

## **A tecnologia “wearable” por sensores MEMs no equilíbrio do idoso.**

### **RESUMO**

Este estudo aponta tendências expoentes da tecnologia “wearable” para reabilitação do idoso e interpreta o estado da arte sobre sensores portáteis por "Microelectromechanical Systems" (MEMs) de Unidade de Medida Inercial (UMI) na interferência do equilíbrio e prevenção de queda em idosos.

Segundo “Centers of Disease Control and Prevention” (CDC), houve um aumento em 40% das mortes por queda entre 2005-2014 entre idosos [1]. A estimativa é atingir, a cada ano, 100.000 idosos mortos por queda até 2030 [6]. No entanto, uma estimativa promissora de redução em 25% dessas mortes até 2030, através da triagem e intervenção clínica adequada desse grupo de risco, justificam a importância desse estudo [6].

Os artigos estudados foram retirados das bases Pubmed e Google Acadêmico dos últimos 8 anos. Foram eleitos os estudos que abordavam a tecnologia "wearable" no título, faziam menção ao uso dos sistemas MEMs ou tecnologia de "biofeedback" e possuíam relevância para a reabilitação do idoso.

Os resultados encontrados sugerem que a tecnologia MEMs por UMI está fundamentada para o monitoramento da marcha, do equilíbrio postural [3,5,9,10] e avaliação funcional do idoso [3], inclusive conforme autorelato extraído de testes clínicos [15]. Vantagens relacionadas à precisão métrica, baixo custo e possibilidade de uso clínico cotidiano [3,5,9,10], foram observadas. HORACK et al., 2015, pontua que esses sensores auxiliam na determinação do mecanismo e motivo da lesão, em vantagem aos testes clínicos miniBESTest e escala de Berg e propõe um teste para prever o risco de queda, com uso de sensor de movimento [5]. GRIMM e BOLINK, 2016, destacam os sensores inerciais de UMIs como sendo especialmente precisos em ortopedia e avaliação do idoso e destacam que a variedade de sensores, testes e algoritmos necessitam de padronização. MAO, C.Z. et al, 2016 sugere que novos estudos sobre os sensores inerciais MEMs voltados para o equilíbrio dinâmico e a vida cotidiana são necessários. Estudos recentes sobre novas tendências de aplicação da tecnologia MEMs envolvendo “Biofeedback” interativo, Gameterapia interativa, telereabilitação e Robótica assistiva, foram apresentados.

Concluimos que a tecnologia “wearable” por sensores MEMs de UMI trouxe substancial mudança para a intervenção sobre o equilíbrio e risco de queda entre idosos,

possibilitando o uso clínico cotidiano, com precisão e baixo custo, para avaliação, tratamento e prevenção de queda. As possibilidades, ainda inesgotadas, de interação desses sensores com produtos “Wearable”, telereabilitação e robótica demonstram a perspectiva promissora dessa tecnologia. Acreditamos na evolução dessa tecnologia, num futuro breve, como um marco da ciência de reabilitação através da estabilização do conhecimento sobre os sistemas MEMs e sua aplicabilidade e popularização dos produtos “wearables”.

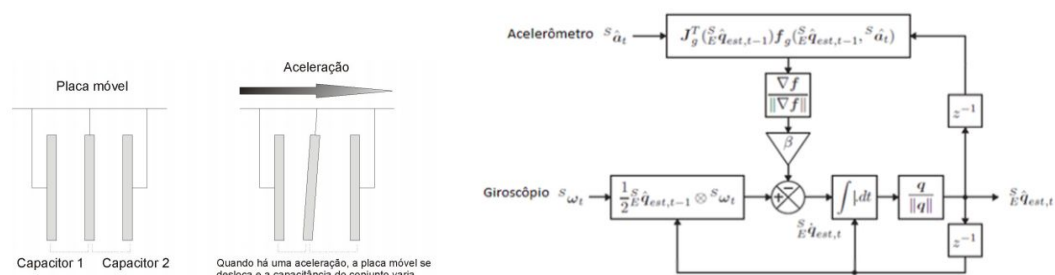
## INTRODUÇÃO

O aumento de cerca de 40% no número de mortes por queda entre 2005-2014 [1] e a estimativa de atingir por ano, 100.000 idosos mortos por queda, até 2030 [6], tem orientado os esforços da tecnologia “wearable” por Sistemas Microeletromecânicos (MEMs) de Unidade de Medida Inercial (UMI) para a necessidade de intervenção efetiva sobre o equilíbrio e prevenção de queda nessa população [7].

