

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

***Desenvolvimento de metodologia experimental  
para avaliação da gestão de humidade de  
calçado***

**Tese de Mestrado**

de

**Isabel Maria Ferreira Gomes**

**Desenvolvida no âmbito da disciplina de Dissertação**

realizado no

**CeNTI - Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes**



**Orientador na FEUP: Prof. João Campos**

**Orientador no CeNTI: Doutor Tiago Sotto Mayor**



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

**FEUP**

**Departamento de Engenharia Química**

**Julho de 2010**



## Agradecimentos

Ao longo da realização deste projecto, foram várias as pessoas que deram o seu contributo e às quais eu quero deixar os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar agradeço ao Doutor Tiago Sotto Mayor pela importante ajuda durante todo o projecto, pelos conhecimentos transmitidos e pelos comentários tão construtivos.

Quero também agradecer ao Professor João Campos pelos comentários tão importantes e pela orientação prestada ao longo de todo o projecto.

A todas as pessoas do CeNTI, os meus agradecimentos pela simpatia demonstrada. Em especial, à Mestre Carla Santos e ao Mestre Miguel Ribeiro, agradeço a disponibilidade que sempre demonstraram durante a realização de várias etapas experimentais.

Às minhas colegas, Ana Raquel Silva, Raquel Coelho, Soraia Neves e Vera Mendes pelos momentos de companheirismo.

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer aos meus pais, à minha irmã e aos meus amigos pela compreensão demonstrada ao longo da minha vida académica.

---

## Resumo

Para desenvolver calçado confortável e funcional é essencial realizar vários estudos de modo a escolher os materiais mais adequados para conferir ao calçado tais propriedades. Neste projecto desenvolveu-se um método experimental para avaliar o desempenho de tais materiais em relação à transferência de calor e massa.

O objectivo principal deste projecto consistiu no desenvolvimento de um método experimental para avaliação da gestão de humidade de calçado. No entanto, foi necessário realizar várias etapas que conduziram à definição das condições de realização dos testes de avaliação de desempenho, relativamente ao transporte de água (sudação). Inicialmente foi analisada a variação da temperatura nos pés e posteriormente, foi desenvolvido um procedimento que permitiu colocar na meia de teste uma quantidade de água aproximadamente constante e uniformemente distribuída.

Após o desenvolvimento do método experimental, foi necessário realizar testes para verificar a sua funcionalidade. Para testar o método em condições mais próximas da realidade, os ensaios de avaliação de desempenho do calçado foram realizados com pessoas.

Com a realização dos testes, verificou-se que o método experimental desenvolvido permite detectar diferenças no desempenho entre os vários tipos de calçado utilizado. Além disso, a utilização de palmilhas absorventes no calçado influenciou significativamente a remoção de água da meia de teste e a perfuração da sola do sapato não conduziu a melhorias no desempenho deste, relativamente ao transporte de água e de calor.

**Palavras Chave:** transferência de calor; transferência de massa; avaliação de desempenho; ensaios com pessoas

---

## Abstract

To develop functional and comfortable footwear is essential to perform various studies in order to choose the most appropriate materials to improve such properties to the footwear. In this project was developed an experimental method for evaluating the performance of such materials in relation to heat and mass transfer.

The main objective of this project was to develop an experimental method for evaluating the moisture management of footwear. However, it was necessary to perform various steps that led to the establishment of conditions for testing the performance evaluation for the water (sweating) transport. Initially was analyzed the feet temperature variation and later was developed a procedure which allowed to put some quantity of water approximately constant and evenly distributed in the test sock.

After the development of the experimental method, was necessary to do tests to verify its functionality. To test the method in conditions closer to reality, the tests for performance evaluation of footwear were made with wear trials.

With the tests it was found that the experimental method allows to detect differences in the performance of different types of footwear. Furthermore, the use of absorbing insoles in footwear influences significantly the removal of water from the sock whereas drilling of the sole of the shoe does not lead to improvements in performance, with respect to water and heat transport.

**Keywords:** heat transfer; mass transfer; performance evaluation; wear trials

---

# Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras.....	iii
Índice de Tabelas.....	vi
Notação e Glossário.....	viii
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	1
1.2 Contributos do Trabalho.....	1
1.3 Organização da Tese.....	2
<b>2 Estado da Arte.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados.....</b>	<b>8</b>
3.1 Variação da temperatura corporal.....	8
3.1.1 Evolução da temperatura e humidade corporais durante uma caminhada.....	9
3.1.2 Variação da temperatura nos pés ao longo do dia.....	15
3.2 Colocação de uma quantidade aproximadamente constante de água na meia.....	20
3.2.1 Variação da velocidade de rotação (rpm) da centrífuga.....	22
3.2.2 Colocação de aproximadamente 16 gramas de água na meia (ensaios de reprodutibilidade).....	24
3.3 Avaliação do desempenho do calçado em relação ao transporte de água.....	27
3.3.1 Influência de palmilhas no desempenho do sapato.....	36
3.3.2 Influência da velocidade da caminhada no desempenho da sapatilha.....	42
3.3.3 Influência da humidade relativa no desempenho da sapatilha.....	43
3.3.4 Influência dos orifícios do sapato no transporte de calor.....	44
<b>4 Conclusões.....</b>	<b>48</b>
<b>5 Avaliação do Trabalho Realizado.....</b>	<b>49</b>
5.1 Objectivos Realizados.....	49
5.2 Limitações e Trabalho Futuro.....	49
5.3 Apreciação final.....	49

<b>Referências.....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo A Colocação de uma quantidade de água aproximadamente constante na meia ...</b>	<b>52</b>
A. 1 Colocação de aproximadamente 16 gramas de água na meia.....	52
A. 2 Colocação de aproximadamente 9 gramas de água na meia .....	54
<b>Anexo B Identificação das amostras do CeNTI utilizadas nos ensaios.....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo C Identificação das meias e sapatos utilizados nos testes .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo D Condicionamento das amostras utilizadas .....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo E Resultados dos testes de avaliação de desempenho do calçado em relação ao transporte de água.....</b>	<b>62</b>
E.1 Influência de palmilhas .....	68
E.2 Influência da velocidade .....	73
E.3 Influência da humidade relativa.....	74
<b>Anexo F Evolução da temperatura e humidade relativa ao longo dos testes.....</b>	<b>75</b>

# Índice de Figuras

<i>Figura 1: Perdas de calor através do sapato.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2: Sapato com a meia de malha com gestão de humidade .....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3: Equipamento para avaliar o desempenho térmico e a gestão de humidade no calçado (AMMT) .....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4: Equipamento para avaliar a permeabilidade e absorção do vapor de água num sapato, a) esboço e b) experimental .....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 5: Localização dos pontos de medição da temperatura e humidade relativa.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6: Localização e modo de colocação dos sensores no vestuário, a) nos pés, b) parte lateral da sapatilha, c) parte da frente da camisola, d) parte de trás da camisola, e) calças.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7: Variação da temperatura e humidade relativa em várias zonas do pé direito e esquerdo. Posição 1: a) e b), posição 2: c) e d) e posição 3: e) e f).....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 8: Variação da temperatura no lado esquerdo, a) coxa e c) perna e no lado direito, b)coxa e d) perna.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9: Evolução da temperatura ao longo da caminhada, a) peito, b) barriga e c) lombar.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10: Localização dos pontos de medição da temperatura e humidade relativa .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 11: Localização e modo de colocação dos sensores: a)posição 1e 3, b) posição 2 e c)sapatos utilizados na caminhada.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 12: Evolução da temperatura na posição 1 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 13: Evolução da temperatura na posição 2 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 14: Evolução da temperatura na posição 3 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 15: Evolução da humidade relativa na posição 1 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias</i>	<i>18</i>
<i>Figura 16: Evolução da humidade relativa na posição 2 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias</i>	<i>19</i>
<i>Figura 17: a) Imersão das meias numa tina com 1,5L de água destilada, b) rede e c) pesos.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 18: Colocação das meias a escorrer durante 1 minuto.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 19: Colocação da rede no copo da centrífuga, a) rede, b) copo da centrífuga com a rede e c) copo da centrífuga com a rede e a meia .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 20: Representação das várias tarefas, a) correcção do peso do copo, b) centrifugação e c) pesar a meia molhada após a centrifugação .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 21: Meia molhada na zona que fica em contacto com a rede, a) meia dobrada e b) meia na posição normal .....</i>	<i>23</i>

<i>Figura 22: Massa das meias condicionadas</i> .....	24
<i>Figura 23: Quantidade de água introduzida em cada meia ao longo de 4 ensaios durante 5 dias, a) meia I, b) meia II, c) meia III e d) meia IV</i> .....	25
<i>Figura 24: Quantidade média de água introduzida em cada meia e o intervalo de confiança associado (<math>\alpha=0,05</math>; <math>n=20</math>)</i> .....	26
<i>Figura 25: Quantidade média de água introduzida em cada meia e o desvio máximo entre os resultados (<math>n = 20</math>)</i> .....	26
<i>Figura 26: Realização da caminhada no interior da câmara climática</i> .....	28
<i>Figura 27: Massa das meias condicionadas</i> .....	31
<i>Figura 28: Massa dos sapatos condicionados</i> .....	31
<i>Figura 29: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o intervalo de confiança (<math>\alpha=0,05</math>)</i> .....	33
<i>Figura 30: Percentagem de água removida e evaporada da meia e o intervalo de confiança associado (<math>\alpha=0,05</math>)</i> .....	35
<i>Figura 31: Palmilhas utilizadas nos testes: a) palmilha X, b) palmilha Y e c) palmilha Z</i> .....	37
<i>Figura 32: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o intervalo de confiança associado (<math>\alpha=0,05</math>)</i> .....	38
<i>Figura 33: Percentagem de água removida da meia por evaporação e o intervalo de confiança associado (<math>\alpha=0,05</math>)</i> .....	41
<i>Figura 34: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para as diferentes velocidades da caminhada</i> .....	42
<i>Figura 35: Percentagem de água média obtida para cada parâmetro analisado para os diferentes valores de humidade relativa na câmara climática</i> .....	43
<i>Figura 36: Meia em contacto com meio ambiente</i> .....	44
<i>Figura 37: Imagens térmicas retiradas da câmara de infravermelhos: a) sapatos sem orifício, a1) antes e a2) depois e b) sapatos com orifícios, b1) antes e b2) depois</i> .....	45
<i>Figura 38: Palmilha tridimensional porosa</i> .....	46
<i>Figura 39: Imagens térmicas retiradas da câmara de infravermelhos nos sapatos sem orifícios e com palmilha: a1) antes e a2) depois e nos sapatos com orifícios e palmilha: b1) antes e b2) depois</i> .....	47
<i>Figura F. 1: Localização dos pontos de medição da temperatura e humidade relativa</i>	75
<i>Figura F. 2: Evolução da temperatura e humidade relativa no sapato sem orifícios: a1) posição 1 e a2) posição 2 e no sapato com orifícios: b1) posição 1 e b2) posição 2</i> .....	76

*Figura F. 3: Evolução da temperatura e humidade relativa no sapato sem orifícios: a1) posição 1 e a2) posição 2 e no sapato com orifícios: b1) posição 1 e b2) posição..... 77*

# Índice de Tabelas

<i>Tabela 1: Velocidade de rotação da centrífuga e respectiva massa de água (g) introduzida em cada meia</i> .....	23
<i>Tabela 2: Calçado utilizado nos testes de avaliação de desempenho</i> .....	29
<i>Tabela 3: Quantidade de água (g) colocada nas meias de teste</i> .....	32
<i>Tabela 4: Desvio máximo em percentagem, obtido para cada ensaio</i> .....	32
<i>Tabela 5: Percentagem de erro que pode afectar a massa média de água retida nas meias, nos sapatos e nas palmilhas</i> .....	33
<i>Tabela 6: Quantidade de água (g) colocada nas meias de teste</i> .....	37
<i>Tabela 7: Desvio máximo em percentagem obtido nos ensaios</i> .....	38
<i>Tabela A.1. 1: Massa (g) das meias condicionadas</i> .....	52
<i>Tabela A.1. 2: Quantidade de água (g) colocada em cada meia ao longo de 4 ensaios durante 5 dias, a) meia I, b) meia II, c) meia III e d) meia IV</i> .....	53
<i>Tabela A.1. 3: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o intervalo de confiança associado (<math>\alpha=0,05</math>; <math>n=20</math>)</i> .....	54
<i>Tabela A.1. 4: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o desvio máximo entre os resultados (<math>n=18</math>)</i> .....	54
<i>Tabela A.2. 1: Massa das meias (g) condicionadas</i> .....	54
<i>Tabela A.2. 2: Quantidade de água (g) colocada em cada meia ao longo dos ensaios durante 5 dias, a) meia I, b) meia II, c) meia III e d) meia IV</i> .....	55
<i>Tabela A.2. 3: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o intervalo de confiança associado (<math>\alpha=0,05</math>; <math>n=18</math>)</i> .....	55
<i>Tabela A.2. 4: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o desvio máximo entre os resultados (<math>n=18</math>)</i> .....	56
<i>Tabela B. 1: Numeração das amostras utilizadas nos testes</i> .....	57
<i>Tabela B. 2: Designação das amostras utilizadas nos ensaios</i> .....	57
<i>Tabela C. 1: Identificação das meias utilizadas em cada ensaio da secção 3.3</i> .....	58
<i>Tabela C. 2: Identificação dos sapatos utilizados em cada ensaio da secção 3.3</i> .....	58
<i>Tabela C. 3: Identificação das meias utilizadas em cada ensaio da secção 3.3.1</i> .....	59
<i>Tabela C. 4: Identificação dos sapatos utilizados em cada ensaio da secção 3.3.1</i> .....	59

<i>Tabela D. 1: Massa das meias (g) condicionadas</i> .....	60
<i>Tabela D. 2: Massa dos sapatos (g) condicionados</i> .....	60
<i>Tabela D. 3: Massa dos sapatos (g) condicionados</i> .....	60
<i>Tabela D. 4: Massa das meias (g) condicionadas</i> .....	61
<i>Tabela D. 5: Massa dos sapatos (g) condicionados</i> .....	61
<i>Tabela E. 1: Massa inicial das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado</i> .....	62
<i>Tabela E. 2: Massa final das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado</i> .....	63
<i>Tabela E. 3: Massa de água retida nas meias, sapatos e palmilhas (g)</i> .....	64
<i>Tabela E. 4: Massa de água colocada, removida e evaporada na meia (g)</i> .....	65
<i>Tabela E. 5: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o respectivo intervalo de confiança (<math>\alpha=0,05</math>) em pontos percentuais (pp)</i> .....	66
<i>Tabela E. 6: Percentagem média de água removida e evaporada da meia e o respectivo intervalo de confiança (<math>\alpha=0,05</math>) em pontos percentuais (pp)</i> .....	67
<i>Tabela E.1. 1: Massa inicial das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado</i> .....	68
<i>Tabela E.1. 2: Massa final das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado</i> .....	69
<i>Tabela E.1. 3: Massa de água retida nas meias, sapatos e palmilhas (g)</i> .....	70
<i>Tabela E.1. 4: Massa de água colocada, removida e evaporada na meia (g)</i> .....	71
<i>Tabela E.1. 5: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o respectivo intervalo de confiança (<math>\alpha=0,05</math>) em pontos percentuais (pp)</i> .....	72
<i>Tabela E.1. 6: Percentagem média de água removida e evaporada da meia e o respectivo intervalo de confiança (<math>\alpha=0,05</math>) em pontos percentuais (pp)</i> .....	73
<i>Tabela E.2. 1: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para uma velocidade de <math>3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}</math></i> .....	74
<i>Tabela E.2. 2: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para uma velocidade de <math>3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}</math></i> .....	74
<i>Tabela E.3. 1: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para humidade relativa a 50%</i> .....	74

## Notação e Glossário

T	Temperatura	°C
HR	Humidade Relativa	%
$P_v$	Pressão parcial de vapor de água	Pa
$P_v^{sat}$	Pressão de vapor de saturação	Pa
$m_{\text{água}}$	massa de água	g
$m_c$	massa de água colocada na meia	g
$m_s$	massa de água retida no sapato	g
$m_p$	massa de água retida na palmilha	g
$m_m$	massa de água retida na meia	g
$m_e$	massa de água evaporada da meia	g
$m_r$	massa de água removida da meia	g
n	número de medições/amostras	
t	parâmetro da distribuição t-Student	
$\bar{x}$	valor médio	

### *Letras gregas*

$\alpha$	nível de confiança
$\sigma$	desvio padrão

### *Lista de Siglas*

CeNTI	Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes
SUAD	Simulação de Uso e Avaliação de Desempenho
D	pé direito
E	pé esquerdo
IC	intervalo de confiança
rpm	rotações por minuto
pp	pontos percentuais

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

Hoje em dia, os consumidores estão cada vez mais exigentes e expressam a necessidade de ter calçado muito confortável. A qualidade do calçado é importante para a saúde do pé e do corpo inteiro. Um dos principais factores a ter em atenção é a presença de humidade no calçado. No entanto, para avaliar esse parâmetro é necessário desenvolver metodologias de teste. É neste enquadramento que surge este projecto.

Este projecto consistiu no desenvolvimento de uma metodologia experimental para avaliar o desempenho do calçado relativamente à gestão de humidade. O projecto foi realizado no CeNTI (Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes), em particular, no laboratório SUAD (Simulação de Uso e Avaliação de Desempenho).

O referido projecto envolveu a análise da variação da temperatura nos pés, a elaboração de um procedimento que permite colocar uma quantidade de água aproximadamente constante na meia de teste e a avaliação do desempenho de vários tipos de calçado relativamente ao transporte de água.

## 1.2 Contributos do Trabalho

Neste projecto desenvolveu-se uma metodologia para avaliação do desempenho do calçado relativamente ao transporte de água. Este estudo foi benéfico para o CeNTI porque possibilitou um maior conhecimento dos materiais utilizados nos testes de avaliação de desempenho (calçado e palmilhas). Além disso, permite a realização de testes/estudos futuros de avaliação de desempenho utilizando outro tipo de materiais.

A realização de testes com pessoas permitiu avaliar a reprodutibilidade do método desenvolvido em condições próximas da realidade.

### 1.3 Organização da Tese

A presente tese encontra-se dividida em cinco capítulos.

O capítulo 1 diz respeito à Introdução. Neste capítulo é apresentado o enquadramento deste projecto, os objectivos e a contribuição do trabalho desenvolvido para o CeNTI.

O capítulo 2 é referente ao Estado da Arte. Neste capítulo são referidos os factores que podem afectar o conforto térmico, os materiais já desenvolvidos que facilitam a gestão de humidade do calçado e as metodologias já existentes para avaliação de desempenho do calçado relativamente ao transporte de água.

A Descrição Técnica e Discussão de Resultados são apresentadas no capítulo 3. Nesta secção são descritos os procedimentos realizados para alcançar os objectivos propostos. Além disso, são apresentados e analisados os resultados.

No capítulo 4 são enunciadas as principais conclusões do trabalho efectuado, com destaque para os resultados obtidos nos testes de avaliação de desempenho do calçado relativamente ao transporte de água.

Por fim, no capítulo 5 avalia-se o projecto realizado, em relação aos objectivos alcançados e ao trabalho futuro. Este capítulo termina com uma reflexão pessoal sobre a realização deste projecto.

## 2 Estado da Arte

Este projecto consiste no desenvolvimento de uma metodologia experimental para avaliação do desempenho de calçado relativamente à gestão de humidade, uma vez que a humidade tem influência no conforto térmico.

Conforto e funcionalidade são valências cada vez mais valorizadas pelos consumidores. O conforto do calçado é o resultado de uma complexa interacção entre vários factores que afectam a função do pé durante a actividade humana (González et al. 2001). O crescente interesse pelo conforto do calçado resultou em várias investigações que relacionam o conforto com a distribuição de pressão plantar, a força do impacto vertical, o movimento, a forma do pé e da perna e o alinhamento, bem como a sensibilidade dos pés (Mündermann et al. 2002).

O conforto térmico nos pés não depende apenas do isolamento do calçado, mas também do nível de humidade no seu interior, do material que o constitui, da limpeza dos pés, da actividade etc. (Kuklane 1999). Este pode ser afectado pelo aquecimento ou arrefecimento do corpo como um todo ou de uma parte específica em particular (Butera 1998).

O conforto do pé é determinado pela interacção das meias, sola e sapatos. A sensação de conforto nos pés é obtida quando a temperatura da pele é cerca de 33°C e a humidade relativa junto a esta é cerca de 60% (Kuklane 2009).

Durante níveis de actividade normal, o calor produzido pelo metabolismo é libertado para a atmosfera por condução, convecção e radiação. No entanto, para níveis mais elevados de actividade e/ou aumento da temperatura ambiente, a produção de calor é muito elevada. As glândulas sudoríparas são activadas para produzir suor e quando este é transferido para o ambiente, transporta calor, reduzindo a temperatura do corpo. A transferência de massa neste processo é controlada pela diferença de concentração de vapor de água entre o ambiente e o local em que ocorre a evaporação (Das et al. 2007).

Na Figura 1 são apresentados os mecanismos de transferência de calor num sapato (Bergquist e Holmér 1997).

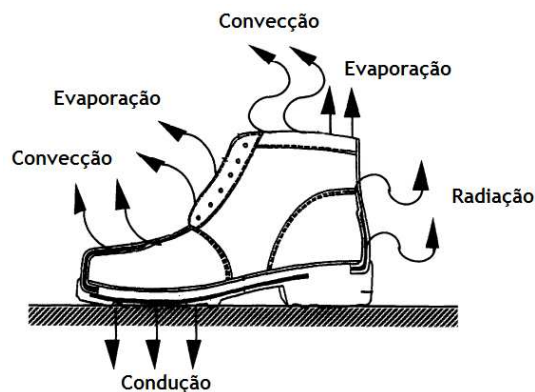


Figura 1: Perdas de calor através do sapato

Todos os processos de transporte de suor afectam significativamente a transferência de calor. A evaporação e absorção de suor têm um impacto directo sobre transferência de calor, que por sua vez é influenciada pela difusão de vapor de água e a difusão de líquidos. O aumento da temperatura é causado pelo saldo entre o calor libertado durante a absorção de suor nas fibras e o calor removido durante o processo de evaporação (Haghi 2004).

A evaporação do suor é a forma mais importante para o corpo dissipar o calor excedente (Havenith 1999) e está relacionada com a capacidade do organismo para regular a temperatura num ambiente quente ou durante um longo período de exercício. O processo de evaporação na superfície da pele permite a remoção de 580 kcal por litro de suor evaporado (Rebay et al. 2008). A evaporação depende da humidade relativa do ar, da temperatura do ar, da velocidade relativa do ar, da temperatura da pele, das propriedades da roupa (incluindo a resistência térmica e permeabilidade ao vapor de água) e da fracção da pele coberta com um filme de suor não evaporado (Butera 1998). Com temperaturas ambientes superiores a 36°C, a evaporação é o mecanismo exclusivo de perda de calor, dado que nessa situação a radiação, a condução e a convecção são ineficientes ou até contribuem para ganhos adicionais de calor (Magalhães et al. 2001).

Quando a temperatura do ar junto à pele é inferior à temperatura da pele, o calor é transferido da pele para o ar envolvente através da convecção. No entanto, as trocas de calor convectivo são mais eficientes quanto mais elevada é a velocidade do ar. A realização de testes com atletas mostra que devido a aberturas do calçado na parte anterior do pé, a transferência de água do calçado para a atmosfera ambiente é mais eficiente quando os atletas se movimentam com maior velocidade (Rebay et al. 2008).

Segundo Kuklane et al.(1999), o vapor de água move-se em direcção às áreas onde a pressão parcial de vapor de água é menor e este processo pode ser mais rápido durante o movimento devido ao efeito de bombagem de ar no interior do calçado. Este efeito ocorre nas

caminhadas ou em outras actividades em que os pés estejam envolvidos e promove a remoção de vapor de água existente no interior do calçado. Os sapatos devem ser concebidos de modo a permitir o efeito de bombagem, uma vez que este pode ser responsável pela remoção de 40% de vapor de água (Kuklane 1999).

O objectivo da utilização de um material para gestão de humidade consiste em absorver proactivamente o suor e ajudar a transportar o vapor de água para o exterior do sapato, para o manter seco. Mas, o aspecto crítico da utilização destes materiais está relacionado com a capacidade destes para secar ou libertar o vapor de água quando o sapato não está a ser utilizado (Kiss 2003).

Dalhgren (1994) patenteou um calçado que facilita a remoção e dissipação da transpiração do pé do utilizador. A sua invenção consiste na combinação de uma meia de malha com um sapato (Figura 2).



*Figura 2: Sapato com a meia de malha com gestão de humidade*

A parte da meia que fica junto aos dedos do pé é feita a partir de um tecido hidrofílico e a parte do peito do pé é feita com tecido hidrofóbico. A transpiração nos dedos do pé é absorvida pelo tecido hidrofílico e expulso pela parte do peito do pé (tecido hidrofóbico). A parte da língua do sapato possui camadas sobrepostas de tecido hidrofílico interno e externo e um tecido intermédio. A camada de tecido intermédio é formada por uma parte hidrofóbica e do lado oposto uma parte hidrofílica. A camada de tecido hidrofílico está em contacto com a parte hidrofóbica da meia. A transpiração é transferida da camada de tecido hidrofóbico para a camada de tecido exterior da língua do sapato (hidrofílico), para depois evaporar para a atmosfera.

