

FACULDADE SETE LAGOAS – FACSETE

MARCELA EMANUÈLLE DE SÁ MENEZES

**SENSORES INERCIAIS E O USO DA TECNOLOGIA PARA AVALIAÇÃO
CINEMÁTICA DO MOVIMENTO HUMANO**

Sete Lagoas/MG
2022

MARCELA EMANUÈLLE DE SÁ MENEZES

**SENSORES INERCIAIS E O USO DA TECNOLOGIA PARA AVALIAÇÃO
CINEMÁTICA DO MOVIMENTO HUMANO**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para conclusão do curso de graduação em Fisioterapia da Faculdade Sete Lagoas – FACSETE.

Orientador: Dr. Guilherme Augusto Santos Araujo

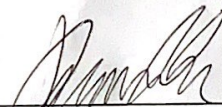
Coorientador: Dr. Ricardo de Souza Ribeiro

Marcela Emanuëlle de Sá Menezes

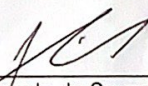
SENSORES INERCIAIS E O USO DA TECNOLOGIA PARA AVALIAÇÃO CINEMÁTICA DO MOVIMENTO HUMANO

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o presente trabalho de conclusão de curso como parte dos requisitos para conclusão do curso de Graduação em Fisioterapia da Faculdade Sete Lagoas – FACSETE.

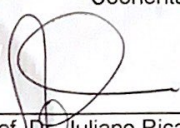
Aprovada em 23 de novembro de 2022.



Prof. Dr. Guilherme Augusto Santos Araújo
Faculdade Sete Lagoas – FACSETE
Orientador



Prof. Dr. Ricardo de Souza Ribeiro
Faculdade Sete Lagoas – FACSETE
Coorientador



Prof. Dr. Juliano Ricardo Silva Costa
Faculdade Sete Lagoas – FACSETE
Avaliador

Sete Lagoas, 23 de novembro de 2022.

Não posso deixar de dedicar essa última etapa da graduação para as pessoas que estão diariamente ao meu lado, me apoiando e não me deixando desistir. Em especial minha avó Hortência, que se eu estou aqui hoje concluindo o último trabalho da graduação é por ela e minha mãe Cristiane, que no início do curso não me deixou desistir. Sem vocês, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

“Deus não une pessoas, une propósitos” e eu acredito fielmente nisso. Todo mundo que passa nas nossas vidas nos deixa um aprendizado e nessa trajetória de 4 anos e meio, muitas pessoas passaram na minha vida. Eu agradeço a cada uma delas, pois por mais árdua que a caminhada está sendo eu estou alcançando meu propósito de vida, ajudar pessoas. Muito obrigada a todos meus mestres pelo conhecimento e em especial ao Dr. Guilherme Augusto, que me acompanhou por quase todos os períodos da faculdade e contribuiu grandemente para a minha formação profissional, com ele eu amplifiquei meu horizonte de conhecimento e apaixonei ainda mais pelo mundo tecnológico. Por fim, agradeço ao Dr. Ricardo de Souza pela grande contribuição na produção desse trabalho, sempre estando disponível para esclarecer minhas dúvidas e ao Dr. Matheus Hissa, que colaborou para o desenvolvimento do primeiro esboço do meu trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

A cinemática é um ramo da mecânica que estuda o movimento dos corpos sem levar em consideração as forças responsáveis por sua ocorrência. O uso da tecnologia como os sensores inerciais está cada vez mais ganhando espaço na área da saúde e na avaliação da cinemática humana. O presente estudo tem por objetivo abordar a utilização dos sensores inerciais na análise cinemática do movimento humano. Como metodologia foram utilizados os bancos de dados PUBMED, LILACS E PEDro como fonte de pesquisa, com publicações entre 2012 até outubro de 2022, quando foi finalizado essa revisão. Foram analisados criticamente 25 artigos encontrados nos bancos de dados e 13 foram utilizados para a construção dessa revisão de literatura, após passar pelos critérios de exclusão e inclusão. Tem por resultado que o uso das unidades de medidas inerciais (IMU's) estão cada vez mais ganhando espaço nas avaliações da cinemática humana. O uso da tecnologia apresenta vários pontos positivos para quem aplica e para que é avaliado, trazendo segurança e eficácia aos atendimentos.

Palavras-chave: Unidade de medida inercial. Movimento. Cinemática.