Neste estudo discutimos aspectos relevantes alcançados pela tecnologia por sensores inerciais de movimento, a partir da revisão de artigos retirados das bases Pubmed e Google Acadêmico dos últimos 8 anos. O critério de eleição usado entre os artigos escolhidos foi menção ao uso da tecnologia MEMs ou "biofeedback" interativo, relevância e vanguarda da tecnologia abordada e impacto clínico do estudo sobre a reabilitação do equilíbrio no idoso.

Os dispositivos MEMs possuem acelerômetros, giroscópios e magnetômetros combinados em até três dimensões (3D) e 9 eixos, que funcionam como um transdutor massa-mola inercial grudado ao corpo, sensível aos mínimos movimentos de aceleração, rotação e vibração nos três planos, conferindo precisão métrica, portabilidade, facilidade de uso, mínima interferência sobre a coleta de dados e baixo custo [3,5,7,8].

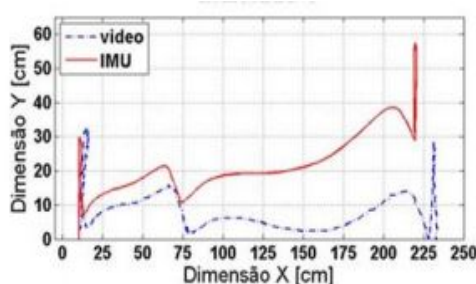
A trajetória do sensor grudado ao corpo, é regida pelas leis de Newton, assim é possível saber sua posição e atitude em tempo real. Os sensores podem ser classificados como um tipo de transdutor, que transforma um tipo de energia em outra e sua definição literal é "aquilo que sente". Os acelerômetros são sensores dedicados à medir a aceleração sofrida por um corpo.



Laboratório de marcha e posturografia dinâmica são sistemas estabelecidos para análise da marcha e equilíbrio postural, no entanto, são caros, precisam de espaço, instalação e interpretação profissional que inviabiliza este tipo de tecnologia para o cenário clínico (5,8,

Macini, 2012). Os sensores inerciais usados no corpo têm sido propostos como uma alternativa portátil e de baixo custo para medidas de marcha e equilíbrio, sensíveis à mobilidade moderada para comunidade idosa. Para avaliar o risco de queda com monitores de movimento, um novo e curto protocolo, o Teste Instrumentalizado de Suporte e Caminhada (ISAW) foi desenvolvido. Mais de 50 medidas objetivas e instantâneas de equilíbrio e comprometimento da marcha são aferidos dos monitores de movimento usados pelo corpo. “Mobilit Lab ADPM (ADPM Inc, Portland, OR)” foi o primeiro produto capaz de fornecer aos clínicos um sistema rápido, portátil e confiável para quantificar o equilíbrio e marcha. Testes clínicos populares, como o Timed Up and Go (TUG) e o Teste Clínico de Integração Sensorial para o Equilíbrio (CITSIB) agora fornecem “biofeedback” instantâneo durante a caminhada com uso desses sensores (MANCINI, M., Et al, 2012).

A métrica objetiva e precisa desses sensores foi considerada por HORACK et al, 2015, compatível com o sistema tradicional de análise por vídeo, conforme observado também em estudos piloto realizados no Brasil [7,8], com vantagens por possibilitar maior acuidade para inferir o mecanismo e o motivo da lesão, auxiliar na decisão sobre a terapia, por poder ser usado como tratamento por “biofeedback” instantâneo, por serem mais sensíveis para documentar deficiência leve e sua mudança com a reabilitação [5,7,8] e por poderem ser usados em telereabilitação [5,7,11].



