

# UM DISPOSITIVO GONIOMÉTRICO VESTÍVEL PARA REABILITAÇÃO DA LOMBALGIA

Eduardo Filgueiras Damasceno<sup>1</sup>  
Armando Paulo da Silva<sup>2</sup>  
José Barbosa Dias Junior<sup>3</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta um dispositivo de medida inercial para aferir a amplitude de movimento da coluna vertebral humana, com o intuito de promover a reabilitação da lombalgia. O dispositivo, desenvolvido com tecnologia vestível e embarcada, foi projetado, montado e testado. Dez sujeitos foram considerados na pesquisa: pessoas saudáveis que foram recrutadas com o intuito de testar os dados obtidos pelo dispositivo. Assim, os movimentos requeridos são os mesmos recomendados para a reabilitação das dores nas costas. Após análise estatística dos dados da amplitude de movimento da coluna, notou-se que a diferença entre a angulação medida por um dispositivo convencional (goniômetro) e o dispositivo vestível foi menor do que 5%. A taxa de efetividade e acurácia do dispositivo foi maior do que a avaliação inter-avaliador, em média 3%. A partir desses resultados, conclui-se que o dispositivo pode ser usado como referencial de medida, tão confiável quanto o goniômetro manual.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dispositivo Vestível, Goniometria, Reabilitação, Lombalgia.

\*\*\*

1. Doutor, e-mail: damasceno@utfpr.edu.br
2. Doutor, e-mail: armando@utfpr.edu.br
3. Doutor, e-mail: jose.dias@ifpr.edu.br

\*\*\*

# 1 INTRODUÇÃO

Dispositivos vestíveis (DV), também conhecidos como *wearable devices*, são pequenos dispositivos eletrônicos que podem ser facilmente acoplados ao corpo do usuário (GAO *et al.*, 2016). Tais dispositivos têm ganhado o mercado de forma rápida, em comparação com demais novas tecnologias embarcadas e com a expansão de usuários se tornando adeptos desses dispositivos, logo, inovações para diversas áreas e, em especial, para a saúde física (PARK; JAYARAMAN, 2003).

No que se refere à atenção aos processos de reabilitação, os DVs se tornaram uma ferramenta indispensável para a monitoramento, registro e avaliação em tempo real da condição física e fisiológica de quem usa o dispositivo (PATEL *et al.*, 2012).

Ademais, esses dispositivos, por serem compostos de diferentes tipos de sensores flexíveis, podem ser integrados a roupas, fitas elásticas ou diretamente ligados ao corpo humano (MAJUMDER; MONDAL; DEEN, 2017).

Assim, esses sensores, no domínio da saúde, podem realizar monitorização fisiológica, como a frequência cardíaca; aplicações de rastreamento, como a análise de sangue; assim como aplicações de risco de queda, assistência e reabilitação (CIUTI *et al.*, 2015).

A razão para essa proliferação de sensores nos cuidados de saúde está associada às tecnologias de baixo custo e potência, bem como ao desenvolvimento de módulos de telemetria mais eficientes e fiáveis (BLASCO; PERIS-LOPEZ, 2018).

Esses aspectos têm permitido o desenvolvimento de soluções compactas, fiáveis, robustas, precisas e de baixa potência, ideais para aplicações vestíveis (XUE, 2019).

NESSE SENTIDO, A CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO VESTÍVEL DE BAIXO CUSTO PARA SER APLICADA EM PROCESSOS DE REABILITAÇÃO FÍSICA DE UMA DETERMINADA PATOLOGIA SE APRESENTA COMO MOTE DE PESQUISA EM TECNOLOGIA PARA AUXILIAR EM REABILITAÇÃO FÍSICA.

Compondo os elementos deste trabalho, apresentamos as pesquisas relacionadas que inspiraram a construção deste DV e, em seguida, o desenho e delineamento da pesquisa, com 10 voluntários saudáveis. A partir dos dados coletados e analisados, tanto pelos indicadores recomendados para a verificação de movimento quanto pelo DV criado, apresentamos nossos achados científicos que podem ser replicados. Os autores dessas pesquisas publicadas em periódicos se colocam à disposição, após a publicação, para dirimir quaisquer outras dúvidas oriundas dos leitores por meio de contato do e-mail.