ABSTRACT

Kinematics is a branch of mechanics that studies the motion of bodies without taking into account the forces responsible for their occurrence. The use of technology such as inertial sensors is increasingly gaining ground in healthcare and in the evaluation of human kinematics. The present study aims to address the use of inertial sensors in the kinematic analysis of human movement. As a methodology, the PUBMED, LILACS and PEDro databases were used as a research source, with publications between 2012 and October 2022, when this review was completed. 25 articles found in the database were critically analyzed and 13 were used for the construction of this literature review, after passing through the exclusion and inclusion criteria. As a result, the use of inertial measurement units (IMU's) is increasingly gaining ground in human kinematics evaluations. The use of technology has several positive points for those who apply it and for what it is evaluated for, bringing safety and effectiveness to care.

Keywords: Inertial measurement unit. Movement. Kinematics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1- Indicar criteriosamente as principais etapas para o desenvolvimento do projeto.....	13
Fluxograma 1- Seleção dos artigos e seus respectivos bancos de dados eletrônicos.....	14
Tabela 1- Caracterização dos achados que foram incluídos na presente revisão de literatura	15

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- MENS** - Dispositivos microeletromecânicos
- PUBMED** - National Library of Medicine
- LILACS** - Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde
- PEDro** - Physiotherapy Evidence Database
- IMU** - Unidade de medida inercial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. OBJETIVO GERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. METODOLOGIA	12
3.1.ESCOLHA DA FONTE DE DADOS	12
3.2.ELEIÇÃO DOS TIPOS DE PUBLICAÇÕES E PERÍODOS DE PUBLICAÇÕES .	12
3.3 ELEIÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE PARA BUSCA DAS PUBLICAÇÕES	12
3.4 SELEÇÃO DE PUBLICAÇÕES DE ACORDO COM CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	12
3.5 EXTRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DAS PUBLICAÇÕES.....	13
3.6 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	13
4. RESULTADOS.....	14
5. DISCUSSÃO	20
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS.....	23

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A cinemática é um ramo da mecânica que estuda o movimento dos corpos sem levar em consideração as forças responsáveis por sua ocorrência (OATIS et al., 2009, p.17). E para dizer que um corpo está em movimento, é necessário a descrição cinemática de variáveis como a posição, o deslocamento, a velocidade e a aceleração (OATIS et al., 2009, p.18). Uma das formas de avaliar o movimento é através da observação, no entanto, existem recursos tecnológicos capazes de investigar com maior precisão os movimentos realizados por seres humanos, proporcionando dados qualitativos e quantitativos (VITAL et al., 2015). Essas inovações tecnológicas, como os sensores inerciais, trazem cada vez mais segurança e precisão aos atendimentos (BAYRAMZDEH; AGHAEI; 2021).

A partir da referência de no mínimo dois pontos, o sensor inercial é capaz de captar informação relativa ao movimento executado através de uma rede sem fios, ajudando não só nas avaliações, como também no tratamento de pacientes, em alguns casos funcionando como um instrumento de biofeedback enquanto é realizado o movimento (LIN et al., 2018). Sensores inerciais, em sua grande maioria, são fundamentados na primeira lei de Newton de 1687, a inercia: “Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele” (SANTANA et al., 2004).

Quando aplicados à área da saúde, os sensores inerciais tem como objetivo, trazer informação robusta sobre o movimento, esclarecendo possíveis alterações ou mesmo informando à respeito da performance do individuo avaliado. Eles são dispositivos microeletromecânicos (MENS), que monitoram variações de posição, velocidade e aceleração, direta ou indireta, linear ou angular (KEMPE, V. 2011). Existem vários tipos de sensores inerciais, mas para avaliação do movimento humano podem ser destacados os acelerômetros e os giroscópios, o primeiro é capaz aferir a aceleração linear na direção de um eixo referencial e o segundo medir a velocidade angular em torno de um eixo de referência (SANTANA et al., 2004).