Participante	Correlação ( $X(t)_{IMU}, X(t)_{vídeo}$ )	Correlação ( $Y(t)_{IMU}, Y(t)_{vídeo}$ )
1	0,99718	0,61461
2	0,99158	0,68732
3	0,98205	0,72289
4	0,99237	0,8392

Figura 1: Gráficos das trajetórias de marcha extraídas a partir da IMU (linha contínua) e vídeo (linha tracejada) e índices de correlação da análise de 4 adultos, obtidas pelo sistema de vídeo e IMU retirado de LEITE, W. et al., 2014.

OZINGA, S. J.; LINDER, S M.; ALBERTS, J. L., 2016 com o objetivo de determinar a precisão dos dados de um sensor MEMs UMI em relação à posturografia (NeuroCom) para quantificar a estabilidade postural em 14 idosos com doença de Parkinson leve a moderada, comparou o COM durante a realização do Teste de Organização Sensorial (SOT) e observou

significativa correlação entre NeuroCom e sensor UMI. As medidas multiplanares da aceleração COM do dispositivo móvel apresentaram boa a excelente confiabilidade em todas as condições SOT. A natureza portátil, precisa e acessível do sensor foi considerada potencial para torná-lo ideal para auxiliar na decisão clínica a partir dos dados biomecânicos.

HOLLMAN, J. H. et al., 2016 num estudo comparativo entre a análise da marcha em esteira e sobre a superfície, respeitando a velocidade auto-selecionada de 20 adultos saudáveis (11 mulheres e 9 homens) através do uso "Mobility Lab - ADPM", concluíram que andar sobre a esteira, altera a maneira que as pessoas deambulam. As conclusões do estudo indicam que as pessoas caminham com menor variação dos padrões de marcha em uma esteira em relação ao caminhar sobre o solo, e isso pode implicar em considerar esse desvio de análise na compreensão dos resultados de marcha aferidos de esteira instrumentada, conforme sugerem os autores deste estudo, a partir dos resultados expressos nos gráficos da figura 2.

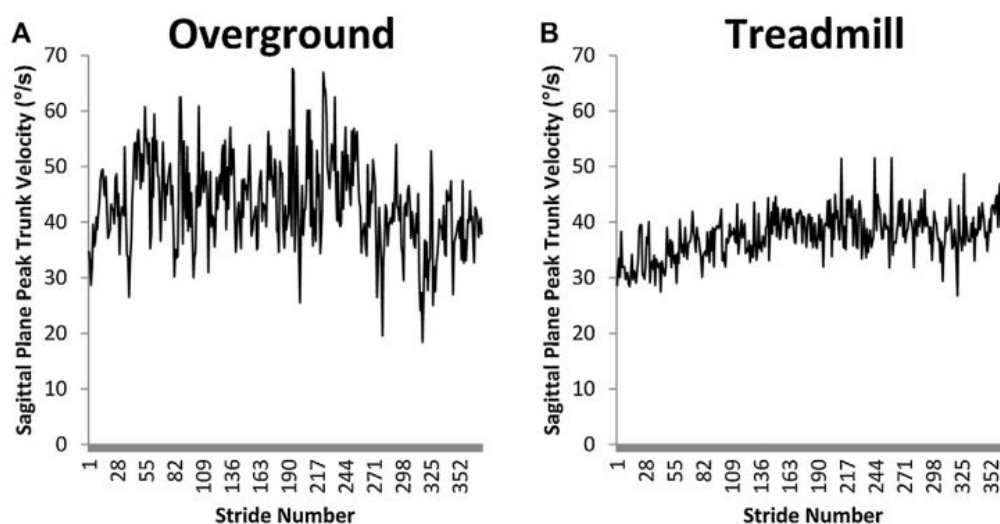


Figura 2. Exemplo representativo de dados da série experimental A e B para o parâmetro de marcha da velocidade do tronco no plano sagital de um único participante, retirado de HOLLMAN, J. H. et al., 2016.

