

---

# MESTRADO EM ENGENHARIA SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS



Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre  
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## Contribuição para o Estudo da Tolerância Humana a Ambientes Térmicos Extremos: Ensaios de Validação de Câmara Climática

Carlos Alberto Alves Carvalhais

**Orientador: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Arguente: Professor Doutor Miguel Fernando Tato Diogo**

Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa

**Presidente do Júri: Professor Doutor José Manuel Soutelo Soeiro de Carvalho**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

2011



---

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)    ISN: 3599\*654  
Telefone: +351 22 508 14 00    Fax: +351 22 508 14 40  
URL: <http://www.fe.up.pt>    Correio Electrónico: [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



---

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e irmão por todo apoio prestado ao longo de toda a minha vida;

Ao meu Orientador Professor Doutor João Manuel Abreu Santos Baptista pela orientação científica, amizade e disponibilidade para ajudar;

À Mestre Jacqueline Castelo Branco pela amizade, companheirismo e toda a ajuda prestada;

A todos os meus amigos e colegas que me ajudaram ao longo deste processo, em especial à Mestre Sílvia Santos por rever algumas matérias abordadas na presente dissertação;

À Joana, agradeço o carinho, a paciência e a força que me transmitiu e que sem ela seria difícil concluir mais esta etapa.

O meu muito obrigado a todos.



---

*"Pensar no sentido íntimo das coisas  
É acrescentado, como pensar na saúde  
Ou levar um copo à água das fontes.*

*O único sentido íntimo das coisas  
É elas não terem sentido íntimo nenhum."*

Alberto Caeiro em *"Há Metafísica bastante em não pensar em nada"*



---

## RESUMO

A exposição do Homem a ambientes térmicos extremos é uma realidade que tem acompanhado a sua evolução desde sempre. Esta exposição pode ocorrer em ambientes interiores e pode ter impactos negativos na saúde causados pelo stress térmico. Um factor-chave é o estado de adaptação dos indivíduos a climas quentes ou frios. Dada a complexidade e interacção de diversos factores (individuais, ocupacionais, ambientais e comportamentais) que influenciam a tolerância humana a diferentes condições termo-higrométricas, é fundamental o desenvolvimento de investigação científica em ambientes controlados. Neste sentido, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto adquiriu uma câmara climática que é objecto de estudo no presente trabalho. Assim, esta dissertação tem com objectivo fundamental testar e avaliar o funcionamento da câmara climática através de ensaios de validação, para além de rever bibliograficamente assuntos directa ou indirectamente relacionados com a sua utilização. A pesquisa bibliográfica foi efectuada com recurso a um conjunto de palavras-chave afectas à temática em estudo. A sua organização efectuou-se com recurso ao programa Endnote X4. A componente prática envolveu a utilização de diversos dispositivos experimentais para além da câmara climática Fitoclima 25000 EC20, entre os quais a estação microclimática da marca BABUC-A, o luxímetro Mavolux 5032C/B USB e o sonómetro 01 dB Solo Premium. Os principais resultados prendem-se com os tempos de estabilização obtidos para os parâmetros controláveis da própria câmara: a temperatura e a humidade relativa do ar. Na fase de aquecimento a temperatura demora cerca de 1h a estabilizar enquanto a humidade relativa tende a demorar mais, quanto mais elevados forem os níveis de humidade pretendidos. Foi possível constatar que quando a temperatura aumenta, a humidade relativa tende a diminuir, e só posteriormente aumenta de forma a atingir o *Set-Point* definido. A temperatura durante o arrefecimento nas gamas quentes demora em média 1h16min a estabilizar. A humidade relativa demora em média 1h47min a estabilizar, um período de tempo muito menor relativamente à fase de aquecimento. Durante o arrefecimento é notório que quando a temperatura diminui a humidade relativa tende também a diminuir, de maneira a evitar condensação dentro da câmara. Só após a temperatura atingir o seu *set-point* é que a humidade relativa recomeça a aumentar. Constata-se que, de uma maneira geral, quando a temperatura está estável, os tempos de estabilização da humidade relativa são bastante menores, do que quando se pretende que ambos os parâmetros estabilizem em simultâneo. Relativamente ao ruído, durante o aquecimento o valor médio dos níveis de pressão sonora ronda os 77,9 dB (A) e os 72,7 dB (A) na fase de arrefecimento. Os níveis médios de ruído durante a fase de humidificação são de 57,3 dB (A) e de 68,0 dB (A) na fase de desumidificação. Os níveis médios de iluminância no período diurno com o sistema artificial de iluminação ligado, ultrapassam os 1150 lux. A câmara climática permitirá no futuro estudar vários parâmetros do ambiente interior e o seu impacto no Homem.

**Palavras-chave:** *câmara climática, ambientes térmicos extremos, indicadores fisiológicos.*



---

## ABSTRACT

Human exposure to extreme thermal environments is a reality that has accompanied its evolution ever since. This exposure can occur indoors and may have negative health impacts caused by thermal stress. A key factor is the state of adaptation of individuals to hot or cold climates. Given the complexity and interaction of various factors (individual, occupational, environmental and behavioral) that influence human tolerance to different thermo-hygrometer conditions, is fundamental to develop scientific research in controlled environments. Thus, the Faculty of Engineering of Porto University acquired a climatic chamber that is being studied in this work. The fundamental objective of this work is to test and evaluate the functioning of the climatic chamber through validation tests, in addition to reviewing bibliographically matters directly or indirectly related to their use. The literature search was conducted using a set of keywords assigned to the subject under investigation. The organization of the literature component was carried out using the program Endnote X4. The practical component involved the use of various experimental devices in addition to the climatic chamber Fitoclima EC20 25000, including microclimate station BABUC-A, a light meter Mavolux 5032C / B USB and an 01 dB sound level meter Premium Solo. The main results relate to the times obtained for the stabilization of controllable parameters of the chamber itself: the temperature and relative humidity. In the heating phase the temperature takes about 1 hour to stabilize while the humidity tends to take longer, the higher the humidity levels required. It was found that when the temperature increases, the relative humidity tends to decrease, and only then increases to achieve the set point. The temperature ranges during cooling in the hot takes an average of 1h16min to stabilize. Relative humidity takes around 1h47min to stabilize, a much shorter period of time for the heating stage. During the cooling is well known that when the temperature decreases the relative humidity also tends to decrease, to avoid condensation inside the chamber. Only after the temperature reaches its set point is when the relative humidity begins to rise. It appears that, in general, when the temperature is stable, the time to stabilize the relative humidity is much smaller than when trying to stabilize both parameters simultaneously. Regarding noise, during heating stage the average sound pressure levels are around 77,9 dB (A) and 72,7 dB (A) during cooling stage. The average noise levels during the humidification stage are 57,3 dB (A) and 68,0 dB (A) during the dehumidification. The average levels of illuminance during the daytime with the system of artificial lighting on exceed 1150 lux.

The environmental chamber will allow the future to study various parameters of the indoor environment and its impact on man.