Além da variedade dos tipos de sensores, existem também diferentes modelos e formatos para esses MENS. Os mais utilizados para as avaliações dos movimentos

humanos são vestíveis, podendo possuir faixas elásticas onde são acoplados os aparelhos, visando conforto e melhor aderência ao corpo. É importante destacar que são aparelhos que estão se popularizando no mercado para esta finalidade. Essa revisão de literatura, tem por objetivo investigar o uso dos sensores inerciais para avaliação dos movimentos humanos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Investigar na literatura a utilização dos sensores inerciais na análise cinemática do movimento humano.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar levantamento a respeito das inovações tecnológicas na análise do movimento humano “;”
- Investigar o uso dos sensores inerciais para a análise dos movimentos humanos “;”
- Identificar os benefícios do uso de sensores inerciais por parte dos profissionais e pacientes “;”
- Analisar criticamente as evidências relacionadas ao uso dos sensores inerciais para análise dos movimentos humanos “;”
- Identificar as especialidades da fisioterapia que estão usando os sensores inerciais para avaliações dos movimentos humanos “.”

3. METODOLOGIA

Revisão de literatura com análise crítica sobre a utilização dos sensores inercias para avaliação do movimento humano em três bases de dados.

3.1 ESCOLHA DA FONTE DE DADOS

Foram utilizadas como fonte de dados para este estudo as bases de buscas eletrônicas da National Library of Medicine (PUBMED), a Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e a Physiotherapy Evidence Database (PEDro). As escolhas dos bancos de dados foram feitas uma vez que envolvem um amplo volume de publicações científicas especializadas na área da saúde.

3.2 ELEIÇÃO DOS TIPOS DE PUBLICAÇÕES E PERÍODOS DE PUBLICAÇÕES

Nas bases de dados citadas acima foram selecionados artigos de revisão sistemática, meta-análise e ensaios clínicos. Para garantir uma busca atualizada foram selecionadas as publicações datadas de 2012 até outubro de 2022.

3.3 ELEIÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE PARA BUSCA DAS PUBLICAÇÕES

Para uma busca padrão e ter acesso as publicações que correspondam aos objetivos dessa revisão, foram determinadas três palavras chaves, na língua inglesa, foram elas (“inertial unit of measurer”, “movement” e “kinematics”) respectivamente, sendo entremeados estrategicamente o operador lógico booleano “AND”.

3.4 SELEÇÃO DE PUBLICAÇÕES DE ACORDO COM CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Após concluída a busca das publicações, aquelas percebidas duplicadas foram descartadas. As publicações resultantes, foram analisadas e logo após foram avaliadas quanto os critérios de exclusão e inclusão apresentados a seguir, as que não obedeceram aos critérios foram excluídas. **Critérios de inclusão:** publicações datadas de 2012 a 2022; publicações de tipologia revisão de literatura, meta análise e ensaio clínico. **Critérios de exclusão:** publicações que não abordam o tema; publicações redigidas em idiomas que não sejam o idioma português ou inglês; artigos de pesquisa original que não tenham informação sobre a autorização da pesquisa em comitê de ética; estudos que não apresenta um segmento corporal específico.

3.5 EXTRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DAS PUBLICAÇÕES

Para auxiliar a extração de dados das publicações, algumas categorias de análise foram definidas com base nos objetivos deste projeto de pesquisa. Estas informações constituem, portanto, os elementos necessários à construção da revisão de literatura obedecendo, nesta ordem os seguintes critérios da categoria: a) autor e ano da publicação b) objetivo do estudo c) segmento corporal analisado; d) especialidade contemplada pela publicação.

3.6 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Quadro 1- Indicar criteriosamente as principais etapas para o desenvolvimento do projeto.

CALENDÁRIO ANO: 2022

Atividade	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Busca de evidências sobre as informações e escrita da introdução					
Produção do objetivo e metodologia do estudo					
Busca e extração das publicações nos bancos de dados					
Análise crítica dos dados obtidos das publicações extraídas					
Apresentação e defesa					

4. RESULTADOS

Foram selecionados um total de 25 publicações nas bases de dados eletrônicas PubMed (N=24), LILACS (N=1) e PEDro (N=0). Destas, 13 publicações foram incluídas no presente estudo para a amostra final desta revisão. O **Fluxograma 1** apresenta todo o percurso trilhado desde a seleção das publicações nos bancos de dados até a extração das publicações finais, incluindo a pesquisa inicial até a sua fase final de seleção. A **Tabela 1** apresenta a caracterização dos achados que foram incluídas na presente revisão de literatura, levando em consideração: a) autor e ano da publicação; b) objetivo do estudo; c) segmento corporal analisado; d) especialidade contemplada pela publicação.

Fluxograma 1- Seleção dos artigos e seus respectivos bancos de dados eletrônicos.