No entanto, HEEBNER, N. R. et al., 2015, num estudo para avaliar a capacidade de um acelerômetro triaxial em quantificar a estabilidade postural envolvendo dez indivíduos atléticos saudáveis para medir a estabilidade postural dinâmica e treze, para comparar as medidas do acelerômetro em posturas e tarefas de diferentes dificuldade, utilizando um acelerômetro tri-axial e uma plataforma de força, observaram que a medida do acelerômetro da estabilidade postural foi confiável e capaz de distinguir entre tarefas estáticas e dinâmicas,

no entanto, as diferenças entre as tarefas estáticas individuais foram identificadas apenas na direção medial-lateral e o acelerômetro e medidas de força de reação no solo não se correlacionam.

GRIMM e BOLINK, 2016, num estudo sobre a eficiência desses sistemas para monitoramento funcional do paciente idoso, observaram que estes sensores permitem análise objetiva, fiável, discriminativa e mais sensível para variações cotidianas da função física do idoso durante os testes funcionais de caminhada, subir e descer escadas ou sentado para de pé [3], inclusive conforme autorelato aferido de testes clínicos, como observou REGTERSCHOT, 2015 [15].

PERNINI et al, 2016, propuseram um dispositivo MEMs triaxial e sensor de barômetro combinados, que se mostrou extremamente eficiente na detecção de quedas, atingindo 100% de sensibilidade nos protocolos de teste adotados [14]. Segundo NYAN e TAY, 2008, quando o segmento da coxa ultrapassa um determinado ângulo limiar para a direção lateral, o sensor acusa, com 700 ms de antecedência, a ocorrência da queda [11]. Baseado nesta tecnologia, o primeiro “airbag belt” (figuras 1 e 2) para prevenção da fratura de quadril por queda promete reduzir a força de impacto sobre o fêmur em 90%. PATEL et al., 2012, salientaram sobre os avanços na detecção de queda e localização por GPS através dos acelerômetros inseridos nos “smartphones” [13]. A detecção da queda, localização do acidentado e alerta de socorro por mensagem instantânea já é possível com a tecnologia que temos hoje. A condição do paciente já foi, em um experimento, totalmente monitorada com a ajuda de MEMS por um telefone android: batimento cardíaco, temperatura e vibrações do paciente, detectados e conectados através de comunicação sem fio (Bluetooth). No caso de emergência, o GPS móvel poderia ser disparado automaticamente e a mensagem, enviada para o Servidor via GSM (Global System for Mobile Communications). O Servidor seria capaz de calcular o caminho mais próximo até à Ambulância e também enviar um SMS de alerta aos parentes. [9, KUMAR S., P., et al, 2016]



figura 2 e 3. “ActiveProtective”, retirada de <http://newatlas.com/wearable-airbag-hip-protection/35594/>

ALBERT J. L. et al., 2015 desenvolveram uma quantificação biomecânica do Sistema de Pontuação de Erros de Equilíbrio (BESS) utilizando dados derivados do acelerômetro e giroscópio de um dispositivo de tablet móvel em trinta e dois adultos jovens saudáveis enquanto um iPad estava posicionado no sacro desses indivíduos. Os dados do iPad foram comparados aos dados de posição coletados de um sistema de captura de movimento tridimensional. Em todos os resultados cinemáticos [Pico a pico (P2P), comprimento do caminho normalizado (NPL), raiz quadrática média (RMS) e volume de "Balance Error Scoring System" (BESS) utilizando os movimentos do Centro de Massa Corporal (CoM)], os dados do IPAD foram significativamente correlacionados com os mesmos resultados obtidos a partir do sistema de captura de movimento (rho intervalo, 0,37-0,94,  $P < 0,05$ ).

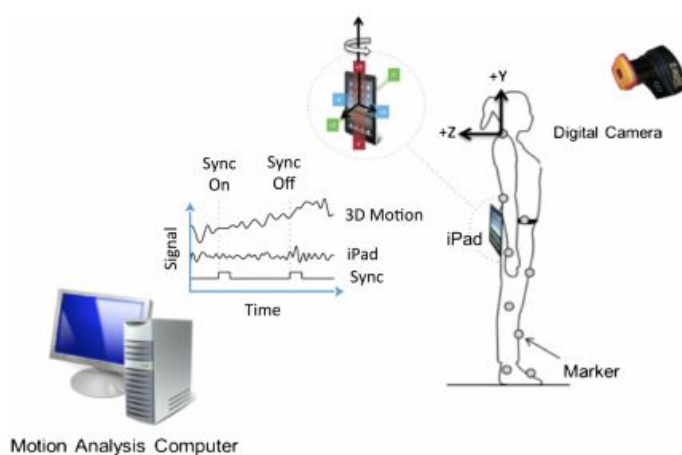


Figura 4. Illustration of experimental setup retirado de ALBERT J. L. et al., 2015.

