

# CTCP - BIOCONFORT

PROJETO DE EXPANSÃO DOS LABORATÓRIOS DE ENSAIO

## Conforto do Calçado

# *Conforto do Calçado*

Maria José Ferreira / Ricardo Silva / José L. Rodrigues / Vera V. Pinto

---

## Conforto do Calçado

Atualmente a função do sapato não é apenas a proteção do pé, este é utilizado como acessório de moda, equipamento de proteção individual (EPI), equipamento desportivo e dispositivo médico, onde o conforto é um fator crucial. Os consumidores tornaram-se mais informados e exigentes, procurando por sapatos confortáveis que promovam qualidade de vida e bem-estar.

O conforto do calçado é um dos principais tópicos de investigação e desenvolvimento no setor do calçado pela importância que adquiriu para os consumidores e para a própria indústria. Os consumidores são, cada vez mais, pessoas esclarecidas e exigentes que procuram produtos diferenciados de valor acrescentado e que promovem o seu conforto, saúde e bem-estar. Para manter a competitividade, as empresas de calçado apostam no desenvolvimento de produtos diferenciados e avançados para responder às necessidades do mercado.

Quando falamos em conforto do calçado podemos estar a referir-nos às mais variadas características que passam pelo seu calce, maciez do interior, conforto térmico (temperatura e humidade relativa), flexibilidade, peso, amortecimento, absorção de impacto no calcanhar, distribuição da pressão plantar, entre outras.

Nos últimos anos, uma importante componente de I&DT tem sido (e continuará a ser) dedicada ao desenvolvimento de novos materiais, componentes e construções de calçado para promoverem o conforto, a saúde e o bem-estar dos consumidores. Para acompanhar esta evolução foi também necessário intervir ao nível dos testes e sistemas de ensaio, uma vez que não se encontram disponíveis normas de testes harmonizadas disponíveis, quer ao nível nacional quer europeu, dedicados à caracterização do conforto do calçado. À semelhança de outros laboratórios Europeus, o CTCP investiu nesta temática e desenvolveu e implementou no seu laboratório metodologias e sistemas de teste.

O conforto do calçado é algo complexo de caracterizar e medir, pois envolve um grande número de parâmetros. O CTCP tem à disposição da I&DT e dos seus clientes uma grande variedade de testes, nomeadamente testes:

1. Com usuários que envolvem uma avaliação subjetiva, mas importante, através do preenchimento de um questionário sobre os parâmetros relacionados com o conforto;
2. Com usuários de medição da temperatura e humidade relativa no interior do calçado e a pressão plantar, durante a utilização do calçado;
3. De laboratório para medição da absorção do impacto no calcanhar, amortecimento, rigidez torsional e longitudinal, resistência ao escorregamento;
4. Com sistemas avançados que integram um pé artificial térmico com sudorese controlada para determinação do isolamento térmico do calçado e um simulador da marcha com pé articulado para medição da pressão plantar e forças de reação ao solo.

As diferentes metodologias de teste complementam-se permitindo obter uma “imagem” global do conforto do calçado e integram o laboratório de conforto, COMFORT LAB, criado no âmbito do projeto BIOCONFORT.

A implementação deste laboratório é um grande avanço técnico para o CTCP e para a estratégia estabelecida para a Indústria Nacional Portuguesa do calçado que aposta na investigação & inovação, na qualidade & diferenciação e nos produtos de valor acrescentado. O laboratório COMFORT LAB é uma mais-valia para o apoio às atividades de I&DT, mas também uma ferramenta importante para o controlo de qualidade dos produtos de calçado.

## 1. Conforto Térmico

O conforto térmico é uma das propriedades mais relevantes para o conforto nos pés, durante a utilização do calçado. O conforto térmico depende quer da temperatura quer do nível de humidade no interior do calçado, estando estes dependentes das características dos indivíduos, do nível de exercício físico, das condições ambientais e das propriedades dos produtos de calçado (construções e materiais). Atualmente, estabelece-se que a temperatura de conforto dos pés varia em torno dos 28-32 °C e a humidade relativa cerca de 60%.

O conforto térmico pode ser promovido intervindo no calçado ao nível dos materiais e construções, devendo estas ser ajustadas às condições de uso do sapato (ambientes frios ou quentes). O sapato no seu conjunto deve permitir as trocas de humidade e calor entre o interior e exterior, para garantir que os valores de temperatura e humidade relativa se mantêm nos intervalos de conforto.