## 2 PESQUISAS RELACIONADAS

Os dispositivos vestíveis que são acoplados ao corpo necessitam de tecnologias de automonitoramento. Nesse sentido, esta seção apresentará apenas as pesquisas em que houve o monitoramento e a avaliação do movimento do corpo humano como técnica para apoiar a reabilitação.

Assim, destacam-se os resultados da pesquisa de Abidine e Fergani (2020), em que o acelerômetro, particularmente, foi empregado no contexto de captura de movimento, apropriando-se da tecnologia do smartphone para avaliar um certo movimento do corpo (PAUL; GEORGE, 2015).

Diversas pesquisas publicadas relatam limitações quanto ao uso de acelerômetros em dispositivos móveis como forma de captura de movimento, comumente indicadas como: falha do sistema operacional; consumo de bateria; baixa efetividade e precisão na captura do movimento e ergonomia do dispositivo para o movimento realizado (MORAL-MUNOZ *et al.*, 2019).

Resultados de pesquisas recentes apresentam outros dispositivos endereçados à Interação Humano Computador (IHC), além do fato de que estes estão ganhando espaço na indústria do entretenimento, como a de jogos digitais, associados às aplicações biomédicas e de reabilitação (ESFAHLANI *et al.*, 2018).

Algumas limitações de uso dessa tecnologia se mostram como: identificação apenas do movimento de um dos membros superiores;

**CABE CITAR TAMBÉM O CASO DE ALGUNS SENSORES VESTÍVEIS, ANTES PROJETADOS PARA MONITORAR MILITARES E ASTRONAUTAS, QUE ESTÃO SENDO UTILIZADOS POR ATLETAS E DESPERTANDO O INTERESSE DE DIVERSOS PESQUISADORES, EMPRESÁRIOS, ALÉM DE GIGANTES TECNOLÓGICOS (XIANGFANG *ET AL.*, 2021).**

manuseio da interface de controle e técnicas de adaptação do dispositivo para diversas aplicações (GONÇALVES; CARDOSO; AQUINO, 2018).

Além disso, existe no mercado uma variedade de produtos comerciais vestíveis, tais como a camisa biométrica (por Hexoskin<sup>®</sup>, Ambiotex's<sup>®</sup>, NadiX<sup>®</sup>), e rastreadores de atividade física (por Fitbit<sup>®</sup>, Jawbone<sup>®</sup>, Striiv<sup>®</sup>, Garmin<sup>®</sup>, Microsoft Band<sup>®</sup> e Huawei Watch<sup>®</sup>), apresentados no Quadro 1.

Todas essas tecnologias possuem limitações, por exemplo, quanto à/ao: liberdade do ator/usuário, número de pontos de captura, iluminação; transmissão de dados e reconstrução de modelos e precisão do movimento como validade médica (DAMASCENO; LAMOUNIER Jr.; CARDOSO, 2015).

**Quadro 1:** Lista de dispositivos vestíveis comerciais

Produto	Parâmetro monitorado	Tipo	Imagem
Hexoskin® <sup>1</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação, número de passos, consumo de oxigênio e consumo de calorías	Camiseta	
Ambiotex's® <sup>2</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação, nível de estresse muscular	Camiseta	
NadiX® <sup>3</sup>	Goniometria e fleximetria dos membros inferiores	Calça	
Fitbit® <sup>4</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação	Relógio	
Jawbone® <sup>5</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação	Pulseira	
Striiv BIO® <sup>6</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação, agenda, leitor de mensagem, contagem de passos, atividades	Relógio	
Garmin HR+® <sup>7</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação, contagem de passos, atividades	Relógio	
Huawei Watch® <sup>8</sup>	Batimento cardíaco, pressão arterial, oxigenação, contagem de passos, atividades	Relógio	
Microsoft band® <sup>9</sup>	Barômetro, acelerômetro, GPS, temperatura corporal, batimento cardíaco, pressão arterial	Pulseira	

1. <https://www.hexoskin.com/>
2. <https://www.ambiotex.com/>
3. <https://www.wearablex.com/>
4. <https://www.fitbit.com/>
5. <https://www.jawbone.com/>
6. <https://www.inkin.com/wearables/Striiv/Fusion-Bio>
7. <https://buy.garmin.com/>
8. <https://www.huawei.com/>
9. <https://www.windowscentral.com/microsoft-band-2-review>

Entre os resultados obtidos, é possível perceber uma certa frequência da utilização do acelerômetro e giroscópio em diversos dispositivos. Também, em alguns casos, por intermédio da inteligência computacional, é possível identificar as atividades exercidas por um usuário e registrá-las, inspecionar o movimento, identificando as falhas ou corrigindo uma postura inadequada do usuário (DAMASCENO; LAMOUNIER Jr.; CARDOSO, 2012).