GREWAL et al., 2015, realizaram um estudo controlado randomizado com 39 idosas portadoras de neuropatia diabética periférica, sendo que 20, foram submetidas a um programa de exercícios de realidade virtual e “biofeedback” instantâneo interativo por sensor inercial,

2 x semana, por 4 semanas; em comparação com o grupo controle (que não realizou exercícios) formado por 19 idosas. Eles observaram significativa diminuição da oscilação postural nos testes de aferição do COM em ortostatismo por 30 segundos com olhos abertos (58.31%;  $p = 0.009$ ), redução da oscilação do tornozelo (62.7%;  $p = 0.008$ ) e da oscilação da articulação do quadril (72.4%;  $p = 0.017$ ) com olhos abertos, além de significativa redução da oscilação do tornozelo com olhos fechados (58.8%;  $p = 0.037$ ). Com base nesses resultados positivos, eles sugeriram maior estímulo ao uso da tecnologia “wearable” para tratamento do equilíbrio postural nessa população e novos estudos com tempo de tratamento mais longo e grupo controle ativo [2].

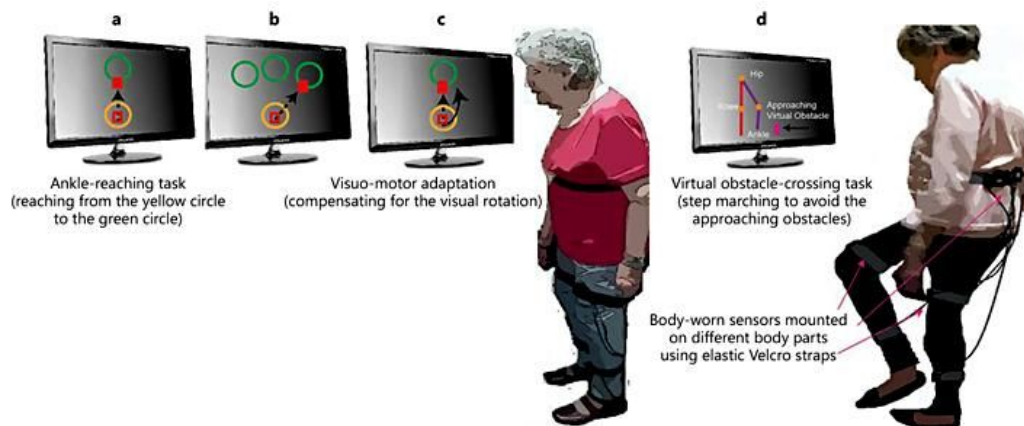


figura 5. Exergame por “biofeedback” instantâneo por sensor 'MEMs', retirada de GREWAL et al., 2015.

HAN, S. et al., 2016, numa experiência recente para testar a eficiência clínica da telereabilitação com acompanhamento remoto dos dados, usaram sensores MEMs aderidos a uma órtese de pé e tornozelo chamada AFO-IMU num programa de exergame por realidade virtual em pacientes com fraqueza muscular por lesão cerebral e artroplastia total do joelho. Eles concluíram que a telereabilitação usando o AFO-IMU foi eficaz para avaliar corretamente a atividade articular do joelho e acompanhar a evolução dos exercícios de forma remota [4], abrindo caminho para a discussão sobre tratamento teledirigido em idosos com dificuldade de acesso ao serviço de reabilitação. MA, C Z et. al, 2016, acrescentou que alguns dispositivos de tratamento por “biofeedback” foram sugeridos como tão eficazes quanto instruções verbais do terapeuta, e poderiam ser utilizados como acessórios de treinamento e assistência ao equilíbrio, diariamente, em casa, a qualquer hora e em qualquer lugar [9].