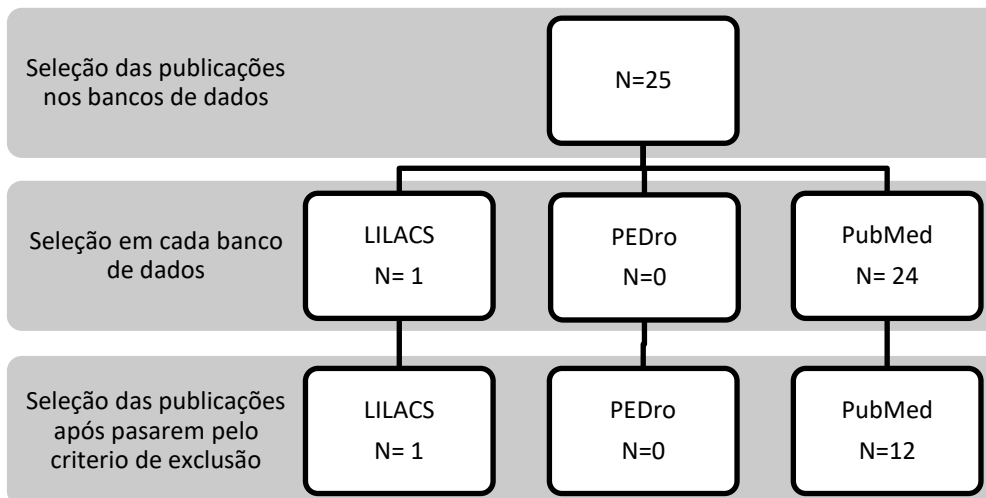


Tabela 1- Caracterização dos achados que foram incluídos na presente revisão de literatura.

Autor e Ano de publicação	Objetivo do estudo	Segmento corporal analisado	Especialidade contemplada pela publicação	Resultados
Clemente et al., 2021	Revisar sistematicamente estudos que investigaram a validade e a confiabilidade do uso de IMU's para mensurar a velocidade do movimento de equipamentos utilizados durante o exercício resistido por indivíduos em treinamento físico	Membro inferior e superior	Ortopedia	Dos 8 modelos de IMU's analisados, 7 apresentaram evidências de validade e confiabilidade para as análises da velocidade <i>equipamentos utilizados durante o exercício resistido</i>
Bouvier et al., 2015	Investigar se a escolha da calibração dos IMU's pode alterar a veracidade e a precisão do equipamento na avaliação. Esse estudo foi feito com os sensores posicionados nas articulações dos punhos, cotovelos e ombros.	Membros superiores	Ortopedia	IMU's apresentaram veracidade e precisão nas avaliações cinemáticas. A interferência dos resultados apresentados dependeu do movimento executado, da variabilidade de entendimento humano do sujeito-operador e posicionamento e fixação adequada do sensor

Prasanth et al., 2021	Revisar na literatura o uso dos sensores vestíveis para a avaliação da marcha em tempo real e a detecção de uma possível marcha patológica usando o equipamento	Membros inferiores	Neurologia	Apesar da necessidade de mais estudos para esclarecer o tema, a escolha adequada do IMU e a combinação com outras técnicas utilizadas para avaliar a marcha podem contribuir para a análise da marcha e a detecção de uma possível marcha patológica em tempo real
Yeo et al., 2020	Investigar a acurácia do sistema de unidade de medida inercial para análise da marcha comparando-o com medidas obtidas por meio de um sistema de captura óptica de movimento	Membros inferiores	Ortopedia	Não foi encontrado diferença significativa comparando os dois sistemas (IMU e captura óptica). O estudo apresentou uma falta de sensores inerciais para os ângulos da articulação do tornozelo e devido ao pequeno tamanho da amostra o autor considerou uma limitação e foi relatado a necessidade de novos estudos acerca dos IMU's para verificar a confiabilidade e validade do sistema

Horsley et al., 2021	Investigar se o posicionamento do sensor inercial em diferentes partes do corpo, pode influenciar a confiabilidade dos resultados na análise da passada durante a corrida. Foram avaliados sensores colocados nos pés, tíbias, coluna lombar e torácica.	Membros inferiores	Ortopedia	O posicionamento do sensor inercial não influenciou de maneira significativa o resultado da avaliação da passada durante a corrida. Exceto quando é citada a colocação do sensor na coluna torácica, onde o autor relata que as evidências sobre a capacidade de detectar com precisão os eventos de passada não são claras e isso justifica uma investigação mais aprofundada.
Walmsley et al., 2018	Analisar se os sensores inerciais vestíveis são válidos para mensurar ângulos articulares dos membros superiores durante o movimento dinâmico comparando-o com outros mecanismos de medida	Membros superiores	Ortopedia	Os sensores vestíveis têm grande potencial para preencher a lacuna entre os sistemas baseados em laboratório e o goniômetro para a medição do ângulo articular durante o movimento do membro superior

