

**(12) PEDIDO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

|                                                      |                                                        |           |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------|
| (22) Data de pedido: <b>2015.01.09</b>               | (73) Titular(es):<br><b>UNIVERSIDADE DE COIMBRA</b>    |           |
| (30) Prioridade(s):                                  | <b>PAÇO DAS ESCOLAS 3004-531 COIMBRA</b>               | <b>PT</b> |
| (43) Data de publicação do pedido: <b>2016.07.11</b> | <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA</b>                | <b>PT</b> |
| (45) Data e BPI da concessão: /                      | (72) Inventor(es):<br><b>MANUEL MARQUES CRISÓSTOMO</b> | <b>PT</b> |
|                                                      | <b>ANTÓNIO PAULO MENDES BREDAS DIAS COIMBRA</b>        | <b>PT</b> |
|                                                      | <b>PAULO ALEXANDRE DA SILVA FERREIRA</b>               | <b>PT</b> |
|                                                      | <b>JOÃO PAULO MORAIS FERREIRA</b>                      | <b>PT</b> |
|                                                      | <b>ALEXANDRA SOFIA DOMINGUES VIEIRA</b>                | <b>PT</b> |
|                                                      | (74) Mandatário:                                       |           |

(54) Epígrafe: **CALÇADO INSTRUMENTADO PARA ANÁLISE DA MARCHA**

(57) Resumo:

A PRESENTE INVENÇÃO DESCREVE UM SISTEMA QUE PERMITE DETERMINAR AS TRÊS COMPONENTES DA FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO AO PÉ E A LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE PRESSÃO (COP) NO CALÇADO, DURANTE A MARCHA. O SISTEMA COMPREENDE UMA PARTE DA FRENTE, QUE ABRANGE O ANTE-PÉ, CONSTITUÍDA POR UMA PLATAFORMA INFERIOR (1) E OUTRA SUPERIOR (3), E UMA PARTE DE TRÁS, QUE ABRANGE O MEDIO-PÉ E O RETRO-PÉ, CONSTITUÍDA POR UMA PLATAFORMA INFERIOR (2) E OUTRA SUPERIOR (4). A LIGAÇÃO ENTRE AS DUAS PARTES É FEITA COM UMA DOBRADIÇA (5) E BANDAS ELÁSTICAS. SÃO UTILIZADOS DEZASSEIS SENSORES DE FORÇA FINOS, DISPOSTOS AOS PARES, NA HORIZONTAL E NA VERTICAL, NOS CANTOS DA BASE. OS CANTOS ENCONTRAM-SE ORIENTADOS COM UM ÂNGULO DE 45°, PERMITINDO O CÁLCULO DAS FORÇAS HORIZONTAIS E VERTICAIS. O SISTEMA ADAPTA-SE A VÁRIOS TAMANHOS DEVIDO À EXISTÊNCIA DE UMA GUIA E DE UM CALÇO MÓVEL (6) NA ZONA DO CALCANHAR.

## Resumo

### Calçado instrumentado para análise da marcha

A presente invenção descreve um sistema que permite determinar as três componentes da força de reação do solo ao pé e a localização do centro de pressão (CoP) no calçado, durante a marcha.

O sistema compreende uma parte da frente, que abrange o ante-pé, constituída por uma plataforma inferior (1) e outra superior (3), e uma parte de trás, que abrange o medio-pé e o retro-pé, constituída por uma plataforma inferior (2) e outra superior (4). A ligação entre as duas partes é feita com uma dobradiça (5) e bandas elásticas.

São utilizados dezasseis sensores de força finos, dispostos aos pares, na horizontal e na vertical, nos cantos da base. Os cantos encontram-se orientados com um ângulo de  $45^\circ$ , permitindo o cálculo das forças horizontais e verticais.

O sistema adapta-se a vários tamanhos devido à existência de uma guia e de um calço móvel (6) na zona do calcanhar.

## Descrição

### Calçado instrumentado para análise da marcha

#### Domínio técnico da invenção

Atualmente tem-se verificado uma necessidade cada vez maior de conhecer e perceber os padrões da marcha humana. A análise da marcha pode ter diversas aplicações, tais como no desporto e na medicina, permitindo detetar padrões de corrida prejudiciais ou pouco eficientes, o diagnóstico de certas doenças, como a doença de Parkinson, a avaliação de tratamentos de reabilitação física, entre muitas outras aplicações.

Para a análise da marcha são considerados de interesse vários parâmetros, desde a distribuição da pressão nos pés durante o andar, o movimento das articulações, a aceleração e orientação das junções articulares, entre outros aspetos. A nossa invenção centra-se essencialmente no papel das forças verticais e horizontais exercidas pelo pé no solo, durante a marcha.

#### Estado da técnica

A nossa invenção baseia-se na construção de um calçado instrumentado capaz de medir as forças verticais e horizontais exercidas pelo pé no solo durante a marcha.

Na área do calçado instrumentado existem já diversas soluções que podem ter várias aplicações. Atualmente já existe calçado que permite a localização de indivíduos em situações de emergência (CN104000342(A)), sendo possível enviar pedidos de socorro com a localização para um dispositivo eletrónico remoto (KR20140077357(A)). Também já existem várias soluções capazes de manter uma certa temperatura no interior do calçado (CN203762388(U), KR20140077357(A)), utilizando sensores de temperatura recarregáveis com o andar (CN1059460(A)).

