidade de Aplicativos para Celulares Touchscreen

Nome do profissional avaliador: _____ Idade: _____

E-mail do avaliador: _____

Data da avaliação: _____

Aplicativo: _____
 Modelo do celular: _____
 Versão: _____
 Plataforma: () Android () iOS () Outro

Você deve assinalar Sim (se o aplicativo atende a questão), Não (se não atende a questão) ou Não se aplica (se não abrange o item avaliado pela questão).

Heurística 1: Visibilidade do status do sistema

1. Para cada ação do usuário o aplicativo oferece feedback imediato e adequado sobre seu status?
Por exemplo, após tarefas como envio de e-mail, adição, exclusão e carregamento de arquivo, exibir uma mensagem de confirmação do tipo "e-mail enviado" ou "arquivo excluído".
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA
2. Os componentes interativos selecionados são claramente distintos dos demais?
Por exemplo, o estado de botões muda quando são pressionados e destaca a aba do menu que está sendo visualizada
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA
3. As mensagens sobre o status do aplicativo possuem uma linguagem clara e concisa?
Por exemplo, os títulos das telas e das mensagens de erro são de fácil compreensão.
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA
4. Fornece um update do status para operações mais lentas?
Por exemplo, uma indicação seja na forma de ícone ou texto sobre o progresso do carregamento do sistema ou de um arquivo.
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 2: Correspondência entre o sistema e o mundo real

5. O significado de símbolos e ícones são compreensíveis e intuitivos?
Utilizar ícones e símbolos fáceis de reconhecer e relacionar com a tarefa a qual estão associados.
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA
6. As informações são dispostas em uma ordem lógica e natural?
Por exemplo, itens em listas de seleção (nomes, produtos, etc.) são ordenados por um critério adequado (p.ex. alfabeticamente).
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 3: Controle e liberdade do usuário

7. É o usuário quem inicia e encerra tarefas e não o aplicativo?
Por exemplo, aguardar o usuário teclar enter após preencher o campo de busca para iniciar a tarefa.
 () SIM () NÃO () NÃO SE APLICA
8. É possível identificar o número de passos necessários para a realização de uma tarefa?
Por exemplo, a partir de uma indicação numérica (1-5) da quantidade de páginas ou passos, da apresentação de um tutorial ou da divisão da tarefa em abas.
 () SIM () NÃO (X) NÃO SE APLICA

9. É possível retornar a tela anterior a qualquer momento?

Seja a partir da navegação por abas, de um botão voltar do aplicativo ou do próprio celular.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

10. No caso de aplicativos associados a login ou contas de e-mail, permite o fácil acesso de mais de um usuário?
Por exemplo, um aplicativo de comércio eletrônico permitir a fácil escolha de qual conta utilizar para realizar a compra.

() SIM () NÃO (X) NÃO SE APLICA

11. O usuário pode cancelar uma ação em progresso?

Por exemplo, cancelar um download em andamento.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

12. O aplicativo deixa claro qual o próximo passo para realizar a tarefa?

Como a partir de um botão para avançar ou nota de explicação.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 4: Consistência e padrões

13. As telas com o mesmo tipo de conteúdo possuem o mesmo título?

Por exemplo, todas as telas de busca possuem o mesmo título.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

14. Controles e botões se distinguem do restante do *layout*, deixando evidente que são clicáveis?

Por exemplo, diferenciar os botões aplicando sombra ou outro recurso para simular relevo.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

15. Todas as informações textuais do aplicativo utilizam o mesmo idioma?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

16. Funções diferentes são apresentadas de maneira distinta ao usuário?

Por exemplo, funções diferentes como salvar e cancelar não são representadas pelo mesmo nome ou ícone.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

17. Funções semelhantes são apresentadas de forma similar?

Por exemplo, usa o mesmo ícone ou rótulo de botão para a mesma funcionalidade em telas diferentes ou propõe a mesma forma de entrada de dados para uma mesma funcionalidade em diferentes telas.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

18. Controles que realizam a mesma função ficam em posições semelhantes na tela?

Por exemplo, se em uma tela o botão para avançar fica no lado direito, nas outras telas esse mesmo botão também estará no lado direito.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

19. A forma de navegação é consistente entre as telas no aplicativo?

Mantêm o mesmo tipo de navegação (rolagem vertical, rolagem horizontal, menus ou abas) em todas as telas.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

20. Os links são tratados de forma consistente entre as telas?

Mantêm o mesmo tratamento visual em termos de cor, tipo e estilo (p.ex. negrito, sublinhado) de fonte.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

21. As informações textuais são apresentadas de forma padronizada?

Apresenta informações textuais semelhantes na mesma disposição e com o mesmo tratamento visual (tamanho, tipo e cor da fonte).