Weygers et al., 2020	Avaliar a confiabilidade do uso dos sensores inerciais para avaliar a cinemática das articulações dos membros inferiores e investigar se esses equipamentos podem ser utilizados em ambiente clínico além de sugerir direções de pesquisas futuras	Membros inferiores	Ortopedia	Esta revisão mostra que para obter resultados confiáveis nas avaliações da cinemática das articulações dos membros inferiores é necessário a aplicação correta dos IMU's e levar em consideração suas variabilidades como o posicionamento do sensor em relação ao segmento além da orientação inicial do sensor
Weizman et al., 2021	Investigar na literatura o uso dos sensores vestíveis para análise da marcha em adultos com mais de 60 anos que vivem com demência	Membros inferiores	Geriatria	A revisão demonstrou que dados derivados de sensores são bem-sucedidos em seus respectivos objetivos e metas, fornecendo um terreno fértil para inúmeras avaliações prospectivas de desempenho da marcha em pessoas que vivem com demência
Nguyen et al., 2017	Investigar a transferibilidade de algoritmos de IMU usados em população homogênea de idosos saudáveis para pessoas	Membros inferiores	Neurologia	Demonstra a agilidade e transferibilidade do uso de um sistema de IMUs para detectar e segmentar com precisão as atividades de

	com doença de Parkinson (DP)				vida diária em pessoas com distúrbios do movimento
Newman et al., 2017	Avaliar o movimento do membro superior em crianças com hemiparesia com a utilização dos sensores inerciais 3D	Membros superiores		Neuropediatria	O sensor inercial mede de forma confiável a paresia, correlacionam-se com as medidas clínicas, podendo ser um mecanismo complementar para a avaliação, mas não único
Pacher et al., 2020	Destacar as diferentes calibrações dos IMU para avaliação dos membros inferiores	Membros inferiores		Ortopedia	Os métodos (manual, anatômico, estático e funcional) de calibragem ainda precisam de estudos comparativos para demonstrar a melhor escolha na avaliação clínica
Zhang et al., 2014	Monitorar a cinemática da caminhada em ambientes sem restrições usando uma IMU posicionada no esterno durante condições de caminhada com fadiga e sem fadiga.	Membro inferior		Ortopedia	As unidades de medida inercial podem auxiliar na identificação da fadiga muscular localizada
Jimenez et al., 2020	Comparar três sistemas diferentes para avaliar a altura do salto vertical	Membros inferiores		Ortopedia	O IMU com o método de integração numérica apresentou a pior concordância em relação à

5. DISCUSSÃO

Nesse estudo, foi realizada uma revisão de literatura acerca do uso dos sensores inerciais para a avaliação cinemática do movimento humano. Diante das análises dos resultados obtidos na **Tabela 1** (caracterização dos achados que foram incluídos na presente revisão de literatura), os sensores inerciais são utilizados na prática clínica para a análise cinemática de diferentes movimentos do corpo humano, dos membros inferiores e superiores, em condições patológicas e não patológicas.

A maioria dos estudos (N=10) demonstraram que o uso dos IMU's são confiáveis para analisar o movimento humano, mas todos ressaltaram que existem variabilidades que podem interferir nos resultados fornecidos por esses sensores. Bouvier et al., (2015), Weygers et al., (2020) e Pacher et al., (2020) apontam como resultados de suas publicações, fatores como variabilidade de entendimento humano do sujeito-operador, alinhamento sensor-segmento, posicionamento, fixação e calibragem adequada do sensor, como importantes elementos da análise e potenciais limitadores da confiabilidade, uma vez que podem interferir significativamente nos resultados.