### 1.1 Comparação de dois tipos de calçado usando o teste de medição da temperatura e humidade relativa, em condições controladas

#### Parte Experimental

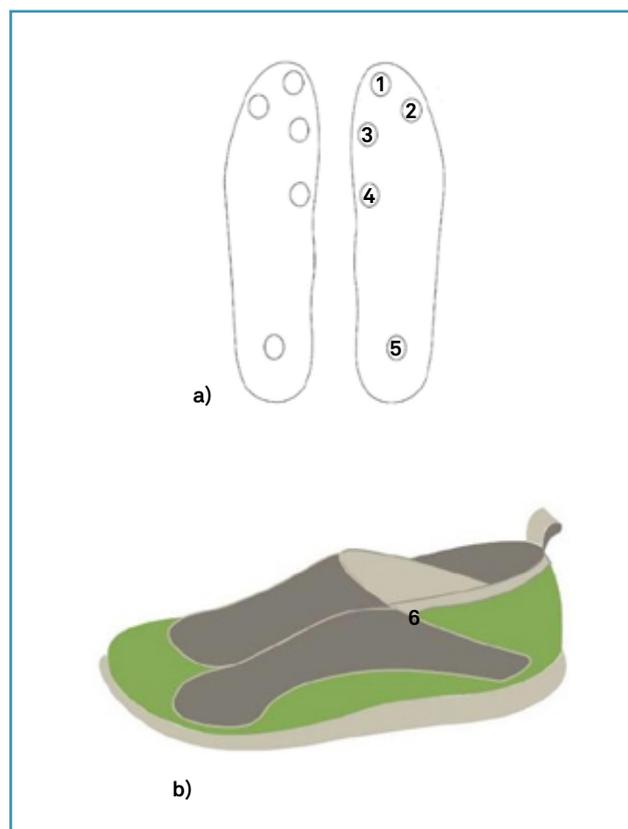
A medição da temperatura e humidade no interior do calçado, em condições controladas (temperatura, humidade relativa e velocidade), foi utilizada para comparar dois modelos de calçado com diferentes construções e materiais: uma bota constituída por diferentes camadas de materiais e um sapato base, apenas constituído pela sola e o corte em couro. Este estudo pretendeu avaliar se o método é capaz de distinguir a influência de diferentes tipos de calçado no conforto térmico do pé.

O teste foi realizado por um indivíduo do sexo feminino em três fases: uma primeira fase de equilíbrio de 15 minutos; uma segunda fase de caminhada no tapete a 4 km/h, durante 30 minutos; e uma terceira fase de 15 minutos em descanso. O teste foi realizado em condições externas de temperatura e humidade controladas ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $50 \pm 5\%$  HR). Cada modelo foi testado três vezes, em dias diferentes, realizados à mesma hora (início do dia) para aproximar as condições de teste e minimizar o efeito das alterações que ocorrem no pé ao longo do dia.

No interior de cada sapato foram colocados seis sensores, cinco sensores na palmilha e um sensor na parte lateral do sapato na zona do arco plantar. Os sensores colocados na palmilha permitem obter um perfil de temperatura e humidade relativa que ocorre na planta do pé (os valores são medidos na interface palmilha/meia). O sensor colocado na parte lateral do sapato,

na zona do arco plantar, é utilizado para medir a temperatura e humidade relativa do ambiente existente no interior do sapato. O arco plantar permite um maior espaço e evitar o contacto direto do sensor com o pé.

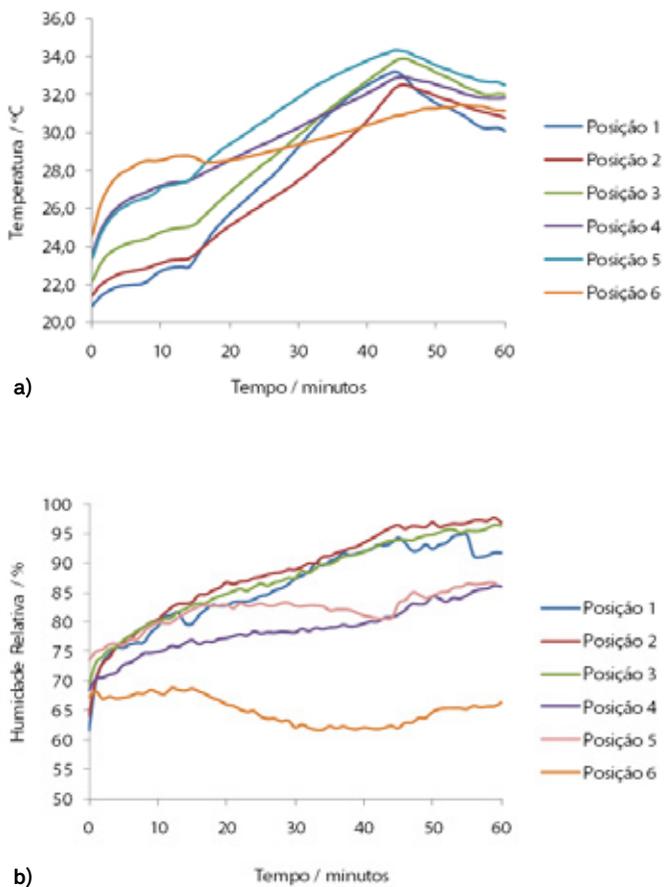
A figura 1 exemplifica a colocação dos cinco sensores na palmilha (posições 1, 2, 3, 4 e 5) e na parte lateral da bota na zona do arco plantar (posição 6). A aquisição dos valores de temperatura e humidade foi realizada com intervalos de 1 minuto. Na realização dos testes foi usado o mesmo tipo de meias. O conjunto sapato, meia e palmilha foi condicionado num ambiente com temperatura e humidade relativa de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $50 \pm 5\%$ , respetivamente, durante pelo menos 24 horas antes da realização do teste.