Etchells et al.(2007) patentearam um tecido tridimensional para uso como sistema de gestão da humidade em calçado e em vestuário. O tecido inclui três superfícies (duas encerram a secção central) e pelo menos uma das superfícies não absorve água. Além disso, esta superfície pode conter poros de tamanhos pré-determinados para permitir a passagem de

água. O tecido contém ainda um agente absorvente de água que a captura e mantém para mais tarde ser evaporada.

Segundo a informação facultada pela “Geox”, esta empresa patenteou um sistema de orifícios na sola de borracha que, permite a passagem da sudação dos pés para o exterior dos sapatos, mantendo a água no exterior destes (através de uma membrana protectora respirável). A membrana é feita a partir de um material micro-poroso que, segundo o fabricante, absorve o suor através da sola interior e permite que este seja transportado para o exterior sob a forma de vapor de água. Este processo é possível porque os micro-poros da membrana são maiores que as moléculas de vapor de água, mas menores que as gotas de água, mantendo assim a água no exterior e os pés secos (Geox 2010).

Em relação à metodologia existente, a empresa “SATRA” desenvolveu um equipamento para avaliar o desempenho térmico e a gestão de humidade de calçado. Nos testes, são medidos vários parâmetros, nomeadamente o isolamento térmico, a absorção de suor e a respirabilidade. O *Advanced Moisture Management Test* (AMMT, Figura 3) pode ser utilizado para ajudar a definir parâmetros de conforto. Pode também ser usado para testes comparativos de componentes de calçado, por exemplo, para avaliar materiais de composição diferente. Os dados do equipamento AMMT podem ser utilizados para monitorizar e melhorar a gestão de suor e as propriedades térmicas de todos os tipos de calçado - desporto, industrial e dos sapatos utilizados diariamente (SATRA Technology Centre 2010).



Figura 3: Equipamento para avaliar o desempenho térmico e a gestão de humidade no calçado (AMMT)

No AMMT é utilizado um pé moldado que tem incorporado um elemento de aquecimento eléctrico e outro de fornecimento de água, que distribui água para a superfície do pé. Antes de iniciar o teste, é colocada uma meia padrão de referência no pé. Após um período de aquecimento para atingir o equilíbrio, é criado um ambiente quente e húmido para simular o interior de um sapato real. O pé com a meia é então submetido a um fluxo de ar sobre a sua

superfície para reproduzir o movimento, o que ajuda a dissipar a água na superfície do sapato (SATRA Technology Centre 2010). De referir que, sendo um método estático, este não contempla o efeito de bombagem de ar no interior do calçado, durante as medições.

O método *Whole Shoe Comfort Rating* (WSCR) foi desenvolvido por Schols et. al (2004) e consiste na medição da permeabilidade e absorção de vapor de água num sapato. Foi desenvolvido um pé respirável de fácil utilização e de custos reduzidos capaz de fornecer dados consistentes sobre o transporte de vapor de água no calçado. A parte essencial do método WSCR está relacionada com a utilização de uma meia que é impermeável à água mas permeável ao vapor de água (disponível comercialmente). A meia é colocada no modelo a ser testado e depois é introduzida água no interior da meia. Em seguida são colocados um dispositivo de aquecimento, um sensor de temperatura e um sistema de agitação, no interior da meia com água. O sistema de aquecimento é controlado com precisão e pode ser regulado para diferentes temperaturas, dependendo da taxa de vapor que se pretende. O sistema de agitação assegura uma distribuição homogénea da temperatura dentro da meia. O sistema é colocado numa balança analítica que está ligada a um computador, no qual são guardados os dados (Figura 4).

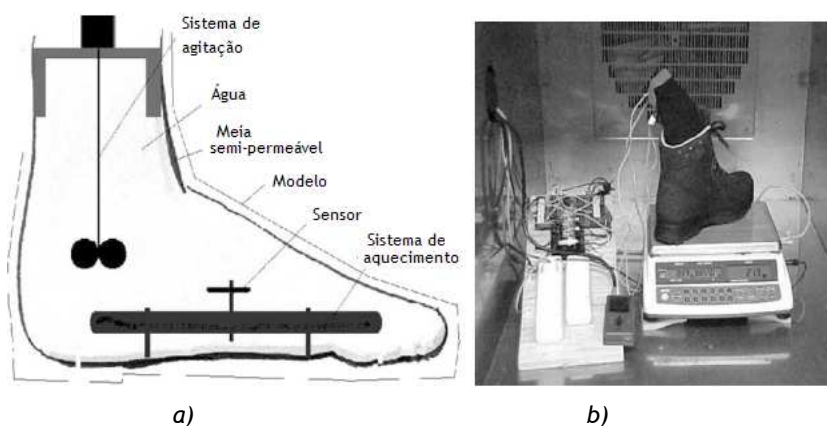


Figura 4: Equipamento para avaliar a permeabilidade e absorção do vapor de água num sapato, a) esboço e b) experimental

A absorção do vapor de água no sapato é calculada através do quociente entre diferença de massas final e inicial do sapato e o tempo de realização da experiência. A permeabilidade do vapor de água no sapato é calculada através do quociente entre diferença de massas final e inicial do sapato juntamente com meia e o tempo que durou a experiência. O transporte de vapor de água (água que evaporou da meia) corresponde à soma do vapor de água absorvido no sapato e da permeabilidade ao vapor de água no mesmo (Schols et al. 2004). Tal como o método anterior, também este é realizado em modo estático, pelo que a remoção de vapor de água devido ao efeito de bombagem não é considerada.

### 3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

Neste projecto pretendeu-se desenvolver um método experimental para avaliar o desempenho do calçado em relação ao transporte de água.

Após o desenvolvimento do procedimento experimental, foi necessário definir as condições de realização de testes para avaliar o potencial do método. Neste contexto, foram realizados estudos sobre a variação da temperatura corporal, uma vez que esta tem influência na taxa de evaporação e na transferência de água da meia para o sapato. Dado que a sudação é um aspecto fisiológico que varia de pessoa para pessoa e ao longo do tempo, a introdução de água na meia através deste processo não possibilita a obtenção de condições de teste uniformes. Então, foi desenvolvido um método que permite introduzir uma quantidade de água aproximadamente constante na meia e o efeito da sudação é eliminado através da colocação de uma meia de plástico entre o pé e a meia de teste.

A apresentação dos resultados é feita em três partes. A primeira diz respeito aos estudos realizados para analisar a variação de temperatura corporal. A segunda parte está relacionada com o procedimento para colocar uma quantidade aproximadamente constante de água na meia de teste. Na última parte é apresentado o método desenvolvido para avaliação do desempenho de calçado e os resultados obtidos nos vários testes efectuados.

#### 3.1 Variação da temperatura corporal

A flutuação da temperatura corporal depende de vários factores como é o caso da idade, género, ciclos hormonais, hora do dia e nível de ansiedade. Além disso, segundo Anbar e D'Arcy (1991), a temperatura local da pele em várias áreas do corpo flutua num intervalo constante, na ordem dos minutos, porque o fornecimento de sangue às artérias cutâneas é controlado por uma variedade de processos regulatórios que actuam em paralelo.

Utilizando um termómetro rectal ou oral, verifica-se que a temperatura de todos os tecidos do corpo humano é muito próxima dos 37°C. No entanto, a superfície do corpo está a uma temperatura inferior a essa. Uma pessoa ligeiramente vestida e exposta a uma temperatura ambiente de 25°C possui uma temperatura corporal média para toda a superfície da pele próxima dos 33°C. Este valor representa a média de uma média das diferentes temperaturas de superfície nas várias zonas do corpo. Por exemplo, a temperatura nos pés é cerca de 27°C enquanto no abdómen pode aproximar-se dos 35°C (Burton 1935).

### 3.1.1 Evolução da temperatura e humidade corporais durante uma caminhada

Para analisar a evolução da temperatura corporal numa caminhada realizou-se um teste no qual uma pessoa caminhou numa passadeira durante 30 minutos a velocidade constante ( $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e com temperatura ambiente controlada apenas pelo sistema de ar condicionado ( $21^\circ\text{C}$ ). O teste foi realizado em dois dias consecutivos, à mesma hora da manhã, utilizando o mesmo vestuário e o mesmo calçado.

A monitorização da temperatura da pele foi feita através de sensores colocados em várias zonas do corpo e registadas no Data Logger MSR 12 (MSR, Henggart, Suíça). Foram utilizados dois tipos de sensores: de humidade relativa (que registam também a temperatura) que foram denominados por sensores de humidade relativa e sensores que só registam temperatura.

Uma vez que é objecto de estudo a humidade no interior do calçado, foi dada especial atenção à evolução da temperatura e da humidade nas várias zonas do pé e os restantes sensores de temperatura foram distribuídos por várias zonas do corpo. A localização dos sensores no pé foi escolhida de modo a que estes não provocassem desconforto à pessoa durante o teste. Na Figura 5 apresentam-se os locais escolhidos para medição da temperatura e humidade corporais.

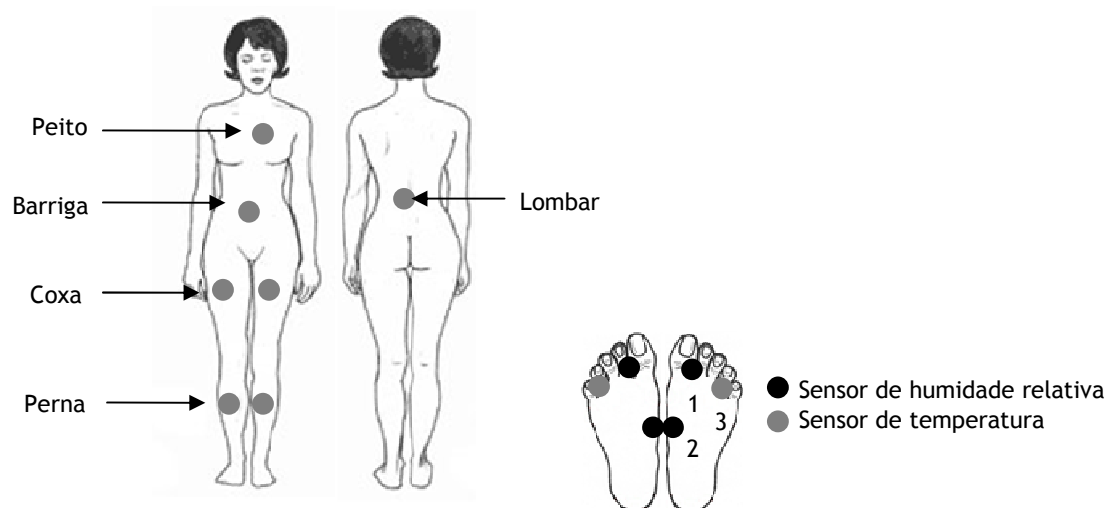


Figura 5: Localização dos pontos de medição da temperatura e humidade relativa

Segundo Rebay et al.(2008), durante uma caminhada, o aumento da temperatura é superior no calcanhar, pois é a zona mais solicitada, dado que suporta o corpo contra a gravidade. Numa corrida, a zona mais solicitada é a zona dos dedos do pé, pelo que o

aumento da temperatura é maior nessa zona. Contudo, neste teste não foi registada a temperatura no calcanhar porque a colocação do sensor provocaria desconforto.

Os sensores de temperatura foram colocados na perna, coxa, barriga, peito e zona lombar para analisar a variação da temperatura nessas zonas durante a caminhada. No caso dos pés, os sensores de humidade relativa foram colocados entre o primeiro e o segundo pododactilo (posição 1) e na zona lateral do pé (posição 2) e os sensores de temperatura foram colocados entre o quarto e o quinto pododactilo (posição 3).

Após a escolha dos locais de medição, foi necessário definir um modo de colocação dos sensores no vestuário que permitisse usar a peça sem que os sensores mudassem de posição, facilitando a realização do teste caso fosse necessário repeti-lo várias vezes. O modo mais prático consiste em coser o sensor em algumas zonas da peça de vestuário, pelo que foi feito um pequeno orifício no qual se introduziu o sensor (o fio do sensor ficou no exterior da peça e o sensor propriamente dito no interior, em contacto com a pele). No caso dos pés, os sensores foram colocados por cima da meia, com o auxílio da fita-cola, o que permitiu analisar o ambiente no interior da sapatilha.

Na Figura 6, são apresentadas imagens que ilustram a colocação dos sensores no vestuário e no calçado.

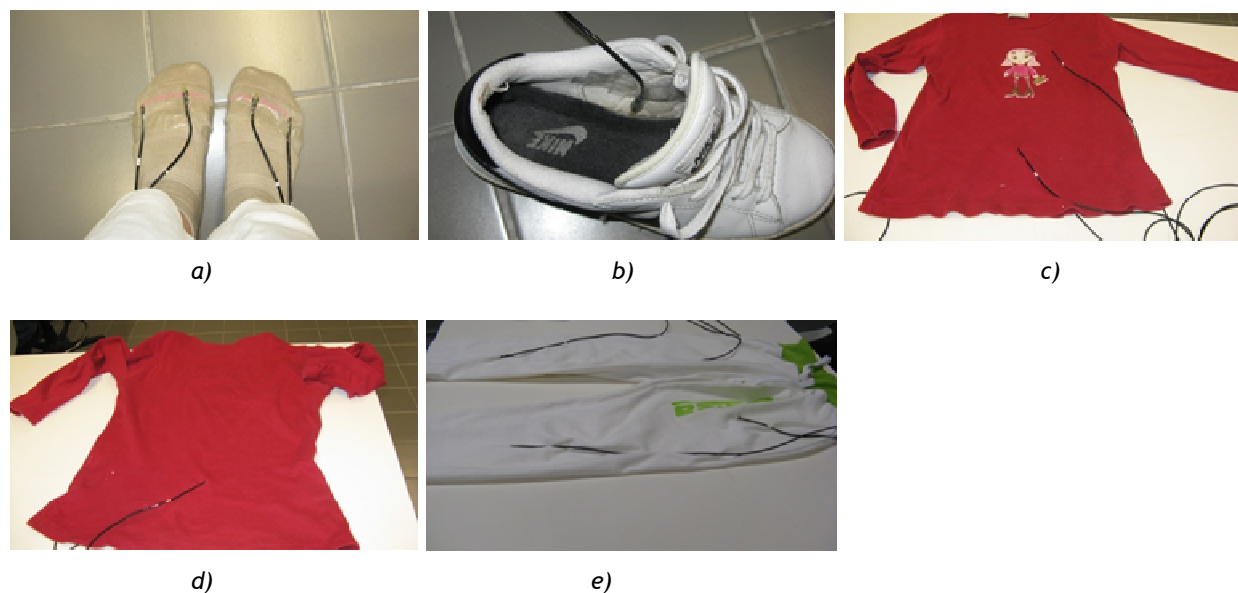


Figura 6: Localização e modo de colocação dos sensores no vestuário, a) nos pés, b) parte lateral da sapatilha, c) parte da frente da camisola, d) parte de trás da camisola, e) calças

De seguida, apresentam-se os gráficos de comparação dos testes realizados, na manhã do dia 30 Março e na manhã do dia 31 Março, sendo a comparação realizada para cada sensor. A

Figura 7 diz respeito à evolução da temperatura (T) e da humidade relativa (HR) em ambos os pés, nas várias posições.

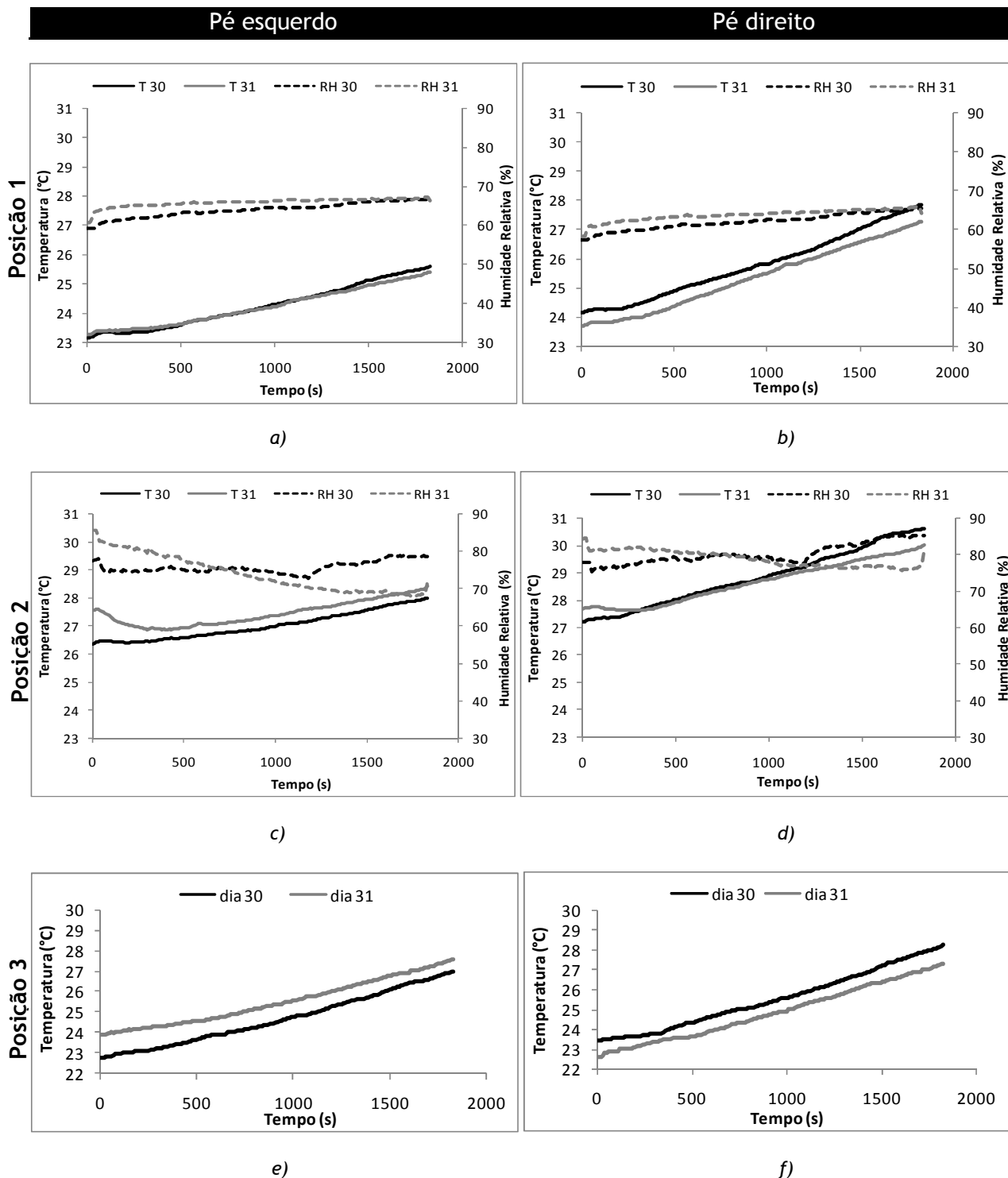


Figura 7: Variação da temperatura e humidade relativa em várias zonas do pé direito e esquerdo. Posição 1: a) e b), posição 2: c) e d) e posição 3: e) e f)

Analisando os gráficos referentes à posição 1 (entre o primeiro e o segundo pododactilo), verifica-se que existe uma diferença de 2 °C entre os dois pés no final da caminhada, pois no

pé esquerdo a temperatura é cerca de 26°C e no pé direito é 28°C. Esta diferença de temperaturas pode ser explicada pela eventual existência de gradientes térmicos na sala onde foi realizado o teste, uma vez que a temperatura do ambiente circundante foi apenas controlada através do sistema de ar condicionado. Em relação ao pé direito, a diferença de temperaturas registadas entre o dia 30 e 31, pode ter sido provocada pelas trocas de calor entre o pé e o chão durante o processo de colocação dos sensores, pela existência de gradientes de temperatura na zona de colocação dos sensores ou devido ao erro de exactidão dos mesmos ser de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  (estas razões também se aplicam à diferença de temperatura entre o pé direito e o esquerdo).

No caso da humidade relativa, verifica-se que existe um ligeiro aumento da mesma, provocado pelo início da actividade. A diferença entre os valores de humidade relativa registados no dia 30 e no dia 31 pode ser devida ao erro de exactidão dos sensores, que é de  $\pm 2$  pontos percentuais e ao facto da caminhada não se ter realizado em ambiente controlado, como por exemplo, numa câmara climática.

Em relação à posição 2 (zona lateral do pé), inicialmente a temperatura nos pés é aproximadamente 27°C, mas este valor aumenta durante a caminhada, em resultado da produção de calor metabólico. Estabelecendo uma comparação entre as temperaturas da posição 1 e 2, verifica-se que a temperatura na posição 2 é superior, o que resulta de esta estar próxima da zona do calcanhar (zona com temperatura superior numa caminhada) e mais próxima da zona central do pé. Na posição 1 (extremidade do pé), a produção de calor metabólico é inferior devido à menor massa muscular. Isto justifica a existência de temperaturas inferiores nesta posição (Kuklane 2009).

O aumento da temperatura ao longo da caminhada provoca um aumento na pressão de vapor de saturação ( $P_v^{\text{sat}}$ ). Como a humidade relativa (HR) é inversamente proporcional à pressão de vapor de saturação (ver equação (3.1)), o aumento da última, faz diminuir a humidade relativa. No entanto, o aumento da sudação, provocado pelo esforço físico, faz aumentar a pressão parcial de vapor da água no ar ( $P_v$ ) e a humidade relativa aumenta.

$$HR(\%) = \frac{P_v}{P_v^{\text{sat}}} \quad (3.1)$$

Por fim, na posição 3, a temperatura inicial nos pés é cerca de 23°C, sendo este valor semelhante ao registado na posição 1 (extremidade do pé). De referir que a existência de uma pequena diferença nos valores de temperatura registados nos dias 30 e 31, pode ser explicada por ligeiras diferenças na localização dos sensores, pelo erro de exactidão destes, bem como pela colocação dos pés no chão, como foi referido anteriormente.

A Figura 8 representa a variação da temperatura nas pernas esquerda e direita bem como nas coxas esquerda e direita.

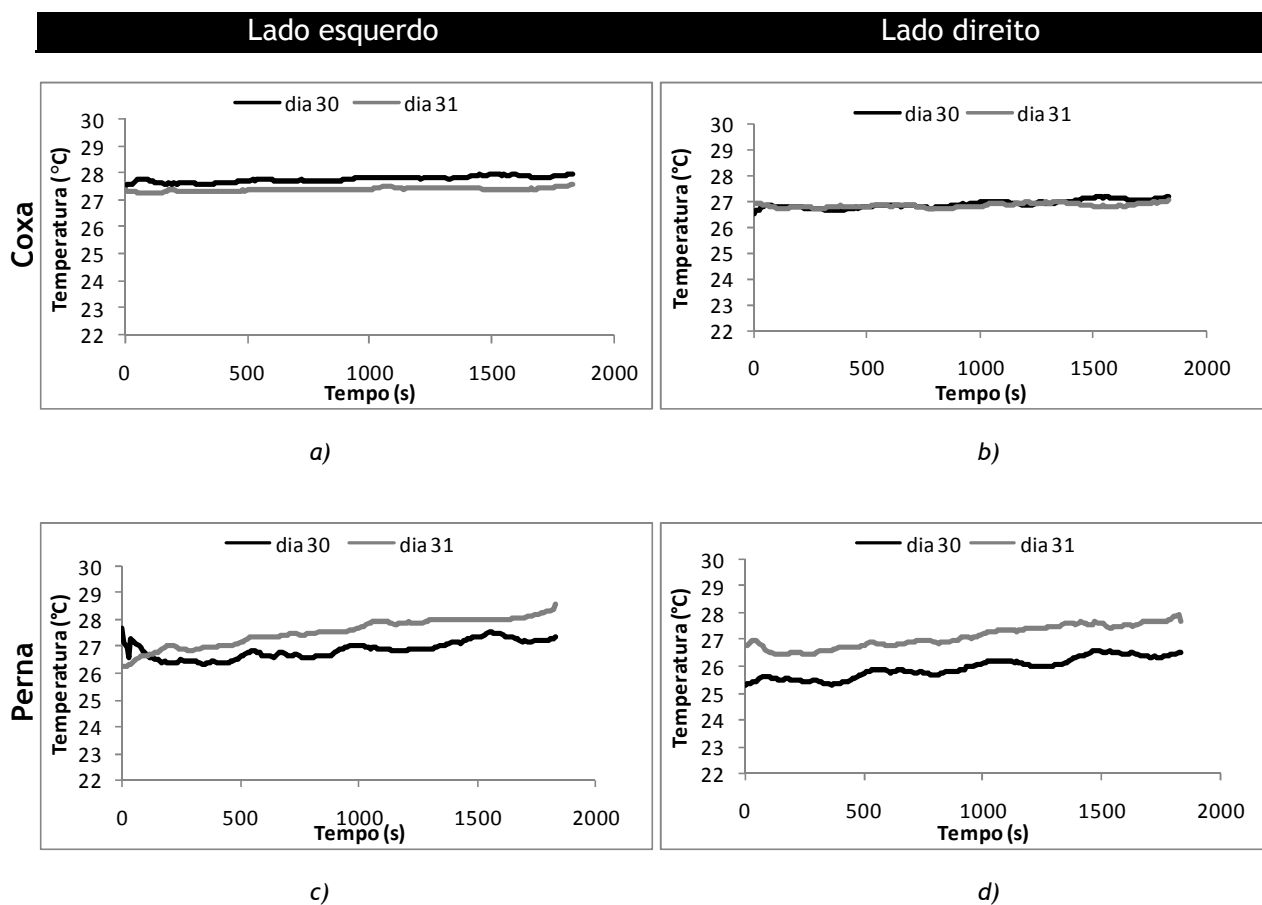


Figura 8: Variação da temperatura no lado esquerdo, a) coxa e c) perna e no lado direito, b) coxa e d) perna

A diferença de  $0,5^{\circ}\text{C}$  observada entre a coxa esquerda e a coxa direita pode ser explicada pela existência de gradientes térmicos na sala e pelo erro de exactidão dos sensores. Como foi referido anteriormente, para eliminar esta interferência, a caminhada deveria ocorrer numa câmara climática.