**Keywords:** climatic chamber, extreme thermal environments, physiological indicator



---

# ÍNDICE

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO                                                          | 1  |
| 2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA                                            | 3  |
| 2.1. Objectivos da Dissertação                                         | 3  |
| 2.2. Metodologia de Desenvolvimento                                    | 3  |
| 3. ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO                                     | 7  |
| 3.1. Legislação                                                        | 7  |
| 3.2. Normalização                                                      | 8  |
| 4. BALANÇO TÉRMICO E PARÂMETROS BÁSICOS DO AMBIENTE TÉRMICO            | 11 |
| 4.1. Balanço Térmico entre o Homem e o Ambiente                        | 11 |
| 4.2. Parâmetros Básicos do Ambiente Térmico                            | 13 |
| 5. TERMORREGULAÇÃO HUMANA                                              | 14 |
| 5.1. Mecanismos Fisiológicos da Termorregulação                        | 16 |
| 5.1.1. Vasoconstrição                                                  | 16 |
| 5.1.2. Arrepios                                                        | 17 |
| 5.1.3. Piloerecção e Interrupção da Sudação                            | 18 |
| 5.1.4. Vasodilatação                                                   | 18 |
| 5.1.5. Sudação                                                         | 19 |
| 6. SOBRECARGA TÉRMICA E TENSÃO TÉRMICA                                 | 21 |
| 6.1. Indicadores Fisiológicos de Tensão Térmica                        | 22 |
| 6.1.1. Temperatura Interna                                             | 22 |
| 6.1.2. Temperatura Cutânea                                             | 28 |
| 6.1.3. Frequência Cardíaca                                             | 30 |
| 6.1.4. Perda de Massa Corporal                                         | 31 |
| 6.1.5. Limites dos Indicadores Fisiológicos de Tensão Térmica          | 31 |
| 6.1.6. Comparação de Técnicas de Medição de Indicadores Fisiológicos   | 32 |
| 7. ÍNDICES DE STRESS TÉRMICO POR FRIO E POR CALOR                      | 35 |
| 7.1. Índices de Stress por Calor                                       | 35 |
| 7.1.1. Índice WBGT                                                     | 36 |
| 7.2. Índices de Stress por Frio                                        | 40 |
| 7.2.1. Índice do Isolamento Térmico do Vestuário Requerido - IREQ      | 40 |
| 7.2.2. Índice de Arrefecimento pelo Vento - WCI                        | 43 |
| 8. FACTORES CONDICIONANTES DA TOLERÂNCIA A AMBIENTES TÉRMICOS EXTREMOS | 47 |
| 8.1. Factores Individuais                                              | 48 |
| 8.1.1. Idade                                                           | 48 |
| 8.1.2. Género                                                          | 49 |
| 8.1.3. Capacidade Aeróbia                                              | 50 |
| 8.1.4. Adiposidade                                                     | 51 |
| 8.1.6. Medicação e Estupefacientes                                     | 52 |

|         |                                                                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1.7.  | Alimentação e Hidratação                                                                          | 52  |
| 8.1.8.  | Etnia                                                                                             | 53  |
| 8.1.9.  | Vestuário                                                                                         | 53  |
| 8.1.10. | Aclimação                                                                                         | 54  |
| 8.2.    | Factores Comportamentais                                                                          | 55  |
| 8.3.    | Factores Ambientais                                                                               | 57  |
| 8.4.    | Factores Ocupacionais                                                                             | 58  |
| 9.      | PATOLOGIAS ASSOCIADAS À EXPOSIÇÃO AMBIENTES TÉRMICOS EXTREMOS                                     | 59  |
| 9.1.    | Patologias associadas ao Frio                                                                     | 59  |
| 9.2.    | Patologias associadas ao Calor                                                                    | 62  |
| 10.     | EXPERIMENTAÇÃO HUMANA NA INVESTIGAÇÃO EM AMBIENTES CONTROLADOS: CONSIDERAÇÕES ÉTICO-LEGAIS        | 65  |
| 10.1.   | Principais Códigos de Ética Internacionais na Experimentação Humana                               | 66  |
| 10.2.   | Legislação Nacional no âmbito da Experimentação Humana                                            | 68  |
| 10.3.   | Ética na Universidade do Porto                                                                    | 69  |
| 10.4.   | Requisitos Básicos para a Avaliação Ética de uma Investigação                                     | 70  |
| 10.5.   | Instrução de processo para autorização de uma investigação                                        | 73  |
| 11.     | MATERIAIS E MÉTODOS                                                                               | 75  |
| 11.1.   | Dispositivos Experimentais                                                                        | 75  |
| 11.1.1. | Câmara Climática - Localização                                                                    | 75  |
| 11.1.2. | Câmara Climática – Caracterização Estrutural                                                      | 76  |
| 11.1.3. | Câmara Climática – Caracterização Técnica                                                         | 79  |
| 11.1.4. | Câmara Climática – Ensaio por Laboratório Acreditado                                              | 80  |
| 11.2.   | Outros Dispositivos Experimentais                                                                 | 84  |
| 11.2.1. | Estação Microclimática BABUC-A                                                                    | 84  |
| 11.2.2. | Luxímetro MAVOLUX 5032C/B USB                                                                     | 87  |
| 11.2.3. | Sonómetro 01 dB SOLO Premium                                                                      | 87  |
| 11.3.   | Procedimento Experimental                                                                         | 88  |
| 12.     | ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS                                                                 | 91  |
| 12.1.   | Análise de Curvas de Aquecimento                                                                  | 91  |
| 12.2.   | Análise de Curvas de Arrefecimento                                                                | 95  |
| 12.3.   | Análise de Curvas de Humidificação e Desumidificação                                              | 99  |
| 12.4.   | Análise Comparativa de Curvas de Aquecimento-Arrefecimento, Humidificação-Desumidificação e Ruído | 101 |
| 12.5.   | Análise dos Níveis de Iluminação                                                                  | 103 |
| 13.     | CONCLUSÕES                                                                                        | 105 |
| 14.     | PERSPECTIVAS FUTURAS                                                                              | 107 |
| 15.     | BIBLIOGRAFIA                                                                                      | 109 |
| ANEXOS  |                                                                                                   |     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Esquema das fases do estudo e sua sequência. ....                                    | 4  |
| Figura 2 – Balanço térmico do corpo humano. ....                                                | 13 |
| Figura 3 – Percentagem de termorreceptores no corpo humano. ....                                | 15 |
| Figura 4 – Esquema representativo da Termorregulação. ....                                      | 16 |
| Figura 5 – Esquema Vasoconstrição. ....                                                         | 17 |
| Figura 6 – Esquema da termorregulação por vasodilatação. ....                                   | 19 |
| Figura 7 – Curva aproximada de um indivíduo da relação Sobrecarga e Tensão Térmicas. ....       | 21 |
| Figura 8 – Representação da temperatura interna em função da temperatura ambiente. ....         | 23 |
| Figura 9 – Localização dos pontos para estimativa da temperatura média cutânea ....             | 29 |
| Figura 10 – Curvas de valores de referência WBGT, para vários ciclos de trabalho descanso. .... | 39 |
| Figura 11 – Factores que influenciam a tolerabilidade térmica. ....                             | 47 |
| Figura 12 – Alteração das capacidades de termorregulação com a idade. ....                      | 49 |
| Figura 13 – Termo-Comportamento em repouso. ....                                                | 56 |
| Figura 14 – Termo-Comportamento em exercício. ....                                              | 57 |
| Figura 15 – Pólo da Asprela – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. ....            | 75 |
| Figura 16 – Localização do laboratório onde a Câmara Climática está instalada. ....             | 76 |
| Figura 17 – Desenho esquemático da vista frontal da câmara. ....                                | 77 |
| Figura 18 – Desenho esquemático da vista lateral da câmara. ....                                | 77 |
| Figura 19 – Desenho Esquemático da vista superior da câmara. ....                               | 78 |
| Figura 20 – Posicionamento dos sensores na câmara climática. ....                               | 81 |
| Figura 21 – BABUC-A e respectivos componentes. ....                                             | 85 |
| Figura 22 – Validação do certificado de calibração das sondas de temperatura em °C. ....        | 85 |
| Figura 23 – Validação do certificado de calibração – sonda Humidade relativa em Kpa. ....       | 86 |
| Figura 24 – Validação do certificado de calibração do anemómetro em m/s. ....                   | 86 |
| Figura 25 – Luxímetro MAVOLUX 5032C/B USB. ....                                                 | 87 |
| Figura 26 – Sonómetro 01 dB SOLO Premium. ....                                                  | 88 |
| Figura 27 – Curva 15-50°C a 30%. ....                                                           | 91 |
| Figura 28 – Curva 15-50 °C a 40%. ....                                                          | 91 |
| Figura 29 – Curva 15-50 °C a 50 %. ....                                                         | 92 |
| Figura 30 – Curva 15-50 °C a 60 %. ....                                                         | 92 |
| Figura 31 – Curva 15-50°C a 70%. ....                                                           | 93 |
| Figura 32 – Curva 15-50 °C a 80%. ....                                                          | 93 |
| Figura 33 – Curva 15 a -20 °C a 30 %. ....                                                      | 95 |
| Figura 34 – Curva 50-15 °C a 30 %. ....                                                         | 95 |
| Figura 35 – Curva 50-15 °C a 40%. ....                                                          | 96 |
| Figura 36 – Curva 50-15°C a 60%. ....                                                           | 96 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 37 – Curva 50-15 °C a 70%.....                                                | 97  |
| Figura 38 – Curva 50-15 °C a 80 %.....                                               | 97  |
| Figura 39 – Curva 40-98 % a 25 °C.....                                               | 99  |
| Figura 40 – Curva 30-70 % (19 °C).....                                               | 100 |
| Figura 41 – Curva 30- 90 % (30°C).....                                               | 100 |
| Figura 42 – Curva 70-30 % (19°C).....                                                | 101 |
| Figura 43 – Curvas de aquecimento/arrefecimento com monitorização de ruído. ....     | 102 |
| Figura 44 – Curvas de humedificação/desumidificação com monitorização de ruído. .... | 102 |
| Figura 45 – Níveis de iluminância no interior da câmara climática. ....              | 104 |