**Figura 1.** Esquema que exemplifica o local de colocação dos sensores na palmilha (posições 1 a 5) (a) e na parte lateral do sapato na zona do arco plantar (posição 6) (b) para realização do teste de medição da temperatura e humidade relativa no interior do calçado.

## 1.2 Resultados e Discussão

Na figura 2 encontram-se os gráficos de temperatura e humidade relativa medidas no interior do sapato base nas condições de teste estabelecidas no ponto anterior.



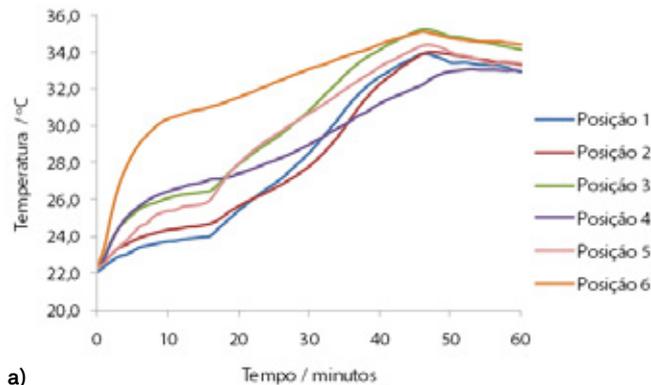
**Figura 2.** Variação da temperatura (a) e humidade relativa (b) medidas no interior do sapato base nas condições de teste definidas (nas posições 1 a 6).

O gráfico obtido para o estudo da temperatura (Figura 2a) medida no interior do sapato nas posições de 1 a 6 evidencia as três fases do teste: 1ª fase de equilíbrio térmico entre o pé e o sapato; 2ª fase de aumento da temperatura devido à realização de atividade no tapete; e 3ª fase de diminuição da temperatura devido ao arrefecimento do pé pela acumulação de humidade no interior do sapato e inatividade do indivíduo.

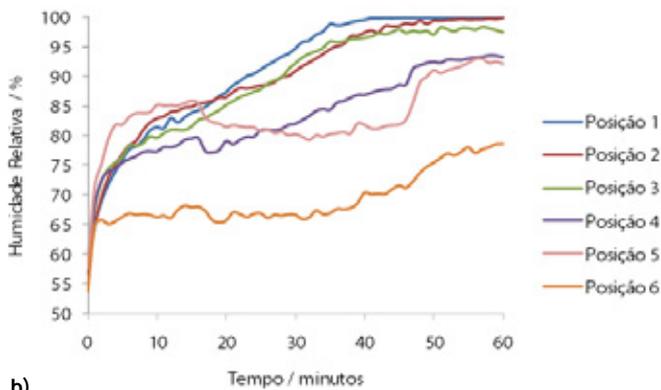
Os resultados mostram que existem diferentes comportamentos térmicos nas diferentes zonas do sapato onde foram colocados os sensores. Em geral, observa-se um aumento da temperatura na direção dos dedos para o calcanhar, na planta do pé. A temperatura medida na posição 6 apresenta um comportamento térmico diferente do registado na planta do pé (posições 1 a 5): na fase de equilíbrio a temperatura é superior; quando o indivíduo inicia a fase de caminhada no tapete a temperatura aumenta mais lentamente; e na fase de descanso, após caminhada no tapete, a temperatura continua a aumentar. O sensor colocado na posição 6 está em menor contacto com pé e encontra-se a medir a temperatura “ambiente” no interior do sapato. Nesta posição a eliminação do calor é facilitada pela circulação do ar devido ao movimento do pé. Por outro lado, como a planta do pé está mais confinada no interior do sapato e a circulação do ar é mínima, a eliminação do calor nesta zona é dificultada. Durante a fase de descanso, o aumento da temperatura na posição 6 (temperatura “ambiente”) deve-se à libertação de calor pelo pé e a diminuição da humidade na planta do pé é associada a uma maior acumulação de humidade nesta zona que provoca o arrefecimento do pé.