As tecnologias de sensores inerciais de movimento, como os acelerômetros, tornaram-se uma tecnologia mais atrativa e de baixo custo de manufatura (OAKLEY; O'MODHRAIN, 2005) uma vez que podem ser construídas com

componentes de baixa potência e de relativa precisão (KANJANAPAS *et al.*, 2013).

Sendo assim, postulamos que um dispositivo vestível e apropriado para executar uma tarefa específica, respeitando o requisito de baixo consumo energético e, desse modo, podendo operar por longos períodos sem a necessidade de recarga ou substituição de bateria, seja uma alternativa viável para aplicação nos mais diversos processos de reabilitação motora.

A seguir, apresentamos a questão do tratamento da lombalgia – um dos aspectos pesquisados envolvendo o DV que foi desenvolvido.

### 3 O TRATAMENTO DA LOMBALGIA

---

A lombalgia, ou dor lombar, normalmente está ligada à má postura corporal, sendo relacionada à contração muscular excessiva, a qual inibe a transmissão de impulsos ao cérebro, bem como ao desequilíbrio de forças sobre os ossos da coluna. Essa contração excessiva produz estímulos dolorosos, levando a pessoa às posturas de melhor conforto, mas inadequadas, pois aumentam o desequilíbrio e o tônus muscular da coluna (MILTON; GOLDENFUM; SIENA, 2010).

Nesse contexto, com a ampliação da tecnologia em diversas áreas do conhecimento, sensores de movimentos do corpo humano vêm sendo utilizados para a reabilitação e acompanhamento da evolução da lesão, com

equipamento vestível e adaptado ao corpo do usuário (DAMASCENO; LAMOUNIER Jr.; CARDOSO, 2015).

Para o tratamento e diminuição da dor lombar, é necessário um programa de exercícios individualizado e diferenciado baseado na classificação clínica da lombalgia, ou seja, a dor lombar ou a dor pélvica posterior (KLEINPAUL; RENATO; MORO, 2009). A terapêutica utilizada no tratamento da dor lombar consiste em cinesioterapia, reeducação postural, exercícios de relaxamento, bem como orientações quanto à ergonomia e às atividades da vida diária (THOMAS; MACADAMS, 2004).

Na sequência, apresentamos o DV que foi desenvolvido.

## 4 O DISPOSITIVO VESTÍVEL

Os avanços nas tecnologias de sensores, microeletrônica, telecomunicações e técnicas de análise de dados permitiram o desenvolvimento e a implantação de sistemas para o monitoramento remoto. Sensores vestíveis são usados para coletar dados fisiológicos e de movimento, permitindo o monitoramento do status do usuário (MAJUMDER; MONDAL; DEEN, 2017).

Dessa forma, o dispositivo vestível criado, descrito neste trabalho, foi desenhado de maneira a permitir uma maior conformidade do usuário e movimentos em tempo real, com base nos movimentos do tronco. O dispositivo transfere os movimentos do tronco, por meio de sensores sem fio, para um ambiente digital que realiza a modelagem da coluna vertebral. Com esse recurso, os exercícios necessários para a reabilitação da lombalgia podem ser realizados de maneira adequada (DAMASCENO *et al.*, 2021).

O dispositivo possui dois periféricos e uma central de processamento, sendo que os periféricos são compostos por um módulo Adafruit 9-DOF IMU, produzido pela Adafruit Industries®. Esse módulo foi escolhido por possuir pequena dimensão física e ter seus custos de aquisição relativamente baixos. O módulo IMU conta com um giroscópio de três eixos, um acelerômetro de três eixos e um magnetômetro (bússola eletrônica) de três eixos, que trabalham em comunicação via protocolo I2C com um microcontrolador a partir de um único canal. Por intermédio do I2C, é possível acessar os nove tipos de informações vindas do UMI, apenas com uma entrada do microcontrolador.