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Equação 1 – Equação do balanço térmico. ....                                                              | 11 |
| Equação 2 – Equação do balanço térmico reescrita.....                                                     | 12 |
| Equação 3 – Equação de cálculo da temperatura média da pele. ....                                         | 30 |
| Equação 4 – Equação para cálculo do WBGT sem radiação solar. ....                                         | 36 |
| Equação 5 – Equação para cálculo do WBGT com radiação solar. ....                                         | 37 |
| Equação 6 – Equação para cálculo da duração limite de exposição ao frio (DLE). ....                       | 41 |
| Equação 7 – Equação para cálculo do WCI.....                                                              | 43 |
| Equação 8 – Equação de cálculo da temperatura de arrefecimento pelo vento ( <i>t<sub>ch</sub></i> ) ..... | 44 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Principais orientações emanadas por legislação nacional sobre ambiente térmico no âmbito laboral. ....                               | 8   |
| Tabela 2 – Publicações normativas da ISO no âmbito dos ambientes térmicos ocupacionais. ....                                                    | 9   |
| Tabela 3 – Principais variáveis envolvidas no balanço térmico entre o Homem e o ambiente. ....                                                  | 13  |
| Tabela 4 – Pontos e Métodos de Medição da Temperatura Interna. ....                                                                             | 24  |
| Tabela 5 – Locais de medição e respectivos coeficientes de ponderação ....                                                                      | 29  |
| Tabela 6 – Valores limite dos parâmetros fisiológicos de tensão térmica. ....                                                                   | 32  |
| Tabela 7 – Comparação entre os métodos fisiológicos de avaliação da sobrecarga térmica e sua relevância em diferentes condições climáticas .... | 33  |
| Tabela 8 – Índices de Stress Térmico por calor e respectiva classificação. ....                                                                 | 35  |
| Tabela 9 – Classificação dos níveis de taxa metabólica. ....                                                                                    | 38  |
| Tabela 10 – Valores de referência, em função da actividade desempenhada. ....                                                                   | 39  |
| Tabela 11 – Métodos de Avaliação da Exposição ao frio ....                                                                                      | 40  |
| Tabela 12 – Temperatura equivalente de arrefecimento pelo vento, <i>t<sub>ch</sub></i> . ....                                                   | 45  |
| Tabela 13 – Lista de substâncias que potenciam a intolerância térmica. ....                                                                     | 52  |
| Tabela 14 – Sintomas clínicos da hipotermia em função da temperatura interna. ....                                                              | 60  |
| Tabela 15 – Patologias associadas ao frio, aspectos médicos e prevenção. ....                                                                   | 60  |
| Tabela 16 – Patologias associadas ao calor, aspectos médicos e prevenção. ....                                                                  | 62  |
| Tabela 17 – Dimensões da Câmara Climática. ....                                                                                                 | 76  |
| Tabela 18 – Materiais utilizados na construção da Câmara Climática. ....                                                                        | 78  |
| Tabela 19 – Especificações técnicas da Câmara Climática 25000EC20 ....                                                                          | 79  |
| Tabela 20 – Componentes da câmara climática. ....                                                                                               | 79  |
| Tabela 21 – Validação do certificado de calibração da câmara climática – temperatura. ....                                                      | 82  |
| Tabela 22 – Validação do certificado de calibração da câmara climática – Humidade Relativa. ....                                                | 83  |
| Tabela 23 – Validação do certificado de calibração do luxímetro. ....                                                                           | 87  |
| Tabela 24 – Ensaio de Validação da Câmara Climática ....                                                                                        | 89  |
| Tabela 25 – Tempo de Estabilização da temperatura e humidade relativa nas curvas de aquecimento. ....                                           | 94  |
| Tabela 26 – Tempo de Estabilização da temperatura e humidade relativa nas curvas de arrefecimento. ....                                         | 98  |
| Tabela 27 – Valores médios dos níveis de iluminância e sua uniformidade no espaço. ....                                                         | 103 |



## **SIGLAS e ABREVIATURAS**

ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

AIHA – *American Industrial Hygiene Association*

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

CA – Critério de Aceitação

CES – Comissões de Ética para a Saúde

CEIC – Comissão de Ética para Investigação Clínica

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CIOMS – *Council for International Organizations of Medical Sciences*

DLE – duração limite de exposição ao frio

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Icl – isolamento térmico do vestuário