Na figura 2b são também evidenciadas diferenças nos valores de humidade relativa medidos no interior do sapato nas diferentes zonas de colocação dos sensores (posições 1 a 6). A humidade relativa medida na planta do pé nas posições 1 a 4 apresenta um aumento durante todo o período de realização do teste, ainda que este aumento seja menor na posição 4. Na zona do calcanhar (posição 5) verifica-se uma ligeira diminuição da humidade durante a fase de caminhada no tapete, seguida de um aumento na fase de descanso. A diminuição da humidade relativa medida na zona do calcanhar, durante a caminhada no tapete, pode ser justificada pela pressão exercida pelo calcanhar durante o caminhar. O movimento realizado durante o ato de caminhar promove o efeito de “bombeamento” facilitando a eliminação/menor acumulação de humidade do interior do sapato. A humidade relativa medida no “ambiente” interior do sapato (posição 6) é significativamente inferior quando comparada com a medida na planta do pé e apresenta uma ligeira diminuição durante a fase de caminhada no tapete. Na posição 6 o sensor mede a humidade existente no ambiente do sapato e não a humidade acumulada na superfície da pele/meia. Para além disso, nesta posição o sensor encontra-se mais próximo da abertura do sapato e possui mais espaço ao seu redor o que facilita a circulação do ar e a eliminação da humidade para o exterior do sapato.

Os valores de temperatura e humidade relativa medidos no interior da bota nas condições estabelecidas e descritas no ponto anterior estão representados nos gráficos da figura 3a e figura 3b, respetivamente.



a)

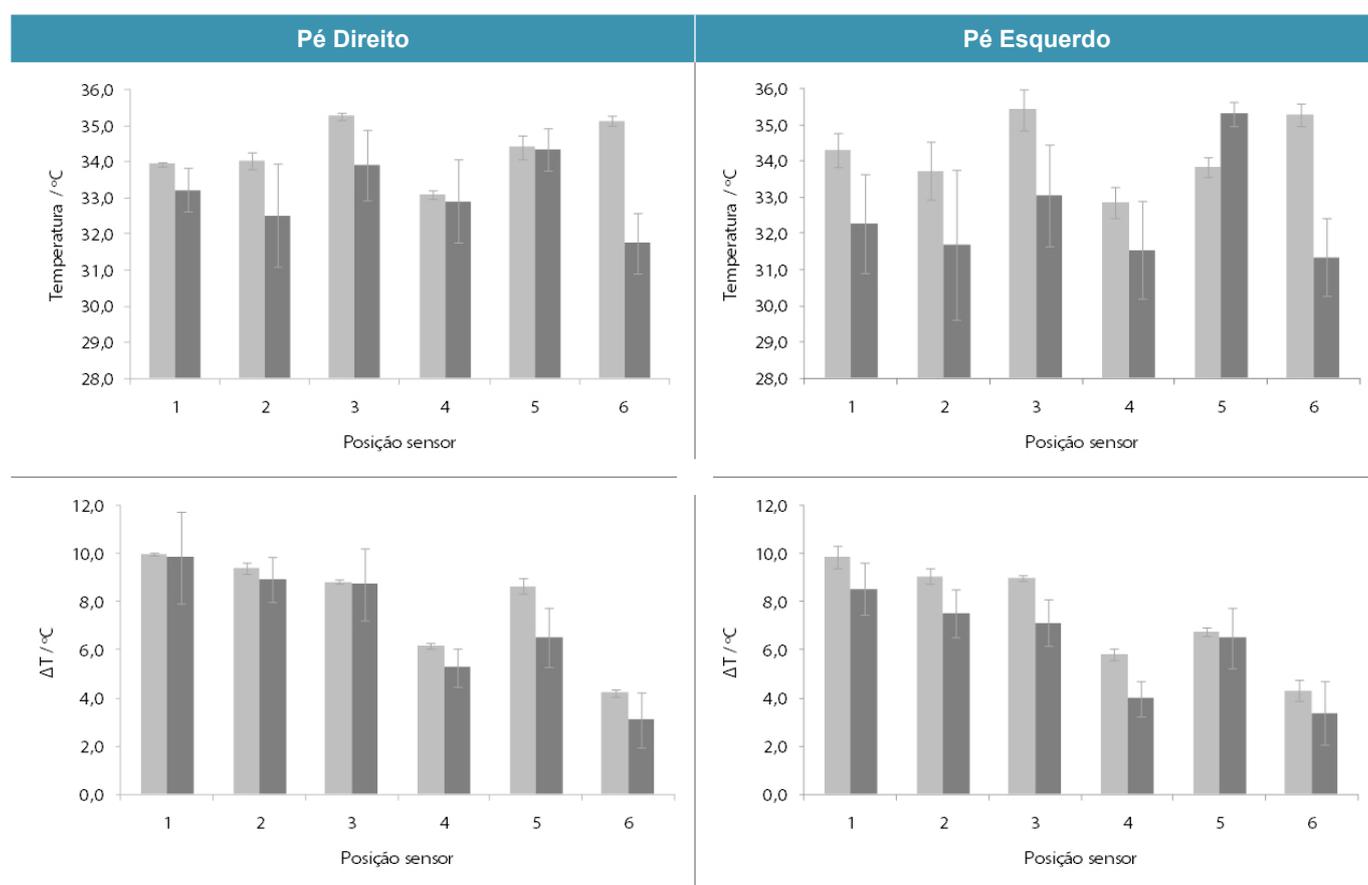


b)

Figura 3. Variação da temperatura (a) e humidade relativa (b) medidas no interior da bota nas condições de teste definidas (nas posições 1 a 6).