Com o referido dispositivo, é possível monitorar os seguintes parâmetros: sensibilidade,

linearidade, polarização, desvio de polarização, robustez do choque, sensibilidade à vibração contra acelerações de alta frequência (fora da faixa de frequência de medição) e capacidade de autoteste e segurança (probabilidade de erros não detectada). Para mais detalhes, recomenda-se a leitura do artigo de Damasceno *et al.* (2021).

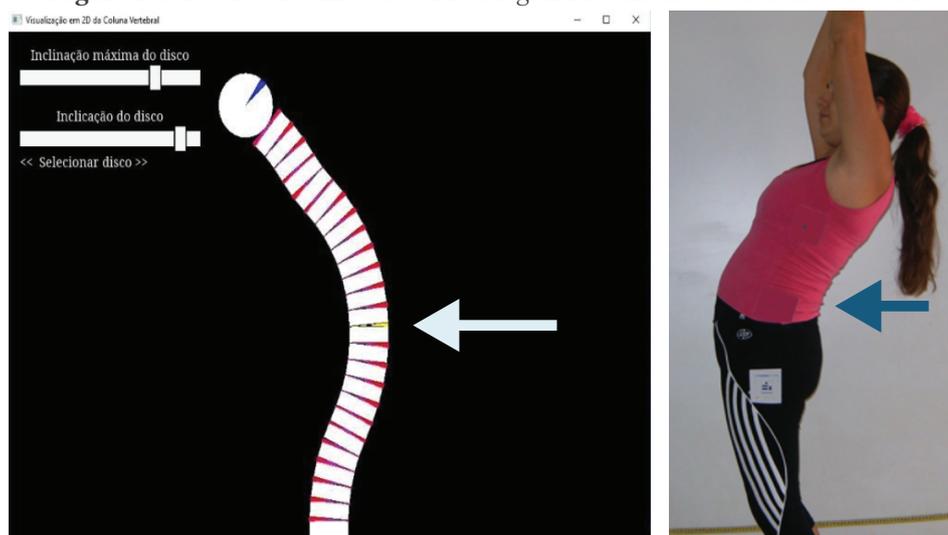
### 4.1 Validação do dispositivo

Considerando que a biomecânica da coluna vertebral pode ser influenciada por fatores psicológicos, sociais, hereditários, fisiológicos, idiopáticos e ambientais, os seguintes aspectos poderão estar relacionados diretamente com as alterações biomecânicas da coluna vertebral: a idade, o calçado, a profissão, o exercício, a depressão, o stress, a ansiedade, índice de massa corporal e a posição adotada ao longo do dia (ANDRADE; ARAÚJO; VILAR, 2005), sendo todos esses aspectos influenciadores da validação das mensurações.

Ademais, foi aplicado um simulador multimídia para visualização dos discos vertebrais e dos movimentos da coluna, em modelo simplificado de Hanavan (1964). Esse modelo possui sua formulação em modelagem matemática para que os dados possam ser aferidos e comparados com os modelos reais.

A Figura 1 é uma ilustração do visualizado em tempo real em que é possível verificar os dados simulados da coluna. Nesse software, implementou-se o modelo matemático que evidencia quando um disco intervertebral está sendo comprimido. Na Figura 1, apresenta-se a compressão, destacada em roxo, e o ponto focal de dor, evidenciado em amarelo.

**Figura 1:** Software Visualizador da Modelagem Matemática da Coluna Vertebral



Fonte: Dos autores (2019)

No simulador, a cabeça é ilustrada por um círculo, o qual se afere a posição central das medidas dos discos vertebrais, bem como a região sacrococcígea, que foram consideradas no modelo como imóvel, no intuito de facilitar a representação do modelo matemático.