INRS – *Institut National de Recherche et de Sécurité*

IREQ – *Required Clothing Insulation Index*

ISO – *International Standard Organization*

ISQ – Instituto para a Soldadura e Qualidade

Hr – humidade relativa

LSI – *Laboratori di Strumentazione Industriali*

M – taxa metabólica

NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*

O<sub>2</sub> – Oxigénio

OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*

OSHA:EU – Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho

PHS – *Predicted Heat Strain Index*

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SHO – Segurança e Higiene Ocupacionais

SNC – Sistema Nervoso Central

t<sub>ab</sub> – temperatura intra-abdominal

tar – temperatura do ar

t<sub>bh</sub> – temperatura de bolbo húmido ventilado naturalmente

t<sub>ac</sub> – temperatura do canal auditivo

t<sub>ch</sub> – temperatura equivalente de arrefecimento pelo vento

t<sub>es</sub> – temperatura esofágica

tg – temperatura de globo

to – temperatura operativa

t<sub>o</sub> – temperatura oral

$t_{re}$  – temperatura rectal

$t_{sc}$  – temperatura do subclávio

$T_{sk}$  – temperatura média da pele

$t_r$  – temperatura radiante média

$t_{ty}$  – temperatura timpânica

$t_{va}$  – temperatura vaginal

$t_{ur}$  – temperatura da urina

$V_a$  – velocidade do ar

WBGT – *Wet Bulb Globe Temperature*

WCI – *Wind Chill Index*

## 1. INTRODUÇÃO

A exposição do Homem a ambientes térmicos extremos é uma realidade que tem acompanhado a sua evolução desde sempre. No entanto, ao longo dos tempos, a interacção entre o Homem e o ambiente térmico envolvente tem vindo a modificar-se. A História tem fornecido muitos exemplos de doenças provocadas pelo calor e mortes causadas por stress térmico. Tais casos ocorrem em ambientes interiores e exteriores e estão distribuídos por todo o mundo. Há exemplos no exército, na actividade industrial, em actividades de lazer (incluindo o turismo) e desportos. Um factor-chave é o estado de adaptação dos indivíduos a climas quentes ou frios. Os que vivem em climas mais próximos do conforto térmico, têm mais problemas, quando expostos a ambientes extremos, uma vez que não estão comportamental, fisiológica, nem psicologicamente adaptados a novas condições térmicas (Parsons, 2003).

Na esfera multidisciplinar da Segurança e Higiene Ocupacionais (SHO) o ambiente térmico tem-se evidenciado como uma das valências de reconhecimento crescente. Tradicionalmente, considera-se que este tema se divide em três áreas - ambientes térmicos quentes, moderados e frios (Oliveira, 2006). A interacção do corpo humano com o ambiente térmico é assim dinâmica e depende, fundamentalmente, da temperatura do ar ( $t_{ar}$ ), da temperatura média radiante ( $t_r$ ), da humidade relativa ( $rh$ ) e da velocidade do ar ( $va$ ). Além destes parâmetros físicos, intervêm duas grandezas individuais, o vestuário ( $Ic$ ) e o nível de actividade ( $M$ ) (Havenith et al., 2002). O modo como o corpo humano interage com estas seis variáveis determina as respostas comportamentais, fisiológicas e patológicas. Surgem assim os conceitos de conforto térmico, associado aos ambientes térmicos moderados, e de stress térmico, subjacente a exposições a ambientes extremos. No primeiro caso, o conforto térmico como o estado de espírito em que o indivíduo exprime satisfação com o ambiente térmico (ISO 7730, 2005). Esta noção, ela própria de grande subjectividade, situa-nos perante o problema colocado pelos ambientes térmicos: o da homeotermia. Para assegurar de forma continuada uma temperatura interna próxima dos 37°C, o organismo manifesta-se através de reacções fisiológicas e alterações comportamentais. De facto, a temperatura interna do corpo humano constitui um indicador do estado de tensão a que o corpo está submetido. Quando o corpo não consegue manter o equilíbrio térmico, isto é, quando tem de desencadear acções que promovam a produção ou dissipação de calor, entende-se normalmente que se encontra numa condição de stress térmico.

No âmbito das actividades humanas numa perspectiva ocupacional, verifica-se que por exemplo, num ambiente térmico frio, o bom desempenho do indivíduo na execução do seu trabalho tende a diminuir, surgindo problemas de saúde, segurança e produtividade (Holmér, 2000a). As doenças têm tendência a agravar-se, a probabilidade de acidentes aumenta, constata-se mudanças de comportamento, diminuição da concentração e rendimento no trabalho (Parsons, 2003). No entanto, esta relação da exposição a ambientes térmicos desfavoráveis, com a alteração do estado de saúde e como factor coadjuvante dos acidentes de trabalho, constitui ainda um problema

ambíguo, agravado pela falta de dados estatísticos fidedignos que relacionem ambientes extremos com doenças profissionais e acidentes de trabalho (Amaral, 1995).

Neste contexto, a investigação até agora realizada pode ser enquadrada em duas áreas fundamentais. A primeira centra-se na caracterização da exposição ao frio e ao calor e procura desenvolver as metodologias adequadas para a sua correcta quantificação, visando traduzir as várias combinações dos parâmetros determinantes em índices capazes de representar eficazmente a sua influência (Oliveira, 2006). O segundo aspecto, complementar, visa o estudo dos efeitos de condições térmicas adversas e a compreensão dos fenómenos associados à sua exposição. A influência no bem-estar geral, na performance física e intelectual, na destreza manual, são áreas de estudo emergentes, mas que dão continuidade à abordagem fundamental relacionada com a caracterização das alterações fisiológicas associadas à exposição a ambientes térmicos extremos e com o estudo das patologias associadas, temas que têm constituído as áreas de investigação prioritária. Neste sentido, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para além de ser a instituição promotora e administrativa do Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais, demonstrou a sua preocupação e interesse nesta temática ao adquirir equipamentos que possibilitam a investigação aplicada nos domínios da saúde e segurança ocupacionais, mais especificamente no que diz respeito ao ambiente térmico em contexto ocupacional. Um desses equipamentos é a câmara climática FITOCLIMA 25000EC20. A motivação dominante do projecto desta instalação experimental e da sua construção, residiu na necessidade de dispor de um instrumento de investigação sofisticado, capaz de simular a exposição de seres humanos a ambientes térmicos característicos de diversos locais de trabalho e ocupações, incluindo o estudo de situações transitórias, com exposições alternadas a ambientes muito diferenciados (por exemplo, ambientes frios e quentes). Assim, no âmbito do estudo da resposta humana sob condições limite de exposição foram traçadas duas linhas de investigação principais que envolvem o estudo de locais de trabalho (estufas, fundições, câmaras frigoríficas, indústria extractiva, indústria têxtil, indústria cerâmica, pesca, desporto de alta competição, entre outros) e o estudo em condições ambientais controladas em laboratório. Como contributo para o estudo das condições térmicas, pretende-se neste trabalho testar a usabilidade da câmara climática, especialmente desenvolvida segundo um modelo optimizado e dotada com equipamentos térmicos que permitem simular uma grande gama de situações térmicas e higrométricas. Por um lado, permitirá simular condições equivalentes às situações reais, criando-se todo o tipo de situações que se desviam dos modelos recomendados. Por outro, poder-se-ão simular não só situações interiores como, eventualmente, as apropriadas para certos processos de fabrico, mas também experimentar todo o leque possível de climas.