Na bota, à semelhança do observado para o sapato base, observa-se uma estabilização da temperatura na fase de equilíbrio entre o pé e a bota; um aumento da temperatura durante a fase de caminhada no tapete devido à atividade do indivíduo; e uma diminuição da temperatura durante a fase de descanso, após o período de caminhada no tapete (Figura 3a). A humidade relativa (Figura 3b) também apresenta um comportamento semelhante ao registado para o sapato base. No entanto, durante a fase de caminhada no tapete a diminuição do valor da humidade é mais evidente na bota, quando comparado com o medido no interior do sapato base. Este fenómeno pode ser explicado pelas diferenças evidentes entre os dois modelos (materiais e construção): a bota apresenta um maior espaço interno e promove um maior efeito de “bombeamento” permitindo uma eliminação mais eficiente da humidade durante o ato de caminhar. O efeito de bombeamento é uma boa forma de eliminação do vapor de água. Em sapatos normais este efeito consegue remover cerca de 40 % da humidade. As propriedades térmicas do calçado dependem da sua forma, estrutura, espessura e número de camadas, ou seja, da sua capacidade de manter o ar no seu interior.

Para avaliar as diferenças térmicas entre os dois modelos testados (bota e sapato base) determinaram-se os valores da temperatura máxima e  $\Delta T$  (variação da temperatura), para cada um dos sensores colocados no interior do calçado, durante a fase de caminhada no tapete, e construíram-se os gráficos da figura 4.



**Figura 4.** Valores médios da temperatura máxima e  $\Delta T$  registados no interior da bota (■) e sapato base (■), nos pés direito e esquerdo, nas condições de teste definidas.

O comportamento térmico é semelhante em ambos os pés (pé direito e pé esquerdo) em ambos os modelos de calçado testados. De uma forma geral a temperatura máxima, durante a fase de caminhada no tapete, é superior na bota comparativamente com a temperatura medida no interior do sapato do pé direito (Figura 4a) e pé esquerdo (Figura 4b). As diferenças registadas são mais evidentes para o sensor colocado na posição 6.

O aumento de  $\Delta T$  registado durante a fase de caminhada é superior na bota, quando comparado com o aumento observado no interior do sapato base (Figura 4c e Figura 4d). Os resultados indicam que a bota promove um maior aquecimento do pé, durante a realização de atividade no tapete. Esta diferença é justificada por um maior número de camadas de materiais, tipo de materiais (forro sintético e espumas) e tipo de construção que promovem o aquecimento do pé e dificultam a eliminação do calor do interior da bota para o exterior.

A análise do comportamento da diminuição da temperatura durante a fase de descanso, após o período de caminhada no tapete, evidencia diferenças entre os dois modelos testados, nas posições 1 a 6 de medição da temperatura (Tabela 1). Na fase de descanso, a diminuição da temperatura é menor na bota, indicando que esta tem uma maior capacidade de isolamento térmico, minimizando a libertação do calor do interior da bota para o exterior e um processo de arrefecimento do pé mais lento devido à inatividade do sujeito e à acumulação de humidade. Na posição 1 a temperatura no interior sapato base diminui cerca de 2 - 3 °C em 15 minutos, enquanto na bota esta diminuição é aproximadamente 1 °C.

**Tabela 1.** Valor de  $\Delta T$  no período de descanso, após caminhada no tapete, registada nas diferentes posições de medição (posição 1, 2, 3, 4, 5 e 6) no interior da bota e sapato base.

Posição do sensor	$\Delta T / ^\circ C$			
	Bota		Sapato base	
	Pé direito	Pé esquerdo	Pé direito	Pé esquerdo
1	- 0,8	- 0,9	- 2,9	- 2,1
2	- 0,4	- 0,2	- 1,7	- 1,6
3	- 1,0	- 0,8	- 1,9	- 2,9
4	0,9	0,9	- 1,1	- 0,6
5	- 0,8	- 0,6	- 1,8	- 2,4
6	- 0,6	- 0,7	0,2	0,4

Pela análise dos resultados verifica-se que o método usado para medição da temperatura e humidade no interior do calçado é adequado para a caracterização e comparação das propriedades térmicas de diferentes tipos de calçado, pois permite distinguir a influência de modelos diferentes no conforto térmico do pé.