Os movimentos mapeados pelo dispositivo permitem até seis graus de liberdade, e, com isso, é possível realizar movimentos de: flexão/extensão, inclinação lateral e rotação, com valores de referência para os testes de amplitude de movimento padrão (NATOUR *et al.*, 2004) de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1:** População pesquisada

Movimento	Baixa		Moderadamente Baixa		Média		Moderadamente Alta		Alta	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Flexão/ extensão	< 48	< 30	45 - 62	30 - 47	63-83	48-68	84-101	69-89	>101	>86
Inclinação lateral	<74	<104	74 - 89	104 -119	90 -106	120 -136	107 -122	137 -152	>122	>152
Rotação	< 108	< 134	108 -126	134 - 152	127 - 147	153 - 173	148 - 166	174 -192	> 166	> 192

Fonte: Dos autores (2019)

## 4.2 Testes com os sujeitos da pesquisa

Foram realizados testes iniciais do sistema para fornecer uma medição de acurácia e eficiência do dispositivo. Assim, foram selecionados 10 sujeitos voluntários da pesquisa, de ambos os sexos. Dos sujeitos analisados, 3 eram mulheres, com idade média de 20,4 anos, e 7 eram homens, com idade média de 21,7 anos.

O grupo masculino apresentou massa média de 68,77 kg e altura média de 172,82 cm, o que o classifica como um grupo de estatura mediana e de peso dentro da normalidade preconizada pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Entre os sujeitos do grupo feminino, a massa média foi de 59,65 kg e a estatura média foi

de 168,38 cm, o que classifica o grupo como de pessoas de biotipo normal.

Como protocolo de medida, adotou-se a medição tripla, que consiste na repetição das aferições pelo pesquisador aos sujeitos da pesquisa com intervalos de 1 minuto entre cada tomada de medida. Cada movimento aferido (flexão, inclinação e rotação) foi anotado e, posteriormente, foi realizada a média dos 10 participantes separados por gênero.

Os testes com os voluntários foram registrados por uma câmera de vídeo afastada o suficiente para não atrapalhar os movimentos dos sujeitos, ajustando-se o zoom para focar o indivíduo. Na Tabela 2, apresentam-se os dados de análise com o goniômetro.

**Tabela 2:** Dados de análise com goniômetro

Movimento	M				F			
	1º	2º	3º	Desvio	1º	2º	3º	Desvio
Flexão/extensão	68,82	70,61	71,03	0,89	79,35	80,62	81,18	0,69
Inclinação lateral	104,62	105,88	107,04	0,82	123,45	125,43	125,80	0,96
Rotação	132,56	133,36	134,56	0,71	162,67	164,13	164,63	0,76

Fonte: Dos autores (2019)

Os vídeos foram gravados em dois momentos distintos: o primeiro, no início da sessão de treino; e o segundo, no final, após a última sessão de treino. Foram tiradas fotos que registram a evolução da amplitude de movimento de cada sujeito e suas respectivas sugestões de melhoria para o sistema.

Na Tabela 3, apresentam-se os dados de análise com o dispositivo, mostrando os registros do desvio médio (desvio) e a diferença entre as médias das aferições colhidas com o goniômetro manual e com o dispositivo, em percentagem (delta).

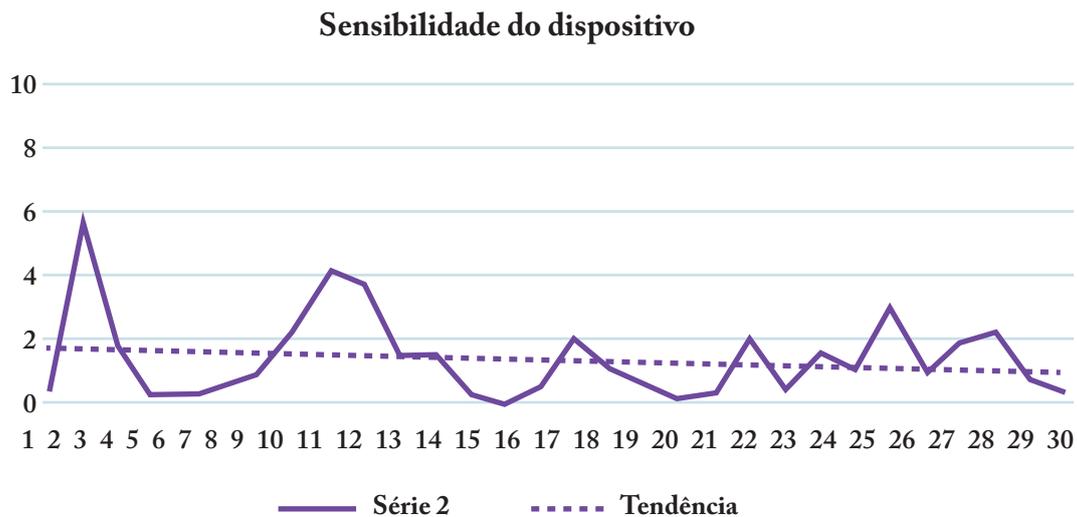
**Tabela 3:** Dados de análise com o dispositivo