## **2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA**

### **2.1. Objectivos da Dissertação**

Com o presente trabalho procurou-se reunir a informação mais significativa na área em estudo e conseguir um contributo claro para a investigação da tolerância humana a ambientes térmicos extremos. Para além da extensa revisão bibliográfica, o principal objectivo deste trabalho é testar a câmara climática WALK-IN FITOCLIMA 25000 EC20, instalada no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, através da realização de testes e ensaios de validação.

Como objectivos específicos o presente trabalho procura:

- Efectuar enquadramento jurídico-normativo no âmbito do ambiente térmico;
- Analisar e comparar métodos de medição de indicadores fisiológicos de tensão térmica e índices de stress térmico;
- Proceder à revisão dos efeitos da exposição a ambientes quentes e frios na saúde;
- Dar a conhecer eventuais constrangimentos ético-legais na experimentação humana em ambiente controlado;
- Estudar e comparar a variação entre os valores de temperatura e humidade da câmara com os valores lidos por uma estação microclimática portátil e analisar tempos de estabilização e de resposta dos parâmetros controláveis pela câmara climática;
- Caracterizar o ruído produzido pela câmara climática, durante as fases de aquecimento/arrefecimento e humidificação/desumidificação;
- Caracterizar os níveis de iluminância da câmara climática e a sua adequabilidade.

### **2.2. Metodologia de Desenvolvimento**

O presente trabalho teve início com pesquisa bibliográfica, no sentido de preparar uma metodologia adequada aos objectivos pré-estabelecidos. Em seguida, e de acordo com o estabelecido, realizaram-se os ensaios para a obtenção de dados, bem como a interpretação dos seus resultados. Face às últimas actualizações científicas e em conjunto com os resultados devidamente interpretados, apresentaram-se as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros. Assim, a presente dissertação está dividida em quatro componentes distintas:

- Revisão dos conceitos básicos relativos ao tema, bem como conceitos científicos que fundamentam o seu desenvolvimento;
- Componente prática, que se concentra na aquisição e tratamento de dados;
- Análise e discussão dos resultados;
- Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

A Figura 1 esquematiza as fases do estudo e a sequência em que se desenvolveram.

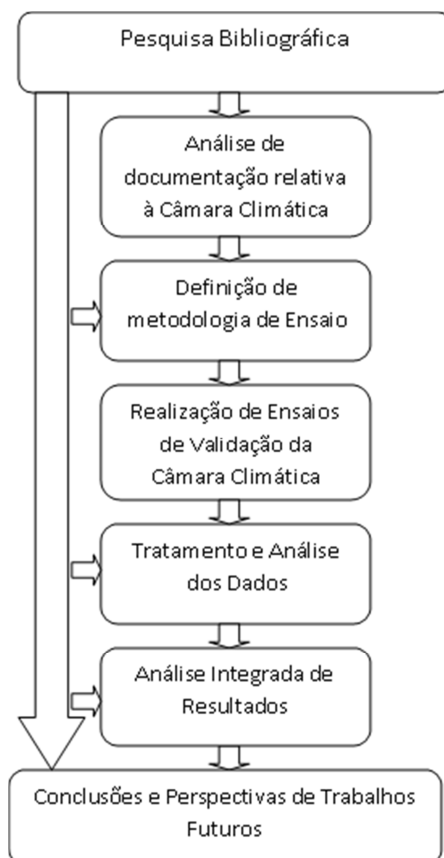


Figura 1 – Esquema das fases do estudo e sua sequência.

A pesquisa bibliográfica foi constante durante o período de elaboração do estudo. Numa primeira fase utilizou-se o programa *End Note X4* para proceder à pesquisa sistemática recorrendo a duas bases de dados principais: *PuBMed* e *Web of Science*.

A selecção e triagem de artigos científicos foram efectuadas mediante a informação apresentada no resumo. No entanto, deu-se preferência referências que possuíam artigo completo, de maneira a minimizar erros de interpretação devido a informação insuficiente que determinado resumo pudesse eventualmente fornecer. Este recurso foi utilizado pela facilidade de utilização da aplicação, apesar de ter sido concebido essencialmente para gerir, organizar e usar referências bibliográficas e não propriamente para efectuar pesquisa sistemática. Numa segunda fase, foi utilizada a ferramenta de interface de pesquisa do sistema de metapesquisa da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, construída com base no sistema *Metalib* da *Exlibris*. Com esta ferramenta foi possível efectuar a pesquisa em inúmeros recursos com diferentes tipologias documentais entre as quais se destacam: bases de dados (medline, pubmed, scopus, web of science...); revistas científicas (Science Direct, AMA Journals, AHA Journals, Biomed Central Journals...); repositórios (CogPrints via SCIRUS, PLoS One...); relatórios técnicos (NASA Technical Reports,...); normas (IPQ, catálogo FEUP, AENOR...); teses e dissertações, entre outros.

Dada a diversidade de temas abordados neste trabalho, os termos aplicados nas diversas pesquisas foram variando tendo-se optado por diferentes campos de pesquisa, conforme o número

de resultados devolvidos. Assim, alguns dos termos pesquisados foram "*human heat tolerance*", "*cold stress*", "*body temperature*" ou "*thermorregulatory behavior*". Não obstante, outras informações recolhidas tiveram por base literatura com relevância técnico-científica na área em estudo. Todos os artigos científicos, normas, livros e teses independentemente da forma como foram pesquisados e consultados, foram introduzidos/exportados para o programa *End Note* a fim de se organizarem as referências bibliográficas. Neste sentido utilizou-se o estilo *Harvard* proposto pela ISO 690:2010.



## **3. ENQUADRAMENTO LEGAL E NORMATIVO**

### **3.1. Legislação**

As questões relativas ao ambiente térmico sob ponto de vista energético e conforto em edifícios na fase de projecto, são abordadas nos diplomas legais relativos ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril), ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) foram publicados no dia 4 de Abril de 2006. O ambiente térmico em edifício é previsto logo em fase de projecto, através do regulamento de comportamento térmico de edifícios (RCCTE), Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril. No entanto este diploma após a construção deixa de ter o mesmo significado, passando o ambiente térmico a ser regido pelo Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril (RSECE), de certificação energética que prevê os consumos máximos com sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação.

O RCCTE concentra-se sumariamente em garantir que os edifícios construídos apresentam um limite de perdas de calor no inverno e durante o verão tenta regular o limite de ganhos, regulando a orientação das fachadas tamanho de janelas e vidros a utilizar e inércia térmica das paredes. Estes requisitos são extremamente importantes, a qualidade de construção também se mede pela inércia desta relativamente às condições exteriores.