### 1.3 Pé térmico com sudação

Nos últimos anos o CTCP tem trabalhado, em colaboração com a empresa CEI – Companhia de Equipamentos Industriais, no desenvolvimento de um sistema e metodologia para avaliação do conforto térmico com base num sistema de pé térmico com sudação. Este sistema e metodologia tem como objetivo medir o isolamento térmico do calçado, com ou sem sudação, permitindo fazer testes comparativos entre materiais e construções de forma a fazer os ajustes e alterações adequadas para promover o conforto térmico no interior do calçado.



Figura 5. Sistema de Pé térmico com sudação.

O pé térmico com sudação é constituído por 7 segmentos com controlo independente de temperatura e taxa de sudação e permite determinar o isolamento térmico em cada uma das regiões do pé, assim como o isolamento térmico global do calçado.

## 2. Distribuição da pressão plantar

O pé é responsável pela interação do corpo humano com o ambiente durante a locomoção, sendo de grande relevância a pressão exercida na planta do pé para o seu conforto. Para promover um maior conforto do pé e bem-estar é necessário atuar no sentido de uma melhor distribuição da pressão exercida na planta do pé e eliminar zonas de sobrepressão que provocam desconforto, podendo mesmo provocar o desenvolvimento de lesões no pé. A avaliação da pressão plantar tem sido usada para diversas aplicações nomeadamente, no desenvolvimento de calçado, desempenhos melhorados e prevenção de lesões nos desportistas; análise da marcha e diagnóstico de doenças do pé (por exemplo, úlceras no pé diabéticos).

O desenvolvimento de metodologias que permitam a medição da pressão média e picos de pressão na planta do pé é fundamental para apoiar o desenvolvimento de novos materiais, palmilhas e calçado para promover uma maior e melhor distribuição da pressão plantar e evitar as referidas sobrepressões. Estas metodologias recorrem normalmente a dois tipos de sistemas: sistemas de plataformas e sistemas para colocar no interior do calçado (palmilhas ou sensores de pressão). Na figura abaixo encontram-se fotografias do sistema, sensores de pressão e *software WalkinSense* usado na medição da pressão plantar no pé.

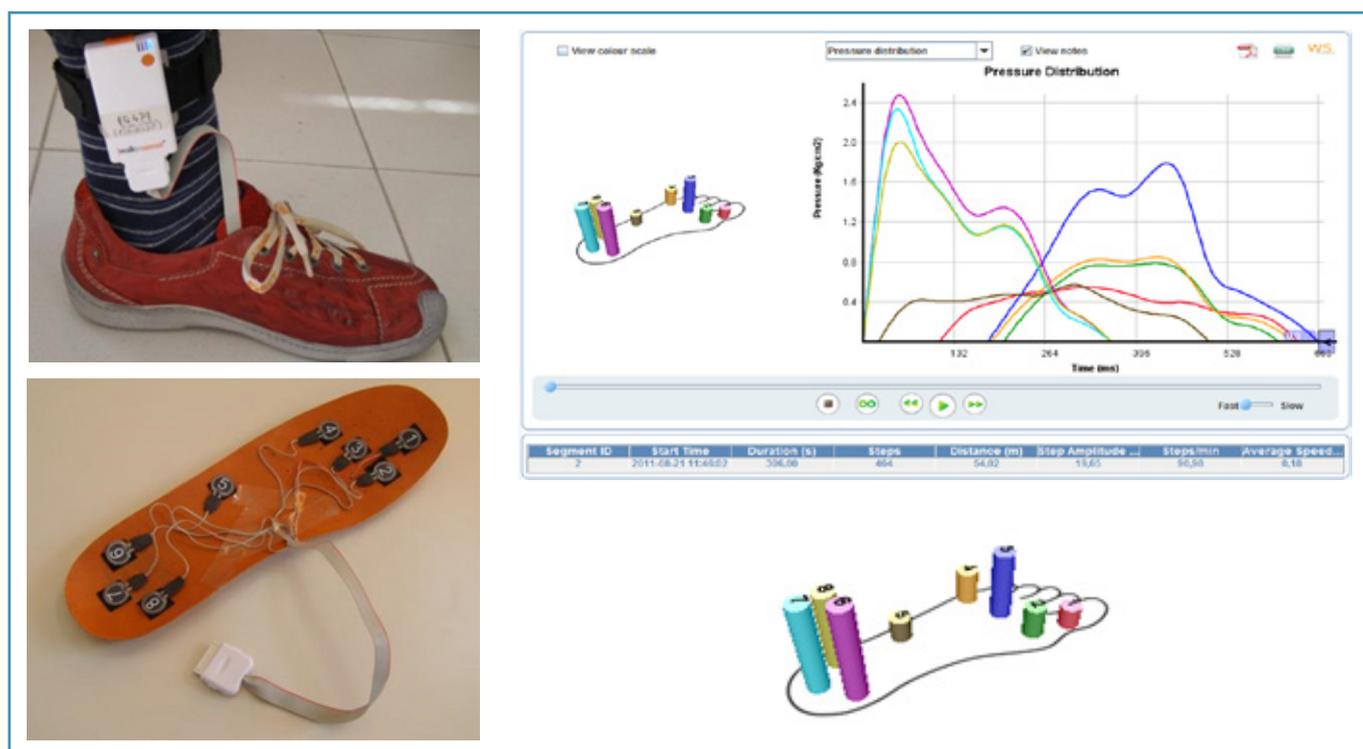


Figura 6. Sistema *WalkinSense* usado para a medição da pressão plantar no pé.