No caso das pernas, como os sensores não estavam juntos à pele, os resultados não traduzem realmente as temperaturas nas pernas, mas sim a temperatura do ar envolvente (no interior das calças). O aumento da temperatura está relacionado com o processo de libertação de calor durante a caminhada.

Na Figura 9 apresenta-se a evolução da temperatura registada na zona superior do corpo (peito, barriga e zona lombar).

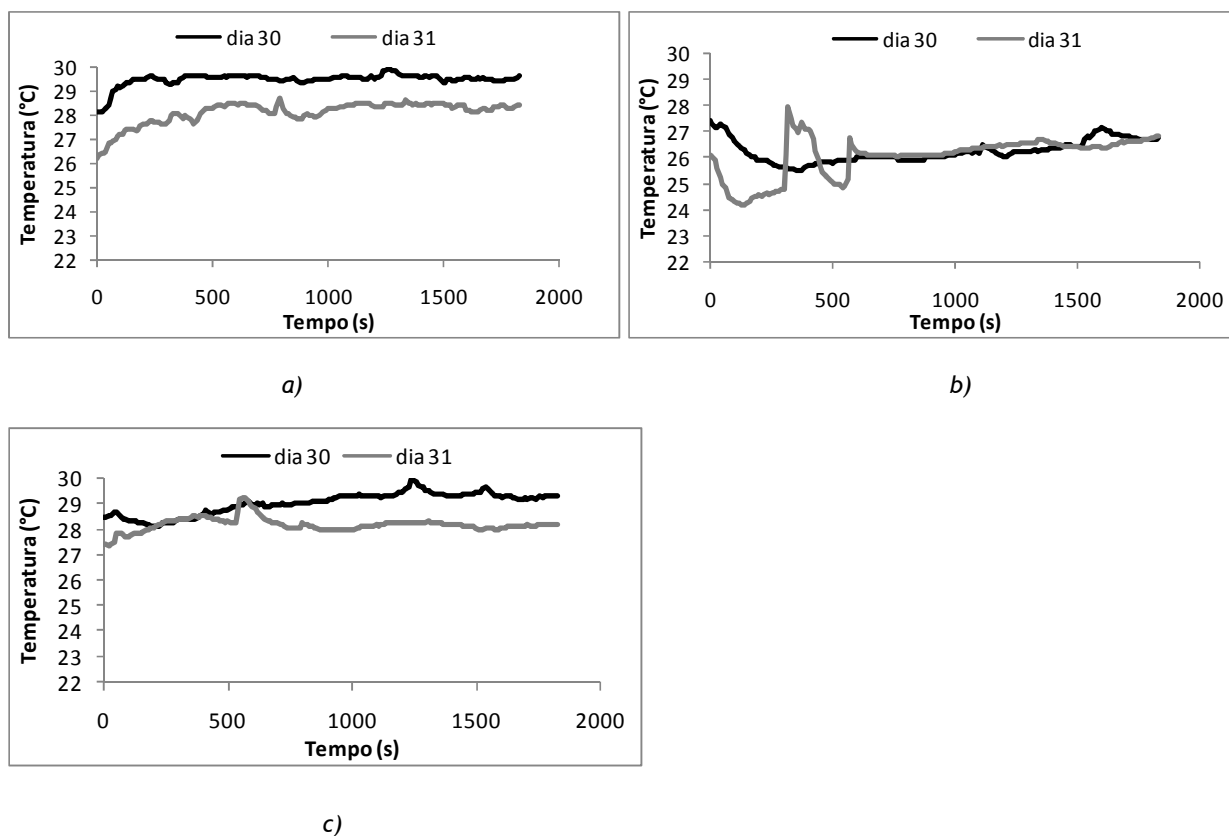


Figura 9: Evolução da temperatura ao longo da caminhada, a) peito, b) barriga e c) lombar

A temperatura corporal é controlada através do fluxo sanguíneo, pois devido à sua alta condutividade térmica faz com que este seja um meio muito eficaz no controlo térmico do corpo. Por essa razão, a temperatura é mais elevada na zona do coração (peito) quando comparada com outras zonas, como por exemplo os pés.

O sensor foi cosido na camisola mas, o movimento desta provocou o afastamento do sensor relativamente à pele durante a caminhada. Como consequência, registaram-se oscilações nos valores das temperaturas na zona da barriga.

Na zona lombar, também existem algumas oscilações nos valores da temperatura, provocadas pelo afastamento do sensor da pele durante a caminhada. Devido ao afastamento, o registo da temperatura representa a temperatura do ambiente entre a camisola e a pele e não a temperatura à superfície da pele.

Estabelecendo uma comparação entre as temperaturas das pernas e das coxas com as temperaturas registadas no peito, barriga e zona lombar, verifica-se que as últimas são superiores devido à sua proximidade da região central do corpo.

Com realização destes testes experimentais obtiveram-se indicações sobre a localização e modo de colocação dos sensores nas várias zonas do corpo, com especial atenção para a zona dos pés. Para além disso, obtiveram-se informações sobre a variação da temperatura nas várias zonas corporais, durante uma caminhada.

### 3.1.2 Variação da temperatura nos pés ao longo do dia

A oscilação da temperatura corporal ao longo do dia faz parte do ciclo circadiano e geralmente não ultrapassa  $\pm 0,6^\circ\text{C}$ . A temperatura corporal é menor pela manhã, aumenta ao longo do dia e é máxima no início da noite (Magalhães et al. 2001). Uma vez que a temperatura varia ao longo do dia e nas várias zonas do pé é necessário definir uma temperatura ambiente para realizar os testes de modo a que as variações de temperatura no pé sejam minimizadas.

Através das experiências anteriores verifica-se que durante uma caminhada, com uma temperatura ambiente de  $21^\circ\text{C}$ , o aumento da temperatura nos pés é gradual, pelo que no interior do sapato não se obtém temperaturas constantes. Então decidiu-se avaliar a evolução da temperatura nos pés, durante uma caminhada, com a temperatura ambiente a  $35^\circ\text{C}$ . Uma vez que o mecanismo de termorregulação do corpo humano funciona de modo a manter a temperatura interna em torno dos  $37\pm 0,5^\circ\text{C}$  (Butera 1998). É provável que, numa caminhada a  $35^\circ\text{C}$  a temperatura nos pés seja relativamente constante ao longo da caminhada.

Para analisar a variação da temperatura dos pés ao longo do dia e em dias diferentes, realizaram-se 2 caminhadas diárias, em 3 dias consecutivos. Estas caminhadas foram realizadas em ambiente controlado<sup>1</sup> e utilizando a meia de plástico para impedir a passagem da sudorese da pele para a meia (condições futuras dos testes de avaliação de desempenho). Os ensaios (caminhadas) foram realizados a velocidade constante ( $3\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e com uma duração de 30 minutos. Os ensaios realizados no 3º dia permitiram observar a evolução da temperatura para uma caminhada com duração superior (45 minutos). Entre cada ensaio, a pessoa descansou, o que permitiu a recuperação do esforço físico e a normalização da temperatura corporal.

Na Figura 10, são apresentados os locais de colocação dos sensores de medição da temperatura e humidade relativa. Esta escolha foi baseada na experiência reportada na secção 3.1.1.

<sup>1</sup> Condições na câmara climática: temperatura a  $35^\circ\text{C}$  e humidade relativa a 50%.

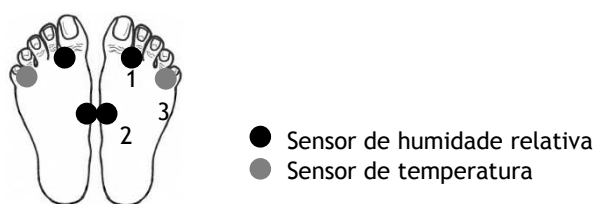


Figura 10: Localização dos pontos de medição da temperatura e humidade relativa

Na Figura 11, são apresentadas imagens que ilustram a colocação dos sensores nas várias posições, utilizando fita-cola, bem como o calçado utilizado durante a caminhada.

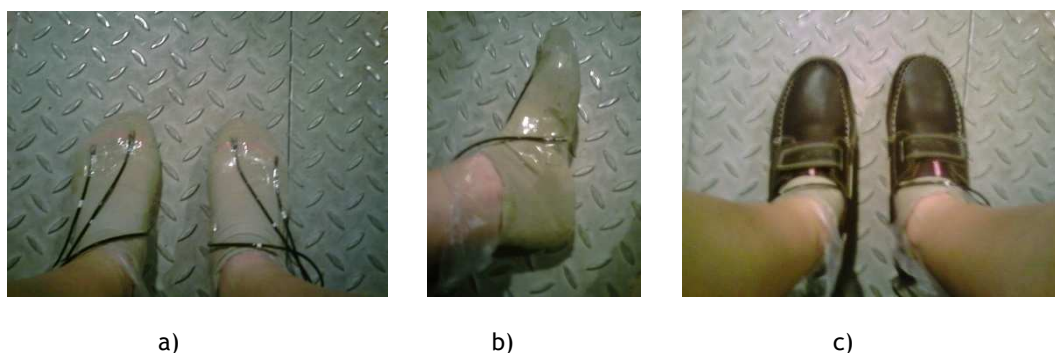


Figura 11: Localização e modo de colocação dos sensores: a) posição 1 e 3, b) posição 2 e c) sapatos utilizados na caminhada

Na Figura 12 apresenta-se a variação da temperatura entre o primeiro e o segundo pododactilo (posição 1). As legendas das figuras seguintes estão organizadas do seguinte modo: dia do ensaio, número do ensaio e o pé no qual foi colocado o sensor, esquerdo (E) ou direito (D).

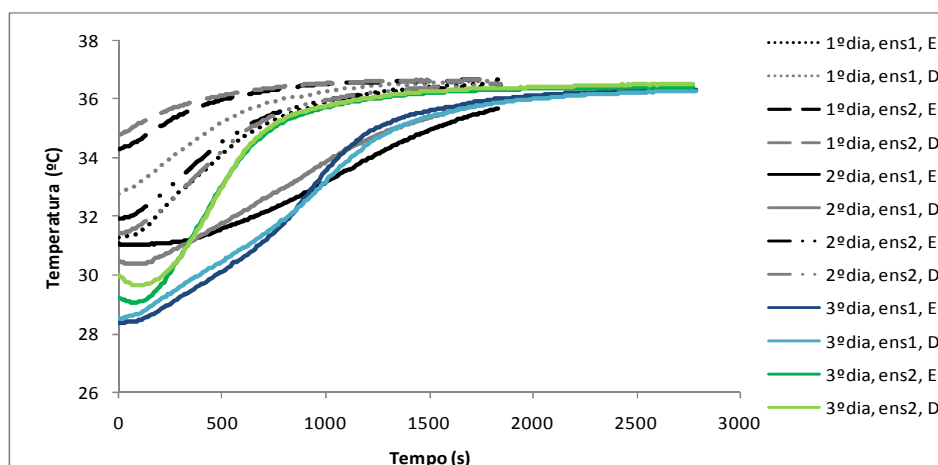


Figura 12: Evolução da temperatura na posição 1 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias

Através da Figura 12, verifica-se que a temperatura na posição 1 estabilizou próximo dos 36°C, momento em que se atinge o equilíbrio térmico, através do balanço entre a produção e libertação de calor. Analisando a evolução da temperatura em cada ensaio, conclui-se que existe simetria térmica entre o pé esquerdo e o pé direito, uma vez que a evolução é semelhante. A existência de simetria entre os pés permite a avaliação do desempenho de sapatos diferentes, durante o mesmo ensaio. A realização de um teste de 45 minutos permite minimizar os efeitos da variação de temperatura inicial no interior do sapato. De referir que após 1000 segundos de caminhada, a temperatura encontra-se já no intervalo 35±2°C.

No caso dos ensaios realizados no 3º dia, com duração de 45 minutos, a temperatura estabilizou em torno dos 36°C, tal como nos restantes ensaios.

Na Figura 13 apresenta-se a variação da temperatura na zona lateral do pé (posição 2).

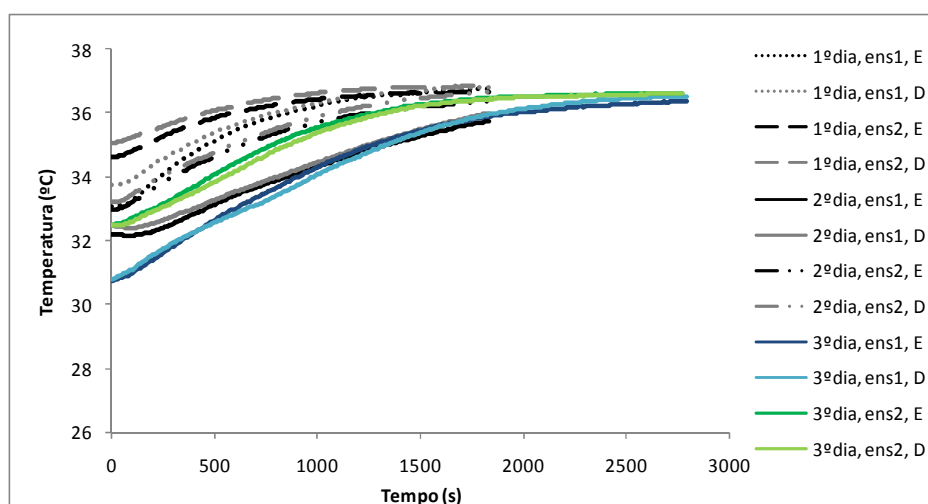


Figura 13: Evolução da temperatura na posição 2 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias

Nesta posição, verifica-se que a temperatura estabilizou nos 36,5°C, devido ao equilíbrio térmico atingido pelo corpo. Em relação à temperatura inicial, o valor registado nesta posição é superior à da posição 1 devido à diferente localização da posição de aquisição (posição 1 corresponde a uma extremidade do pé).

A Figura 14 diz respeito à variação da temperatura entre o quarto e o quinto pododactilo (posição 3).

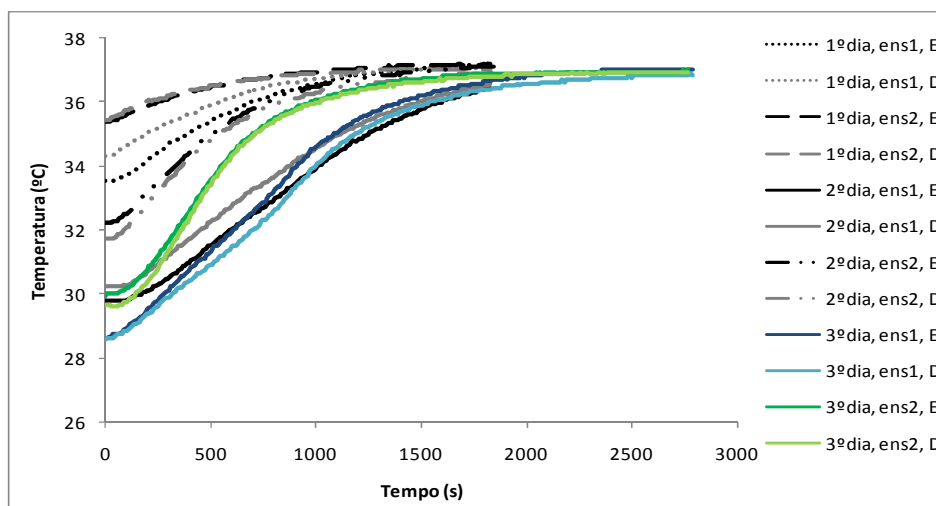


Figura 14: Evolução da temperatura na posição 3 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias

Nesta posição, a temperatura estabilizou em torno dos 36°C, tal como na posição 1. Isto acontece porque as duas posições estavam localizadas na extremidade do pé.

Na Figura 15, apresenta-se a variação da humidade relativa entre o primeiro e o segundo pododactilo (posição 1).

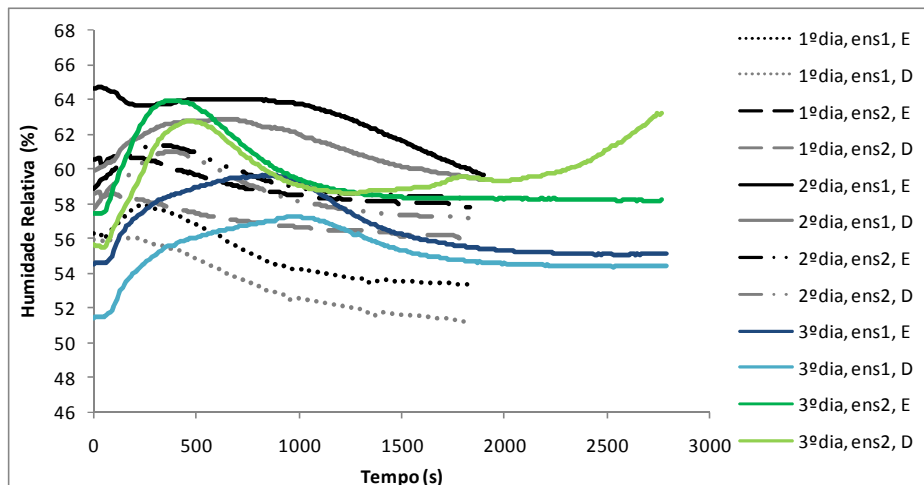


Figura 15: Evolução da humidade relativa na posição 1 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias

Na Figura 15 observa-se um aumento da humidade relativa no início da caminhada, seguido de uma diminuição ao longo da mesma. Como a meia foi condicionada a 35°C e foi colocada no pé (a temperatura mais baixa), ocorreu transferência de calor da meia para o pé. A transferência de calor fez diminuir a temperatura da meia pelo que a pressão de vapor de saturação também baixou, provocando o aumento da humidade relativa. No entanto, com o

decorrer do ensaio, a temperatura do pé aumentou devido ao esforço físico. O aumento da temperatura do pé resultou no aquecimento da meia, o que fez aumentar a pressão de vapor de saturação ( $P_v^{sat}$ ) e, conseqüentemente, diminuir a humidade. Refira-se que mesmo que não exista alteração no teor de humidade do ar no interior do sapato (logo  $P_v$  é constante), uma alteração na temperatura do ar implica a alteração da humidade relativa devido à alteração de  $P_v^{sat}$ . Por exemplo, para uma temperatura inicial de 35°C e 50% de humidade relativa a  $P_v^{sat}$  é igual a 5622 Pa, pelo que se obtém um valor de  $P_v$  igual a 2811 Pa. Se a temperatura baixar para 33°C, considerando que  $P_v$  não aumenta devido à colocação da meia de plástico para eliminar o efeito da sudação, e sabendo que a essa temperatura  $P_v^{sat}$  é igual a 5029 Pa, a humidade relativa seria cerca de 56%. Este pequeno exemplo mostra como pequenas alterações da temperatura da meia podem originar razoáveis alterações na humidade relativa no interior do sapato.

No mesmo ensaio, existe uma diferença entre os valores de humidade registados nos dois pés, podendo essa diferença ser devida a erros de exactidão dos sensores ( $\pm 2$  pontos percentuais).

A Figura 16 diz respeito à evolução da humidade relativa na zona lateral do pé (posição 2).

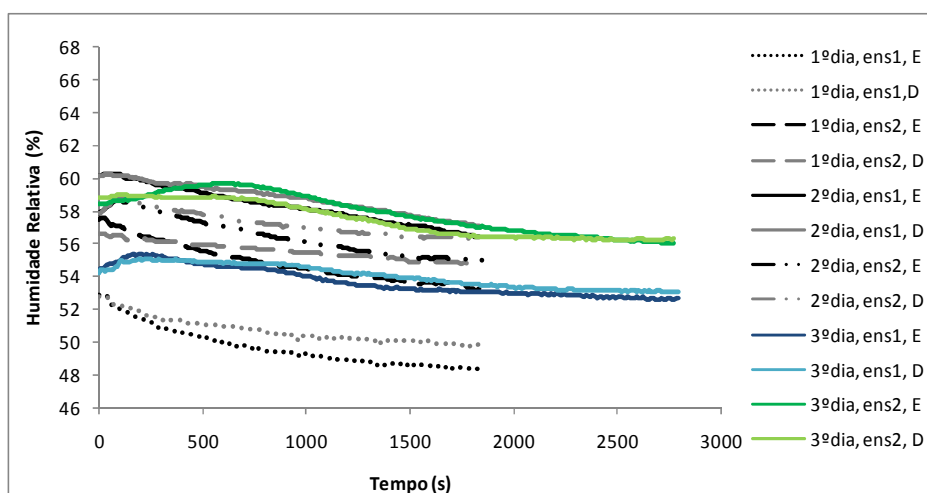


Figura 16: Evolução da humidade relativa na posição 2 ao longo das caminhadas realizadas nos 3 dias

Como o gradiente de temperaturas entre a meia e o pé é menor nesta posição (relativamente à posição 1), menor é a transferência de calor, então, menor é a diminuição da pressão de vapor de saturação e menor é o aumento da humidade. Como foi referido anteriormente, com o decorrer da caminhada, a temperatura do pé aumenta, a pressão de vapor de saturação aumenta e conseqüentemente a humidade diminui.

Com a realização destes ensaios, verificou-se que apesar da variação de temperatura inicial, a temperatura no interior do sapato estabilizou em torno dos 36°C. Uma forma de minimizar os efeitos da variação inicial da temperatura no interior do calçado consiste em realizar testes com a duração de 45 minutos. Além disso, o facto de existir simetria entre os pés possibilita a realização de testes de avaliação de desempenho com sapatos diferentes, durante o mesmo ensaio.

### **3.2 Colocação de uma quantidade aproximadamente constante de água na meia**

Nos testes com o manequim térmico, a taxa de sudação é controlável, mas em testes com pessoas tal não é possível porque se trata de um aspecto fisiológico que varia de pessoa para pessoa.

No entanto, para ser possível estabelecer a comparação do desempenho de vários sapatos relativamente ao transporte da água para o exterior, é necessário garantir que a água inicial na meia é semelhante. Então, surge a necessidade de desenvolver um procedimento experimental que permita colocar uma quantidade de água aproximadamente constante e uniformemente distribuída pela meia. A transferência da sudação da pele para a meia é eliminada através da utilização de uma meia de plástico, colocada entre o pé e a meia de teste.

#### Procedimento experimental

Antes de iniciar a actividade experimental, as meias foram pesadas, pois este dado era necessário para efectuar cálculos posteriores. De referir que as meias foram colocadas numa sala com humidade relativa e temperatura controladas ( $20\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $65\pm 4\%$ ), para garantir que as condições iniciais dos testes eram iguais ao longo dos dias. A numeração das várias meias é importante para que seja possível analisar a quantidade de água que permanece em cada meia ao longo dos vários dias.

Com base no artigo de Sawazaki (1964), colocaram-se as meias em imersão numa tina com 1,5L de água destilada durante 10 minutos. Dado que as experiências eram realizadas com quatro meias em simultâneo, verificou-se que 1,5L de água era suficiente para garantir a imersão total das mesmas. Além disso, foi ainda colocada uma rede com pesos por cima, para

garantir que as meias não flutuassem e fossem molhadas de igual modo. Na Figura 17 é apresentado o processo de imersão das meias bem como a rede e os pesos utilizados.

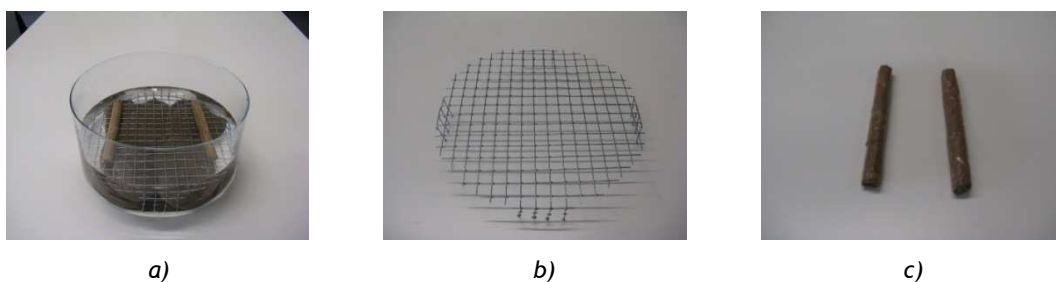


Figura 17: a) Imersão das meias numa tina com 1,5L de água destilada, b) rede e c) pesos

Após os 10 minutos, as meias foram colocadas a escorrer durante 1 minuto, como é demonstrado na Figura 18. Este processo foi necessário para reduzir o teor de água na meia sem recorrer a nenhum processo mecânico.



