

## SAPATO INTELIGENTE PARA MONITORIZAÇÃO DE SOBRECARGAS

*Inês Rodrigues<sup>1</sup>, Rui Ferreira<sup>1</sup>, Ana Guerra<sup>1</sup>, Nilza Ramião<sup>1</sup>, João Dias<sup>1</sup>, Tiago Machado<sup>2</sup>, Pedro Castro-Martins<sup>3</sup>, Arcelina Marques<sup>3</sup>, Mário Vaz<sup>1</sup> e Bruno Areias<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal

<sup>2</sup> AMF – Safety Shoes, Portugal

<sup>3</sup> CIETI, ISEP, Instituto Politécnico do Porto, Portugal

[irodrigues@inegi.up.pt](mailto:irodrigues@inegi.up.pt); [aguerra@inegi.up.pt](mailto:aguerra@inegi.up.pt); [nramiao@inegi.up.pt](mailto:nramiao@inegi.up.pt); [bareias@inegi.up.pt](mailto:bareias@inegi.up.pt);

**PALAVRAS-CHAVE:** Sapato inteligente, Monitorização de cargas, Segurança e saúde.

### 1 INTRODUÇÃO

Um sapato inteligente pode ser designado como um *wearable* com sensores embutidos que permitem monitorizar parâmetros como a marcha, pressão plantar e carga transportada, sendo normalmente aplicáveis à saúde e segurança no trabalho [1]. Em ambientes industriais, o transporte de cargas pesadas pode causar lesões musculoesqueléticas, redução da produtividade e aumento dos custos associados a licenças por absentismo e tratamentos médicos. Por isso, é essencial monitorizar as cargas manuseadas para garantir a segurança dos trabalhadores [2].

Existem estudos efetuados até ao momento que se baseiam em medições indiretas da carga, o que pode comprometer a precisão devido a fatores como a distribuição do peso, o movimento e a rigidez do calçado. Neste trabalho, desenvolveu-se um sapato sensorizado que mede diretamente a carga manuseada pelo trabalhador. Os sensores de carga enviam os dados a um servidor central para posterior análise. Esta abordagem permite conhecer o perfil de carga dos trabalhadores, que em conjunto com outros fatores ajuda a melhorar as condições de trabalho, ao estabelecer pausas mais adequadas e reduzir o risco de lesões.

### 2 IMPLEMENTAÇÃO

Desenvolveu-se um sistema de monitorização para garantir que os trabalhadores sigam as normas de saúde e segurança ocupacional, como a ISO 11228, que estabelece limites de carga, frequência de levantamentos e transporte de cargas. O sistema desenvolvido visa assegurar a conformidade com essas regulamentações e promover a segurança no ambiente de trabalho [3]. A solução modular integra quatro células de carga na palmilha do sapato, semelhante ao princípio de funcionamento de uma balança, Figura 1. A estrutura direciona a força exercida para os sensores de carga e, um sensor de flexão, acoplado nessa mesma estrutura do sapato, é responsável por indicar o correto posicionamento do pé do operador da carga. Atualmente, os sensores estão na palmilha e a eletrónica de controlo acomodada numa caixa externa, com planos futuros para integrar toda a eletrónica na estrutura do sapato.

#### 2.1 ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do *hardware* inclui: um microcontrolador nRF52832; um relógio em tempo real (RTC) com um sensor de temperatura embutido; um sistema de aquisição de dados; um circuito de alimentação. Adicionalmente, o sistema utiliza sensores de flexão e células de carga, para verificar a posição do pé e medir a carga aplicada, respetivamente. O sinal analógico dos sensores

de flexão é convertido num sinal digital pelo módulo ADS1115, um conversor analógico-digital (ADC). As células de carga são conectadas na configuração de ponte de *Wheatstone* e amplificadas pelo módulo HX711 antes do sinal ser processado pelo microcontrolador. Este último, gere os dados da carga medida, data, hora e temperatura. A alimentação do sistema é feita por uma bateria de lítio (Li-Ion, 320 mAh) dimensionada para uma autonomia de um turno de 8 horas de trabalho. Os dados são enviados para um servidor central (RPi) via *bluetooth low energy* (BLE). O protótipo do sistema desenvolvido segue apresentado na Figura 1.

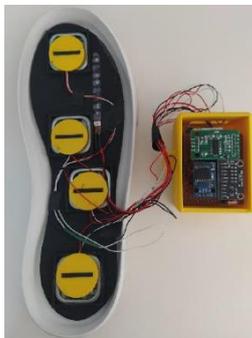


Figura 1 – Protótipo de sistema de medição de cargas (pé direito).

### 3 RESULTADOS

O sistema foi validado numa máquina de ensaios de compressão (Mecmesin Multitest 10-i) e testado por uma voluntária (feminino, 55 kg) que colocou todo o seu peso corporal sobre o pé direito (para o sistema medir toda a sua massa). Os resultados obtidos mostraram que a massa medida (56,81 kg) ficou muito próxima da massa real da voluntária, apenas com uma ligeira flutuação resultante do movimento de equilíbrio do seu peso em um só pé. Como esperado, o valor de carga só é obtido quando o sensor de flexão indica que o pé se encontra plano. O erro máximo obtido representa o desvio de 1,81 kg (3,3 %) entre o valor medido pelo sistema de cargas e o valor medido por uma balança.

### 4 CONCLUSÃO

Este estudo preliminar comprova a eficácia da medição direta de cargas através do uso de células de carga incorporadas em sapatos, para a deteção de situações de transporte em sobrecarga em ambiente industrial, de modo a evitar posteriores lesões musculoesqueléticas.

#### AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto “BioShoes4All – Inovação e capacitação da fileira do calçado para a bioeconomia sustentável”, projeto nº11, financiado por PRR – Plano de Recuperação e Resiliência, na sua componente 12 – Bioeconomia Sustentável, e pelos fundos europeus NextGeneration EU. Os autores também agradecem o financiamento concedido pela LAETA, no âmbito do projeto UIDB/50022/2020.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. Wang, Y. Kim, and S. D. Min, "Soft-material-based smart insoles for gait monitoring system," *Materials*, vol. 11, no. 12, p. 2435, Nov. 2018, doi: 10.3390/ma11122435.
- [2] B. Moradi and S. Barakat, "The association of manual load lifting tasks with the ergonomic risk factors of musculoskeletal disorders," *Journal of Human Environment and Health Promotion*, vol. 6, no. 4, pp. 183-187, Jan. 2020, doi: 10.29252/jhehp.6.4.6.
- [3] *ISO 11228-1:2021 – Ergonomics – Manual handling – Part 1: Lifting, lowering, and carrying*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2021.