No que concerne ao ambiente térmico em contexto laboral a legislação portuguesa, através das Portarias n.º987/93, Decreto-Lei n.º243/86 e Portaria nº 53/71 (alterada pela Portaria nº 702/80 de 22 de Setembro), obrigam à manutenção das condições de conforto térmico nos locais de trabalho, recomendando que a temperatura e a humidade sejam adequadas ao organismo humano (isto é, estejam dentro dos limites convenientes para evitar prejuízos à saúde dos trabalhadores), levados em conta os métodos de trabalho e os condicionalismos físicos impostos. A determinação do estado do ambiente térmico e das medidas a tomar só pode ser efectuada através da avaliação dos factores que o determinam (Lopes, 2008). Para além desta obrigação geral, a legislação define alguns aspectos, como por exemplo, os intervalos de temperatura e humidade aceitáveis nos estabelecimentos comerciais, de escritório e serviços, a obrigatoriedade de tomada de medidas contra radiações intensas de calor e exposição excessiva ao sol ou intempéries, entre outros (Lopes, 2008). Para além dos diplomas referidos, existem outros aplicáveis a sectores de actividade específicos, que emanam orientações no âmbito do ambiente térmico (por exemplo o Decreto-Lei nº 162/90 de 29 de Maio – Regulamento Geral de Segurança e Higiene no Trabalho nas Minas e Pedreiras). Na Tabela 1 estão transcritos artigos dos diplomas mais relevantes ao nível do ambiente térmico a nível ocupacional.

Tabela 1 – Principais orientações emanadas por legislação nacional sobre ambiente térmico no âmbito laboral.

| Diploma                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Portaria n.º 53/71 de 3 de Fevereiro</b><br>Regulamento Geral de Segurança e Higiene do Trabalho nos Estabelecimentos Industriais<br>(Disponível em: <a href="http://dre.pt/pdf1sdip/1971/02/02800/00980118.pdf">http://dre.pt/pdf1sdip/1971/02/02800/00980118.pdf</a> )                       | Artigo 24.º<br>(Temperatura e Humidade)<br>1 – As condições de temperatura e humidade dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro de limites convenientes para evitar prejuízos à saúde dos trabalhadores<br>2 – Nas indústrias em que os trabalhadores estejam expostos a temperaturas extremamente altas ou baixas devem existir câmaras de transição para que aqueles trabalhadores possam arrefecer-se ou aquecer-se gradualmente até à temperatura ambiente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Portaria N.º 987/93</b> , de 6 de Outubro<br>(Disponível em: <a href="http://dre.pt/pdf1sdip/1993/10/234b00/55965599.PDF">http://dre.pt/pdf1sdip/1993/10/234b00/55965599.PDF</a> )                                                                                                             | Artigo 7.º<br>1 – A temperatura e a humidade dos locais de trabalho devem ser adequadas ao organismo humano, levados em conta os métodos de trabalho e os condicionalismos físicos impostos aos trabalhadores.<br>2 – A temperatura e a humidade das salas de convívio destinadas ao pessoal, bem como das instalações sanitárias, cantinas e instalações de primeiros socorros, devem estar de acordo com os fins específicos desses locais.<br>3 – As janelas, as clarabóias e as paredes envidraçadas não devem permitir uma excessiva exposição ao sol, tendo em conta o tipo de trabalho e a natureza do local de trabalho.<br>4 – Sempre que necessário, devem ser colocados resguardos para proteger os trabalhadores contra radiações intensas de calor provocadas por tubagens, radiadores, sistemas de aquecimento ou quaisquer outras fontes nocivas de calor.                 |
| <b>DL 243/86 de 20 de Agosto</b><br>Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritório e Serviços<br>(Disponível em: <a href="http://www.oasrn.org/pdf_upload/decretolei_243_86.pdf">http://www.oasrn.org/pdf_upload/decretolei_243_86.pdf</a> ) | Artigo 11.º<br>Temperatura e humidade<br>1 - Os locais de trabalho, bem como as instalações comuns, devem oferecer boas condições de temperatura e humidade, de modo a proporcionar bem-estar e defender a saúde dos trabalhadores.<br>a) A temperatura dos locais de trabalho deve, na medida do possível, oscilar entre 18ºC e 22ºC, salvo em determinadas condições climáticas, em que poderá atingir os 25ºC.<br>b) A humidade da atmosfera de trabalho deve oscilar entre 50% e 70%. c) Sempre que da ventilação natural não resulte uma atmosfera de trabalho conforme as alíneas anteriores, deve-se procurar adoptar sistemas artificiais de ventilação e de aquecimento ou arrefecimento, conforme os casos.<br>d) Os dispositivos artificiais de correcção da atmosfera trabalho não devem ser poluentes, sendo de recomendar os sistemas de ar condicionado, locais ou gerais. |

### 3.2. Normalização

Complementarmente a nível internacional têm vindo a desenvolver-se esforços por parte da comunidade científica no sentido de otimizar metodologias nos domínios da avaliação do ambiente térmico, essencialmente em contexto laboral. O recurso à estrutura de uma instituição internacional de mérito inquestionável, a *International Organization for Standardization* (ISO), permite ilustrar a dimensão genérica do assunto. Esta organização europeia apresenta um sistema organizativo complexo, mas que, para o presente efeito, pode ser resumido de forma simples (Oliveira, 2006). Cada publicação normativa é enquadrada numa estrutura em pirâmide, em que na base se situam os Comitês Técnicos, por sua vez divididos em Sub-Comitês e estes em Grupos de Trabalho. Desde a sua proposta até à edição definitiva sob a forma de Norma Internacional,

cada edição normativa percorre seis estágios de desenvolvimento. No âmbito desta dissertação, a maioria das publicações normativas aplicáveis dizem respeito ao Comité Técnico nº 159 "Ergonomics", Sub-Comité nº 5 "Ergonomics of the physical environment" e Grupo de Trabalho nº1 "Thermal environments".

Sob a sua responsabilidade foram já publicadas 22 normas que abrangem variados temas, algumas das quais se listam na Tabela 2. Este sub-comité encontra-se actualmente numa fase particularmente activa, sendo exemplos as propostas de normas novas e o processo de revisão de algumas das existentes. Além da ISO, existem muitos outros organismos de normalização que intervêm na esfera dos ambientes térmicos, destacando-se pela sua importância a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), a ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*), a AIHA (*American Industrial Hygiene Association*), o INRS (*Institut National de Recherche et de Sécurité*), a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*), o NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), e a OSHA:EU (*Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho*).

---

Tabela 2 - Publicações normativas da ISO no âmbito dos ambientes térmicos ocupacionais.

---

#### **Normas de Enquadramento**

ISO 11399:1995, "Ergonomics of the thermal environment – Principles and application of relevant International Standards", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 13731:2001, "Ergonomics of the thermal environment – Vocabulary and symbols", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

---

#### **Normas de Avaliação**

##### **Ambientes Térmicos Quentes**

ISO 7243:1989, "Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT – index ("Wet Bulb Globe Temperature")", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 7933:2004, "Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 9886:2004, "Evaluation of thermal strain by physiological measurements", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO/FDIS 7933: 2004, "Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain" International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

---

##### **Ambientes Térmicos Moderados**

ISO 7730: 2005, "Moderate Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort", International Standard, Third Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 10551:1995, "Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgments scales", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 9886: 2004, "Evaluation of thermal strain by physiological measurements", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO/TS 13732-2: 2001, "Ergonomics of the thermal environment-Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces-Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature", London, BSI

---

##### **Ambientes Térmicos Frios**

ISO/TR 11079:2007, "Evaluation of Cold Environments – Determination of Required Clothing Insulation (IREQ)", Technical Report, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 9886: 2004, "Evaluation of thermal strain by physiological measurements", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 13732-3: 2005, "Ergonomics of the thermal environment -- Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces -- Part 3: Cold surfaces", International Standard, First Edition, International Organization for

---

Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

---

#### **Normas de Apoio**

ISO 7726: 1998, "*Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities*", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 8996: 2004. "*Ergonomics – Determination of the metabolic heat production*", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 9920: 2007, "*Ergonomics of the Thermal Environment - Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble*", International Standard, Second Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 12894: 2001, "*Ergonomics of the thermal environment – Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments*", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

---

#### **Aplicações**

ISO 14505-3: 2006, "*Ergonomics of the thermal environment – Evaluation of thermal environments in vehicles - Part 3: Evaluation of thermal comfort using human subjects*", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO/TS 14415: 2005, "*Ergonomics of the thermal environment – Application of International Standards to people with special requirements*", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.