### 3. Absorção do choque e forças de reação ao solo

As propriedades de absorção ao choque estão relacionadas com o amortecimento do impacto das forças de reação ao solo que afetam a locomoção. Durante a marcha o corpo humano é sujeito a uma carga repetida sempre que o pé atinge o solo na fase inicial da marcha, resultando numa força transitória que é transmitida ao esqueleto, como uma onda de choque que percorre o corpo humano desde os pés até à extremidade superior. A literatura indica que as forças de impacto de reação ao solo pode atingir valores acima dos 120% do peso da pessoa durante o caminhar. A carga de impacto pode ser responsável pelo desconforto, várias lesões e problemas de saúde. Para ultrapassar este problema vários materiais para solas e palmilhas encontram-se a ser estudados para atenuar estas forças de impacto e proteger o sistema músculo-esquelético de potenciais lesões.

O CTCP realizou um estudo para avaliar as propriedades de absorção ao choque de materiais de borrachas usados na produção de solas para calçado, tendo sido preparadas formulações específicas de borracha para este estudo. Foram utilizadas bases poliméricas de borracha natural (NR), borracha sintética de isopreno (IR) e borracha de estireno-butadieno (SBR) na moldagem de tacões compactos, sem grade, com diferentes espessuras.

Foram usadas duas metodologias para avaliar a resposta dos materiais quando sujeitas às forças de impacto: análise estática e dinâmica.

A análise estática das propriedades de absorção do choque foi realizada usando um método baseado no teste descrito na norma EN ISO 20344 para calçado de segurança. Sumariamente, o teste consiste em colocar a parte de trás de uma forma padrão no material e aplicar uma força compressiva de 5000 N a uma velocidade de 10 mm/minuto. Para cada material, a curva de carga/compressão é traçada e a energia de compressão,  $E$  em Joules (J) determinada.

A análise dinâmica das propriedades de absorção do impacto foi realizado, usando o equipamento de teste de absorção de impacto (Zipor model EL-44, Portugal), onde o impactor com uma massa de 8,5 kg é largado de uma altura de 50 mm sobre a amostra e determinada a desaceleração máxima ( $m/s^2$ ) e a percentagem de energia de retorno.

A dureza dos materiais foi medida usando um durómetro de Shore A, de acordo com a norma internacional ISO 7619-1.

#### 3.1 correlação da energia de compressão e a dureza

Os resultados do teste estático indicam que o aumento da energia de compressão ocorre com o aumento da espessura do material. A borracha natural (NR) e a borracha sintética de isopreno (IR) apresentam um comportamento similar para a energia de compressão, sendo evidente que a principal contribuição para a resposta da carga é devido ao polímero cis-1,4-polisopreno que está presente em ambas as formulações de borracha natural e sintética.

Na figura seguinte encontram-se representados os valores da energia de compressão em função da dureza das diferentes formulações de borracha natural, revelando uma relação linear entre a dureza e os valores experimentais da energia de compressão dos materiais de borracha baseados na borracha natural 1,4-isopreno.

A correlação linear apresenta uma ferramenta adequada para avaliar as características de absorção de energia dos materiais de borracha natural para as solas para calçado, uma vez que a determinação da dureza é um teste mais simples e rápido e que pode ser implementado nas empresas. Para outro tipo de formulações e polímeros, é necessário verificar se esta relação existe.

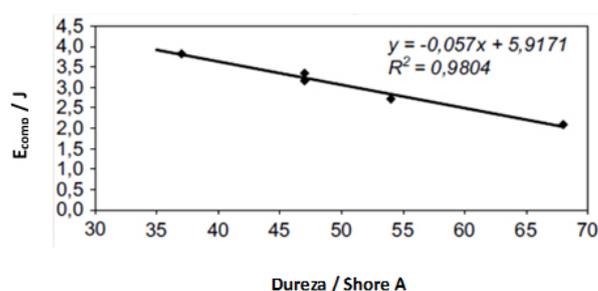


Figura 7. Correlação da energia de compressão de compressão e dureza.

### 3.2 Amortecimento e propriedades de resiliência

A análise dinâmica da capacidade do material para absorver a pancada no calcanhar de um peso padrão de impacto, correlaciona com o grau de absorção do impacto do material de teste. A máxima desaceleração e a percentagem da energia de retorno são as propriedades mais importantes, pois representam o amortecimento e a resiliência do material respetivamente.