Num projeto piloto recente, cientistas se reuniram para produção e estudo do primeiro exoesqueleto de membros inferiores, capaz de aumentar a habilidade humana. Trata-se de um traje robótico “biofeedback” ativo para o controle do quadril, ainda em aprimoramento, que já se mostrou capaz de aumentar a velocidade da marcha e reduzir o gasto metabólico durante a locomoção humana [16]. PAGLIARINI, L. e LUND, H., 2016, apresentaram em um estudo sobre robótica assistiva, o exoesqueleto Cyberdyne da Honda, já disponível, capaz de eliminar obstáculos do caminho e ajustar a carga corporal enquanto o idoso sobe e desce escadas [12].

f

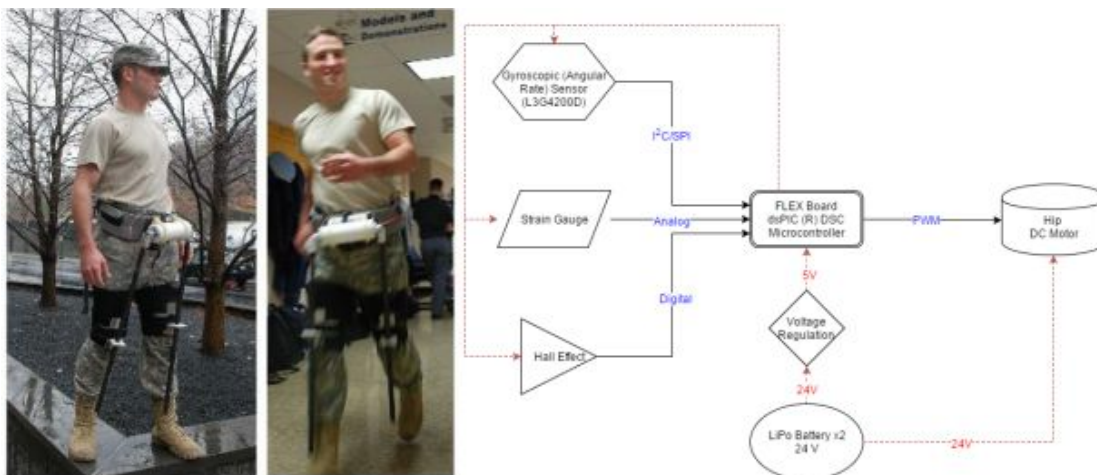


figura 6. Sistema protótipo usado (à esquerda) e diagrama de blocos de hardware (à direita) retirado de WATSON, W. M. e KUSHNAK, M.R., 2016.

MA, C Z et. al, 2016, da sua revisão sistemática entre 1995-2015 que estudou o efeito do "biofeedback" por sensores “wearables” no equilíbrio, considerou 17 estudos clínicos, de 379 encontrados. Eles pontuaram a necessidade de mais estudos com foco no equilíbrio dinâmico e nas atividade diárias, **em conformidade com HEEBNER, N.R. et al, 2015 e OZINGA, S. J.; LINDER, S M.; ALBERTS, J. L., 2016.** Sugeriram para essa finalidade, a associação de sensores inerciais aos sensores de força em palmilhas inteligentes, para possibilitar a detecção do movimento (pelo sensor inercial) e da superfície de contato pé-piso (pelo sensor de força), para estabelecer as relações discriminativas do equilíbrio dinâmico, entre centro de massa (COM) e centro de pressão corporal (COP) [9].

## Resultados e Discussão

Os resultados encontrados sugerem que a tecnologia MEMs por UMI está fundamentada para o monitoramento da marcha, do equilíbrio postural [3,5,9,10] e monitoramento funcional do idoso [3], inclusive conforme autorelato extraído de testes clínicos [15]. Vantagens relacionadas à precisão métrica, baixo custo e possibilidade de uso clínico cotidiano [3,5,9,10], foram observadas. HORACK et al., 2015, pontua que esses sensores auxiliam na determinação do mecanismo e motivo da lesão, em vantagem aos testes clínicos miniBESTest e escala de Berg e propõe um teste para prever o risco de queda, com uso de sensor de movimento [5]. GRIMM e BOLINK, 2016, destacam os sensores inerciais de UMIs como sendo especialmente precisos em ortopedia e avaliação do idoso e destacam que a variedade de sensores, testes e algoritmos necessitam de padronização. MAO, C.Z. et al, 2016 sugere que novos estudos sobre os sensores inerciais MEMs voltados para o equilíbrio dinâmico e a vida cotidiana são necessários. Estudos recentes sobre novas tendências de aplicação da tecnologia MEMs envolvendo “biofeedback” interativo, gameterapia interativa, telereabilitação e robótica assistiva, foram apresentados.