ISO 15265: 2004, "*Ergonomics of the thermal environment – Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions*", International Standard, First Edition, International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland

---

Fonte: <http://www.iso.org/iso/home.htm>; Oliveira, 2006

## 4. BALANÇO TÉRMICO E PARÂMETROS BÁSICOS DO AMBIENTE TÉRMICO

### 4.1. Balanço Térmico entre o Homem e o Ambiente

A homeotermia é em linhas gerais, obtida por trocas térmicas que dependem de vários factores, ambientais e pessoais, governados por processos físicos, como **convecção**, **radiação**, **evaporação** e eventualmente **condução**.

Sempre que existem dois corpos em presença e a diferentes temperaturas, existe um fenómeno de transporte de calor do corpo que se encontra à temperatura mais elevada para o outro corpo a baixa temperatura. No corpo humano este fenómeno pode ser resultante de vários processos combinados de transmissão de calor: a condução, a convecção, a radiação e a evaporação. A **condução** é a transmissão de calor devido ao contacto entre os corpos. No Homem, verifica-se nos contactos entre os pés e o chão/calçado, entre as mãos e planos de trabalho, entre nádegas e assentos, entre outros. A **convecção** consiste na transmissão de calor da pele para o fluido ambiente e vice-versa (Miguel, 2010). Quando a temperatura ambiental é inferior à da pele do organismo, processa-se uma perda de calor do corpo para o ar ambiente por efeito de condução e de convecção (a condução dá-se pelo contacto do organismo com a película de ar que o envolve). A **radiação** consiste na troca térmica entre dois corpos pela emissão ou recepção de raios infra-vermelhos (Freitas, 2008). A **evaporação** é o mecanismo mais importante do equilíbrio térmico. Resulta sempre que os processos clássicos de transmissão de calor são insuficientes para compensarem o equilíbrio metabólico. No Homem, a evaporação tem lugar ao nível do aparelho respiratório e da pele (Miguel, 2010).

Em circunstâncias normais de saúde e conforto, a temperatura do corpo humano mantém-se aproximadamente constante, graças a um equilíbrio entre a produção interna de calor, devida ao metabolismo, e à perda de calor para o meio ambiente. O fluxo de calor produzido no organismo deve ser, num primeiro tempo, veiculado para a pele. Este transporte de calor, no interior do corpo, é proporcional à diferença de temperatura entre o núcleo do corpo e a pele e a um coeficiente que corresponde à condutância fisiológica do corpo humano.

O balanço térmico é obtido quando todo o calor produzido pelo corpo através do metabolismo é dissipado no ambiente. Quando esta situação é alcançada sem reacções fisiológicas significativas, é dito que o corpo está em neutralidade térmica, uma exigência para o conforto térmico.

A equação do balanço térmico pode ser escrita da seguinte forma:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES}$$

Equação 1 – Equação do balanço térmico.

onde:

M = Taxa metabólica de produção de calor (W/m<sup>2</sup>)

W = Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W/m<sup>2</sup>)

Qsk = Taxa total de perda de calor pela pele (W/m<sup>2</sup>). Igual a perda de calor pela evaporação pela pele mais a condução de calor da pele até a superfície externa das roupas, podendo ser escrita como:  $Q_{sk} = E_{sk} + K_{cl}$

Qres = Taxa total de perda de calor pela respiração (W/m<sup>2</sup>)

As perdas de calor pela pele (Qsk) e respiração (Qres), também são expressas em forma de mecanismos de perda de calor, como **convecção**, **radiação** e **evaporação**, e assim atinge-se a expressão dupla que representa o balanço de calor para um corpo em estado estacionário:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} = (C + R + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES})$$

Equação 2 – Equação do balanço térmico reescrita.

onde:

M = Taxa metabólica de produção de calor (W/m<sup>2</sup>)

W = Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W/m<sup>2</sup>)

Qsk = Taxa total de perda de calor pela pele (W/m<sup>2</sup>). Igual a perda de calor pela evaporação pela pele mais a condução de calor da pele até a superfície externa das roupas, podendo ser escrita como:  $Q_{sk} = E_{sk} + K_{cl}$

Qres = Taxa total de perda de calor pela respiração (W/m<sup>2</sup>)

C+R= Perda de calor sensível pela pele (W/m<sup>2</sup>) - Convecção e radiação. O seu valor é igual a perda de calor por condução até a superfície externa das roupas.

Esk = Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W/m<sup>2</sup>)

Cres = Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W/m<sup>2</sup>)

Eres = Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m<sup>2</sup>).

A exemplificação do balanço térmico do corpo humano pode ser observada na Figura 2.

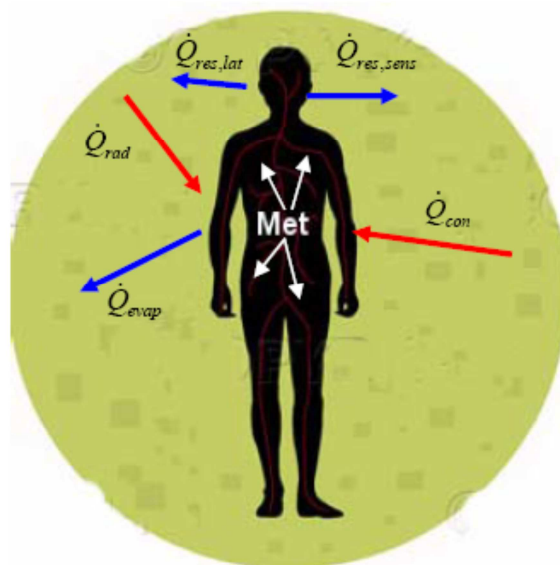


Figura 2 – Balanço térmico do corpo humano.  
Fonte: <https://woc.uc.pt/efs/getFile.do?tipo=2&id=84>

## 4.2. Parâmetros Básicos do Ambiente Térmico

Analisando a equação de balanço térmico, verifica-se que todos os termos da equação são expressos em função de variáveis ambientais e de variáveis pessoais, excepto a temperatura da superfície externa do vestuário, a qual deve ser calculada iterativamente levando-se em consideração as variáveis já citadas ou determinadas em função da temperatura média da pele.

A temperatura do ar, temperatura radiante, humidade e velocidade do ar, são as variáveis ambientais básicas que afectam a resposta humana a ambientes térmicos (Parsons, 2003). Combinadas com a taxa metabólica gerada pela actividade humana e com o vestuário, formam os seis parâmetros básicos que definem o ambiente térmico. Também afectam as respostas térmicas de indivíduos expostos a ambientes quentes ou frios (Parsons, 2003).

Na Tabela 3 estão representadas as principais variáveis envolvidas no balanço térmico entre o homem e o ambiente.