Entre as publicações incluídas nessa revisão, 9 estudos analisaram o uso do sensor inercial para avaliar os movimentos de membros inferiores e 3 os movimentos de membros superiores, demonstrando a existência de ampla investigação científica do uso dos IMU's para avaliar os movimentos membros inferiores. Outro ponto relevante observado nos resultados dessa revisão, são as inúmeras avaliações no desempenho da marcha utilizando sensores inerciais, os autores Weizman et al., (2021), Horsley et al., (2021), Yeo et al., (2020) e Prasanth et al.,(2021), demonstram isso em seus estudos, uma vez que a marcha pode ser dividida em varias fases e subfases, o que torna sua avaliação mais complexa e desafiadora sendo portanto, o uso de equipamentos como os IMU's facilitadores desse processo, por ser agiu na coleta dos dados, diminuindo assim o tempo da avaliação. Prasanth et al., (2021) e Weizman et al., (2021) descreveram os IMU's como solução acessível e confiável para a avaliação da marcha, sendo um mecanismo que dispensa a necessidade de

laboratórios robustos para a sua aplicabilidade além de apresentarem um baixo custo, o que aumenta suas possíveis aplicações clínicas. O peso mínimo e tamanho pequeno, são descritos como outros dois pontos positivos em relação ao uso dos IMU's, uma vez que com tais características, eles não influenciam o movimento analisado, permitindo maior realidade ao dado coletado.

Com relação à aplicabilidade dos sensores inerciais, o estudo de Zhang et al.,(2014) mostra que a tecnologia não é utilizada somente para avaliar o movimento humano, mas também permite inferir a partir das mudanças cinemáticas, processos fisiológicos que ocorrem durante ele, como a fadiga muscular localizada, sendo segundo o autor, grande aliado para a avaliação desse processo. Além disso Walmsley et al.,(2018) afirma que os sensores podem preencher as lacunas de instrumentos mais antigos para a medição de ângulos, como é o caso dos goniômetros, principalmente durante movimento.

Por fim, podemos notar que a maioria das publicações incluídas nesse estudo, (N=9) contemplam a avaliação cinemática com o uso dos sensores inercias nas áreas ortopédica e esportiva. Confirmando o que Clemente et al.,(2021) afirma em sua publicação: “uso da unidade de medida inercial (IMU) tornou-se popular na avaliação esportiva”. Apenas 4 das publicações incluídas nessa revisão, contemplam outras áreas como a neurologia e pediatria, o que chama a atenção, uma vez que em condições patológicas como as neurológicas e ou pediátricas, a necessidade da identificação tridimensional do comportamento motor do paciente, se mostra determinante para o entendimento das demandas impostas ao seu sistema bem como para determinação de possíveis soluções às estratégias motoras, nesse sentido esse recurso seria interessante para avaliar os movimentos afetados pelas doenças neurológicas e distúrbios de movimentos (CHAKRABORTY et al., 2020).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das unidades de medida inercial (IMU) estão cada vez mais ganhando espaço nas avaliações da cinemática humana. O uso da tecnologia apresenta vários pontos positivos para quem aplica e para quem é avaliado, trazendo segurança e eficácia aos atendimentos, mas alguns fatores podem prejudicar o grau de

confiabilidade desse instrumento de mensuração cinemática, como o movimento executado, variabilidade de entendimento humano do sujeito-operador, posicionamento adequada do IMU, condição do ambiente e a falta de calibragem pode interferir nos resultados.

Mais estudos relacionados ao uso de sensores inerciais para mensuração de variáveis cinemáticas, sobretudo relacionadas à outras tarefas além da marcha e em outras áreas do estudo do movimento humano ainda são necessários, assim como ampla divulgação do resultado de tais estudos para os profissionais de saúde, afim de encoraja-los a lançar mão desses recursos durante o processo de avaliação.

REFERÊNCIAS

BAYRAMZADEH, S. et al. **Technology integration in complex healthcare environments: A systematic literature review.** Appl Ergon, 2021. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33412484/>>. Acesso em 14 de Setembro de 2022.

BOUVIER ,B. et al. **Cinemática do Membro Superior Usando Sensores Inerciais e Magnéticos: Comparação de Calibrações Sensor-Segmento.** 31 de julho de 2015;15(8):18813-33. doi: 10.3390/s150818813. PMID: 26263993; PMCID: PMC4570347.

CLEMENTE, F.M. et al. **Validade e confiabilidade da unidade de medição inercial para avaliações de velocidade com barra: uma revisão sistemática.** 3 de abril de 2021. 21(7):2511. doi: 10.3390/s21072511. PMID: 33916801; PMCID: PMC8038306.