Figura 18: Colocação das meias a escorrer durante 1 minuto

Decorrido 1 minuto, as meias foram dobradas e colocadas num copo de centrífuga com uma rede na sua base, para que a água libertada pela meia durante o processo de centrifugação não ficasse em contacto com a própria meia. A Figura 19 demonstra a colocação da rede no copo da centrífuga.

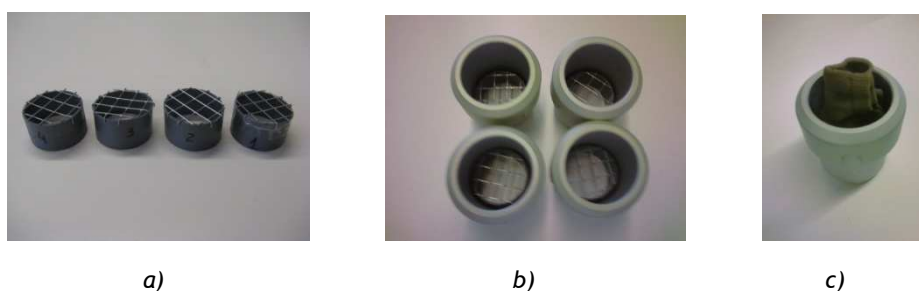


Figura 19: Colocação da rede no copo da centrífuga, a) rede, b) copo da centrífuga com a rede e c) copo da centrífuga com a rede e a meia

Depois, os vários copos da centrífuga foram pesados e o seu peso foi corrigido (introduzindo água na base do copo), para que o peso fosse igual para todos os copos, pelo menos até à décima. A correcção dos pesos foi necessária por questões de segurança na utilização da centrífuga. Por fim, os copos foram colocados na centrífuga com determinada velocidade de rotação (rpm) e quando o processo de centrifugação<sup>2</sup> terminou as meias foram pesadas (Figura 20).

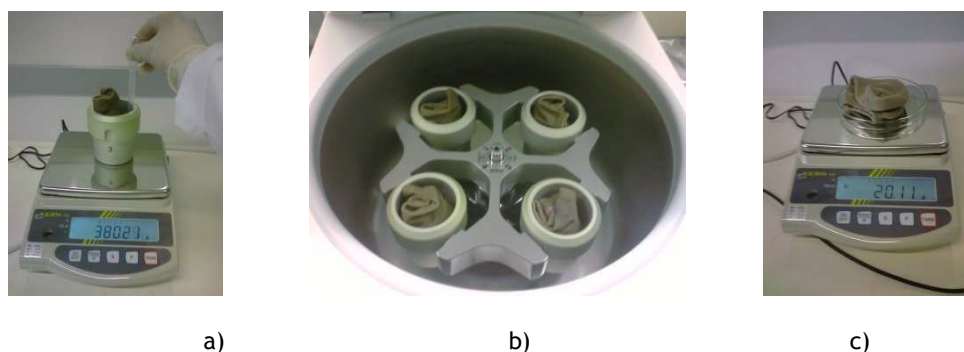


Figura 20: Representação das várias tarefas, a) correcção do peso do copo, b) centrifugação e c) pesar a meia molhada após a centrifugação

Com os valores da massa das meias secas e a massa das meias molhadas após a centrifugação, calculou-se a massa de água que ficou em cada meia.

### 3.2.1 Variação da velocidade de rotação (rpm) da centrífuga

Inicialmente, não era conhecida a velocidade de rotação a utilizar na centrífuga para obter uma quantidade de água constante nas meias. Então, com base no artigo de Sawazaki (1964) que refere a utilização de 3000 rpm no máximo, no primeiro ensaio começou por utilizar-se 1000 rpm, durante 1 minuto. Nesse ensaio, constatou-se que a superfície livre da água no copo no final da centrifugação ficava muito próxima da rede, pelo que a meia ficava com maior quantidade de água na zona junto à rede, como se pode observar na Figura 21.

<sup>2</sup> Condições utilizadas no processo de centrifugação: nível 5 para as rampas de aceleração e desaceleração e temperatura de 20°C.



Figura 21: Meia molhada na zona que fica em contacto com a rede, a) meia dobrada e b) meia na posição normal

Como se pretendia que a água ficasse uniformemente distribuída pela meia, decidiu-se realizar um processo de centrifugação adicional. Mas, antes da segunda centrifugação, retirou-se a água que estava no copo e voltou a corrigir-se os pesos para não haver perigos na utilização da centrífuga. Após o segundo processo de centrifugação verificou-se que se obtinha uma quantidade de água aproximadamente constante em todas as meias (Tabela 1, ensaio 1), isto fez com que nos ensaios posteriores fossem realizados dois processos de centrifugação em cada ensaio.

Na Tabela 1 são apresentados os valores das massas de água introduzidas em cada meia após os dois processos de centrifugação, ao longo dos vários ensaios. É apresentado o desvio máximo, que diz respeito à diferença entre o valor máximo e mínimo de água colocado durante um ensaio e os valores do desvio máximo em percentagem.

Tabela 1: Velocidade de rotação da centrífuga e respectiva massa de água (g) introduzida em cada meia

Experiência	Centrífuga		Massa de água introduzida na meia (g)				Desvio máximo	Desvio máximo (%)
	t (min)	rpm	I	II	III	IV		
1	1	1000	25,32	25,62	26,12	26,61		
	1	1000	9,31	9,16	9,25	9,23	0,15	1,64
2	1	1500	27,14	28,59	26,65	27,9		
	1	1500	7,30	8,44	7,81	6,86	1,58	23,03
3	1	500	24,42	23,5	26,12	21,09		
	1	500	15,66	15,39	15,69	15,51	0,30	1,95
4	1	500	23,11	23,20	27,37	25,6		
	1	1000	9,26	9,74	9,25	8,96	0,78	8,71

Analisando a Tabela 1, verifica-se que o ensaio 2 foi o que apresenta maior desvio entre os valores de massa de água nas meias, o que não está de acordo com o que se pretende.

Comparando os ensaios 1 e 4, verifica-se que, apesar da velocidade de rotação da primeira centrifugação ser diferente, no final da segunda centrifugação, os valores de massa de água nas meias são semelhantes entre os dois ensaios. Este facto levou a concluir que o segundo processo de centrifugação controla a quantidade de água que fica na meia.

A realização destes ensaios permitiu obter indicações sobre as velocidades de rotação a utilizar para colocar na meia uma determinada quantidade de água. No caso de se pretender colocar na meia cerca de 9 gramas deve utilizar-se as velocidades de rotação do ensaio 1 ou 4, mas se for necessário colocar cerca de 16 gramas devem ser utilizadas as velocidades de rotação do ensaio 3.

Uma vez que serão realizados vários testes para avaliar o desempenho do calçado, foi necessário verificar se a colocação de uma quantidade de água na meia é uma experiência reprodutível ao longo de vários dias.

### 3.2.2 Colocação de aproximadamente 16 gramas de água na meia (ensaios de reprodutibilidade)

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos nas experiências de colocação de aproximadamente 16 gramas de água na meia, uma vez que esta é a quantidade de água utilizada nos testes de avaliação de desempenho do calçado. No entanto, também foram realizadas experiências para colocar aproximadamente 9 gramas de água que estão indicadas no Anexo A.2.

Para colocar aproximadamente 16 gramas de água na meia foram realizados dois processos de centrifugação, cada um com velocidade de rotação 500 rpm (ver Tabela 1).

As meias foram condicionadas antes da sua utilização, sendo a massa de cada meia apresentada na Figura 22.

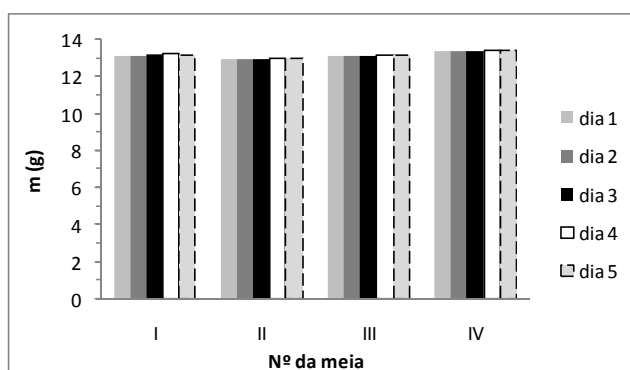


Figura 22: Massa das meias condicionadas

Como foi referido anteriormente, as meias foram colocadas num ambiente controlado<sup>3</sup>, pelo que a massa das meias no início das experiências foi semelhante ao longo dos dias, como se verifica na Figura 22.

Os testes de reprodutibilidade foram realizados ao longo de 5 dias e em cada dia realizaram-se 4 ensaios, cada ensaio com 4 meias em simultâneo. Na Figura 23 apresenta-se a quantidade de água em cada meia ao longo dos 4 ensaios, realizados em 5 dias.

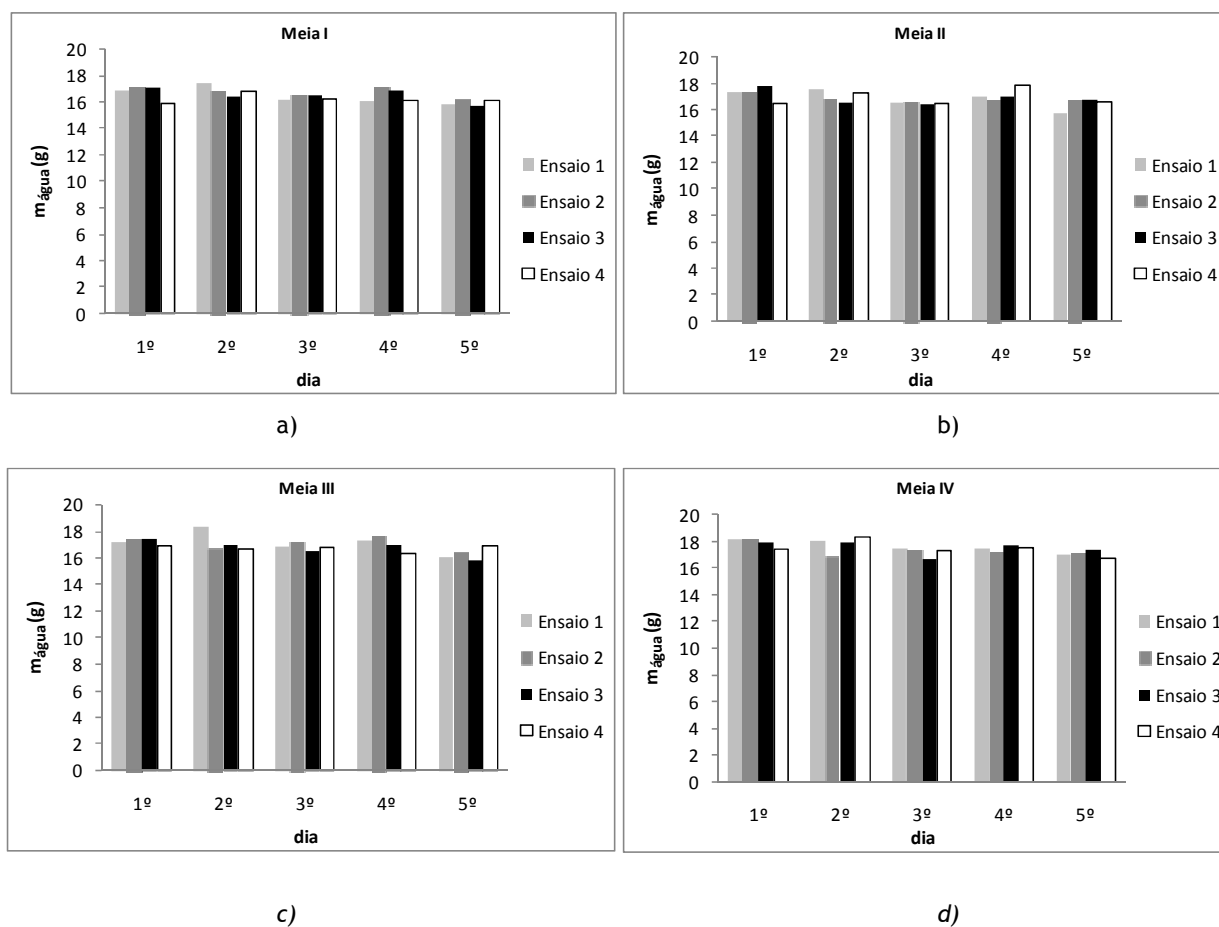


Figura 23: Quantidade de água introduzida em cada meia ao longo de 4 ensaios durante 5 dias, a) meia I, b) meia II, c) meia III e d) meia IV

Analisando a Figura 23, observa-se que esta experiência também é reprodutível ao longo dos 20 ensaios, apesar da existência de alguma variabilidade entre os resultados. A variabilidade é aceitável, tendo em conta que se trata de um procedimento relativamente complexo.

<sup>3</sup> Temperatura:  $20 \pm 2^\circ\text{C}$

Humidade relativa:  $60 \pm 4\%$

Na Figura 24 apresenta-se a quantidade média de água introduzida em cada meia bem como o intervalo de confiança, calculado com base na distribuição t-Student, para 95% de confiança.

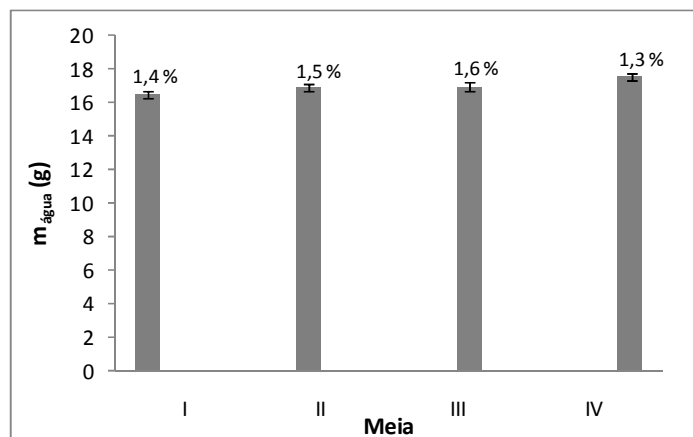


Figura 24: Quantidade média de água introduzida em cada meia e o intervalo de confiança associado ( $\alpha=0,05$ ;  $n=20$ )

Analisando a Figura 24, verifica-se que a quantidade média de água introduzida nas meias I e IV é diferente do ponto de vista estatístico. Essa diferença pode ser explicada pela eventual existência de alguma diferença na estrutura das fibras. Em relação ao intervalo de confiança este varia entre  $\pm 1,3\%$  e  $\pm 1,6\%$ , conclui-se que este procedimento permite introduzir uma quantidade de água na meia, aproximadamente constante, com pouca variabilidade nos resultados.

Na Figura 25 apresenta-se o desvio máximo entre os resultados obtidos para cada meia.

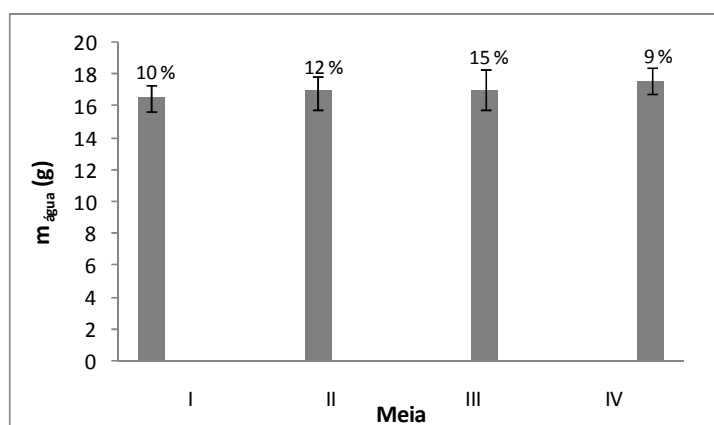


Figura 25: Quantidade média de água introduzida em cada meia e o desvio máximo entre os resultados ( $n = 20$ )

O desvio máximo indica a gama de valores em que se encontram os resultados obtidos, durante os ensaios.

Relativamente à reprodutibilidade desta experiência, os intervalos de confiança variam entre  $\pm 1,3\%$  e  $\pm 1,6\%$  da média enquanto os desvios máximos variam entre 9% e 15%. Uma vez que estes intervalos são pequenos, conclui-se que neste procedimento de colocação de uma quantidade de água aproximadamente constante, os resultados são reprodutíveis ao longo de vários dias.

Com a realização destes ensaios, verificou-se que o procedimento elaborado para colocar uma quantidade de água, aproximadamente constante e uniformemente distribuída na meia, é reprodutível ao longo de vários dias. De referir que, independentemente da quantidade de água que se pretende introduzir na meia (9 gramas ou 16 gramas), é necessário realizar dois processos de centrifugação e as velocidades de rotação a utilizar, variam consoante a quantidade de água que se pretende colocar na meia.

### **3.3 Avaliação do desempenho do calçado em relação ao transporte de água**

A gestão da humidade está relacionada com a capacidade do calçado em transportar a água do interior para o exterior. Para fazer este estudo em condições próximas da realidade (efeito de bombagem de ar no interior do calçado devido à caminhada), os testes são realizados com pessoas.

As experiências realizadas anteriormente contribuíram para a definição das condições de realização dos testes de avaliação do desempenho do calçado. Em seguida, apresenta-se o procedimento experimental que é necessário efectuar para realizar um teste de avaliação do desempenho do calçado relativamente ao transporte de água.

Procedimento (realizado na câmara climática<sup>4</sup>, excepto os passos 5 e 6)

1. Inicialmente, os sapatos, meias e as palmilhas são pesados.
2. As meias são colocadas em imersão num 1,5L de água destilada a 35°C, durante 10 minutos.
3. Em seguida, as meias escorrem durante 1 minuto.
4. Depois de escorrer, as meias são colocadas nos copos da centrífuga e os respectivos pesos são acertados até à décima de grama.

---

<sup>4</sup> Condições na câmara climática: temperatura a 35°C, humidade relativa a 50% e a ventilação a 84% (0,37 m·s<sup>-1</sup>).

5. Procede-se ao primeiro processo de centrifugação, durante 1 minuto, com uma velocidade de rotação de 500 rpm<sup>5</sup>.
6. A água dos copos é eliminada e os pesos são acertados novamente para realizar o segundo processo de centrifugação.
7. Após a centrifugação, as meias são pesadas.
8. As meias de plástico são colocadas nos pés, em seguida as meias com a quantidade de água conhecida e por fim os sapatos a avaliar.
9. A pessoa caminha durante 45 minutos, a uma velocidade de 3 km·h<sup>-1</sup> (Figura 26).
10. No final da caminhada, os sapatos, as meias e as palmilhas são pesados.



*Figura 26: Realização da caminhada no interior da câmara climática*

Com os valores da massa inicial e final dos sapatos, das meias e das palmilhas, calcula-se a massa de água retida nos mesmos, bem como a massa de água evaporada.

Na Tabela 2 são apresentados os sapatos e as sapatilhas utilizadas nos testes realizados.

---

<sup>5</sup> Condições para o processo de centrifugação: nível 5 para as rampas de aceleração e desaceleração e temperatura a 35°C.

Tabela 2: Calçado utilizado nos testes de avaliação de desempenho

Designação	Zona inferior da sola	Palmilhas
Sapato A		
Sapato A'		
Sapato B		
Sapato B*		
Sapato B**		
Sapatilha		Incorporadas

O sapato A é feito de couro, possui uma sola de borracha e uma palmilha com dois tipos de materiais: um que não absorve água (cor de laranja) e outro que absorve (preto). De referir que se trata de uma “meia -palmilha” e que no interior do sapato, a parte da sola que não é protegida pela palmilha é feita de couro.

Utilizando uma ferramenta própria, foram feitos orifícios (diâmetro aproximado: 2 mm) na sola de borracha do sapato A, dando origem ao sapato A'. A colocação de orifícios no sapato A' teve como objectivo permitir a análise da eventual influência dos orifícios no desempenho do sapato.

O sapato B é um sapato em couro, com uma sola de borracha e uma palmilha em couro. Este sapato contém um sistema patenteado de orifícios na sola e uma membrana respirável para que o suor seja transportado para o exterior do calçado (informação do fabricante). No interior do sapato existe um têxtil que não permite o contacto da meia com o couro.

Para analisar o funcionamento do sapato B foram realizadas algumas alterações. Num sapato colocou-se uma palmilha de plástico entre a palmilha de couro e o sapato e designou-se esse sapato por B\*. Com esta alteração pretendeu-se analisar o possível efeito dos orifícios na sola do sapato no desempenho do mesmo.

Num outro sapato B, para além de colocar uma palmilha de plástico entre a palmilha de couro e o sapato, plastificou-se a palmilha de couro e denominou-se esse sapato por B\*\*. As modificações foram efectuadas para analisar o eventual efeito da palmilha e dos orifícios do sapato no desempenho do mesmo.

A sapatilha também é construída em couro e a sua palmilha está incorporada na estrutura da sapatilha. No interior existe um têxtil que evita o contacto da meia com o couro.

As amostras do CeNTI utilizadas nos testes de avaliação de desempenho são referenciadas no Anexo B e no Anexo C estão identificadas as meias e os sapatos utilizados em cada ensaio.

Os sapatos e as meias foram condicionados na câmara climática, para garantir que as condições iniciais dos testes eram iguais. Nas Figuras 27 e 28 apresentam-se as massas, após condicionamento, das meias e dos sapatos, respectivamente, imediatamente antes de cada medição (Anexo D).

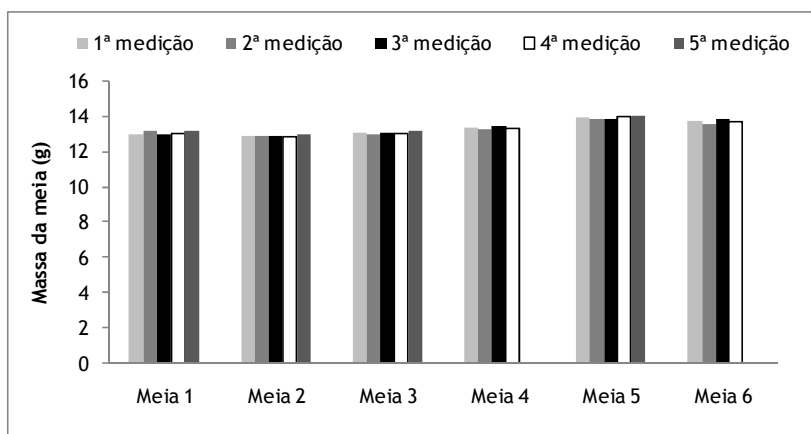


Figura 27: Massa das meias condicionadas

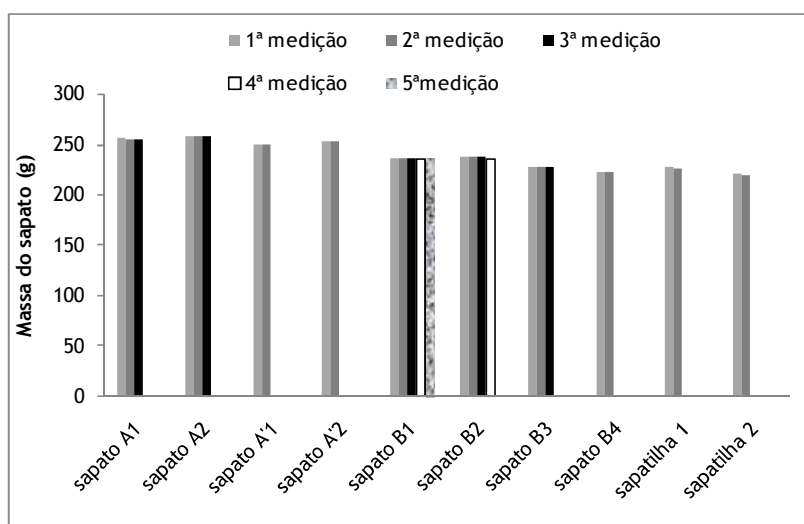


Figura 28: Massa dos sapatos condicionados

Como se verifica nas Figuras 27 e 28, a massa das meias e dos sapatos foi semelhante ao longo das várias medições realizadas, pelo que se conclui que o tempo de condicionamento utilizado foi suficiente (aproximadamente 16 horas).

Em relação ao procedimento para colocar uma quantidade de água na meia, na Tabela 3 é indicada a quantidade de água colocada em cada meia de teste.

Os resultados obtidos para o pé esquerdo e direito foram analisados em conjunto, pelo que em cada teste foram obtidas 2 medições. O número de ensaios realizados não foi igual para todo o calçado. No caso dos sapatos A, B e B\* realizaram-se 6 medições porque se observou maior variabilidade nos resultados de avaliação de desempenho. Para o restante calçado efectuaram-se 4 medições.

Tabela 3: Quantidade de água (g) colocada nas meias de teste

Ensaio	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
1	15,34	17,17	16,64	16,76	16,14	15,97
	14,92	16,33	16,16	16,85	15,83	17,46
2	14,69	14,81	16,51	16,60	15,52	16,76
	14,44	15,07	16,27	16,28	16,40	16,25
3	17,78	-	16,43	16,66	-	-
	18,07	-	16,31	17,41	-	-

A quantidade de massa de água colocada nas meias (diferenciadas na Tabela 6) varia ao longo dos ensaios. Como o ensaio 1 do sapato A' e A foram realizados de modo consecutivo, verificou-se que a quantidade de água introduzida na meia diminuiu de um teste para o outro. O mesmo aconteceu na realização do ensaio 2 para os mesmos sapatos. Isto parece indicar que a alteração mecânica sofrida pela meia durante a caminhada faz com que no teste realizado imediatamente a seguir, não seja possível introduzir uma quantidade de água semelhante. Perante esta situação, nos testes seguintes, optou-se por alternar as meias de teste (as meias passaram a ser utilizadas apenas uma vez por dia).