A utilização de calçado que permita a emissão de luz (CN202697902(U)) também já é conhecida, podendo ser

recarregável através dos movimentos durante a marcha (CN203073093(U)). Também é possível programar o lançamento de alertas auditivos ou visuais quando determinado valor medido com sensores no calçado sai da gama de valores considerados aceitáveis (KR20130140451(A)).

Mais direcionado para a análise da marcha humana, já existem sistemas que determinam o deslocamento (CN203762364(U)), a distância percorrida, o número de passos dados e a velocidade (CA1207082(A1)). Também se podem usar acelerómetros para posterior análise dos passos (KR20130013935(A)), bem como sensores de deformação nas solas do calçado para ajudar na reabilitação de doentes com fraturas nos membros inferiores (CN202761288(U)).

É importante referir que muitos dos calçados instrumentados permitem a transmissão sem fios de dados biométricos (KR20140060164).

No âmbito do tema do calçado instrumentado, têm sido apresentadas várias patentes com sistemas para calçado compostos por sensores de força/pressão. O calçado descrito na patente CN203692655(U) possui sensores de pressão que permitem obter medições precisas e é capaz de medir ainda a temperatura e a humidade no interior do sapato.

Numa perspetiva mais ligada ao desporto, pode ser útil utilizar calçado com sensores de pressão, por exemplo no Golf, de forma a determinar se o jogador está a andar ou se está prestes a jogar, com os sapatos apresentados nas patentes US8141277(B2) e US2010154255(A1). A patente JP2003125806(A) descreve um sapato com sensores de força que quando medem valores que ultrapassam um dado limite emite um alerta. Este sistema também emite sons durante a marcha de forma a motivar o indivíduo a fazer exercício.

A patente WO2014165798(A2) apresenta uma solução direcionada para a área da saúde. Trata-se de uma meia, chinelo ou sapato com sensores de pressão, capazes de detetar se o indivíduo saiu da cama, informando os cuidadores acerca do seu movimento. É uma solução útil para indivíduos com patologias como o Alzheimer. As patentes US2006016255(A1) e US7191644(B2) também apresentam um sistema, neste caso uma palmilha, capaz de detetar e emitir um alerta quando o pé entra em contacto com o chão.

A patente CN102308270(A) apresenta um sensor capacitivo que quando é sujeito a uma força e está em contacto com um corpo condutor consegue localizar o ponto

de aplicação da força e medir a sua intensidade, podendo ser utilizado para monitorizar a pressão no pé.

Existem várias invenções que utilizam dados recolhidos com sensores de pressão em calçado para análise da marcha, como por exemplo os sistemas descritos nas patentes JPS60213839(A), CN1969703(A) e TW201315400(A). Outro sistema que pode ser utilizado para análise da marcha é a palmilha descrita na patente US20130211290(A1) que possui uma folha/camada de deteção de pressões. Uma alternativa poderá ser a utilização do sapato apresentado na patente CN203480031(U), que para além de sensores de força também utiliza acelerómetros e giroscópios de três eixos.

As patentes KR20120070846(A) e EP2422698(A1) referem sistemas compostos por sensores de pressão dispostos na sola ou junto desta e que, com base no centro de pressão (CoP), conseguem determinar e analisar parâmetros da marcha, como por exemplo a velocidade.

A patente CN103027431(A) descreve um sapato com sensores de pressão que permite contar o número de vezes que o pé assenta no chão, e com isto estimar a distância percorrida, a caminhar ou a correr, e quantificar a intensidade do exercício físico.

Existem ainda sistemas que avaliam a postura durante a marcha usando sensores de pressão (KR101191800(B1), KR20110124964(A), WO2012060578(A9), WO2012060578(A3), WO2012060578(A2),), podendo apresentar um dispositivo que alerta para a correção da postura através da vibração (CN203105800(U)).

As patentes US2006016255(A1), CN103142236(A), US2014159911(A1) e US6360597(B1) apresentam palmilhas constituídas por sensores de pressão dispostos de forma a determinar as cargas em diferentes pontos do pé, com o objetivo de auxiliar indivíduos com falta de sensibilidade nos pés, detetar falhas na marcha e no posicionamento do pé no solo, determinar alterações no estado de saúde do indivíduo através da análise da marcha, e analisar parâmetros da marcha.

No que diz respeito à avaliação da marcha existem também outras soluções que permitem o diagnóstico de determinadas complicações com base nos valores recolhidos por um conjunto de sensores no interior do calçado, durante a marcha (US2014159911(A1)).

Foi desenvolvido um dispositivo para reabilitação e avaliação da marcha, baseado na aplicação de estímulos elétricos (ou outros) através de elétrodos distribuídos na

sola do pé, de forma a estimular a marcha. São utilizados sensores nas pernas e/ou nos sapatos/palmilhas, tais como acelerômetros, giroscópios, goniômetros. A unidade controladora lê os sinais e ajusta os estímulos consoante o feedback medido a cada passo (US2012059432(A1) e US8452410(B2)).

A patente TW201346238(A) descreve uma solução que usa dados de sensores de pressão, para posterior análise da marcha e cálculo do CoP, e outros parâmetros, apresentando a particularidade de enviar um alerta quando for necessário usar uma palmilha especial para corrigir algum problema na marcha.