No caso, da máxima desaceleração, valores mais baixos representam uma melhor capacidade de absorção do impacto pelos materiais. Por outro lado, se considerarmos a energia de retorno, valores mais elevados indicam propriedades melhoradas de resiliência.

Os resultados dos testes com os tacões compactos, com espessuras entre 1 e 20 mm, indicam que valores mais baixos de desaceleração e uma melhor atenuação das forças de impacto de pancada no tacão são atingidos para espessuras mais elevadas. No entanto, acima dos 12 mm um aumento da espessura do tacão não tem uma contribuição significativa na desaceleração máxima.

### 3.3 Correlação da energia de compressão e amortecimento

O gráfico da máxima desaceleração versus energia de compressão para as formulações de borracha natural (Figura 8) evidencia uma relação entre os testes de impacto dinâmico e o deslocamento de carga estático. Estes resultados podem ser uma ferramenta interessante para utilização ao nível industrial para prever a contribuição dos materiais nas propriedades finais da absorção do choque das solas para calçado. Por exemplo, no calçado de segurança os valores de energia de compressão têm de ser medidos e superiores a 20 J (EN ISO 20345).

O estabelecimento e a aplicação de uma relação linear permite a correlação dos valores de energia de compressão com metodologias de teste de queda usados na avaliação do conforto do calçado.

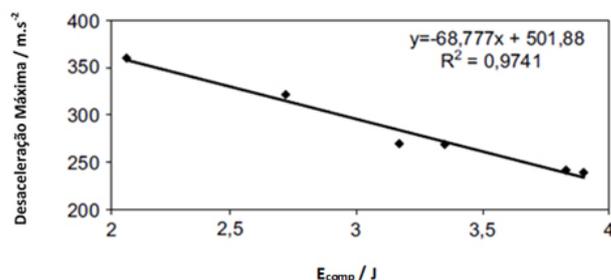


Figura 8. Desaceleração máxima versus energia de compressão.

### 3.4 Simulador da marcha

As cargas de impacto durante a marcha estão principalmente dependentes das pessoas, características da marcha, sapato, materiais do piso e a sua interação. Portanto, estes componentes têm um papel importante nas características biomecânicas adequadas, prevenir lesões e aumentar o conforto. Assim, os testes de laboratório apresentados anteriormente podem ser complementados por testes com pessoas utilizando plataformas de medição da força e pressão. No entanto, estes testes são demorados e requerem um número significativo de sujeitos para obter dados representativos. Uma abordagem complementar consiste em desenvolver e utilizar um simulador representativo da marcha.

O CTCP (Centro Tecnológico do Calçado) tem trabalhado em colaboração com a empresa CEI- Companhia de Equipamentos Industriais no desenvolvimento de um simulador da marcha. Este sistema consiste num “pé” (prótese) que executa o movimento a uma velocidade definida e uma força vertical para simular a marcha humana sobre uma plataforma de forças para obter as componentes da força (Figura 9).

A validação do sistema simulador da marcha foi realizada por comparação das características do impacto do pé do simulador ao solo na plataforma de forças e os valores obtidos por um painel de 40 sujeitos. Na tabela 2 são apresentados os valores da carga vertical dos sujeitos e os valores usados no simulador da marcha, assim como a força vertical no primeiro pico (Fvt\_1pico). Os valores do Fvt\_1pico são muito semelhantes, indicando que o simulador representa a marcha humana e que é uma ferramenta útil para estudar as propriedades de conforto e suportar o desenvolvimento de novos materiais e produtos de calçado evitando a subjetividade e dificuldade dos testes realizados com indivíduos.



Figura 9. Simulador da marcha.

Tabela 2. Parâmetros biomecânicos dos testes realizados com sujeitos e o simulador da marcha.

Teste	Carga Vertical / N	Fvt_1pico / N
40 sujeitos	644,81	670,7
Simulador da marcha	650	681,6

---

## 4. Bibliografia

[1] BIONICPHOOT Project n. 2009/3112,  
National programme QREN – IDT em Copromoção.

[2] STRESS-LESS-SHOE Project n. 2009/3470,  
National programme QREN – IDT em Copromoção

[3] B.M. Nigg, D. Stefanyshyn, G. Cole, P. Stergiou, J. Miller,  
The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation  
and energy aspects during running. J Biomech 36 (4) (2003) 569 – 575.

[4] R.M. Silva, J.L. Rodrigues, V.V. Pinto, M.J. Ferreira, R. Russo, C.M. Pereira.  
Evaluation of shock absorption properties of rubber materials regarding  
footwear applications. Polymer Testing 28 (2009) 642 – 647



*centro tecnológico  
do calçado de portugal*

Centro Tecnológico do Calçado de Portugal  
Rua de Fundões - Devesa Velha 3700-121  
**Tel:** +351 256 830 950 **Fax:** +351 256 832 554  
**E-mail:** laboratorio@ctcp.pt | geral@ctcp.pt  
**www.ctcp.pt**