Como foi referido na secção 3.2.2, este processo envolve alguma variabilidade. Na Tabela 4 apresenta-se o desvio máximo (diferença entre o valor máximo e mínimo de água colocado na meia) em percentagem, obtido para cada ensaio.

Tabela 4: Desvio máximo em percentagem, obtido para cada ensaio

Ensaio	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
1	3	5	3	1	2	9
2	2	2	1	2	5	3
3	2	-	1	4	-	-

As experiências apresentam um desvio máximo que varia entre 1% e 9%. A variabilidade registada nestes ensaios pode afectar os resultados dos testes de avaliação de desempenho.

De referir que as pesagens efectuadas na câmara climática foram afectadas por erros de leitura, pois observou-se alguma variação nos valores da balança analítica provocada pela ventilação e vibração da câmara. Por exemplo, uma variação de  $\pm 0,06g$  na balança analítica pode afectar os valores médios de massa de água retida na meia, no sapato e na palmilha, como se pode visualizar na Tabela 5.

Tabela 5: Percentagem de erro que pode afectar a massa média de água retida nas meias, nos sapatos e nas palmilhas

	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
Erro Meia (%)	2,1	2,2	1,8	1,4	0,7	0,7
Erro Sapato (%)	0,8	0,8	3,0	3,5	1,7	1,0
Erro Palmilha (%)	4,4	3,8	0,8	0,8	0	0

Como se verifica na tabela, uma variação de  $\pm 0,06\text{g}$  pode afectar os resultados até 2,2% no caso das meias, 3,5% para os sapatos e 4,4% para as palmilhas. Estes erros podem afectar os resultados de avaliação de desempenho do calçado.

O desempenho do calçado foi avaliado com base na quantidade de água retida no calçado, nas palmilhas e nas meias e também em relação à quantidade de água evaporada durante o procedimento experimental. Destaca-se a importância da água retida na meia, uma vez que esta tem influência no conforto térmico (Kuklane 1999).

Em relação aos resultados obtidos, na Figura 29 apresenta-se a percentagem média de água retida nas meias, nos sapatos e nas palmilhas. Além disso, indica-se o intervalo de confiança associado, com 95% de confiança, calculado com base na distribuição t-Student.

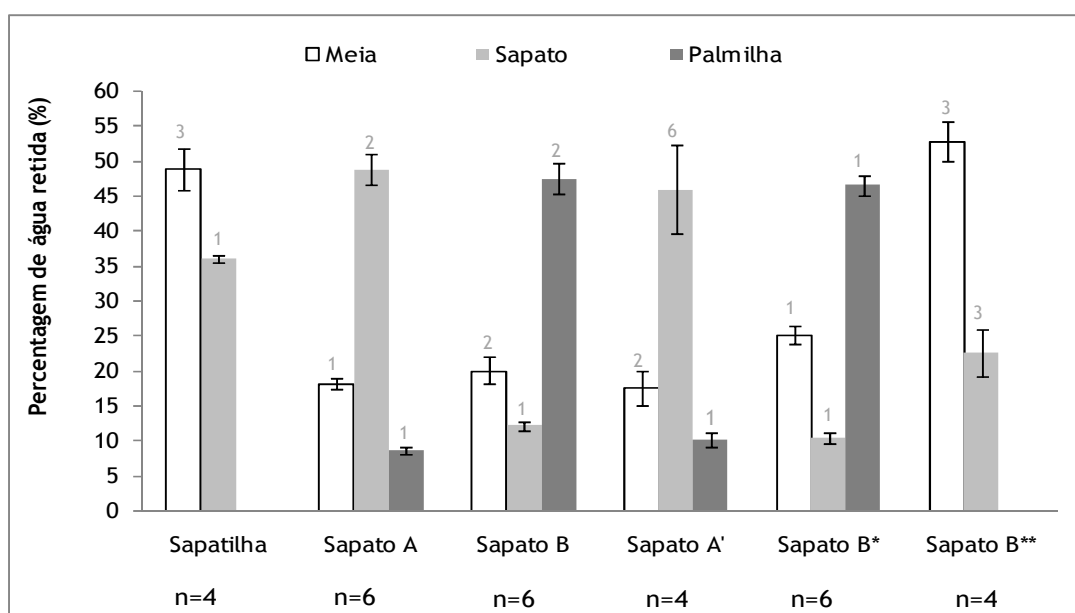


Figura 29: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ )

Na análise da Figura 29, os resultados são apresentados com o respectivo intervalo de confiança associado (Anexo E).

A maior quantidade de água retida na meia é de  $49\pm 3\%$  para a sapatilha e  $53\pm 3\%$  para o sapato B\*\* (sapato B+palmilha de plástico+plastificação da palmilha de couro), pelo que este tipo de calçado pode comprometer o conforto do utilizador. A quantidade de água retida na meia quando se utilizou o sapato A ( $18\pm 1\%$ ), B ( $20\pm 2\%$ ) e A' ( $17\pm 2\%$ ) não é significativamente diferente do ponto de vista estatístico, o que indica que a capacidade destes para remover água das meias parece ser idêntica.

Como já foi referido, na sapatilha cerca de  $49\pm 3\%$  da água colocada na meia, permanece na mesma. No sapato A, aproximadamente  $49\pm 2\%$  da água fica retida no sapato propriamente dito e no sapato B  $47\pm 2\%$  de água fica na palmilha. Esta observação permite concluir que a sapatilha apresenta um desempenho inferior aos dos sapatos A e B relativamente ao transporte de água.

Anteriormente, verificou-se que a percentagem de água que permanece na meia do sapato A e do sapato B é idêntica. A diferença entre os dois sapatos (A e B) está relacionada com a percentagem de água retida na palmilha e no sapato. No caso do sapato A, cerca de  $49\pm 2\%$  da água fica retida no sapato propriamente dito. No sapato B,  $47\pm 2\%$  da água fica retida na palmilha.

Uma possível explicação para a semelhança no desempenho destes sapatos está relacionada com o facto de ser utilizado couro na construção de ambos. Mas, como foi referido anteriormente, no sapato B existe um têxtil que separa a meia do couro exterior, existindo apenas contacto da meia com a palmilha de couro. No caso do sapato A, existe contacto entre a meia e o couro, tanto na zona lateral do sapato como na parte que não é protegida pela palmilha. O couro tende a absorver água, o que pode justificar o facto de a água ficar retida no sapato propriamente dito quando se trata do sapato A e ficar retida na palmilha quando o teste é realizado com um sapato B.

Quanto aos sapatos A e A', os resultados obtidos são similares relativamente à água que permanece na meia ( $18\pm 1\%$  versus  $17\pm 2\%$ ), à que fica retida no sapato ( $49\pm 2\%$  versus  $46\pm 6\%$ ) e à que fica retida na palmilha ( $9\pm 1\%$  versus  $10\pm 1\%$ ). A inclusão de orifícios na zona inferior da sola do sapato A' parece não provocar melhorias significativas no desempenho do mesmo relativamente ao transporte de água.

Comparando os sapatos B e B\* (sapato B+palmilha de plástico) verifica-se que as diferenças são significativas. A percentagem de água retida na meia é de  $20\pm 2\%$  para o sapato B e  $25\pm 1\%$  para o sapato B\*. Em relação à água retida no sapato, os valores são  $12\pm 1\%$  para o B e  $10\pm 1\%$  para o B\*. No entanto, a percentagem de água retida na palmilha é semelhante, sendo de  $47\pm 2\%$  para o sapato B e  $47\pm 1\%$  para o sapato B\*, respectivamente. Estes resultados indicam que a palmilha de plástico afecta a remoção de água da meia.

Relativamente ao sapato B e B\*\* (sapato B+palmilha de plástico+plastificação da palmilha de couro), apesar da quantidade de água retida na meia ( $20\pm 2\%$  versus  $53\pm 3\%$ ) e no sapato ( $12\pm 1\%$  versus  $23\pm 3\%$ ) ser diferente do ponto de vista estatístico, a diferença está relacionada com a utilização da palmilha. Quando o efeito desta é eliminado (plastificação com fita-cola) a quantidade de água retida na meia é superior (sapato B\*\*). Isto acontece porque a água não é absorvida pela palmilha de couro e por isso permanece na meia. Com base nesta observação, conclui-se que a palmilha de couro tem uma influência significativa no desempenho do sapato B.

Outro factor a ter em atenção no desempenho do calçado é a água evaporada. Na Figura 30 apresenta-se a percentagem de água que foi removida da meia e a percentagem que corresponde à água evaporada e os respectivos intervalos de confiança.

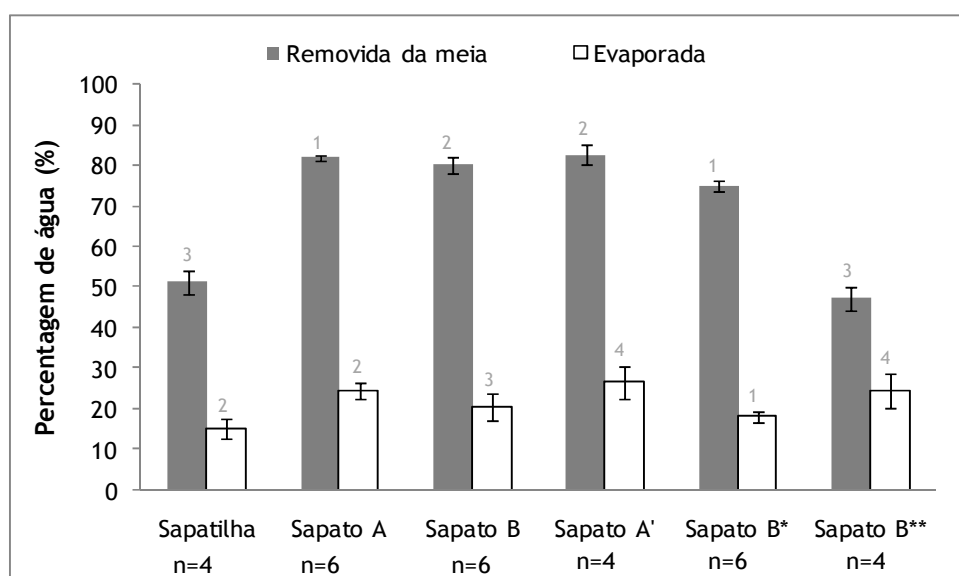


Figura 30: Percentagem de água removida e evaporada da meia e o intervalo de confiança associado ( $\alpha=0,05$ )

A água removida da meia é cerca de  $82\pm 1\%$  no sapato A,  $80\pm 2\%$  no sapato B e  $83\pm 2\%$  no sapato A'. Uma vez que os resultados são semelhantes do ponto de vista estatístico, estes sapatos parecem ter capacidade idêntica para remoção de água da meia. Por sua vez, a sapatilha e o sapato B\*\* removem  $51\pm 3\%$  e  $47\pm 1\%$ , respectivamente.

No que diz respeito à água evaporada da meia, verifica-se que esta é  $25\pm 2\%$  para o sapato A,  $21\pm 3\%$  para o sapato B,  $27\pm 4\%$  para o sapato A' e  $25\pm 4\%$  para o sapato B\*\*, sendo estes valores semelhantes do ponto de vista estatístico. No caso da sapatilha o valor é  $15\pm 2\%$  e para o sapato B\* é de  $18\pm 1\%$ .

As observações realizadas para as Figuras 29 e 30 demonstram que o método experimental desenvolvido permite detectar diferenças no desempenho do calçado.

### 3.3.1 Influência de palmilhas no desempenho do sapato

Anteriormente, verificou-se que o método experimental desenvolvido permite detectar diferenças no desempenho dos sapatos relativamente ao transporte de água. Nestes ensaios, pretende-se analisar o efeito da colocação de palmilhas no desempenho do sapato.

Para realizar estes ensaios optou-se por alterar as condições de teste com o objectivo de maximizar a força directriz para a evaporação e para aumentar o efeito de bombagem para tornar mais evidentes as diferenças de desempenho dos diferentes sapatos. A humidade relativa na câmara climática foi alterada para 40%<sup>6</sup> e a velocidade da caminhada passou para 4 km·h<sup>-1</sup>. Com estas alterações há um aumento da taxa de evaporação provocado pela diminuição da humidade relativa no exterior do sapato e há aumento da bombagem de ar no interior do sapato em consequência do aumento da velocidade da caminhada.

A palmilha X (Figura 31 a) é feita a partir de um têxtil muito absorvente, com capacidade para absorver água até 400 g·m<sup>-2</sup>. Esta palmilha possui 4 mm de espessura e a sua utilização tem como objectivo analisar o eventual efeito desta no desempenho do sapato.

A palmilha Y (Figura 31 b) consiste numa estrutura tridimensional em poliéster (pouco absorvente), com aproximadamente 6 mm de espessura. O que se pretende é verificar se a estrutura contribui para aumentar a remoção de água da meia.

Na palmilha Y colocou-se uma membrana através do processo termocolagem e obteve-se a palmilha Z (Figura 31 c), com 3 mm de espessura. Tal como nas palmilhas anteriores, o objectivo da colocação desta palmilha no sapato visa aumentar a remoção de água da meia.

As amostras do CeNTI utilizadas nestes testes estão indicadas no Anexo B e no Anexo C estão identificadas as meias e os sapatos utilizados em cada ensaio.

---

<sup>6</sup> Ventilação na câmara climática: 75% (0,35 m·s<sup>-1</sup>)

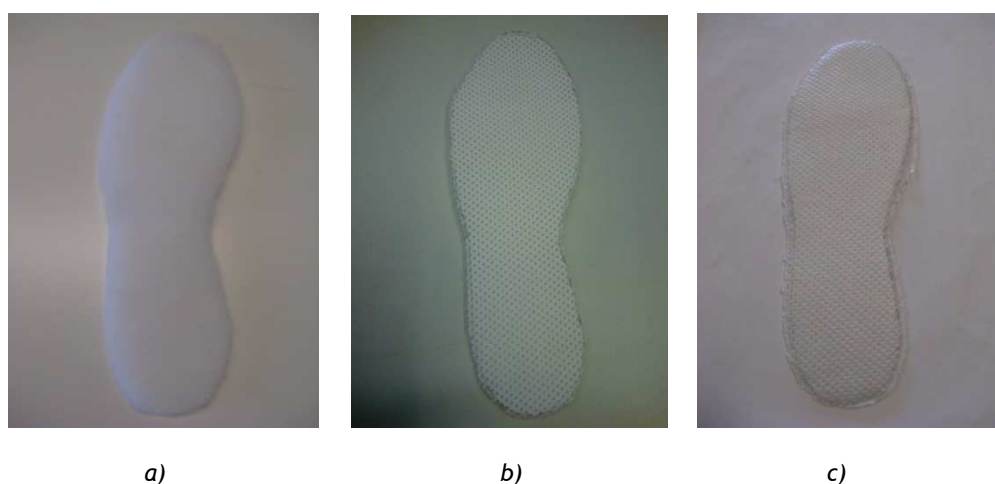


Figura 31: Palmilhas utilizadas nos testes: a) palmilha X, b) palmilha Y e c) palmilha Z

Tal como nas experiências da secção 3.3, as meias e os sapatos foram condicionados na câmara climática, durante 16 horas. No Anexo D encontram-se os dados referentes ao condicionamento destas amostras.

De referir que nestes ensaios se optou por colocar a balança analítica no exterior da câmara climática. Com esta alteração evitam-se os erros de leitura provocados pela ventilação e vibração da câmara.

Relativamente ao processo de colocação de uma determinada quantidade de água na meia, como foi referido anteriormente, este processo possui alguma variabilidade. Na Tabela 6 apresenta-se a quantidade de água colocada em cada meia.

Tal como nas experiências anteriores, o número de ensaios realizados não foi igual para todos os sapatos. No sapato A e na sapatilha realizaram-se 6 medições porque se registou uma maior variabilidade nos resultados. Nos restantes sapatos realizaram-se 4 medições.

Tabela 6: Quantidade de água (g) colocada nas meias de teste

Ensaio	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
1	15,77	17,27	16,36	16,27	17,09	17,34	16,03	16,42
	15,23	16,89	17,09	16,54	16,30	16,36	15,92	16,98
2	16,60	16,66	15,65	16,23	16,06	16,27	17,43	15,43
	15,62	16,77	16,39	15,65	17,19	15,99	17,91	15,93
3	15,26	-	-	-	-	-	16,46	-
	15,65	-	-	-	-	-	16,41	-

Como se verifica na Tabela 6, há uma variação da quantidade de água introduzida em cada par de meias utilizado. Isto deve-se ao facto deste procedimento experimental ser relativamente complexo.

Na Tabela 7 apresenta-se o desvio máximo (diferença entre o valor máximo e mínimo de água colocado na meia) em percentagem, obtido nos ensaios realizados.

Tabela 7: Desvio máximo em percentagem obtido nos ensaios

Ensaio	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
1	3	2	4	2	5	6	1	3
2	6	1	5	4	7	2	3	3
3	2	-	-	-	-	-	0,3	-

Este processo pode ser afectado por desvio que varia entre 0,3% e 7%. O facto de existir variabilidade nestes ensaios pode influenciar os resultados dos testes de desempenho dos sapatos, uma vez que a quantidade de água na meia no início do teste é ligeiramente diferente.

As percentagens médias de água retida na meia, no sapato e na palmilha, obtidas nos diversos testes realizados, são apresentadas na Figura 32. É apresentado também o intervalo de confiança, calculado com base na distribuição t-Student, para 95% de confiança.

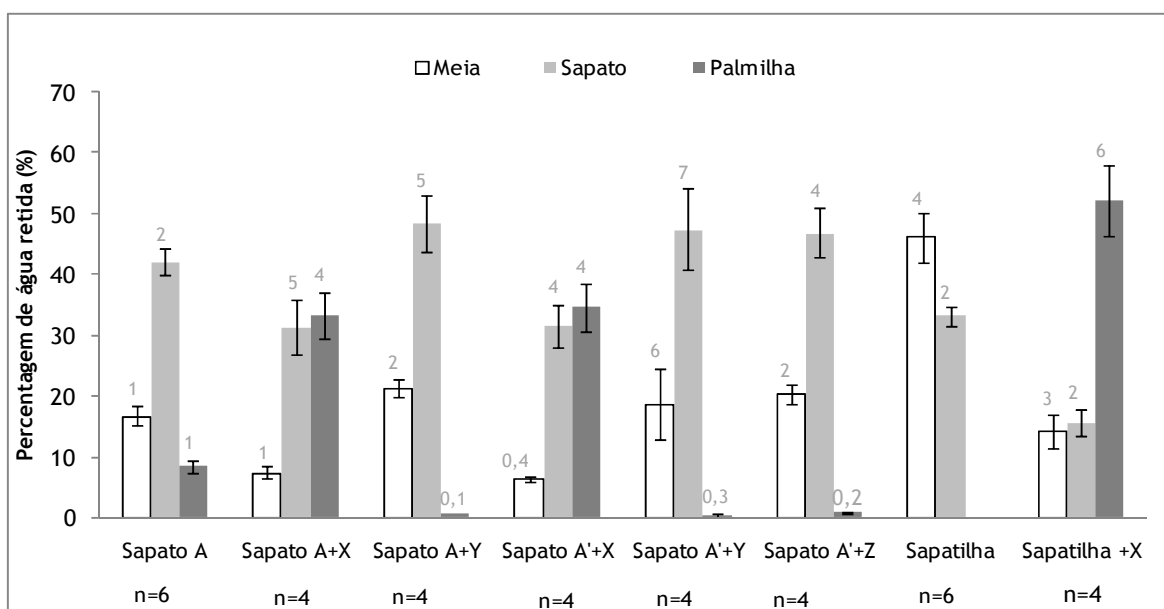


Figura 32: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o intervalo de confiança associado ( $\alpha=0,05$ )

Tal como na secção 3.3, os resultados são apresentados com o respectivo intervalo de confiança associado (Anexo E.1).

Relativamente ao sapato A, verifica-se que  $17\pm 1\%$  da água introduzida na meia de teste permanece na meia e  $42\pm 2\%$  fica retida no sapato. Como foi referido anteriormente, a palmilha deste sapato é construída a partir de dois tipos de materiais: um não absorvente e outro pouco absorvente. Isto justifica o facto de apenas  $8\pm 1\%$  da água ficar retida nesta.

Quando a palmilha X é introduzida no sapato A,  $7\pm 1\%$  da água permanece na meia,  $31\pm 5\%$  fica retida no sapato e  $33\pm 4\%$  de água fica retida na palmilha. A palmilha X que é produzida a partir de um material muito absorvente, faz com que a percentagem de água retida na própria palmilha seja superior (cerca de 4 vezes mais).

Comparando o sapato A e o sapato A+palmilha X, verifica-se que existem diferenças significativas do ponto de vista estatístico, na retenção da água na meia ( $17\pm 1\%$  versus  $7\pm 1\%$ ), no sapato ( $42\pm 2\%$  versus  $31\pm 5\%$ ) e na palmilha ( $8\pm 1\%$  versus  $33\pm 4\%$ ). Perante esta situação, conclui-se que a utilização da palmilha X no sapato A tem influência significativa no desempenho do mesmo relativamente à remoção de água da meia.

Quando a palmilha Y é utilizada no sapato A, cerca de  $21\pm 2\%$  da água fica retida na meia e  $48\pm 5\%$  fica retido no sapato. Uma vez que esta palmilha é feita em poliéster e este material não é absorvente, apenas  $0,3\pm 0,1\%$  fica retida na palmilha.

Comparando o sapato A com o sapato A+palmilha Y em relação à percentagem de água retida na meia ( $17\pm 1\%$  versus  $21\pm 2\%$ ), os valores são diferentes do ponto de vista estatístico, no entanto, para a água retida no sapato os valores são semelhantes ( $42\pm 2\%$  versus  $48\pm 5\%$ ). Como a palmilha do sapato A (material pouco absorvente) tem maior poder de absorção de água do que a palmilha Y (material não absorvente), compreende-se a diferença observada na percentagem de água retida nas palmilhas ( $8\pm 1\%$  versus  $0,3\pm 0,1\%$ ).

Analisando o efeito da palmilha X e Y no desempenho do sapato A relativamente ao transporte de água, verifica-se que a utilização da palmilha X tem influência significativa nos resultados ( $7\pm 1\%$  da água fica retida na meia,  $31\pm 5\%$  no sapato e  $33\pm 4\%$  na palmilha). A percentagem de água retida na meia é 3 vezes maior quando se utiliza a palmilha Y ( $21\pm 2\%$ ), pelo que a palmilha X tem um potencial interessante para promover a remoção de água de meias.

A palmilha X foi testada nos sapatos A e A' (sapato A+orifícios) e o objectivo deste teste consistiu em analisar o possível efeito dos orifícios juntamente com a utilização da palmilha X. Como as percentagens de água retida na meia ( $7\pm 1\%$  versus  $6\pm 0,4\%$ ), no sapato ( $31\pm 5\%$  versus  $31\pm 4\%$ ) e na palmilha ( $33\pm 4\%$  versus  $35\pm 4\%$ ) são semelhantes do ponto de vista

estatístico, conclui-se que os orifícios não influenciam significativamente o desempenho do sapato A' relativamente ao transporte de água.

Testando a colocação da palmilha Y no sapato A' verifica-se que  $19\pm 6\%$  da água permanece na meia e  $47\pm 7\%$  fica retida no sapato. Como foi referido anteriormente, o facto de ser utilizada poliéster na construção desta palmilha, justifica o facto de não ficar água retida na mesma.

Para analisar a influência dos orifícios no sapato A' quando se utiliza a palmilha Y, comparam-se os resultados obtidos com o sapato A e A', ambos com a palmilha Y. Dado que a percentagem de água retida na meia ( $21\pm 2\%$  versus  $19\pm 6\%$ ), no sapato ( $48\pm 5\%$  versus  $47\pm 7\%$ ) e na palmilha ( $0,3\pm 0,1\%$  versus  $0\%$ ) são semelhantes do ponto de vista estatístico, conclui-se que os orifícios do sapato A' não provocam melhorias no desempenho do sapato.

Para analisar o possível efeito da palmilha Z (palmilha Y+membrana) no desempenho dos sapatos, apenas se testou a sua utilização nos sapatos com orifícios (sapato A'). Os resultados obtidos são semelhantes aos obtidos com a palmilha Y pelo que conclui-se que a membrana não aumenta a capacidade da palmilha Y para remover água da meia.

Anteriormente, verificou-se que a sapatilha possuía pior desempenho no que diz respeito à remoção de água da meia. Nesta experiência, pretende-se verificar se o desempenho desta pode ser influenciado pela colocação da palmilha X (muito absorvente) e verificar se a capacidade de absorção da palmilha X é maior do que a registada nos testes com o sapato A.