Para a análise da marcha existem ainda sistemas que permitem encontrar um modelo matemático para o consumo de energia associado ao movimento humano (CN200994779(Y)), e ainda um robot de assistência que mede a velocidade da marcha de acordo com dados do ciclo da marcha (KR20130093201(A)), utilizando os dados de um sensor colocado no sapato, que envia os dados por um sistema de comunicação sem fios.

Já na literatura científica têm surgido várias soluções que permitem a determinação do CoP, a medição da componente vertical da força de reação do solo no pé e de vários parâmetros temporais da marcha. Estas soluções baseiam-se fundamentalmente na construção de palmilhas flexíveis que utilizam sensores com diversos princípios de funcionamento. As palmilhas descritas na literatura utilizam essencialmente sensores de força resistivos (Howell *et al.*, 2013; Pfaffen *et al.*, 2011; Bamberg *et al.*, 2008), sensores de flexão (Bamberg *et al.*, 2008), sensores de pressão de ar (Kong *et al.*, 2009) e tecidos sensíveis à pressão (Shu *et al.*, 2010), com diversas distribuições possíveis na palmilha.

Mais recentemente surgiu uma palmilha capaz de determinar as três componentes da força de reação do solo no pé e calcular o CoP, à semelhança da nossa invenção. Trata-se de uma palmilha flexível com cinco sensores de força, cujo princípio de funcionamento se baseia nos princípios da reflexão da luz (Lincoln *et al.*, 2012). Estes sensores tácteis contêm na sua base uma fonte de luz e um fotodetector, e no topo apresentam um material opaco e refletor com algumas regiões de absorção. Ao serem aplicadas forças, a distância entre a base e o topo diminui, e a posição da placa refletora em relação ao emissor também se altera. Deste modo, com base nos valores

da intensidade da luz refletida, é possível calcular as componentes vertical e horizontais da força, assim como o CoP. Todavia, esta solução apresenta algumas limitações, nomeadamente a dependência dos valores medidos com a temperatura e a saturação dos fotodetetores.

Em 2014 foi também desenvolvida uma palmilha capaz de determinar a força exercida pelo pé no solo e a localização do CoP. A palmilha é constituída por uma camada de silicone, dividida em 64 células sensíveis à pressão (Crea *et al.*, 2014). O funcionamento destas células baseia-se nos princípios da optoelectrónica. Cada célula cobre um diodo emissor de luz e um fotodiodo, ambos soldados no circuito impresso, com uma camada de silicone preta e opaca. Quando não é aplicada nenhuma força sobre a célula, o fotodiodo deteta uma intensidade máxima. No entanto, ao ser aplicada uma carga, a camada de silicone deforma-se, fazendo com que uma pequena saliência existente no seu interior desça e bloqueie gradualmente a passagem da luz.

As principais vantagens deste sistema são o facto de não ser sensível à temperatura nem à humidade, e o facto de não necessitar de amplificadores. Além disso, evita a utilização de dispositivos instrumentados noutras partes do corpo. A sua maior desvantagem deve-se ao uso de uma única curva de calibração para todas as células.

No mercado já existem várias palmilhas capazes de medir a componente vertical das forças de reação do solo no pé e que, com aplicações informáticas associadas, permitem determinar a localização do CoP, a construção de mapas de distribuição da pressão e a determinação de parâmetros temporais da marcha, entre outros aspetos. Destes sistemas podemos destacar as palmilhas F-Scan (Tekscan, USA) e Pedar (Novel, Alemanha) que utilizam sensores de força resistivos e capacitivos respetivamente. Existem ainda as palmilhas ParoTec (Paromed, Austrália) que usam sensores piezo-resistivos, permitindo obter também os valores das forças de corte e de propulsão, e as palmilhas Parologg, da mesma empresa, que para além da pressão do pé, obtêm as acelerações nos três eixos utilizando acelerómetros e magnetómetros.

No entanto, apesar da utilização de palmilhas ser uma solução leve e portátil para o problema descrito, estas têm a desvantagem de nem sempre se ajustarem perfeitamente aos vários tipos de calçado e às formas dos pés dos indivíduos, podendo por vezes causar desconforto e levar à alteração de padrões da marcha.

Neste sentido, a construção de um dispositivo capaz de determinar as três componentes da força exercida pelo pé no

solo e que possa ser integrado na sola de qualquer tipo de calçado, constitui uma grande vantagem e avanço nos sistemas de análise da marcha.

Atualmente existe no mercado o ForceShoe (Xsens, Holanda), um sistema de análise da marcha constituído por dois dispositivos colocados em contacto com a parte de baixo e exterior da sola de uma sandália. Um dos dispositivos é fixado na parte da frente da sandália e outro na parte de trás, contendo cada um uma célula de carga e um sensor inercial. Assim, é possível obter a orientação de cada pé, e as três componentes da aceleração, da velocidade angular, do campo magnético, das forças e do binário. De seguida os dados são enviados por um protocolo de comunicação sem fios para um computador, com uma aplicação informática capaz de tratar a informação.

Todavia, o ForceShoe apresenta algumas desvantagens das quais se destacam a necessidade de realização dos testes num ambiente limpo de forma a evitar interferências nas medições devido à sujidade e/ou pequenos objetos, e o facto de apenas utilizar duas células de carga, não permitindo obter o mapeamento da pressão no pé.