HORSLEY, B.J. et al. **O Site Importa? Impacto do posicionamento da unidade de medida inercial na validade e confiabilidade das variáveis da passada durante a corrida: uma revisão sistemática e meta-análise.** Méd. Esportivo. 2021 julho;51(7):1449-1489. doi: 10.1007/s40279-021-01443-8. Epub 2021 24 de março. PMID: 33761128.

KEMPE, V. **Inertial MEMS, Principles and Practice.** Cambridge University Press, 2011. Disponível em:<<https://www.cambridge.org/core/books/inertial-mems/0E51F2E705F49E069F21C3089327E16D>>. Acesso em 12 de Setembro.

LIN, L. F. et al. **Feasibility and efficacy of wearable devices for upper limb rehabilitation in patients with chronic stroke: a randomized controlled pilot study.** European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, v. 54, n. 3, p. 388- 396, jun. 2018.

NEWMAN, C.J. et al. **Medindo a função do membro superior em crianças com hemiparesia com sensores inerciais 3D.** Sistema Nervoso Childs. 2017 dez;33(12):2159-2168. doi: 10.1007/s00381-017-3580-1. Epub 2017 25 de agosto. PMID: 28842792.

NGUYEN, H. et al. **Detecção automática e segmentação das atividades da vida diária durante uma tarefa Timed Up and Go em pessoas com doença de Parkinson usando vários sensores**

inerciais. J Neuroeng Reabilitação. 7 de abril de 2017;14(1):26. doi: 10.1186/s12984-017-0241-2. PMID: 28388939; PMCID: PMC5384139.

OATIS, C. ET AL. **Cinesiologia.** A mecânica e a Patomecânica do movimento humano. 2 edição, 2009, p.17-18.

PACHER, L. et al. **Metodologias de Calibração Sensor-a-Segmento para Análise Cinemática do Corpo Inferior com Sensores Inerciais:** Uma Revisão Sistemática. Sensores (Basileia). 11 de junho de 2020;20(11):3322. doi: 10.3390/s20113322. PMID: 32545227; PMCID: PMC7309059.

PRASANTH, H. et al. **Detecção de marcha em tempo real baseada em sensor vestível:** uma revisão sistemática. 13 de abril de 2021;21(8):2727. doi: 10.3390/s21082727. PMID: 33924403; PMCID: PMC8069962.

SANTANA, D.D.S. et al. **Estimação de trajetórias utilizando sistema de navegação inercial strapdown.** In: XV CBA, 2004, Gramado – RS. Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática, 2004

VITAL, J.P. et al. **6º Congresso nacional de biomecânica.** In: Tecnologias para a análise do movimento humano. Instituto Politécnico de Leiria, 2015, p.1-6. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271907714_Tecnologias_para_a_analise_do_movimento_humano>. Acesso em 11 de Setembro de 2022.

Walmsley, C.P. et al. **Medição da amplitude de movimento do membro superior usando sensores vestíveis:** uma revisão sistemática. Esporte Med Open. 29 de novembro de 2018;4(1):53. doi: 10.1186/s40798-018-0167-7. PMID: 30499058; PMCID: PMC6265374.

WEIZMAN, Y. et al. **Avaliação da marcha usando dispositivos baseados em sensores vestíveis em pessoas que vivem com demência:** uma revisão sistemática. Int J Environ Res Saúde Pública. 2 de dezembro de 2021;18(23):12735. doi: 10.3390/ijerph182312735. PMID: 34886459; PMCID: PMC8656771.

WEYGERS, I. **Cinemática Inercial da Articulação dos Membros Inferiores: Uma Revisão Sistemática Metodológica.** 26 de janeiro de 2020;20(3):673. doi: 10.3390/s20030673. PMID: 31991862; PMCID: PMC7038336.

YEO, S. et al. **Verificação da precisão dos parâmetros espaço-temporais e cinemáticos da marcha usando o sistema de unidades de medida inercial.** 29 de fevereiro de 2020;20(5):1343. doi: 10.3390/s20051343. PMID: 32121456; PMCID: PMC7085570.

ZHANG, J. et al. **Classificação da fadiga muscular dos membros inferiores durante a caminhada usando aprendizado de máquina e sensores inerciais.** Ann Biomédica Eng. 2014 março;42(3):600-12. doi: 10.1007/s10439-013-0917-0. Epub 2013 1º de outubro. PMID: 24081829; PMCID: PMC3943497.