Movimento	M					F				
	1°	2°	3°	Desvio	$\Delta$	1°	2°	3°	Desvio	$\Delta$
Flexão/extensão	66,65	69,65	72,78	2,06	0,66%	76,50	80,50	81,60	2,02	1,06%
Inclinação lateral	101,25	106,92	108,20	2,81	0,37%	118,40	122,70	123,10	2,00	2,80%
Rotação	128,35	132,07	135,11	2,33	1,23%	156,00	159,65	160,30	1,77	3,15%

Fonte: Dos autores (2019)

Para aferir a sensibilidade do dispositivo, optou-se pela análise de 30 segundos com os voluntários em situação de repouso ou descanso. Nesse aspecto, apesar de a bateria utilizada nos testes durar em média uma hora, optamos por fazer a análise de cada sujeito em uma quantidade de 200 registros espalhados em 30 segundos, a uma taxa nominal de 25 Hz na qual o dispositivo consegue enviar sinais, podendo abarcar uma taxa média de perda de sinal em 10%, como se observa na Figura 2.

**Figura 2:** Sensibilidade do dispositivo em modo parado/descanso



Fonte: Dos autores (2019)

Apesar do dispositivo estar junto ao corpo do sujeito, notamos que existe uma tendência de sensibilidade da posição em estado parado/descanso que tende a 2% de variação nos 30 segundos analisados, na média dos dez sujeitos apresentados na pesquisa.

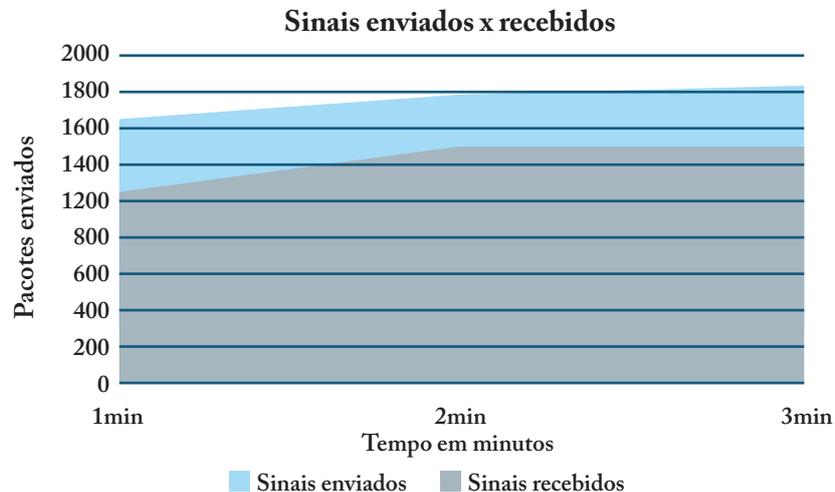
Percebe-se, também, que, após a afixação do dispositivo, os sujeitos tendem a acertar a postura – comportamento observado entre os dez

primeiros segundos de uso – e um posterior relaxamento próximo do final dos testes de sensibilidade.

No intuito de limitar o estudo e simplificar as análises, estabeleceu-se que o tempo de execução de cada exercício seria de 1 minuto, ou seja, 60 segundos, e, como critérios de análise, foram estabelecidos: sinais enviados e recebidos por segundo; e a taxa de erros, conforme Figura 3.

É possível inferir que, na primeira análise dos pacotes enviados e recebidos pelo dispositivo durante o primeiro minuto, foi obtida uma taxa de 72,4%; no segundo minuto, obteve-se uma taxa de 80,6%; e, no terceiro minuto, uma taxa de 79,7%. Logo, considerou-se que a taxa média foi de 77,59% dos pacotes de dados enviados e recebidos.