Existem vários sistemas de análise da marcha já patenteados que descrevem soluções para a construção de palmilhas ou de solas instrumentadas. A patente US6807869(B2), descreve um sistema que utiliza uma série de sensores de força constituídos por duas camadas de tecido condutor e por uma camada de um material compressível contendo filamentos de um material condutor. Os sensores de força podem ser distribuídos por certas áreas de uma palmilha removível ou podem fazer parte da própria sola do calçado. Este sistema permite o cálculo da distância percorrida e das forças exercidas pelo pé.

A patente US8628485(B2) apresenta um sistema com vários sensores distribuídos numa palmilha ou numa sola. Os sensores podem medir a pressão do pé e tensões de corte segundo duas direções, sendo necessário garantir uma distribuição igual nos dois pés. Os dados recolhidos podem ser utilizados para a realização de diversas análises, tais como o cálculo da pressão média para cada sensor e para cada fase da marcha, determinação da pressão média de cada par de sensores (um do sapato direito e outro do esquerdo), comparação de valores, cálculo de binários, determinação da localização do CoP e ainda classificação dos sensores em

diferentes categorias consoante a pressão medida, para cada fase da marcha.

Já a patente US2014/0013862(A1) descreve um sistema que permite a medição das componentes verticais e horizontais das forças exercidas pelo pé no solo, à semelhança do sistema que apresentamos. O sistema compreende dois dispositivos que se podem fixar na sola exterior do calçado, ou podem ser integrados numa sola durante o seu fabrico. Estes dispositivos são fixados um na parte da frente do pé, e outro na zona do calcanhar. A medição das forças exercidas pelo pé no solo é feita utilizando células de carga verticais e horizontais nos dois compartimentos referidos, sendo necessário que se posicionem de forma ao sistema não ser sensível a forças fora dos eixos. Devem ser utilizadas pelo menos três, quatro ou seis células de carga verticais, em conjunto com três células horizontais em que duas delas são colocadas perpendicularmente à terceira célula horizontal. Além disso são utilizados sistemas de rolamentos sobre as células de carga verticais para garantir que a carga é essencialmente vertical e permitir pequenos movimentos relativos entre a placa superior e inferior do sistema, sem a medição de forças indesejadas.

Para manter as placas superiores e inferiores juntas e para assegurar uma força mínima de compressão nas células verticais, são utilizados elásticos a unir as placas. Por fim, o envio dos dados para posterior análise, pode ser feito por um protocolo de comunicação sem fios. Esta invenção apresenta algumas limitações, pois é um sistema dispendioso e está facilmente sujeito à interferência da sujidade e a alterações do padrão normal da marcha, principalmente quando o sistema é aplicado à parte exterior de uma peça de calçado.

O sistema que desenvolvemos consiste numa sola instrumentada que permite a medição das três componentes (x, y, z) da força exercida pelo pé no solo e a determinação da localização do CoP, durante a marcha. O dispositivo apresentado poderá ser aplicado no fabrico de vários tipos de calçado devido à sua simplicidade de fabrico, tendo como finalidade o diagnóstico de patologias da marcha, assim como outras aplicações na área da medicina, desporto, etc. Trata-se de uma solução barata, leve, portátil e ajustável a vários tamanhos de pé, que permite a realização de testes no exterior e no interior,

podendo também medir as forças exercidas durante as atividades do dia a dia de um indivíduo. Outras vantagens associadas são o facto de ser um sistema preciso, na medida em que apresenta sensores de força distribuídos pelas três regiões do pé (ante-pé, médio-pé e retro-pé). É prático e cómodo, uma vez que o sistema faz parte da sola do calçado, permitindo ao seu utilizador manter um padrão de marcha normal. Além disso, o envio dos dados é feito através de um sistema de comunicação sem fios.

Neste sentido, através desta análise detalhada do estado da arte verifica-se que a nossa invenção será uma mais-valia para o diagnóstico, acompanhamento de processos de reabilitação, entre outras aplicações, na medida em que permite extrair parâmetros importantes da marcha humana de uma forma prática, simples e económica.

#### Breve descrição das figuras

As figuras apresentadas ilustram o sistema descrito:

Figura 1: Aspeto exterior do sistema visto em perspetiva a partir cima.

Figura 2: Aspeto exterior do sistema visto em perspetiva a partir de baixo.

Figura 3: Aspeto interior do sistema, mostrando a disposição dos componentes na plataforma inferior da parte da frente.

Figura 4: Aspeto interior do sistema, mostrando a disposição dos componentes na plataforma inferior da parte de trás.

Figura 5: Representação dos pormenores da parede lateral da plataforma inferior da parte de trás do sistema.

Figura 6: Representação da plataforma superior da parte de trás, vista a partir de baixo.

Figura 7: Representação da plataforma superior da parte da frente, vista a partir de baixo.

## Descrição detalhada da invenção

O sistema apresentado divide-se essencialmente em duas partes: uma parte da frente e uma parte de trás (Figura 1 e 2). Cada uma das partes é constituída por duas plataformas que permitem o suporte e a proteção física do sistema. As plataformas inferiores (1, 2) servem de suporte, permitindo a fixação dos vários componentes eletrónicos, enquanto que as plataformas superiores (3, 4) funcionam como uma tampa que protege o sistema e suportam a palmilha. As duas partes estão unidas por uma dobradiça (5) aparafusada na face de cima das duas plataformas superiores (3, 4), e por um elástico disposto longitudinalmente que se encontra preso a duas ranhuras (10a, 10b) nas faces de baixo das duas plataformas inferiores (1, 2). A dobradiça (5) permite que as duas partes do dispositivo acompanhem o movimento do pé durante a marcha, e os elásticos garantem a recuperação da posição inicial, isto é, que a parte de trás e da frente se voltam a alinhar. É importante referir que a parte da frente deve ser mais pequena do que a parte de trás, sendo necessário garantir que o seu comprimento corresponde a cerca de 30% do tamanho do pé, para permitir um melhor ajuste do dispositivo durante a marcha.