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

22. Os dados e mensagens mais importantes encontram-se na posição padrão dos aplicativos para esta plataforma?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

23. Em campos onde existe a necessidade de inserção de dados isso é evidente?

Por exemplo, ter uma caixa de texto com cursor.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 5: Reconhecimento em vez de lembrança

24. O aplicativo utiliza em seus textos e rótulos, uma linguagem habitual e conhecida pelo usuário do aplicativo?

Evitando termos técnicos ou muito específicos de determinada área.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

25. Os títulos das telas descrevem adequadamente seu conteúdo?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 6: Flexibilidade e eficiência de uso

26. O aplicativo funciona corretamente, sem apresentar problemas durante a interação? *Por exemplo, não trava e botões funcionam no primeiro clique.*

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

27. As tarefas são relativamente simples de serem executadas?

Por exemplo, uma tarefa pode ser completa em poucos passos.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

28. As funções mais utilizadas são facilmente acessadas?

As funções mais utilizadas devem ser acessadas sem precisar rolar ou navegar entre muitas telas.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

29. O aplicativo utiliza objetos (ícones) em vez de botões?

Por exemplo, utilizar um ícone de impressora em vez de utilizar a palavra impressora.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

30. Todas as telas mantêm acessíveis menus e funções comuns do aplicativo?

Por exemplo, em aplicativos de conta de e-mail a caixa de entrada é acessível a partir de todas as telas do aplicativo.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 7: Estética e design minimalista

31. São exibidas apenas informações relacionadas a tarefa que está sendo realizada?

Por exemplo, na tela de cadastro, outras informações não devem ser exibidas.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

32. São usados textos somente quando estes são realmente indispensáveis?

Por exemplo, não oferecer instruções textuais muito longas.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

33. O menu é esteticamente simples e claro?

Com opções fáceis de encontrar, dispostas em uma ordem lógica e com títulos curtos.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

34. O aplicativo exibe quantidades pequenas de informações em cada tela?

Sem texto ou imagens em excesso.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

35. Os títulos de telas/janelas e rótulos de botões/links são curtos?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

36. Em textos, o uso de abreviaturas é evitado?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 8: Pouca interação homem/dispositivo

37. A navegação do aplicativo é intuitiva?

Por exemplo, é fácil chegar à tela desejada.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 9: Interação física e ergonomia

38. Possui botões com tamanho adequado ao clique?

Por exemplo, evitando botões muito pequenos causando a seleção da opção errada.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

39. A navegação principal encontra-se na posição padrão dos aplicativos para esta plataforma?

Por exemplo, o menu na barra inferior para o iOS e superior para o Android.

() SIM () NÃO (X) NÃO SE APLICA

40. Os botões e controles podem ser facilmente acessados com qualquer uma das mãos?

Especialmente no caso de botões que serão utilizados repetidamente para avançar ou confirmar ações.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

41. A área clicável dos botões e links ocupa toda a dimensão dos mesmos?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

Heurística 10: Legibilidade e layout

42. O espaçamento entre linhas utilizado favorece a leitura?

Nem muito grande, para não aumentar desnecessariamente a rolagem, e nem muito pequeno dificultando a leitura.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

43. As fontes utilizadas favorecem a leitura?

Em termo de tamanho, tipo e estilo.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

44. Os ícones possuem contraste suficiente em relação ao plano de fundo?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

45. Os textos tem contraste suficiente em relação ao plano de fundo?

Por exemplo, evitando texto cinza claro em um fundo branco.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

46. As imagens possuem cor e detalhamento favoráveis a leitura em uma tela pequena?

A resolução deve permitir a fácil identificação dos elementos da imagem e os ícones não devem ter muitos detalhes usando uma representação mais abstrata.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

47. O aplicativo realça conteúdos mais importantes, deixando-os maiores, mais brilhosos ou em negrito?

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

48. O alinhamento utilizado favorece a leitura?

Por exemplo, dando preferência para alinhamento justificado ou esquerdo para texto corrido.

() SIM () NÃO () NÃO SE APLICA

TOTAL: _____ PONTOS

() Usabilidade muito baixa (Até 30)

() Usabilidade baixa (>30-40)

() Usabilidade razoável (>40-50)

() Usabilidade alta (>50-60)

() Usabilidade muito alta (>60)

ANEXO E- CARTA DE SUBMISSÃO DO ARTIGO ORIGINAL

Editor handles AGG-D-21-00218

Archives of Gerontology and Geriatrics <em@editorialmanager.com>

Sáb, 27/02/2021 10:48

Para: Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim <ihanafisio@hotmail.com>

Ms. Ref. No.: AGG-D-21-00218

Title: Development of a mobile application with rhythmic auditory stimulation for gait rehabilitation of in Parkinson's disease.

Archives of Gerontology and Geriatrics

Dear Prof Ihana Thaís Guerra de Oliveira Gondim,

Your submission "Development of a mobile application with rhythmic auditory stimulation for gait rehabilitation of in Parkinson's disease." will be handled by Editor Richard W Bohannon, PT, EdD, DPT.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Editorial Manager as an author.

Enter these login details:

Your username is: ihana

If you need to retrieve password details, please go to: Can't remember your password?

To reset your password please try to sign in and click 'continue'. On the next screen click the 'forgot password' link and follow the steps to reset your password.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Editorial Manager

Archives of Gerontology and Geriatrics

For further assistance, please visit our customer support site at

<http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EM via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.