Relativamente ao desempenho da sapatilha propriamente dita,  $46\pm 4\%$  da água colocada na meia de teste permanece nesta e  $33\pm 2\%$  da água fica retida na sapatilha. No entanto, quando se coloca a palmilha X na sapatilha,  $14\pm 3\%$  da água permanece na meia,  $15\pm 2\%$  fica retida na sapatilha e  $52\pm 6\%$  fica retida na palmilha. Uma vez que ocorreu uma redução de 32 pontos percentuais na água retida na meia, conclui-se que a palmilha X tem uma influência muito significativa no desempenho da sapatilha.

Comparando os resultados obtidos com o calçado em que se utilizou a palmilha X, verifica-se que o efeito desta palmilha é mais relevante quando esta é colocada num tipo de calçado com pior capacidade para remover água da meia (sapatilha). Isto acontece porque quando o sapato tem um desempenho inferior, a quantidade de água retida na meia é maior e ao colocar a palmilha X (muito absorvente) em contacto com a meia, o material pode absorver maior quantidade de água, o que se pode verificar pela análise da capacidade de absorção. Quando esta foi utilizada nos sapatos A e A' a capacidade de absorção<sup>7</sup> foi de

<sup>7</sup> A área da palmilha é aproximadamente  $0,02\text{ m}^2$  e quando esta foi colocada nos sapatos A, A' e na sapatilha absorveu em média cerca de 5,62g, 5,59g e 8,46g, respectivamente.

aproximadamente  $280 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , mas quando esta foi utilizada na sapatilha a capacidade de absorção foi cerca de  $423 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , o que excedeu a capacidade máxima indicada anteriormente ( $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Isto evidencia a capacidade de absorção do material utilizado na construção da palmilha.

Na Figura 33 apresenta-se a percentagem média de água removida da meia e a percentagem que corresponde à água evaporada. Além disso, é indicado ainda o intervalo de confiança, calculado com 95% de confiança, segundo a distribuição t-Student.

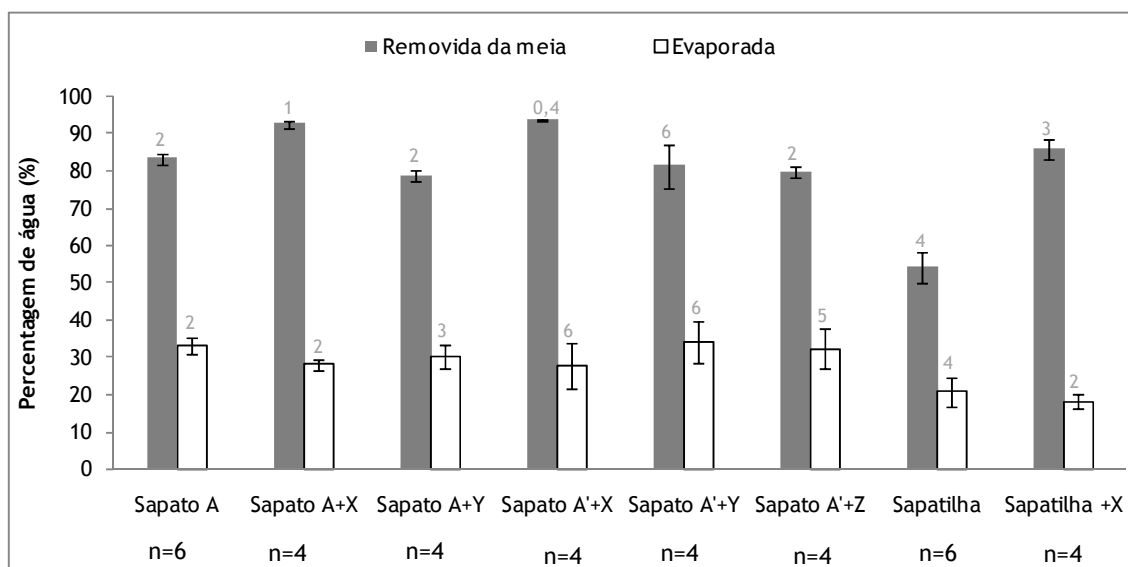


Figura 33: Percentagem de água removida da meia por evaporação e o intervalo de confiança associado ( $\alpha=0,05$ )

A utilização da palmilha X faz com que seja removida da meia uma maior percentagem de água,  $93\pm 1\%$  no sapato A,  $94\pm 0,4\%$  no sapato A' e  $86\pm 3\%$  na sapatilha.

Como as diferenças não são significativas do ponto de vista estatístico, quando se utiliza a palmilha Y e a palmilha Z no sapato A' ( $81\pm 6\%$  versus  $80\pm 2\%$ ), a capacidade para remover água da meia parece ser semelhante.

A sapatilha apresenta pior desempenho no que diz respeito à remoção da água da meia, removendo apenas  $54\pm 4\%$  da água introduzida.

Em relação à água evaporada, no sapato A é  $33\pm 2\%$ , no sapato A+X é  $28\pm 2\%$ , no sapato A+Y é  $30\pm 3\%$ , no sapato A'+X é  $28\pm 6\%$ , no sapato A'+Y é  $34\pm 6\%$ , no sapato A'+Z é  $32\pm 5\%$ , na sapatilha é  $21\pm 4\%$  e na sapatilha+X é  $18\pm 2\%$ .

De referir que os resultados dos testes de avaliação de desempenho do calçado relativamente ao transporte de água possuem alguma variabilidade associada, devido ao facto dos testes serem realizados com pessoas. Além disso, a colocação de uma quantidade de água

aproximadamente constante também possui alguma variabilidade. De realçar que durante a realização dos teste de avaliação de desempenho, num total de 43 testes efectuados, foram desprezados os resultados de 3 testes devido a variações da humidade relativa na câmara climática. Isto indica que o método é muito reprodutível.

### 3.3.2 Influência da velocidade da caminhada no desempenho da sapatilha

Nesta experiência pretende-se analisar o efeito do aumento da velocidade nos parâmetros analisados para avaliar o desempenho dos sapatos.

Com a humidade relativa da câmara climática em 40%, efectuaram-se 4 medições a uma velocidade de  $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e 4 medições a  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Na Figura 34 apresentam-se os valores médios da percentagem de água evaporada, removida e retida na meia e retida no sapato. Além disso, também são indicados os intervalos de confiança, calculados com 95% de confiança (Anexo E.2).

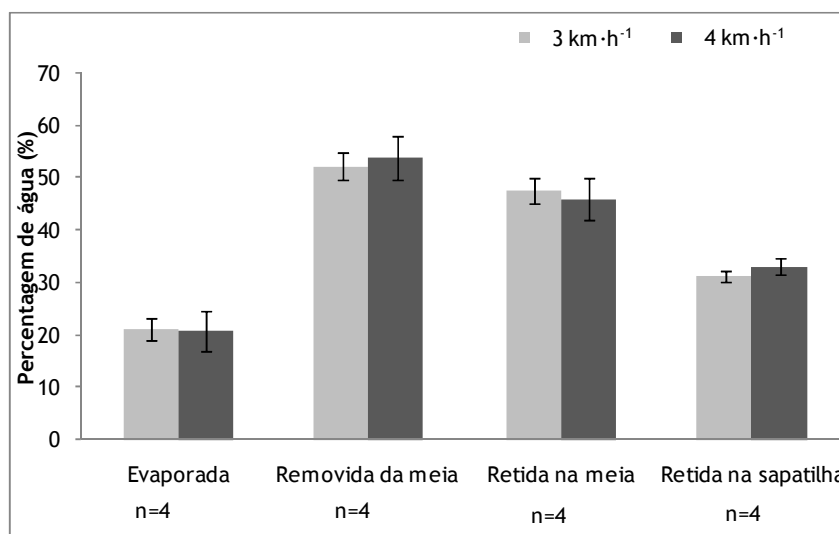


Figura 34: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para as diferentes velocidades da caminhada

Como mencionado anteriormente, a realização de testes com atletas mostra que devido a aberturas no calçado na parte anterior do pé, a transferência de água do calçado para atmosfera ambiente é mais eficaz quando os atletas se movimentam com maior velocidade (aumento de bombagem de ar no interior do calçado). Além disso, o aumento da velocidade do ar promove trocas de calor convectivo mais eficientes (Rebay et al. 2008).

No entanto, nesta experiência, não se verificam diferenças significativas, do ponto de vista estatístico, entre os parâmetros analisados. Isto pode ser explicado pelo facto do aumento da velocidade não ser muito significativo.

### 3.3.3 Influência da humidade relativa no desempenho da sapatilha

Como foi referido anteriormente, a alteração do valor de humidade relativa da câmara climática tem influência na taxa de evaporação. No entanto, pretende-se analisar se essa alteração tem influência significativa na percentagem de água removida e retida na meia e na água que fica retida no sapato.

Os testes foram realizados com uma velocidade de  $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , com a alteração a ocorrer no valor da humidade relativa da câmara climática. Realizaram-se 4 medições com a humidade relativa a 40% e 4 medições a 50%.

Na Figura 35 apresentam-se os valores médios obtidos para os vários parâmetros analisados e o respectivo intervalo de confiança, calculado para 95% de confiança (Anexo E.3).

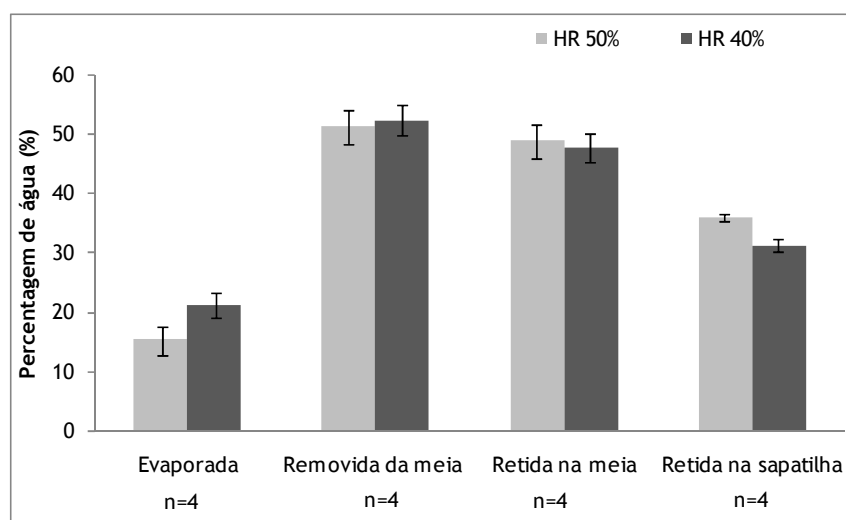


Figura 35: Percentagem de água média obtida para cada parâmetro analisado para os diferentes valores de humidade relativa na câmara climática

A alteração da humidade relativa na câmara climática tem influência significativa na percentagem de água evaporada e na que fica retida na sapatilha. Quando a humidade relativa é menor, maior é a transferência (por evaporação) de água da meia e da sapatilha que estão em contacto para o meio ambiente (Figura 36). Isto acontece porque nessa situação

é maior a força directriz para a evaporação (diferença de pressão parcial do vapor de água entre a meia/sapatilha e o ambiente).



Figura 36: Meia em contacto com meio ambiente

### 3.3.4 Influência dos orifícios do sapato no transporte de calor

A colocação dos orifícios no sapato A teve como objectivo permitir a análise da eventual influência dos orifícios no desempenho do sapato. No entanto, após a realização de vários testes, verificou-se que os orifícios parecem não influenciar o desempenho do sapato relativamente ao transporte de água.

Durante os testes de avaliação de desempenho, além da transferência de água, há transferência de calor. Nestes testes, pretende-se analisar se os orifícios influenciam o transporte de calor. Para isso, realizou-se uma caminhada com os sapatos sem orifícios (sapato A) e outra caminhada com os sapatos com orifícios (sapato A'). O teste foi realizado na câmara climática a 20°C, com humidade relativa a 50%, durante 30 minutos e a uma velocidade de 4 km·h<sup>-1</sup>. Estas condições permitem uma evolução gradual da temperatura dos pés o que por sua vez, possibilita a detecção de eventuais diferenças de temperatura nos pés.

Com uma câmara de infravermelhos<sup>8</sup>, foram registadas imagens térmicas imediatamente antes e após a caminhada. De referir que as imagens foram registadas sem as meias colocadas nos pés. Através destas imagens analisa-se a temperatura do pé na zona em contacto com os orifícios, uma vez que a utilização de sensores nessa zona provoca desconforto.

A monitorização das temperaturas (na parte superior dos pés) foi feita através de sensores de temperatura colocados em duas posições, escolhidas com base nas experiências da secção 3.1.1. O registo das temperaturas foi efectuado no Data Logger MSR 12 (MSR, Henggart, Suíça) e é apresentado no Anexo F.

<sup>8</sup> A câmara de infravermelhos regista a energia térmica emitida por um objecto. Quanto maior é a temperatura do objecto, maior é a radiação emitida (FLIR, Thermography and Infrared Light. Acedido a 28-06-2010, de <http://www.flir.com/thermography/eurasia/en/content/?id=11468>).

Na Figura 37 apresentam-se as imagens térmicas dos pés, imediatamente antes e após a caminhada, utilizando o sapato sem orifícios (sapato A) e com orifícios (sapato A').

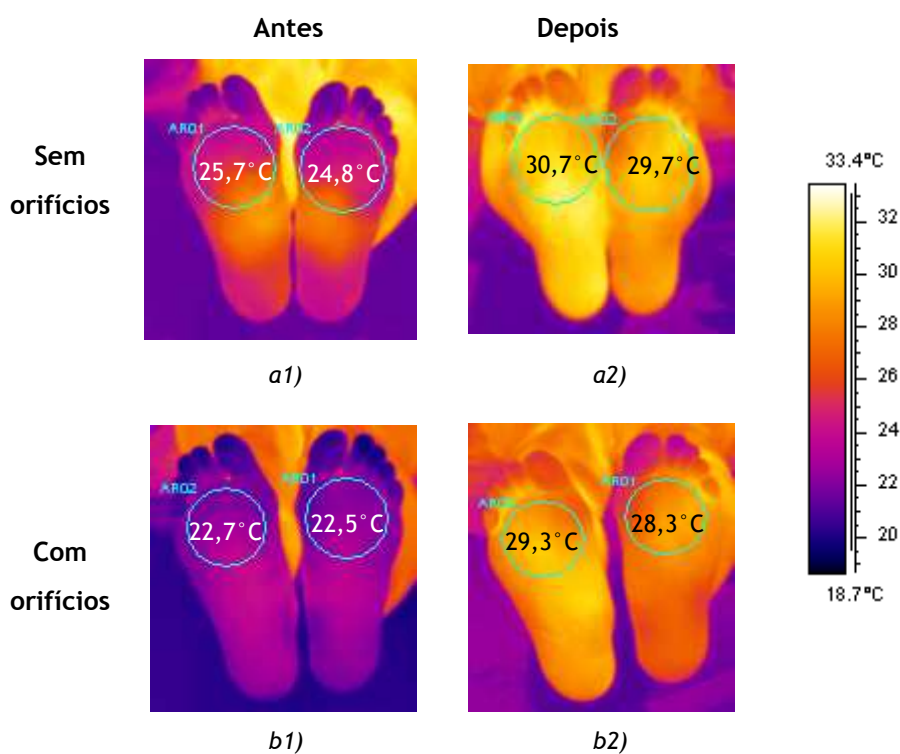


Figura 37: Imagens térmicas retiradas da câmara de infravermelhos: a) sapatos sem orifício, a1) antes e a2) depois e b) sapatos com orifícios, b1) antes e b2) depois

Na Figura 37 a1) verifica-se que existe uma diferença de  $0,9^{\circ}\text{C}$  entre os pés. Esta diferença pode estar associada à forma de caminhar da pessoa, a diferenças locais da emissividade da pele ou à eventual existência de algum processo inflamatório no pé. Por sua vez, na Figura 37 b1) a diferença entre os pés é  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Comparando as Figuras 37 a1) e Figura 37 b1) verifica-se que a temperatura é superior na Figura 37 a1). Uma possível explicação pode estar relacionada com a necessidade de um tempo superior para registar a imagem térmica, fez com que os pés estivessem mais tempo em contacto com o ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$ . Como há transferência de calor do pé para o ambiente, a temperatura nos pés diminui.

Em relação ao aumento de temperatura provocado pelo esforço físico, verifica-se que no caso em que se utilizou um sapato sem orifícios houve um aumento de  $5,0^{\circ}\text{C}$  no pé direito (de  $25,7^{\circ}\text{C}$  para  $30,7^{\circ}\text{C}$ ) e no pé esquerdo o aumento foi de  $4,9^{\circ}\text{C}$  (de  $24,8^{\circ}\text{C}$  para  $29,7^{\circ}\text{C}$ ). No caso dos sapato com orifícios, apesar da temperatura inicial dos pés ser inferior à registada nos sapatos sem orifícios, o aumento da temperatura no pé direito foi de  $6,6^{\circ}\text{C}$  (de  $22,7^{\circ}\text{C}$  para

29,3°C) e no pé esquerdo o aumento foi de 5,8°C (de 22,5°C para 28,3°C). Embora a temperatura após a caminhada seja superior no caso em que se utilizaram sapatos sem orifícios, o gradiente de temperaturas registado entre o início e o final da caminhada foi superior quando foram utilizados os sapatos com orifícios. De realçar que apesar da variação de temperatura inicial, a produção de calor metabólico conduz para temperaturas semelhantes. Isto parece indicar que os orifícios não influenciam o transporte de calor.

No final da caminhada, em ambos os testes, verifica-se que existe uma diferença de temperatura de 1°C entre os pés. Como foi referido anteriormente, esta diferença pode resultar de diversos factores (forma de caminhar da pessoa, emissividade local da pele, existência de processos inflamatórios locais). De realçar que a existência de níveis de sudação diferente entre os pés pode também afectar estes resultados (alteração da emissividade local da pele).

Analisou-se também o efeito dos orifícios durante a utilização de uma palmilha tridimensional muito porosa (amostra do CeNTI AF 066 2010; Figura 38) no interior do sapato. A utilização desta palmilha no sapato faz com que exista uma camada de ar entre a meia e a sola do sapato, o que pode promover a convecção forçada dentro do sapato (efeito de bombagem) devido à caminhada. Para analisar esta possibilidade realizaram-se mais duas caminhadas. Numa caminhada foram utilizados os sapatos sem orifícios e na outra caminhada utilizaram-se os sapatos com orifícios, ambos com a palmilha referida.



*Figura 38: Palmilha tridimensional porosa*

Na Figura 39 apresentam-se as imagens térmicas obtidas antes e após as caminhadas utilizando a estrutura nos sapatos sem orifícios e nos sapatos com orifícios.

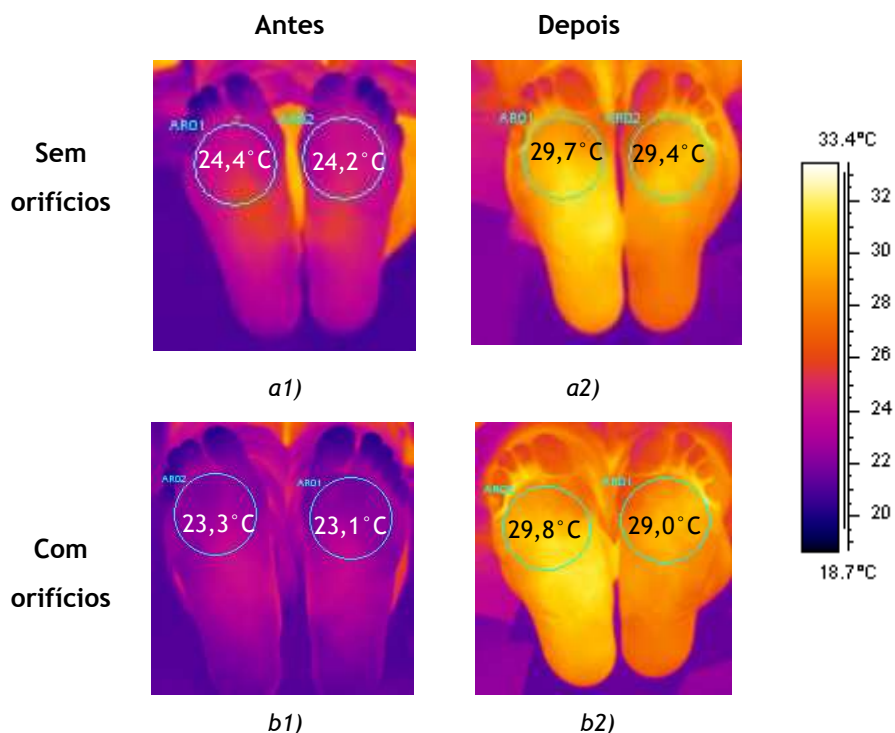


Figura 39: Imagens térmicas retiradas da câmara de infravermelhos nos sapatos sem orifícios e com palmilha: a1) antes e a2) depois e nos sapatos com orifícios e palmilha: b1) antes e b2) depois

O aumento de temperatura nos sapatos sem orifícios+palmilha foi de 5,3°C no pé direito (de 24,4°C para 29,7°C) e de 5,2°C no pé esquerdo (24,2°C para 29,4°C). No caso dos sapatos com orifícios+palmilha, o aumento de temperatura foi de 6,5°C no pé direito (de 23,3°C para 29,8°C) e de 5,9°C no pé esquerdo (de 23,1°C para 29,0°C). Tal como na experiência anterior, a semelhança entre as temperaturas finais indica que os orifícios não parecem influenciar o transporte de calor, nem mesmo quando é utilizada uma palmilha de elevada porosidade.

## 4 Conclusões

A realização deste projecto envolveu várias etapas. Inicialmente começou-se por analisar a variação da temperatura nos pés e depois desenvolveu-se um procedimento que permitiu introduzir uma quantidade de água aproximadamente constante na meia de teste. Por fim, procedeu-se à avaliação do desempenho do calçado, relativamente ao transporte de água.

A análise da variação de temperatura nos pés permitiu definir as condições de realização dos testes para a avaliação de desempenho dos vários tipos de calçado, relativamente ao transporte de água.

O desenvolvimento do procedimento para colocar uma quantidade aproximadamente constante na meia possibilitou a obtenção de uma quantidade de água inicial semelhante e uniformemente distribuída na meia de teste, ao longo dos vários dias de testes.

Nos testes de avaliação de desempenho, verificou-se que o método experimental desenvolvido permite detectar diferenças no desempenho entre os vários tipos de calçado utilizado. A utilização de palmilhas absorventes no calçado influenciou significativamente a remoção de água da meia de teste. A perfuração da sola do sapato não conduziu a melhorias no desempenho deste relativamente ao transporte de água e ao transporte de calor. Em relação ao aumento de velocidade, uma vez que este não foi significativo, os resultados dos testes não sofreram alterações. A alteração da humidade relativa na câmara climática afectou significativamente a quantidade de água que ficou retida no calçado e a que foi removida por evaporação.

Uma vez que o intervalo de confiança máximo registado foi  $\pm 7$  pontos percentuais, indica que o método experimental possui pouca variabilidade, apesar de os testes terem sido realizados com pessoas, em modo dinâmico. De realçar que, os testes que envolvem pessoas, na generalidade, possuem uma maior variabilidade associada. Além disso, o facto do intervalo de confiança ser reduzido, indica que os resultados são reprodutíveis, tendo em conta a complexidade associada ao método.

## 5 Avaliação do Trabalho Realizado

### 5.1 Objectivos Realizados

A realização deste projecto teve como objectivos a análise da variação da temperatura nos pés, a elaboração de um procedimento para colocação de uma quantidade de água aproximadamente constante na meia de teste e a avaliação do desempenho de vários tipos de calçado relativamente ao transporte de água.

A análise da variação da temperatura dos pés permitiu definir as condições de realização dos testes de avaliação de desempenho. A elaboração do procedimento para colocar uma quantidade de água aproximadamente constante na meia fez com que esta fosse semelhante ao longo dos vários testes. Por fim, a avaliação do desempenho possibilitou a distinção dos vários tipos de calçado relativamente à capacidade destes para transportar água para o exterior.

### 5.2 Limitações e Trabalho Futuro

As limitações temporais não permitiram analisar vários factores que podem influenciar o desempenho do calçado. Os testes foram realizados apenas por uma pessoa, o que limitou a análise de resultados. Sendo assim, como trabalho futuro, os testes devem ser realizados com várias pessoas, para analisar a influência do peso da pessoa no efeito de bombagem de ar no interior do calçado. Também é necessário averiguar se o tamanho do sapato pode afectar o desempenho do mesmo. Por fim, testar se a colocação de uma quantidade diferente de água na meia tem influência nos resultados.

### 5.3 Apreciação final

A realização deste projecto revelou-se uma experiência muito enriquecedora, quer pelos conhecimentos na transferência de calor e massa, quer pelo contacto com equipamento de elevado valor tecnológico.

O facto deste projecto ter decorrido no CeNTI tornou-se uma mais-valia porque permitiu o primeiro contacto com a vida empresarial e profissional. Além disso, o facto de eu ter realizado os testes, fez com que o interesse e a motivação fossem ainda maiores ao longo de todo o projecto.