O dispositivo permite a adaptação a vários tamanhos de pé devido à existência de um calço (6) que se desloca ao longo de uma guia (7), colocada por baixo da plataforma inferior da parte de trás (2), na zona do calcanhar (Figura 2). A guia (7) encontra-se colada e aparafusada à parte de baixo da plataforma inferior, da parte de trás (2), e o calço (6) encaixa na guia (7) deslizando sobre ela. O calço (6) é fixado à plataforma inferior da parte de trás (2) com parafusos (8), numa de três posições possíveis, permitindo o ajuste da sua posição de acordo com o tamanho do pé do indivíduo. As posições referidas encontram-se marcadas (9) na plataforma inferior de trás (2). Estas marcações podem ser feitas noutras posições distintas das mostradas, de forma a abranger outros tamanhos. No entanto, é necessário garantir que o calço (6) está posicionado por baixo do calcanhar do indivíduo, uma vez que é aí que ocorre o primeiro contacto do pé com o solo, sendo uma referência fundamental para o cálculo do centro de pressão.

Para a medição das componentes das forças exercidas pelo pé no solo são utilizados dezasseis sensores de força.

Neste caso usaram-se sensores resistivos (Flexiforce 201 da Tekscan, em que os sensores verticais medem até 440 N e os horizontais até 110 N), mas podem-se utilizar outro tipo de sensores.

Os sensores estão distribuídos pelas duas partes do dispositivo: oito na parte da frente e oito na parte de trás (Figura 3 e 4). Cada uma das partes apresenta quatro sensores verticais (11) e quatro sensores horizontais (12) dispostos aos pares nas plataformas inferiores (1, 2), ou seja, um sensor horizontal é sempre acompanhado por um sensor vertical, estando dispostos de forma a fazerem um ângulo de  $90^\circ$  entre si. Assim, os sensores verticais (11) são colocados num plano paralelo ao eixo longitudinal do sistema, nos cantos das plataformas inferiores (1, 2) ou nas plataformas superiores (3, 4), permitindo este último caso a inversão do sistema. Os sensores horizontais (12) encontram-se fixos nos cantos da parede lateral das plataformas inferiores (1, 2), fazendo um ângulo de  $45^\circ$  com o eixo longitudinal. Esta disposição permite a medição das duas componentes da força horizontal utilizando um só sensor.

Os sensores encontram-se fixos às plataformas inferiores (1, 2) nas posições descritas. Todavia, os sensores verticais (11) também encaixam em batentes (13) para evitar que a sua posição e orientação se altere com o uso.

Para tornar as medições mais corretas, são utilizadas semiesferas (14) coladas sobre a área sensível de cada um dos sensores verticais e horizontais (11, 12) para assegurar que existe apenas um ponto de contacto com a plataforma superior (3, 4) e que a carga é distribuída pela área sensível do sensor.

A ligação dos sensores à restante eletrónica é feita por fios elétricos. É necessário referir que ambas as partes do dispositivo apresentam um orifício (15) que permite a passagem dos fios dos sensores da parte da frente para a parte de trás, onde se encontra a placa de aquisição (16). Os fios, ao atravessarem o orifício (15), podem ser protegidos por exemplo por uma mola e uma manga.

No que diz respeito à eletrónica do sistema, é na parte de trás do sapato que estão os componentes necessários à aquisição e transmissão dos sinais elétricos (Figura 4). Neste sentido, a plataforma inferior da parte de trás (2) alberga uma placa de aquisição (16) e uma placa

de comunicação (17). A placa de aquisição (16) recebe os sinais de todos os sensores do sapato e possui um circuito de condicionamento de sinal e de carregamento da bateria. A placa de comunicação (17) contém um microprocessador que compacta os dados recolhidos pela placa de aquisição (16) e de seguida envia-os por ZigBee, ou outro protocolo/tecnologia, para um computador ou outro dispositivo eletrónico. A placa de aquisição (16) é fixada à plataforma inferior da parte de trás (2) através de parafusos (8) e a placa de comunicação (17) mantém-se fixa através da utilização de fita-cola de dupla face e de batentes (13). Além disso, existe ainda uma porta USB (18) na parede lateral da parte de trás da plataforma inferior (2) que está ligada a um circuito USB (19). Este circuito encontra-se ligado à placa de comunicação, permitindo a atualização da aplicação informática, e o carregamento da bateria.

A plataforma inferior da parte de trás (2) possui na sua parede lateral e exterior dois LED's (20, 21). O LED anterior (20) indica o carregamento da bateria e o LED posterior (21) indica o estado do sistema, isto é, se está a adquirir dados ou não. Junto aos LED's (20, 21) também se encontra um interruptor (22) que permite ligar e desligar o sistema (Figura 5).