Tendências da tecnologia MEMs para prevenção (“air bag belt”), tratamento (gameterapia interativa e de telereabilitação) e assistência ao idoso (exoesqueletos biointerativos), com interferência direta sobre a prevenção de queda, melhora do equilíbrio e suporte à qualidade de vida dessa população. A necessidade de maior conhecimento sobre a interferência da tecnologia MEMs no equilíbrio dinâmico e na vida cotidiana, foi apontada como direção futura para novos estudos [9].

## **Conclusão**

Observamos neste estudo que a tecnologia wearable por sensores MEMs e “biofeedback” interativo trouxe mudança substancial para a intervenção sobre o equilíbrio e risco de queda em idosos nos últimos 8 anos. A triagem clínica efetiva desses idosos para o risco de queda se tornou possível graças à precisão, facilidade no uso e custo favorável desses sensores para a clínica cotidiana, em consonância com a orientação dos protocolos recentes sobre prevenção de quedas [6]. Aspectos relacionados ao aprimoramento dessa tecnologia dentro dos smartphones e tablets, para fins de monitoramento do equilíbrio e queda, foram apontados com resultados interessantes do ponto de vista de portabilidade e acesso dos pacientes e terapeutas. As possibilidades, ainda inesgotadas, de interação desses sensores com produtos “Wearable”, gameterapia, telereabilitação e robótica demonstram a perspectiva

promissora dessa tecnologia. Acreditamos na evolução dessa tecnologia como um marco na ciência de reabilitação do idoso, num futuro muito próximo, através da estabilização do conhecimento científico sobre os sistemas MEMs e sua aplicabilidade e popularização dos produtos “wearables” na prática clínica e vida cotidiana.

## **BIBLIOGRAFIA**

1) A FALL, What Can Happen After. Important Facts about Falls. Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control, Division of Unintentional Injury Prevention, 2016, website: [www.cdc.gov/steady](http://www.cdc.gov/steady).

ALBERTS, Jay L. et al. Quantification of the Balance Error Scoring System with Mobile Technology. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 47, n. 10, p. 2233-2240, 2015.

2) GREWAL, Gurtej Singh et al. Sensor-based interactive balance training with visual joint movement feedback for improving postural stability in diabetics with peripheral neuropathy: a randomized controlled trial. *Gerontology*, v. 61, n. 6, p. 567-574, 2015.

3) GRIMM, Bernd; BOLINK, Stijn. Evaluating physical function and activity in the elderly patient using wearable motion sensors. *EFORT Open Reviews*, v. 1, n. 5, p. 112-120, 2016.

4) HAN, Shao-Li et al. Using MEMS-based inertial sensor with ankle foot orthosis for telerehabilitation and its clinical evaluation in brain injuries and total knee replacement patients. *Microsystem Technologies*, v. 22, n. 3, p. 625-634, 2016.

HEEBNER, Nicholas R. et al. Reliability and validity of an accelerometry based measure of static and dynamic postural stability in healthy and active individuals. *Gait & Posture*, v. 41, n. 2, p. 535-539, 2015.

HOLLMAN, John H. et al. A comparison of variability in spatiotemporal gait parameters between treadmill and overground walking conditions. *Gait & posture*, v. 43, p. 204-209, 2016.

5) HORAK, Fay; KING, Laurie; MANCINI, Martina. Role of body-worn movement monitor technology for balance and gait rehabilitation. *Physical therapy*, v. 95, n. 3, p. 461-470, 2015.

6) HOURY, Debra et al. The CDC Injury Center's response to the growing public health problem of falls among older adults. *American journal of lifestyle medicine*, v. 10, n. 1, p. 74-77, 2016.