## Referências

- Anbar, M. e D'Arcy, S., Localized regulatory frequencies of human skin temperature derived from the analysis of series of infrared images, State University of New York, (1991).
- Bergquist, K. e Holmér, I., A method for dynamic measurement of the resistance to dry heat exchange by footwear, *Applied Ergonomics*, 28(5-6), 383-388, (1997).
- Burton, A. C., Human Calorimetry, *The Journal of Nutrition*, 9(3), 261-280, (1935).
- Butera, F. M., Chapter 3 - Principles of thermal comfort, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2), 39-66, (1998).
- Dalhgren, R. E., Footwear for facilitating the removal and dissipation of perspiration from the foot of a wearer, Patent, U. S., 13, (1994).
- Das, B., Das, A., et al., MOISTURE TRANSMISSION THROUGH TEXTILES Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play *AUTEX Research Journal*, 7(2), 100-110, (2007).
- Etchells, M. D., Herlihy, J. P., et al., Moisture management system, Patent, U. S., 13, (2007).
- FLIR, Thermography and Infrared Light. Acedido a 28-06-2010, de <http://www.flir.com/thermography/eurasia/en/content/?id=11468>.
- Geox, Geox Leather: the guaranteed rain-resistant sole. Acedido a 22-04-2010, de <http://www.geox.com/site/container.asp>.
- González, J. C., Alcántara, E., et al., Physiological and subjective evaluation of footwear thermal response over time, *Proc. of the 5 th Symp. on Footwear Biomechanics*, Zuerich / Switzerland, 2, (2001).
- Haghi, A. K., Moisture permeation of clothing, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 76(3), 1035-1055, (2004).
- Havenith, G., Heat Balance When Wearing Protective Clothing, *British Occupational Hygiene Society*, 43(5), 289-296, (1999).
- Kiss, C. N., Comfort in Footwear, *Shoemaking International*, North America, Connecticut, The Reprint Outsource, 337, 2, (2003).
- Kuklane, K., Footwear for cold environments, *Division of Industrial Ergonomics Department of Human Work Sciences Luleå University of Technology*, 89, (1999).
- Kuklane, K., Protection of feet in cold exposure, *Industrial Health*, (47), 242-253, (2009).

- Kuklane, K., Holmér, I., et al., Change of footwear insulation at various sweating rates, *Journal of Physiological Anthropology*, 18(5), 161-168, (1999).
- Magalhães, S., Albuquerque, R. R., et al., Termorregulação Faculdade de Medicina da Universidade do Porto (Serviço de Fisiologia), 20, (2001).
- Mündermann, A., Nigg, B. M., et al., Development of a reliable method to assess footwear comfort during running, *Gait & Posture*, 16(1), 38-45, (2002).
- Rebay, M., Arfaoui, A., et al., Thermo-mechanical characterisation of the interaction foot-athletic shoe during the exercise, 5th European Thermal-Sciences Conference, Netherland, (2008).
- SATRA Technology Centre, Test Equipment. Acedido a 16-04-2010, de [http://www.satra.co.uk/portal/test\\_equipment/](http://www.satra.co.uk/portal/test_equipment/).
- Sawazaki, K., Water absorbency of fabrics *Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, 10( 5 ), 229-235, (1964).
- Schols, E. H. M., Heus, R., et al., A method for assessing thermal comfort of shoes using a “sweating” foot, *European Journal of Applied Physiology*, 92(6), 706-709, (2004).

## Anexo A Colocação de uma quantidade de água aproximadamente constante na meia

Neste anexo indicam-se os valores obtidos nas experiências de colocação de aproximadamente 16 e 9 gramas.

Este anexo encontra-se dividido em duas secções. A secção A.1 diz respeito aos valores utilizados nas Figuras da secção 3.2.2. Na secção A.2 são apresentados os valores obtidos na experiência de colocação de aproximadamente 9 gramas de água na meia.

### A. 1 Colocação de aproximadamente 16 gramas de água na meia (ensaios de reprodutibilidade)

Na Tabela A.1.1 apresentam-se os valores utilizados na Figura 22.

*Tabela A.1. 1: Massa (g) das meias condicionadas*

Dia	Meia I	Meia II	Meia III	Meia IV
1	13,17	12,99	13,14	13,39
2	13,18	12,98	13,16	13,40
3	13,19	13,01	13,16	13,42
4	13,19	13,00	13,16	13,40
5	13,18	12,99	13,15	13,40

Com os valores da massa das meias secas e a massa das meias molhadas após a centrifugação, calculou-se a massa de água que permaneceu em cada meia. Na Tabela 9 são indicadas o peso da meia molhada e massa de água colocada em cada meia. Esta última é calculada através da diferença entre a massa da meia molhada e a massa da meia seca.

Os valores utilizados na Figura 23 estão indicados na Tabela A.1.2.

Tabela A.1. 2: Quantidade de água (g) colocada em cada meia ao longo de 4 ensaios durante 5 dias, a) meia I, b) meia II, c) meia III e d) meia IV

Dia	Ensaio	Meia molhada (g)				Massa de água colocada na meia (g)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1º dia	1	29,96	30,41	30,35	31,52	16,79	17,42	17,21	18,13
	2	30,15	30,33	30,54	31,58	16,98	17,34	17,40	18,19
	3	30,18	30,84	30,47	31,34	17,01	17,85	17,33	17,95
	4	29,02	29,47	30,08	30,81	15,85	16,48	16,94	17,42
2º dia	1	30,51	30,58	31,40	31,44	17,33	17,60	18,24	18,04
	2	30,04	29,77	29,79	30,23	16,86	16,79	16,63	16,83
	3	29,49	29,58	30,14	31,30	16,31	16,60	16,98	17,90
	4	29,94	30,21	29,82	31,75	16,76	17,23	16,66	18,35
3º dia	1	29,37	29,54	30,03	30,90	16,18	16,53	16,87	17,48
	2	29,58	29,61	30,33	30,81	16,39	16,60	17,17	17,39
	3	29,72	29,45	29,59	30,12	16,53	16,44	16,43	16,70
	4	29,45	29,52	29,94	30,69	16,26	16,51	16,78	17,27
4º dia	1	29,26	30,03	30,38	30,84	16,07	17,03	17,22	17,44
	2	30,28	29,67	30,80	30,67	17,09	16,67	17,64	17,27
	3	30,05	30,02	30,13	31,17	16,86	17,02	16,97	17,77
	4	29,33	30,85	29,54	30,86	16,14	17,85	16,38	17,46
5º dia	1	28,94	28,75	29,13	30,42	15,76	15,76	15,98	17,02
	2	29,29	29,68	29,48	30,51	16,11	16,69	16,33	17,11
	3	28,84	29,76	28,91	30,78	15,66	16,77	15,76	17,38
	4	29,27	29,53	30,06	30,14	16,09	16,54	16,91	16,74

➤ **Quantidade média de água ( $\bar{x}$ ) introduzida em cada meia e o respectivo intervalo de confiança**

Para o cálculo do intervalo de confiança é necessário conhecer o desvio padrão ( $\sigma$ ), os graus de liberdade ( $n-1$ ) e do número de amostras ( $n$ ). O valor de  $t$  depende da confiança pretendida, neste caso 95% ( $\alpha=0,05$ ), bem como dos graus de liberdade. O intervalo de confiança (IC) pode ser obtido pela equação (A.1).

$$\bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.1})$$

Na Tabela A.1.3 são apresentados os valores utilizados na Figura 24 e os dados da Figura 25 são apresentados na Tabela A.1.4.

Tabela A.1. 3: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o intervalo de confiança associado ( $\alpha=0,05$ ;  $n=20$ )

Meia	Média (g)	Desvio padrão (g)	t	IC (g)	IC (%)
I	16,45	0,48	2,09	0,23	1,4
II	16,89	0,53		0,25	1,5
III	16,89	0,57		0,27	1,6
IV	17,49	0,49		0,23	1,3

Tabela A.1. 4: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o desvio máximo entre os resultados ( $n=18$ )

Meia	Média (g)	Valor máximo (g)	Valor mínimo (g)	Desvio máximo (g)	Desvio máximo (%)
I	16,45	17,33	15,66	1,67	10
II	16,89	17,85	15,76	2,09	12
III	16,89	18,24	15,76	2,48	15
IV	17,49	18,35	16,70	1,65	9

## A. 2 Colocação de aproximadamente 9 gramas de água na meia (ensaios de reprodutibilidade)

Dada a semelhança da quantidade de água que ficou na meia, nos ensaios 1 e 4 (Tabela 1), optou-se por utilizar as rotações do ensaio 4, pois a utilização de velocidade de rotação inferior implica menor desgaste mecânico das fibras/estruturas.

Como foi referido anteriormente, as meias foram colocadas num ambiente controlado<sup>9</sup>, pelo que a massa das meias no início das experiências foi semelhante ao longo dos dias, como se verifica na Tabela A.2.1.

Tabela A.2. 1: Massa das meias (g) condicionadas

Dia	Meia I	Meia II	Meia III	Meia IV
1	13,21	13,01	13,18	13,40
2	13,16	12,97	13,12	13,36
3	13,18	12,98	13,16	13,39
4	13,18	12,98	13,15	13,38
5	13,17	12,99	13,14	13,39

<sup>9</sup> Temperatura:  $20 \pm 2^\circ\text{C}$

Humidade:  $65 \pm 4\%$

Na Tabela A.2.2 apresenta-se a quantidade de água colocada em cada meia ao longo dos 4 ensaios, durante 5 dias. De referir que no 2º e 3º dias apenas foram realizados 3 ensaios, devido à indisponibilidade momentânea do equipamento de centrifugação.

Tabela A.2. 2: Quantidade de água (g) colocada em cada meia ao longo dos ensaios durante 5 dias, a) meia I, b) meia II, c) meia III e d) meia IV

Dia	Ensaio	Meia molhada (g)				Massa de água na meia (g)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1º dia	1	22,99	22,06	22,17	22,70	9,78	9,05	8,99	9,30
	2	22,31	22,04	22,60	22,65	9,10	9,03	9,42	9,25
	3	22,25	22,05	22,41	22,71	9,04	9,04	9,23	9,31
	4	22,53	22,40	22,58	23,02	9,32	9,39	9,40	9,62
2º dia	1	22,43	22,28	22,38	22,64	9,27	9,31	9,26	9,28
	2	22,30	22,40	22,05	22,75	9,14	9,43	8,93	9,39
	3	22,45	22,19	22,28	22,86	9,29	9,22	9,16	9,50
	4	-	-	-	-	-	-	-	-
3º dia	1	22,47	22,15	22,14	22,77	9,29	9,17	8,98	9,38
	2	22,33	21,99	22,08	22,78	9,15	9,01	8,92	9,39
	3	22,34	22,10	22,40	22,78	9,16	9,12	9,24	9,39
	4	-	-	-	-	-	-	-	-
4º dia	1	22,46	22,13	22,06	22,84	9,28	9,15	8,91	9,46
	2	22,25	22,33	22,24	22,71	9,07	9,35	9,09	9,33
	3	22,56	22,10	22,33	22,63	9,38	9,12	9,18	9,25
	4	22,21	21,81	22,25	22,85	9,03	8,83	9,10	9,47
5º dia	1	22,45	22,21	22,16	22,59	9,28	9,22	9,02	9,20
	2	22,17	22,10	22,35	22,58	9,00	9,11	9,21	9,19
	3	22,36	22,32	22,61	22,93	9,19	9,33	9,47	9,54
	4	22,12	22,45	22,34	22,82	8,95	9,46	9,20	9,43

Na Tabela A.2.3 apresenta-se a quantidade média de água colocada em cada meia bem como o intervalo de confiança associado, com 95% de confiança, calculado com base na distribuição t-Student.

Tabela A.2. 3: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o intervalo de confiança associado ( $\alpha=0,05$ ;  $n=18$ )

Meia	Média (g)	Desvio padrão (g)	t	IC (g)	IC (%)
I	9,21	0,19	2,11	0,09	1,0
II	9,19	0,17		0,08	0,9
III	9,15	0,17		0,09	0,9
IV	9,37	0,12		0,06	0,6

Na Tabela A.2.4 apresenta-se o desvio máximo para cada meia. Este diz respeito à diferença entre a quantidade de água máxima e mínima em cada meia.

Tabela A.2. 4: Quantidade média de água (g) colocada em cada meia e o desvio máximo entre os resultados (n=18)

Meia	Média (g)	Valor máximo (g)	Valor mínimo (g)	Desvio máximo (g)	Desvio máximo (%)
I	9,21	9,78	8,95	0,83	9
II	9,19	9,46	8,83	0,63	7
III	9,15	9,47	8,91	0,56	6
IV	9,37	9,62	9,19	0,43	5

Os intervalos de confiança variam entre 0,6% e 1,0% da média enquanto os desvios máximos variam entre 5% e 9%. Estes intervalos são estreitos pelo que o procedimento experimental permite a obtenção de resultados reprodutíveis.

## Anexo B Identificação das amostras do CeNTI utilizadas nos ensaios

As amostras utilizadas na secção 3.3 são apresentadas na Tabela B.1 e as amostras da secção 3.3.1 são indicadas na Tabela B.2.

*Tabela B. 1: Numeração das amostras utilizadas nos testes*

Designação	Nº amostra CeNTI	Numeração dos ensaios
Sapato A	AF 052 2010	sapato 1
	AF 053 2010	sapato 2
Sapato A'	AP 038 2010	sapato 1
	AP 039 2010	sapato 2
Sapato B	AF 056 2010	sapato 1
	AF 057 2010	sapato 2
	AF 058 2010	sapato 3
	AF 059 2010	sapato 4
Sapatilha	AP 062 2010	sapatilha 1
	AP 063 2010	sapatilha 2
Par 1	AS 012 2010	meia 1
	AS 013 2010	meia 2
Par 2	AS 215 2009	meia 3
	AS 216 2009	meia 4
Par 3	AF 060 2010	meia 5
	AF 061 2010	meia 6

O sapato B é o único tipo de sapato do qual existem dois pares, no entanto a numeração foi dada a cada um dos sapatos individualmente. Posteriormente, os sapatos foram separados por pares, para evitar que o número de utilizações fosse diferente entre os sapatos.

*Tabela B. 2: Designação das amostras utilizadas nos ensaios*

Designação	Nº amostra CeNTI
Palmilha X	AF 116 2009
Palmilha Y	AF 071 2010
Palmilha Z	AI 557 2010

## Anexo C Identificação das meias e sapatos utilizados nos testes

No Anexo C são identificadas as meias e os sapatos utilizados nos testes da secção 3.3 (Tabelas C.1 e C.2) e os que foram utilizados nos testes da secção 3.3.1 (Tabelas C.3 e C.4).

Para diferenciar os resultados do pé esquerdo e direito, optou-se por colocar no pé esquerdo a meia ou sapato cuja numeração era menor. Por exemplo, a meia 1 foi colocada no pé esquerdo e a meia 2 no pé direito, o sapato 3 no pé esquerdo e o sapato 4 no pé direito e assim sucessivamente.

*Tabela C. 1: Identificação das meias utilizadas em cada ensaio da secção 3.3*

Ensaio	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
1	meia 1	meia 1	meia 3	meia 5	meia 3	meia 3
	meia 2	meia 2	meia 4	meia 6	meia 5	meia 6
2	meia 1	meia 1	meia 5	meia 1	meia 5	meia 3
	meia 2	meia 2	meia 6	meia 2	meia 6	meia 4
3	meia 3	-	meia 4	meia 4	-	-
	meia 4	-	meia 6	meia 5	-	-

*Tabela C. 2: Identificação dos sapatos utilizados em cada ensaio da secção 3.3*

Ensaio	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapatilha 1
	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapato 3	sapatilha 2
2	sapato 1	sapato 1	sapato 3	sapato 1	sapato 1	sapatilha 1
	sapato 2	sapato 2	sapato 4	sapato 2	sapato 2	sapatilha 2
3	sapato 1	-	sapato 2	sapato 3	-	-
	sapato 2	-	sapato 4	sapato 4	-	-

Tabela C. 3: Identificação das meias utilizadas em cada ensaio da secção 3.3.1

Ensaio	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
1	meia 6	meia 5	meia 1	meia 5	meia 5	meia 5	meia 5	meia 1
	meia 3	meia 6	meia 2	meia 6	meia 4	meia 2	meia 4	meia 2
2	meia 6	meia 5	meia 3	meia 1	meia 1	meia 1	meia 5	meia 3
	meia 3	meia 6	meia 4	meia 2	meia 2	meia 2	meia 6	meia 4
3	meia 3	-	-	-	-	-	meia 5	-
	meia 4	-	-	-	-	-	meia 6	-

Tabela C. 48: Identificação dos sapatos utilizados em cada ensaio da secção 3.3.1

Ensaio	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
1	sapato 2	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapatilha 1	sapatilha 1
	sapato 1	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapatilha 2	sapatilha 2
2	sapato 2	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapato 1	sapatilha 1	sapatilha 1
	sapato 1	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapato 2	sapatilha 2	sapatilha 2
3	sapato 1	-	-	-	-	-	sapatilha 1	-
	sapato 2	-	-	-	-	-	sapatilha 2	-

## Anexo D Condicionamento das amostras utilizadas

As amostras utilizadas durante os testes de avaliação de desempenho (secção 3.3) foram condicionadas<sup>10</sup> durante 16 horas (aproximadamente). Na Tabela D.1 são apresentados os valores utilizados na Figura 27. Os dados da Figura 28 são apresentados nas Tabelas D.2 e D.3.

Tabela D. 1: Massa das meias (g) condicionadas

Medição	Meia 1	Meia 2	Meia 3	Meia 4	Meia 5	Meia 6
1	12,98	12,83	13,03	13,31	13,93	13,74
2	13,10	12,89	12,98	13,25	13,83	13,48
3	12,98	12,83	13,06	13,40	13,79	13,78
4	13,02	12,86	13,04	13,35	13,96	13,69
5	13,16	12,98	13,12	-	13,96	-

Tabela D. 2: Massa dos sapatos (g) condicionados

Medição	sapato A1	sapato A2	sapato A'1	sapato A'2	sapato B1
1	255,48	258,52	249,77	253,60	235,47
2	255,09	257,98	249,53	253,29	235,35
3	255,14	258,10	-	-	235,49
4	-	-	-	-	235,22
5	-	-	-	-	235,49

Tabela D. 3: Massa dos sapatos (g) condicionados

Medição	sapato B2	sapato B3	sapato B4	sapatilha 1	sapatilha 2
1	237,28	227,34	222,06	227,33	220,21
2	237,28	227,92	222,69	226,50	219,64
3	236,94	227,00	-	-	-
4	236,44	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

<sup>10</sup> Temperatura: 35%

Humidade Relativa: 40%

Ventilação na câmara climática: 75% (0,35 m·s<sup>-1</sup>)

Na secção 3.3.1, as meias e os sapatos também foram condicionados na câmara climática, durante 16 horas. Nas Tabelas D.4 e D.5 apresentam-se as massas das meias e dos sapatos condicionados, respectivamente.

*Tabela D. 4: Massa das meias (g) condicionadas*

Medição	Meia 1	Meia 2	Meia 3	Meia 4	Meia 5	Meia 6
1	13,04	12,88	12,99	13,09	13,83	13,56
2	13,03	12,85	12,94	13,29	13,64	13,43
3	13,12	12,93	13,06	13,28	13,82	13,81
4	13,07	12,89	13,06	13,16	13,76	13,64
5	13,30	12,88	13,07	13,29	13,83	13,66
6	-	12,93	-	-	13,86	13,67
7	-	-	-	-	13,86	13,71
8	-	-	-	-	13,92	-

*Tabela D. 5: Massa dos sapatos (g) condicionados*

Medição	sapato A1	sapato A2	sapato A'1	sapato A'2	sapatilha 1	sapatilha 2
1	253,35	256,81	247,68	250,7	227,46	219,90
2	253,05	256,55	247,22	250,82	226,42	219,50
3	253,72	255,96	247,36	250,9	226,16	219,22
4	252,56	255,53	247,35	250,77	225,91	219,08
5	252,97	256,08	247,18	250,52	225,98	219,09
6	252,77	255,57	246,82	250,80	-	-
7	252,69	255,60	-	-	-	-

## Anexo E Resultados dos testes de avaliação de desempenho do calçado em relação ao transporte de água

Neste anexo são apresentados os dados obtidos nos testes de avaliação de desempenho da 3.3. Na secções E.1 apresentam-se os dados relacionados com os testes para analisar a influência de palmilhas no desempenho do sapato. A secção E.2 diz respeito aos testes para analisar a influência da velocidade e na secção E.3 apresentam-se os valores obtidos na análise da influência da humidade relativa.

Na Tabela E.1 são indicadas as massas registadas antes de iniciar o teste e na Tabela E.2 apresentam-se as massas no final do teste.

Tabela E. 1: Massa inicial das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado

	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
<b>Meia</b>	12,98	12,98	12,98	13,96	13,06	13,04
	12,83	12,83	13,25	13,78	13,83	13,69
	13,02	13,10	13,93	13,16	13,79	13,12
	12,86	12,89	13,74	12,98	13,48	13,35
	13,03	-	13,28	13,40	-	-
	13,31	-	13,53	13,96	-	-
<b>Sapato</b>	255,48	249,77	235,47	235,22	235,35	227,33
	258,52	253,60	237,28	236,94	227,92	220,21
	255,09	249,53	227,34	234,83	235,49	226,5
	257,98	253,29	222,06	236,44	237,28	219,64
	255,14	-	237,25	227,00	-	-
	258,10	-	222,72	221,69	-	-
<b>Palmilha</b>	4,63	4,86	29,11	28,96	30,59	0
	4,50	4,88	24,09	23,97	30,58	0
	4,62	4,80	29,36	28,87	30,46	0
	4,38	4,86	27,73	23,87	25,25	0
	4,51	-	24,02	29,14	-	-
	4,42	-	27,61	27,50	-	-

Tabela E. 2: Massa final das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado

	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
<b>Meia</b>	15,73	15,89	16,19	18,04	21,91	20,84
	15,32	15,42	16,61	18,34	21,84	21,77
	15,74	15,98	17,24	17,22	22,10	21,40
	15,49	15,56	16,78	17,25	22,01	21,58
	16,37	-	17,07	17,40	-	-
	16,70	-	16,45	18,21	-	-
<b>Sapato</b>	263,08	257,96	237,33	237,01	239,08	233,06
	265,86	261,79	239,34	238,72	231,20	226,57
	261,73	255,58	229,22	236,60	238,72	232,50
	264,82	260,05	224,08	238,16	241,41	225,44
	263,99	-	239,31	228,46	-	-
	267,39	-	224,66	223,49	-	-
<b>Palmilha</b>	5,98	6,44	37,46	36,55	30,59	0
	5,84	6,53	32,10	31,54	30,58	0
	5,95	6,28	36,78	36,63	30,46	0
	5,66	6,50	35,36	31,50	25,25	0
	5,91	-	31,72	37,25	-	-
	5,82	-	35,09	35,58	-	-

Através da diferença entre a massa final e a massa inicial, calcula-se a massa de água retida nas meias ( $m_m$ ), nos sapatos ( $m_s$ ) e nas palmilhas ( $m_p$ ). Estes valores são apresentados na Tabela E.3.