Para manter as plataformas inferiores (1, 2) e superiores (3, 4) unidas, utilizam-se pinos (23) distribuídos pela parede lateral das plataformas inferiores (1, 2). A sua posição e número são variáveis. Os pinos (23) encaixam em orifícios próprios (24) existentes nas plataformas superiores (3, 4) (Figura 6 e 7). Estes orifícios (24) têm as dimensões definidas de forma a dar uma pequena folga ao pino (23), permitindo um movimento vertical e lateral, tipicamente inferior a um milímetro, sem danificar os sensores e evitando a introdução de erros nas medições. Além disso, a plataforma superior da parte de trás (4) apresenta uma cavidade (25) que protege a placa de aquisição (16) e a placa de comunicação (17) dos movimentos das plataformas superiores (3, 4) e inferiores (1, 2) (Figura 7). Um aspeto importante a ter em conta é o facto de que quando o sistema está ligado sem ser utilizado por nenhum indivíduo, regista-se uma força que se deve ao peso das plataformas superiores (3, 4), e que deve ser subtraída ao valor das forças medidas durante o movimento.

A alimentação do sistema é feita por uma bateria que se encontra numa cavidade existente na parte superior da guia (7), por baixo da zona da placa de comunicação (17). A separar a bateria da placa de comunicação (17), existe uma tampa que possui um pequeno orifício para a passagem dos fios condutores.

Por fim, o sistema deve incluir uma palmilha sobre as plataformas superiores (3, 4), assim como uma sola por baixo das plataformas inferiores (1, 2). A zona lateral também pode ser revestida, tendo sempre o cuidado de manter três orifícios laterais para a visualização dos LED's (20, 21) e para aceder ao interruptor (22). Também podem ser usados batentes na zona dos dedos e no médio-pé, de lado, para que o pé permaneça dentro da área de medição. Para manter o pé fixo e justo, utilizam-se três ou mais fivelas, como numa sandália normal.

Coimbra, 18 de dezembro de 2015

## Reivindicações

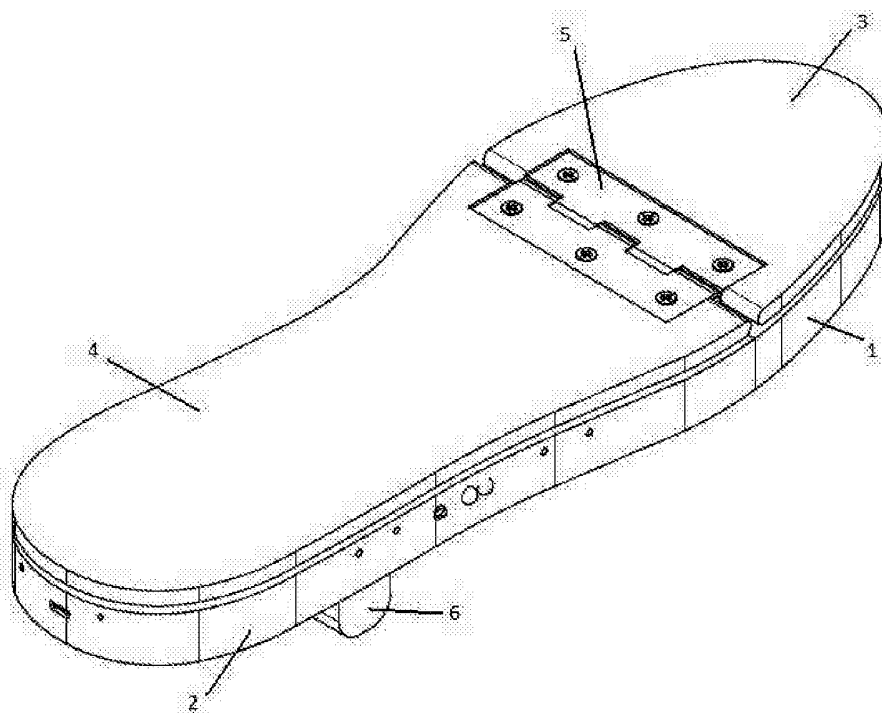
1- Sistema eletrónico de análise da marcha inserido na sola de um sapato ou outro tipo de calçado, formado por duas partes, cada uma composta por duas plataformas, uma superior e outra inferior, e caracterizado por possuir:

- Uma plataforma superior da frente (3) e outra de trás (4) que se encontram ligadas por uma dobradiça (5) e uma plataforma inferior da frente (1) e outra de trás (2) ligadas por elásticos presos em ranhuras (10a, 10b) na parte de baixo destas plataformas, que permitem que o sistema volte à posição inicial, após o movimento de retorno da dobradiça;
- Plataformas inferiores (1, 2) com pinos (23) na sua parede lateral que encaixam em orifícios (24) existentes nas laterais das plataformas superiores (3, 4), orifícios (24) esses com dimensões que permitem um movimento relativo das plataformas superiores relativamente às inferiores, limitado, sem danificar nenhum dos seus componentes nem afetar as medições e mantendo as posições relativas das plataformas;
- Uma guia (7), por baixo da plataforma inferior de trás (4), na zona do calcanhar, sobre a qual se desloca um calço (8) que pode ser fixado numa de várias posições, de acordo com o tamanho do pé;
- Uma placa de aquisição (16) e uma placa de comunicação (17), posicionadas na plataforma inferior de trás (2), sendo esta última responsável pelo envio dos dados recebidos na placa de aquisição (16), para um computador ou outro dispositivo eletrónico, externo ao sistema;
- Plataformas inferiores (1, 2) que albergam vários sensores de força (11, 12), responsáveis pela recolha e envio de dados, através de fios condutores, para a placa de aquisição (16);