Figura 3: Taxa de erros por amostragem de pacotes enviados e recebidos



Fonte: Dos autores (2019)

## 5 CONCLUSÃO

Hodiernamente, vê-se cada vez mais dispositivos agregados às roupas, os quais são dispositivos vestíveis, voltados para melhoria da atividade física ou mesmo para a reabilitação. Notadamente, seu custo ainda não é acessível à população em geral e, portanto, há uma crescente demanda por tecnologias mais acessíveis.

ASSIM, UMA TECNOLOGIA MAIS ACESSÍVEL POSSIBILITA O AMPLO USO DE SENSORES DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS PARA O DESENVOLVIMENTO E A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS PARA MONITORAR REMOTAMENTE O STATUS DE PACIENTES, SENSORES ESSES IMPLANTADOS DE ACORDO COM A APLICAÇÃO CLÍNICA DE INTERESSE.

Após os achados apresentados neste trabalho, é possível inferir que o dispositivo apresentado poderá ser usado como equipamento para instrumentação na reabilitação física e motora de pacientes, visto que sua taxa de erro está com uma confiabilidade de mais de 70% e os dados aferidos possuem uma diferença aceitável (menor que 5%) em comparação com o instrumento manual.

Os dados que o dispositivo afere e envia permitem que o terapeuta acompanhe a evolução da amplitude de movimento em tempo real. Dessa forma, é possível gerar relatórios clínicos completos, possibilitando quantificar a efetividade do exercício.



# A WEARABLE GONIOMETRIC DEVICE FOR LOW BACK PAIN REHABILITATION

## ABSTRACT

*This paper presents an inertial measurement device to measure the range of motion of the human spine and help with low back pain rehabilitation. The device, developed with wearable and embedded technology, was designed, assembled, and tested. Ten healthy subjects were recruited for the experiment in order to test the data obtained by the device. Thus, the movements required are the same as those recommended for back pain rehabilitation. After statistical analysis of spinal range of motion data, the difference between the angulation measured by a conventional device (a regular goniometer) and by the wearable device was less than 5%. The effectiveness and accuracy rate of the device was higher than the interrater review, on average 3%. These results allow concluding that the proposed wearable device can be used as a measurement reference, as reliable as the manual goniometer.*

\*\*\*

**KEY-WORDS:** *Wearable device.  
Goniometry. Rehabilitation.  
Low back pain.*

\*\*\*

## REFERÊNCIAS

ABIDINE M. B., FERGANI B. Human Activities Recognition in Android Smartphone Using WSVM-HMM Classifier. *In: JMAIEL M., MOKHTARI M., ABDULRAZAK B., ALOULOU H., KALLEL S. (Orgs.) The Impact of Digital Technologies on Public Health in Developed and Developing Countries. ICOST 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12157. Springer, Cham, 2020.

ANDRADE, S. C.; ARAÚJO, A. G. R; VILAR, M. J. P. "Escola de Coluna": Revisão histórica e sua aplicação na lombalgia crônica. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v. 45, n. 4, p. 224-228, 2005.

BLASCO, J.; PERIS-LOPEZ, P. On the feasibility of low-cost wearable sensors for multi-modal biometric verification. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 18, n. 9, 1 set. 2018.

CIUTI, G. *et al.* MEMS sensor technologies for human centred applications in healthcare, physical activities, safety and environmental sensing: A review on research activities in Italy. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 15, n. 3, p. 6441-6468, 2015.

DAMASCENO, E. *et al.* Um dispositivo vestível para apoiar o tratamento da lombalgia mecânica. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 2, n. 2, 25 mar. 2021.

Damasceno, E.F., Lamounier Jr. E.F., e Cardoso. Recomendação de Exercícios Fisioterápicos por Sensores de Movimento. *Journal of Health Informatics*, v. 7, n. 2, 2015.

Damasceno, E.F., Lamounier Jr. E.F., e Cardoso, A. Uma avaliação heurística sobre um Sistema de Captura de Movimentos em Realidade Aumentada. *Journal of Health Informatics*, v. 4, n. 3, 2012.

ESFAHLANI, S. S. *et al.* Validity of the Kinect and Myo armband in a serious game for assessing upper limb movement. *Entertainment Computing*, v. 27, p. 150-156, ago. 2018.

GAO, W. *et al.* Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis. *Nature*, v. 529, n. 7587, p. 509-514, 27 jan. 2016.