Tabela E. 3: Massa de água retida nas meias, sapatos e palmilhas (g)

	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
<b>Meia</b>	2,75	2,91	3,21	4,08	8,85	7,80
	2,49	2,59	3,36	4,56	8,01	8,08
	2,72	2,88	3,31	4,06	8,31	8,28
	2,63	2,67	3,04	4,27	8,53	8,23
	3,34	-	3,79	4,00	-	-
<b>Sapato</b>	7,60	8,19	1,86	1,79	3,73	5,73
	7,34	8,19	2,06	1,78	3,28	6,36
	6,64	6,05	1,88	1,77	3,23	6,00
	6,84	6,76	2,02	1,72	4,13	5,80
	8,85	-	2,06	1,46	-	-
	9,29	-	1,94	1,80	-	-
<b>Palmilha</b>	1,35	1,58	8,35	7,59	0	0
	1,34	1,65	8,01	7,57	0	0
	1,33	1,48	7,42	7,76	0	0
	1,28	1,64	7,63	7,63	0	0
	1,40	-	7,70	8,11	-	-
	1,40	-	7,48	8,08	-	-

Na Tabela E.4 apresentam-se os dados da massa de água colocada na meia ( $m_c$ ), a de massa de água evaporada ( $m_e$ ), calculada através da equação (E.1) e a massa de água removida da meia ( $m_r$ ) obtida pela equação (E.2).

$$m_e(g) = m_c - m_s - m_m - m_p \quad (\text{E.1})$$

$$m_r(g) = m_s + m_p + m_e \quad (\text{E.2})$$

Tabela E. 4: Massa de água colocada, removida e evaporada na meia (g)

	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
<b>Colocada na meia</b>	15,34	17,17	16,64	16,76	16,14	15,97
	14,92	16,33	16,16	16,85	15,83	17,46
	14,69	14,81	16,51	16,60	15,52	16,76
	14,44	15,07	16,27	16,28	16,40	16,25
	17,78	-	16,43	16,66	-	-
	18,07	-	16,31	17,41	-	-
<b>Removida da meia</b>	12,59	14,26	13,43	12,68	7,37	8,17
	12,43	13,74	12,8	12,29	7,70	9,38
	11,97	11,93	13,2	12,54	7,18	8,48
	11,81	12,40	13,23	12,01	7,82	8,02
	14,44	-	12,64	12,66	-	-
	14,68	-	13,39	13,16	-	-
<b>Evaporada da meia</b>	3,64	4,49	3,22	3,30	3,64	2,44
	3,75	3,90	2,73	2,94	4,42	3,02
	4,00	4,40	3,90	3,01	3,95	2,48
	3,69	4,00	3,58	2,66	3,69	2,22
	4,19	-	2,88	3,09	-	-
	3,99	-	3,97	3,28	-	-

Os valores em percentagem de massa de água retida na meia, no sapato e na palmilha, são indicados na Tabela E.5. A percentagem de água retida na meia é calculada através da equação (E.3), a percentagem de água retida no sapato é obtida pela equação (E.4) e por fim, a percentagem de água retida na palmilha é calculada através da equação (E.5). Na Tabela 31 também estão indicados os intervalos de confiança associados (em pontos percentuais), com 95% de confiança.

$$m_m(\%) = \frac{m_m}{m_c} \times 100 \quad (\text{E.3})$$

$$m_s(\%) = \frac{m_s}{m_c} \times 100 \quad (\text{E.4})$$

$$m_p(\%) = \frac{m_p}{m_c} \times 100 \quad (\text{E.5})$$

Tabela E. 5: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o respectivo intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) em pontos percentuais (pp)

Parâmetro	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
<b>Meia</b>	17,9	16,9	19,3	24,3	54,8	48,8
	16,7	15,9	20,8	27,1	50,6	46,3
	18,5	19,4	20,0	24,5	53,5	49,4
	18,2	17,7	18,7	26,2	52,0	50,6
	18,8	-	23,1	24,0	-	-
	18,8	-	17,9	24,4	-	-
	Média (%)	18	17	20	25	53
Desvio padrão (%)	0,8	1,5	1,8	1,2	1,8	1,8
t	2,57	3,18	2,57	2,57	3,18	3,18
IC (pp)	1	2	2	1	3	3
<b>Sapato</b>	49,5	47,7	11,2	10,7	23,1	35,9
	49,2	50,2	12,7	10,6	20,7	36,4
	45,2	40,9	11,4	10,7	20,8	35,8
	47,4	44,9	12,4	10,6	25,2	35,7
	49,8	-	12,5	8,8	-	-
	51,4	-	11,9	10,3	-	-
	Média (%)	49	46	12	10	22
Desvio padrão (%)	2,2	4,0	0,6	0,7	2,1	0,3
t	2,57	3,18	2,57	2,57	3,18	3,18
IC (pp)	2	6	1	1	3	1
<b>Palmilha</b>	8,8	9,2	50,2	45,3	0	0
	9,0	10,1	49,6	44,9	0	0
	9,1	10,0	44,9	46,7	0	0
	8,9	10,9	46,9	46,9	0	0
	7,9	-	46,9	48,7	-	-
	7,7	-	45,9	46,4	-	-
	Média (%)	9	10	47	46	
Desvio padrão (%)	0,6	0,7	2,1	1,3		
t	2,57	3,18	2,57	2,57		
IC (pp)	1	1	2	1		

A percentagem de água removida da meia é calculada através da equação (E.6) e a percentagem de água evaporada da meia é obtida pela equação (E.7) estão apresentadas na Tabela E.6. Além disso, também estão indicados os intervalos de confiança (pontos percentuais), com 95% de confiança.

$$m_e(\%) = \frac{m_e}{m_c} \times 100 \quad (\text{E.6})$$

$$m_r(\%) = \frac{m_s + m_p + m_e}{m_c} \times 100 \quad (\text{E.7})$$

Tabela E. 6: Percentagem média de água removida e evaporada da meia e o respectivo intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) em pontos percentuais (pp)

Parâmetro	Sapato A	Sapato A'	Sapato B	Sapato B*	Sapato B**	Sapatilha
<b>Removida da meia</b>	82,1	83,1	80,7	75,7	45,2	51,2
	83,3	84,1	79,2	72,9	49,4	53,7
	81,5	80,6	80,0	75,5	46,5	50,6
	81,8	82,3	81,3	73,8	48,0	49,4
	81,2	-	76,9	76,0	-	-
	81,2	-	82,1	75,6	-	-
Média (%)	82	83	80	75	47	51
Desvio padrão (%)	0,8	1,5	1,8	1,2	1,8	1,8
t	2,57	3,18	2,57	2,57	3,18	3,18
IC (pp)	1	2	2	1	3	3
<b>Evaporada da meia</b>	23,7	26,2	19,4	19,7	22,6	15,3
	25,1	23,9	16,9	17,4	27,9	17,3
	27,2	29,7	23,6	18,1	25,5	14,8
	25,6	26,5	22,0	16,3	22,5	13,7
	23,6	-	17,5	18,5	-	-
	22,1	-	24,3	18,8	-	-
Média (%)	25	27	21	18	25	15
Desvio padrão (%)	1,8	2,4	3,2	1,2	2,6	1,5
t	2,57	3,18	2,57	2,57	3,18	3,18
IC (pp)	2	4	3	1	4	2

## E.1 Influência de palmilhas

Nesta secção são apresentados os dados obtidos nos testes de avaliação de desempenho da secção 3.3.1.

Na Tabela E.1.1 são indicadas as massas registadas antes de iniciar o teste e na Tabela E.1.2 indicam-se as massas no final do teste.

*Tabela E.1. 1: Massa inicial das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado*

	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
<b>Meia</b>	13,56	13,64	13,04	13,83	13,12	13,92	13,83	13,07
	12,99	13,81	12,88	13,66	12,93	12,88	13,09	12,89
	13,43	13,82	13,06	13,03	13,76	13,06	13,86	13,07
	12,94	13,64	13,28	12,85	13,16	12,93	13,67	13,29
	13,06	-	-	-	-	-	13,86	-
	13,29	-	-	-	-	-	13,71	-
<b>Sapato</b>	256,81	252,56	252,77	247,22	247,68	247,18	227,46	226,42
	253,35	255,53	255,57	250,82	250,70	250,52	219,90	219,50
	256,55	252,97	252,69	247,36	247,35	246,82	225,91	226,16
	253,05	256,08	255,60	250,90	250,77	250,80	219,08	219,22
	253,72	-	-	-	-	-	225,98	-
	255,96	-	-	-	-	-	219,09	-
<b>Palmilha</b>	4,42	3,65	5,42	3,55	5,45	5,89	0	3,69
	4,42	3,32	5,28	3,63	5,28	5,74	0	3,37
	4,28	3,53	5,42	3,56	5,42	5,89	0	3,68
	4,48	3,60	5,28	3,63	5,29	5,74	0	3,32
	4,55	-	-	-	-	-	0	-
	4,46	-	-	-	-	-	0	-

Tabela E.1. 2: Massa final das meias, sapatos e palmilhas (g) ao longo dos testes com os vários tipos de calçado

	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
<b>Meia</b>	15,91	14,75	16,70	14,90	16,61	17,42	20,52	15,16
	15,39	15,09	16,49	14,66	15,71	16,34	19,53	15,04
	16,24	15,09	16,41	14,02	16,94	16,14	22,13	15,47
	15,42	14,94	16,56	13,84	16,13	16,26	22,26	15,83
	15,95	-	-	-	-	-	21,93	-
	16,05	-	-	-	-	-	21,86	-
<b>Sapato</b>	263,69	257,71	260,11	251,80	255,56	254,85	232,63	228,78
	259,74	261,55	264,11	256,10	258,78	258,38	225,56	222,21
	263,03	257,87	260,06	252,65	254,11	254,16	231,40	228,38
	259,52	261,17	264,01	256,06	259,66	258,77	224,99	221,96
	259,99	-	-	-	-	-	231,27	-
	263,06	-	-	-	-	-	224,72	-
<b>Palmilha</b>	5,68	9,74	5,46	8,94	5,45	5,98	0	12,81
	5,97	8,37	5,34	9,03	5,28	5,84	0	12,64
	5,68	9,17	5,48	9,74	5,48	5,99	0	11,58
	5,72	9,29	5,33	9,01	5,34	5,86	0	10,87
	5,75	-	-	-	-	-	0	-
	5,59	-	-	-	-	-	0	-

Na Tabela E.1.3 indicam-se as massas de água retida nas meias, nos sapatos e nas palmilhas.

Tabela E.1. 3: Massa de água retida nas meias, sapatos e palmilhas (g)

	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
<b>Meia</b>	2,35	1,11	3,66	1,07	2,85	3,50	6,69	2,09
	2,4	1,28	3,61	1,00	2,55	3,46	6,44	2,15
	2,81	1,27	3,35	0,99	3,82	3,08	8,27	2,40
	2,48	1,30	3,28	0,99	3,20	3,33	8,59	2,54
	2,89	-	-	-	-	-	8,07	-
	2,76	-	-	-	-	-	8,15	-
<b>Sapato</b>	6,88	5,15	7,34	4,58	7,88	7,67	5,17	2,36
	6,39	6,02	8,54	5,28	8,08	7,86	5,66	2,71
	6,48	4,90	7,37	5,29	6,76	7,34	5,49	2,22
	6,47	5,09	8,41	5,16	8,89	7,97	5,91	2,74
	6,27	-	-	-	-	-	5,29	-
	7,1	-	-	-	-	-	5,63	-
<b>Palmilha</b>	1,26	6,09	0,04	5,39	0	0,09	0	9,12
	1,55	5,05	0,06	5,40	0	0,10	0	9,27
	1,4	5,64	0,06	6,18	0,06	0,10	0	7,90
	1,24	5,69	0,05	5,38	0,05	0,12	0	7,55
	1,2	-	-	-	-	-	0	-
	1,13	-	-	-	-	-	0	-

Na Tabela E.1.4 apresentam-se os dados da massa de água colocada na meia ( $m_c$ ), a de massa de água evaporada ( $m_e$ ), calculada através da equação (E.1) e a massa de água removida da meia ( $m_r$ ) obtida pela equação (E.2).

Tabela E.1. 49: Massa de água colocada, removida e evaporada na meia (g)

	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
<b>Colocada na meia</b>	15,77	17,27	16,36	16,27	17,09	17,34	16,03	16,42
	15,23	16,89	17,09	16,54	16,30	16,36	15,92	16,98
	16,60	16,66	15,65	16,23	16,06	16,27	17,43	15,43
	15,62	16,77	16,39	15,65	17,19	15,99	17,91	15,93
	15,26	-	-	-	-	-	16,46	-
	15,65	-	-	-	-	-	16,41	-
<b>Removida da meia</b>	13,42	16,16	12,70	15,20	14,32	13,84	9,34	14,33
	12,83	15,61	13,48	15,54	13,81	12,90	9,48	14,83
	13,79	15,39	12,30	15,24	12,24	13,19	9,16	13,03
	13,14	15,47	13,11	14,66	13,99	12,66	9,32	13,39
	12,37	-	-	-	-	-	8,39	-
	12,89	-	-	-	-	-	8,26	-
<b>Evaporada da meia</b>	5,28	4,92	5,32	5,23	6,44	6,08	4,17	2,85
	4,89	4,54	4,88	4,86	5,73	4,94	3,82	2,85
	5,91	4,85	4,87	3,77	5,42	5,75	3,67	2,91
	5,43	4,69	4,65	4,12	5,05	4,57	3,41	3,10
	4,90	-	-	-	-	-	3,10	-
	4,66	-	-	-	-	-	2,63	-

A percentagem de água retida na meia é calculada através da equação (E.3), a percentagem de água retida no sapato é obtida pela equação (E.4) e por fim, a percentagem de água retida na palmilha é calculada através da equação (E.5). Estes valores são indicados na Tabela E.1.5.

Tabela E.1. 5: Percentagem média de água retida na meia, no sapato e na palmilha e o respectivo intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) em pontos percentuais (pp)

Parâmetro	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
<b>Meia</b>	14,9	6,4	22,4	6,6	16,7	20,2	41,7	12,7
	15,8	7,6	21,1	6,0	15,6	21,1	40,5	12,7
	16,9	7,6	21,4	6,1	23,8	18,9	47,4	15,6
	15,9	7,8	20,0	6,3	18,6	20,8	48,0	15,9
	18,9	-	-	-	-	-	49,0	-
	17,6	-	-	-	-	-	49,7	-
Média (%)	17	7	21	6	19	20	46	14
Desvio padrão (%)	1,5	0,6	1,0	0,2	3,6	1,0	3,9	1,8
t	2,57	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	2,57	3,18
IC (pp)	1	1	2	0,4	6	2	4	3
<b>Sapato</b>	43,6	29,8	44,9	28,1	46,1	44,2	32,3	14,4
	42,0	35,6	50,0	31,9	49,6	48,0	35,6	16,0
	39,0	29,4	47,1	32,6	42,1	45,1	31,5	14,4
	41,4	30,4	51,3	33,0	51,7	49,8	33,0	17,2
	41,1	-	-	-	-	-	32,1	-
	45,4	-	-	-	-	-	34,3	-
Média (%)	42	31	48	31	47	47	33	15
Desvio padrão (%)	2,2	2,9	2,9	2,2	4,2	2,6	1,5	1,4
t	2,57	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	2,57	3,18
IC (pp)	2	5	5	4	7	4	2	2
<b>Palmilha</b>	8,0	35,3	0,2	33,1	0	0,5	0	55,5
	10,2	29,9	0,4	32,6	0	0,6	0	54,6
	8,4	33,9	0,4	38,1	0,4	0,6	0	51,2
	7,9	33,9	0,3	34,4	0,3	0,8	0	47,4
	7,9	-	-	-	-	-	0	-
	7,2	-	-	-	-	-	0	-
Média (%)	8	33	0,3	35	0,2	1		52
Desvio padrão (%)	1,0	2,3	0,1	2,5	0,2	0,1		3,7
t	2,57	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18		3,18
IC (pp)	1	4	0,1	4	0,3	0,2		6

Na Tabela E.1.6 estão indicadas as percentagens de água removida (ver equação (E.6)) e evaporada da meia (ver equação (E.7)) e os respectivos intervalos de confiança associados, com 95% de confiança.

Tabela E.1. 6: Percentagem média de água removida e evaporada da meia e o respectivo intervalo de confiança ( $\alpha=0,05$ ) em pontos percentuais (pp)

Parâmetro	Sapato A	Sapato A+X	Sapato A+Y	Sapato A'+X	Sapato A'+Y	Sapato A'+Z	Sapatilha	Sapatilha+X
Removida da meia	85,1	93,6	77,6	93,4	83,3	79,8	58,3	87,3
	84,2	92,4	78,9	94,0	84,4	78,9	59,5	87,3
	83,1	92,4	78,6	93,9	76,2	81,1	52,6	84,4
	84,1	92,2	80,0	93,7	81,4	79,2	52,0	84,1
	81,1	-	-	-	-	-	51,0	-
	82,4	-	-	-	-	-	50,3	-
Média (%)	83	93	79	94	81	80	54	86
Desvio padrão (%)	1,5	0,6	1,0	0,2	3,6	1,0	3,9	1,8
t	2,57	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	2,57	3,18
IC (pp)	2	1	2	0,4	6	2	4	3
Evaporada da meia	33,5	28,5	32,5	32,1	37,7	35,1	26,0	17,4
	32,1	26,9	28,6	29,4	35,2	30,2	24,0	16,8
	35,6	29,1	31,1	23,2	33,7	35,3	21,1	18,9
	34,8	28,0	28,4	26,3	29,4	28,6	19,0	19,5
	32,1	-	-	-	-	-	18,8	-
	29,8	-	-	-	-	-	16,0	-
Média (%)	33	28	30	28	34	32	21	18
Desvio padrão (%)	2,1	0,9	2,0	3,8	3,5	3,4	3,7	1,3
t	2,57	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18	2,57	3,18
IC (pp)	2	2	3	6	6	5	4	2

## E.2 Influência da velocidade

Os valores utilizados na Figura 34 são apresentados nas Tabelas E.2.1 e E.2.2. Na Tabela E.2.2 apenas se apresentam os valores utilizados, porque os valores iniciais estão indicados no Anexo E.2 (sapatilha). Nos testes a humidade relativa estava a 40%.

Tabela E.2. 1: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para uma velocidade de 3 km·h<sup>-1</sup>

	Água evaporada (%)	Água removida da meia (%)	Água retida na meia (%)	Água retida no sapato (%)
	19,5	50,1	49,9	30,6
	20,5	52,2	47,8	31,7
	22,6	53,2	46,8	30,6
	21,9	53,7	46,3	31,8
Média (%)	21	52	48	31
Desvio padrão (%)	1,4	1,6	1,6	0,7
T	3,18	3,18	3,18	3,18
IC (pp)	2	3	3	1

Tabela E.2. 2: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para uma velocidade de 3 km·h<sup>-1</sup>

	Evaporada	Removida da meia	Retida na meia	Retida na sapatilha
Média	21	54	46	33
IC (pp)	4	4	4	2

### E.3 Influência da humidade relativa

Na Figura 35, os dados utilizados são apresentados nas Tabelas E.2.2 (ver secção E.2, com humidade relativa a 40%) e na Tabela E.3.1. Ambas as caminhadas foram realizadas a uma velocidade de 3 km·h<sup>-1</sup>.

Tabela E.3. 1: Percentagem média de água obtida para cada parâmetro analisado para humidade relativa a 50%

	Evaporada	Removida da meia	Retida na meia	Retida no sapato	Retida na palmilha
Média	15	51	49	36	0
IC (pp)	2	3	3	1	

## Anexo F Evolução da temperatura e humidade relativa ao longo dos testes

Por fim, no Anexo F, é apresentada a evolução da temperatura e humidade relativa ao longo dos testes para analisar a influência dos orifícios no transporte de calor.

Na Figura F.1, são apresentados os locais de colocação dos sensores de medição da temperatura e humidade relativa.



*Figura F. 1: Localização dos pontos de medição da temperatura e humidade relativa*

Em seguida, apresenta-se a evolução da temperatura (T) e da humidade relativa (HR) ao longo da caminhada, durante os vários testes, registada para as posições 1 e 2. Para distinguir os resultados do pé direito dos resultados do pé esquerdo foi utilizada a designação “D” e “E”, respectivamente.

Na Figura F.2 é apresentada a evolução para os sapatos sem orifícios e com orifícios. Estes dados estão relacionados com a Figura 37.

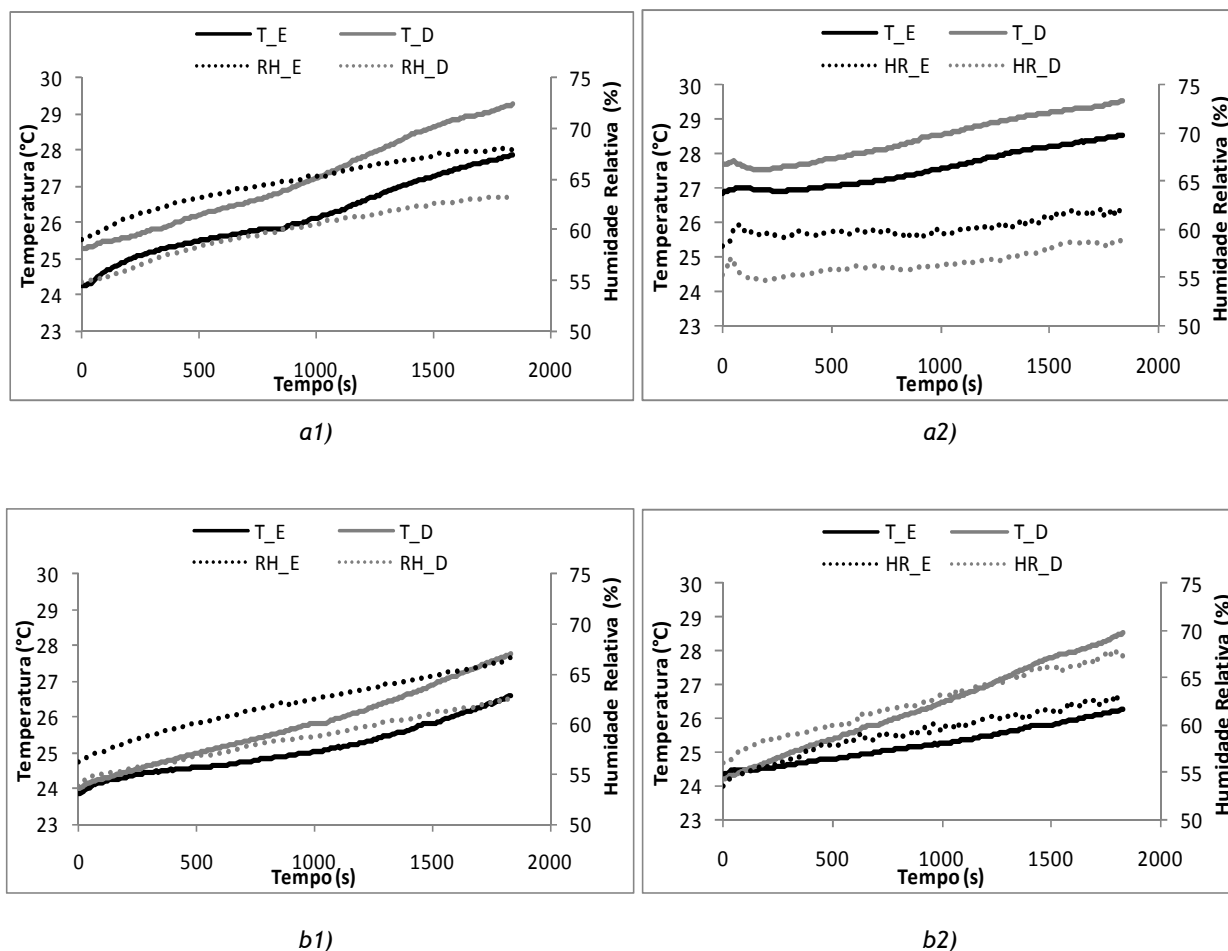


Figura F. 2: Evolução da temperatura e humidade relativa no sapato sem orifícios: a1) posição 1 e a2) posição 2 e no sapato com orifícios: b1) posição 1 e b2) posição 2

Por último, na Figura F.3 é apresentada a evolução para os sapatos sem orifícios e com orifícios quando é utilizada a palmilha. Estes dados estão relacionados com a Figura 39.

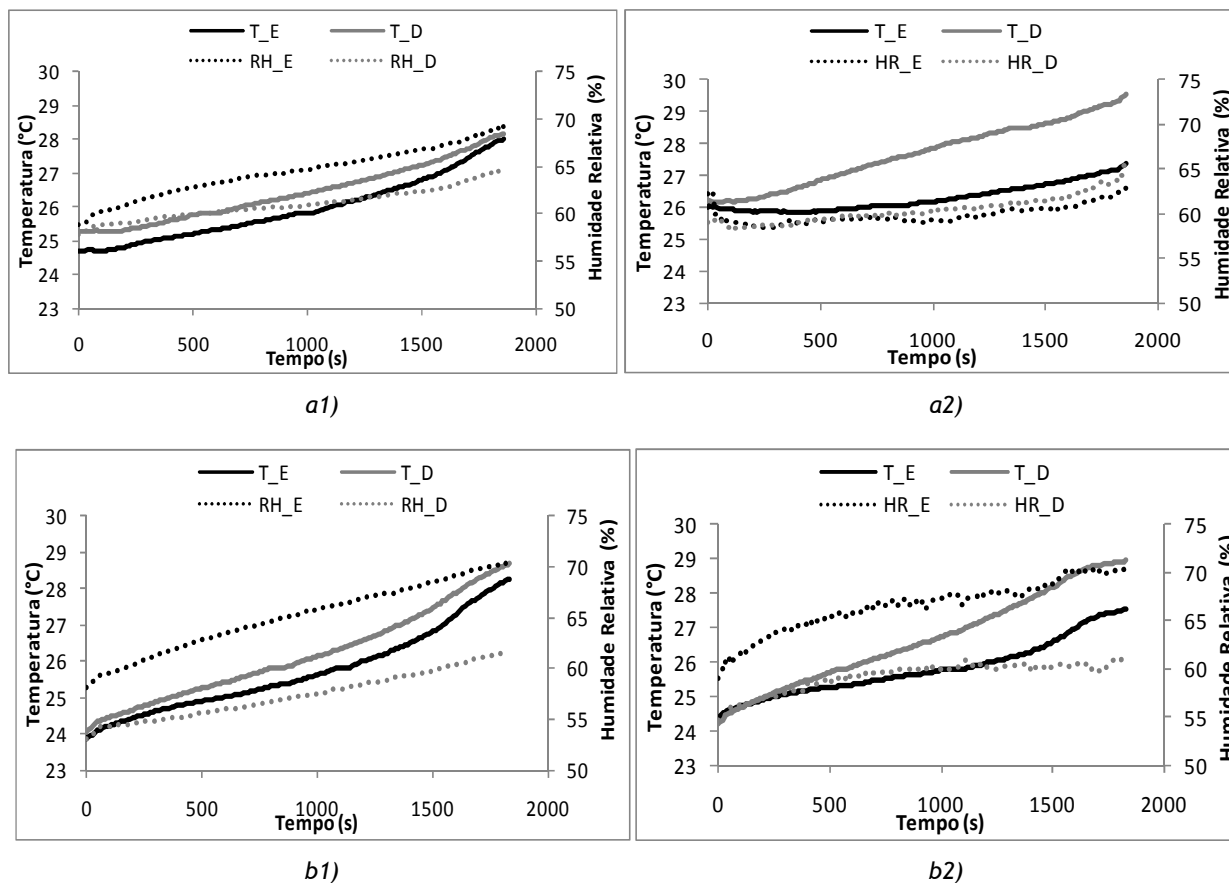


Figura F. 3: Evolução da temperatura e humidade relativa no sapato sem orifícios: a1) posição 1 e a2) posição 2 e no sapato com orifícios: b1) posição 1 e b2) posição 2