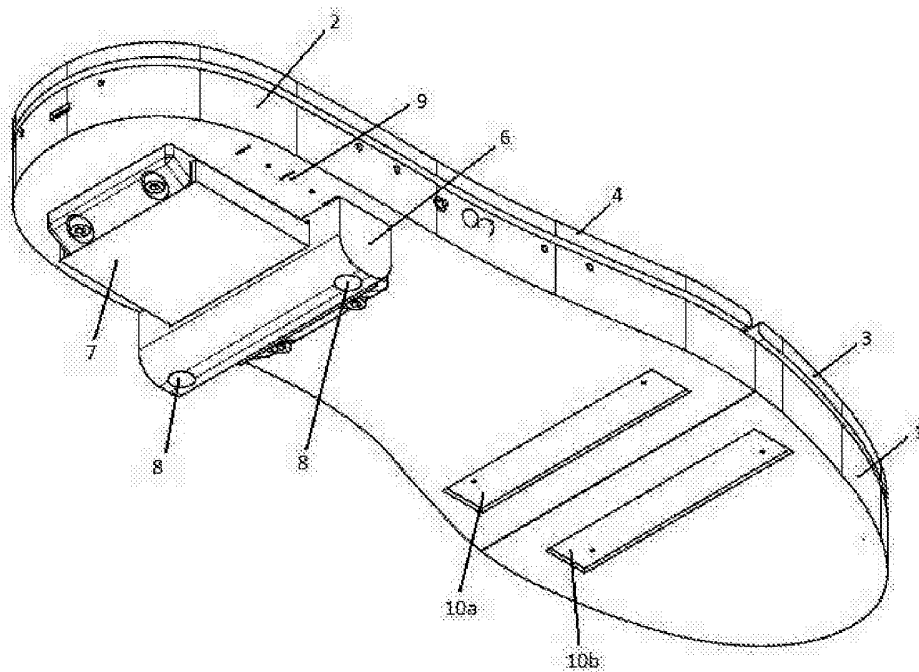
- Quatro sensores que medem as forças verticais, sensores verticais (11), e quatro sensores de força que medem as forças horizontais, sensores horizontais (12), com uma disposição independente do tamanho do pé selecionado;
- Sensores de força dispostos em pares nos cantos das plataformas inferiores (1, 2), onde cada par é constituído por um sensor vertical (11) e um sensor horizontal (12), dispostos ortogonalmente entre si;
- Sensores horizontais (12) fixos nos cantos das paredes laterais das plataformas inferiores (1, 2) que apresentam um ângulo de 45° em relação ao eixo longitudinal do sistema, permitindo medir as duas componentes da força horizontal;
- Sensores verticais (11) fixos ao interior das plataformas inferiores (1, 2) ou das plataformas superiores (3, 4), num plano perpendicular ao plano da base da plataforma, permitindo que o sistema seja invertível;
- Sensores distribuídos por baixo da zona do ante-pé, do médio-pé e do retro-pé de forma a monitorizar toda a base do pé;
- Semiesferas (14) sobre a área sensível dos sensores verticais (11) e horizontais (12), para assegurar que existe apenas um ponto de contacto com as plataformas superiores (3, 4) e que a carga é distribuída pela área sensível do sensor;
- Um orifício (15), presente nas duas plataformas inferiores (1 e 2), através do qual passam os condutores, protegidos por uma mola e uma manga ou outra proteção, que ligam os sensores da plataforma inferior da frente (1) à placa de aquisição (16);
- Uma entrada USB (18), na parede lateral da plataforma inferior de trás (2), ligada a um circuito USB (19), que permite a atualização da aplicação informática e o carregamento da bateria, localizada no interior da guia (7);
- Um protocolo de comunicação sem fios, para o envio dos dados recolhidos para um computador ou outro dispositivo eletrónico.

2-Sistema de acordo com a reivindicação n.º 1, caracterizado pela utilização de dois ou mais pares de plataformas, inferiores e superiores, que permitem recolher em separado os dados provenientes de cada par.