GONCALVES, F.; CARDOSO, A.; AQUINO, R. Strategy for Support People with Physical Limitation using Games and Wearable Device Myo. *IEEE Latin America Transactions*, v. 16, n. 11, p. 2808-2816, nov. 2018.

HANAVAN, E. P. A Mathematical Model of the Human Body. *AMRL-TR. Aerospace Medical Research Laboratories*, 1-149, out. 1964.

KLEINPAUL, J. F.; RENATO, A.; MORO, P. Dor lombar e exercício físico. Uma revisão. *Lecturas, Educación Física y Deportes, Revista Digital*, Buenos Aires, v. 1, n. 33, p. 1-8, 2009.

KANJANAPAS, K., WANG, Y., ZHANG, W., WHITTINGHAM, L., & TOMIZUKA, M. *A Human Motion Capture System Based on Inertial Sensing and a Complementary Filter*. ASME 2013 Dynamic Systems and Control Conference, v. 3. Palo Alto, California, EUA. Out. 21-23, 2013.

MAJUMDER, S.; MONDAL, T.; DEEN, M. Wearable Sensors for Remote Health Monitoring. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 17, n. 12, p. 130, 12 jan. 2017.

MILTON, H.; GOLDENFUM, M. A.; SIENA, C. Lombalgia ocupacional. *Rev. Assoc. Med. Bras.*, v. 56, n. 5, p. 583-589, 2010.

MORAL-MUNOZ, J. A. *et al.* Smartphone-based systems for physical rehabilitation applications: A systematic review. *Assistive Technology*, p. 1-14, 21 maio 2019.

NATOUR, J. *et al.* *Coluna vertebral: conhecimentos básicos*. 2. ed. São Paulo (SP): ETCetera Editora, 2004.

OAKLEY, I.; O'MODHRAIN, S. Tilt to scroll: evaluating a motion based vibrotactile mobile interface. *In: WHC'05: First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 40-49. *Anais...* Los Alamitos, 2005.

PARK, S.; JAYARAMAN, S. Enhancing the quality of life through wearable technology. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, v. 22, n. 3, p. 41-48, 2003.

PATEL, S. *et al.* A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 9, n. 1, p. 21, 2012.

PAUL, P.; GEORGE, T. An effective approach for human activity recognition on smartphone. 2015 IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH), p. 45-47. *Anais...IEEE*, mar. 2015

THOMAS, C. H.; MACADAMS, D. Back pain rehabilitation. *Australian Family Physician*, v. 33, n. 6, p. 427-430, 2004.

XIANGFANG, R. LEI, S.; MIAOMIAO, L.; XIYING, Z. HAN, C. Research and sustainable design of wearable sensor for clothing based on body area network. *Cognitive Computation and Systems*, 3. 10.1049/ccs2.12014, 2021.

XUE, Y. A review on intelligent wearables: uses and risks. *Human Behavior and Emerging Technologies*, v. 1, n. 4, p. 287-294, 2019.

## SOBRE OS AUTORES



**Eduardo Filgueiras  
Damasceno**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6246-1246>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7333630388674575>

Professor Titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Cornélio Procópio. Também atua nos Programas de Pós-Graduação em Informática e em Ensino de Ciências. Tem experiência em sistemas de reabilitação física, motora e emocional e em criação de dispositivos médicos e terapêuticos para a saúde.



**José Barbosa Dias  
Junior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4465-4316>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9175997990682339>

Professor do Instituto Federal do Paraná, Câmpus Paranavaí. Tem experiência em EaD, sistemas adaptativos de Realidade Virtual e Aumentada e dispositivos móveis. Atualmente, desenvolve pesquisas em estratégias de adaptação de conteúdo digital para o ensino de computação.



**Armando Paulo da  
Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8186-051>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6724994186659242>

Professor Titular da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Cornélio Procópio. Também atua no Programa de Pós-Graduação em Ciências Humanas, Sociais e da Natureza, PPGEN da UTFPR, Multicâmpus Londrina e Cornélio Procópio. Tem experiência na área de Matemática, com ênfase em Cálculo Diferencial e Integral, atuando principalmente nos seguintes temas: EaD, metodologias ativas, TDIC, materiais manipuláveis, formação inicial de professores, dificuldades de aprendizagem (discalculia).

\*\*\*