KUMAR, S. Pradeep et al. Call ambulance smart elderly monitoring system with nearest ambulance detection using Android and Bluetooth. In: *Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM), Second International Conference on*. IEEE, 2016. p. 89-92.

7) LEITE, W. et al. Avaliação cinemática comparativa da marcha humana por meio de unidade inercial e sistema de video. In: *XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica–CBEB 2014*. p. 35.

8) LIMA, Jeferson J. et al. Dispositivo para Análise Dinâmica da Marcha Humana Utilizando Sensores Inerciais MEMS. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 5, n. 3, p. Páginas 122-131, 2013.

9) MA, Christina Zong-Hao et al. Balance improvement effects of biofeedback systems with state-of-the-art wearable sensors: a systematic review. *Sensors*, v. 16, n. 4, p. 434, 2016.

MANCINI, Martina et al. Mobility lab to assess balance and gait with synchronized body-worn sensors. *Journal of bioengineering & biomedical science*, p. 007, 2012.

MANCINI, Martina et al. Validity and reliability of an IMU-based method to detect APAs prior to gait initiation. *Gait & posture*, v. 43, p. 125-131, 2016.

10) MANCINI, Martina; HORAK, Fay B. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, v. 46, n. 2, p. 239, 2010.

11) NYAN, M. N.; TAY, Francis EH; MURUGASU, E. A wearable system for pre-impact fall detection. *Journal of biomechanics*, v. 41, n. 16, p. 3475-3481, 2008.

OZINGA, Sarah J.; LINDER, Susan M.; ALBERTS, Jay L. Use of mobile device accelerometry to enhance evaluation of postural instability in Parkinson's disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2016.

12) PAGLIARINI, Luigi; LUND, Henrik Hautop. Redefining robot based technologies for elderly people assistance: a survey. *Journal of Robotics Networking and Artificial Life*, v. 3, n. 1, p. 28-32, 2016.

13) PATEL, Shyamal et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, v. 9, n. 1, p. 1, 2012.

14) PERNINI, Luca; PANICCIA, Michele; VALENTI, Simone. A Wearable Fall Detector for Elderly People Based on AHRS and Barometric Sensor. *IEEE Sensors Journal*, vol.16, n. 17, 6733 - 6744, 2016

15) REGTERSCHOT, G. Ruben H. et al. Sensor-based monitoring of sit-to-stand performance is indicative of objective and self-reported aspects of functional status in older adults. *Gait & posture*, v. 41, n. 4, p. 935-940, 2015.

16) WATSON, William Mark; KUSHNAK, Michael Regis. Controls for and Exoskeletal Hip Actuator. 2016 NCUR, 2016.

Figura 1) Gráficos das trajetórias da IMU e vídeo e índices de correlação curvas obtidas pelo sistema de vídeo e IMU retirado de LEITE, W. et al. Avaliação cinemática comparativa da

marcha humana por meio de unidade inercial e sistema de video. In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica–CBEB 2014. p. 35.

Figura 2 e 3) <http://newatlas.com/wearable-airbag-hip-protection/35594/>

Figura 4). Illustration of experimental setup retirado de ALBERTS, Jay L. et al. Quantification of the Balance Error Scoring System with Mobile Technology. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 47, n. 10, p. 2233-2240, 2015.

Figura 5) GREWAL, Gurtej Singh et al. Sensor-based interactive balance training with visual joint movement feedback for improving postural stability in diabetics with peripheral neuropathy: a randomized controlled trial. *Gerontology*, v. 61, n. 6, p. 567-574, 2015.

Figura 6). Sistema exoesqueleto protótipo usado (à esquerda) e diagrama de blocos de hardware (à direita) retirado de WATSON, William Mark; KUSHNAK, Michael Regis. Controls for and Exoskeletal Hip Actuator. 2016 NCUR, 2016.

SAGAWA, Koichi; OHKUBO, Kensuke. 2D trajectory estimation during free walking using a tiptoe-mounted inertial sensor. *Journal of biomechanics*, v. 48, n. 10, p. 2054-2059, 2015.