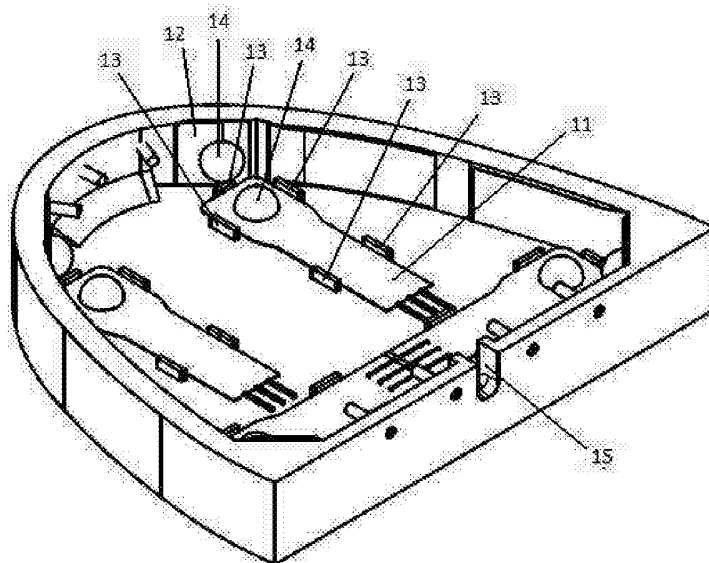
Coimbra, 18 de dezembro de 2015



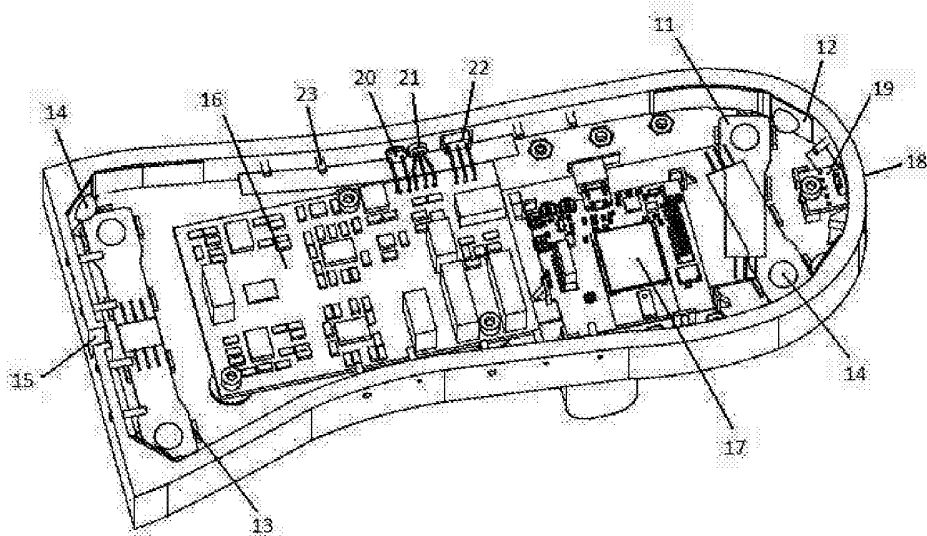
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

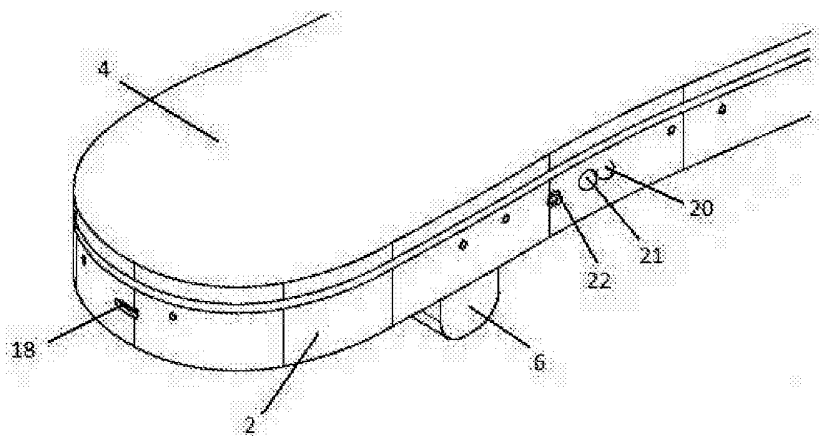


Fig. 5

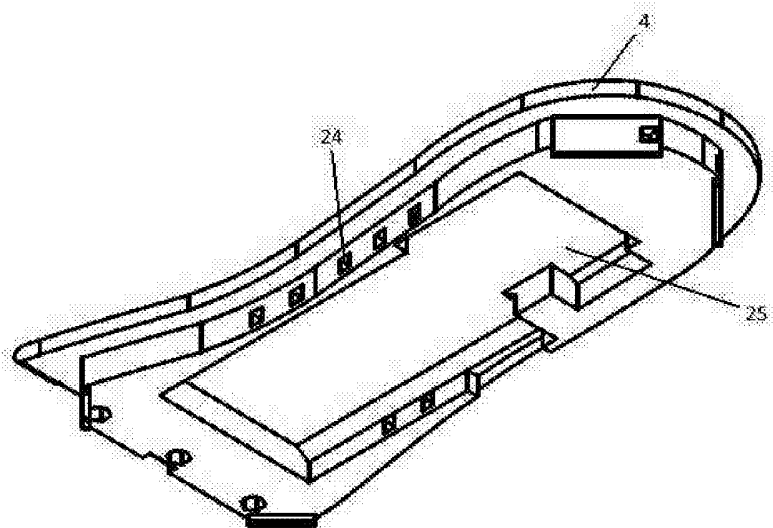


Fig. 6

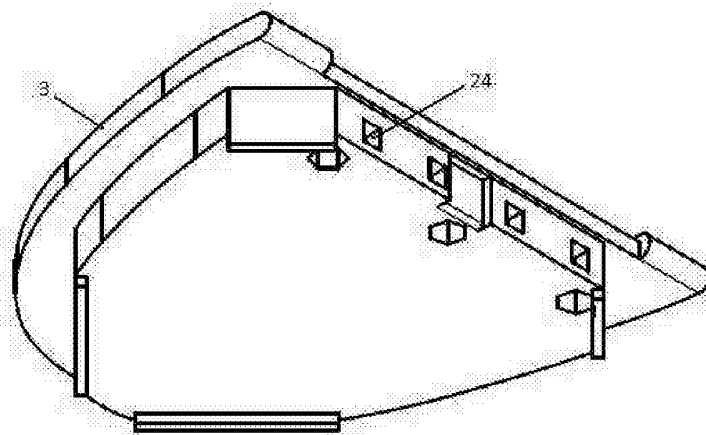


Fig. 7