Tabela 3 – Principais variáveis envolvidas no balanço térmico entre o Homem e o ambiente.

| Elementos do balanço térmico      | Variáveis   |                 |            |                |               |                 |                 |                   |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|                                   | Ta          | Tr              | Va         | H              | Icl           | Rcl             | M               | W                 |
|                                   | Temp. Do ar | Temp. Med. Rad. | Vel. do ar | Humidade do ar | Isolam. Vest. | Resist. Evapor. | Taxa metabólica | Trabalho mecânico |
| Produção de calor (M-W)           |             |                 |            |                |               |                 | X               | X                 |
| Transferência por radiação (R)    |             | X               |            |                | X             |                 |                 |                   |
| Transferência por convecção (C)   | X           |                 | X          |                | X             |                 |                 |                   |
| Evaporação pele (E)               |             |                 | X          | X              |               | X               |                 |                   |
| Evaporação pela respiração (Eres) |             |                 |            | X              |               |                 | X               |                   |

Fonte: tabela 1 da (ISO 7726, 1998)

## 5. TERMORREGULAÇÃO HUMANA

O principal objectivo da termorregulação é impedir grandes variações na temperatura interna do corpo de maneira a que os sistemas vitais possam funcionar adequadamente.

Em condições normais de saúde e conforto térmico a temperatura interna do corpo humano mantém-se aproximadamente constante e próxima dos 37 °C. Contudo pode variar entre os 36°C e os 37,5 °C em indivíduos saudáveis. Um dos pontos de concordância relaciona-se com o centro de regulação térmica do corpo humano, localizado na base do cérebro num órgão denominado hipotálamo (Parsons, 2003).

A informação necessária para o controlo de temperatura é fornecida ao hipotálamo por sensores de frio e de calor denominados termoreceptores (Olesen, 1982), localizados no centro de temperatura do cérebro, dispersos pela superfície da pele e, provavelmente, noutras partes do corpo como os músculos e espinal-medula (Parsons, 2003). A Figura 3, mostra a percentagem de termoreceptores na pele.

Influenciados pela temperatura, e especialmente pela sua variação, transmitem impulsos nervosos ao hipotálamo que, do processamento da informação, activa as reacções fisiológicas que tendem a manter a temperatura interna do corpo aproximadamente constante. Embora os pormenores de todos estes processos sejam desconhecidos, sabe-se que o hipotálamo é composto por várias divisões, duas das quais controlam a termoregulação: hipotálamo anterior e hipotálamo posterior (McIntyre, 1980).

A temperatura do corpo não é igualmente distribuída em todo o organismo. Uma temperatura próxima dos 37 °C é mantida no interior do cérebro, do coração e nos órgãos abdominais, sendo designada de temperatura interna. Macintyre (1980) cita que a temperatura interna, ajustada pelo sistema termorregulador, não é constante e depende da taxa de metabolismo. O autor afirma que em actividades físicas severas, com alta taxa de metabolismo, esta temperatura pode ser elevada até 39,5 °C e que a febre também a eleva.

Ao contrário da temperatura interna, a temperatura nos membros, nos músculos e especialmente na pele (temperatura periférica) sofre oscilações. As variações nesta última determinam as modificações na troca de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente. O hipotálamo anterior é o responsável pela termorregulação quando o corpo está sobreaquecido, emitindo impulsos nervosos responsáveis pela activação dos mecanismos de perda de calor, tais como a vasodilatação e a sudorese. O hipotálamo posterior actua como mecanismo de defesa contra o frio. Ao receber os sinais de temperatura dos termoreceptores, desencadeia acções como a vasoconstrição, para reduzir as perdas para o ambiente, e as tremuras que aumentam a produção interna de calor.

A acção do hipotálamo permite assim fazer face a largas variações da temperatura ambiental. Na sua função de controlador e a partir dos sinais recebidos de sensores dispersos pelo corpo, actua

nos diversos mecanismos fisiológicos mantendo o balanço térmico através do equilíbrio entre a produção interna de calor e as perdas do mesmo para o ambiente.

A actividade vasomotora representa a resposta inicial do corpo a uma situação desfavorável no que se refere ao seu equilíbrio térmico. No caso de ambientes quentes, a sudorese é um mecanismo fundamental para intensificar a perda de calor para o ambiente. Nos ambientes frios o tremor muscular é o mecanismo que aumenta a produção de calor interno.

Os termorreceptores de frio são sensíveis a taxas de descida da temperatura na pele superiores a  $0,004\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  ( $14,4\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ ), enquanto os receptores de temperatura para o calor reagem para variações positivas da temperatura na pele a uma cadência superior a  $0,001\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  ( $3,6\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ ) (Olesen, 1982).

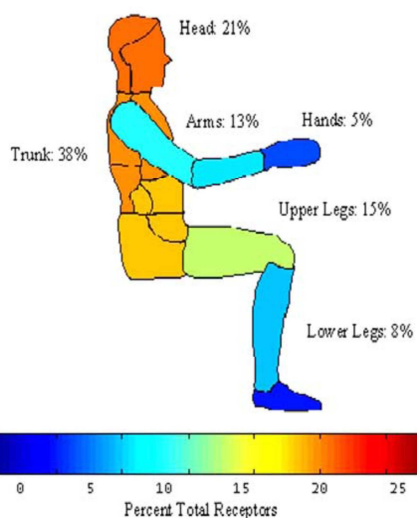


Figura 3 – Percentagem de Termorreceptores no corpo humano.  
Fonte: Oliveira, 2006

A produção contínua de calor no corpo humano resulta das reacções químicas ao nível celular, processo que é denominado de metabolismo. Em ambientes frios, o sistema desencadeia contracções musculares responsáveis por um aumento da produção interna de calor. Para ambientes progressivamente mais severos, estas tensões musculares transformam-se em arrepios que chegam a triplicar a energia produzida, face ao metabolismo basal. A realização de trabalho muscular por aumento da actividade física tem um efeito mais significativo, podendo atingir 10 vezes o metabolismo basal (Olesen, 1982).

O modo como se efectua este transporte do calor, do centro quente para a periferia através do fluxo sanguíneo e por condução nos tecidos, explica os fenómenos fisiológicos resultantes da exposição ao frio e ao calor. Em ambientes frios, os impulsos nervosos dos receptores de frio provocam uma vasoconstrição, isto é, uma contracção dos vasos sanguíneos que diminui o fluxo de sangue e, deste modo, o fluxo de calor para a pele. Para manter a temperatura próximo dos  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  nas partes vitais do corpo, o fluxo sanguíneo começa por ser reduzido nas extremidades (pés e

mãos), onde a sensação de frio é sentida em primeiro lugar. Contudo, mesmo com os vasos sanguíneos na superfície cutânea completamente fechados, verifica-se perda de calor por condução através da pele, valor que depende da espessura da camada de gordura superficial (isolamento térmico da pele).

Num ambiente quente, a temperatura da pele é elevada e o gradiente de temperatura entre o centro do corpo e a superfície da pele é reduzido, pelo que a troca de calor por condução é por isso diminuta. Como tal, a vasodilatação aumenta o fluxo sanguíneo para a superfície da pele, onde a troca de calor se processa essencialmente através do mecanismo da evaporação do suor. A Figura 4 esquematiza a termorregulação humana.

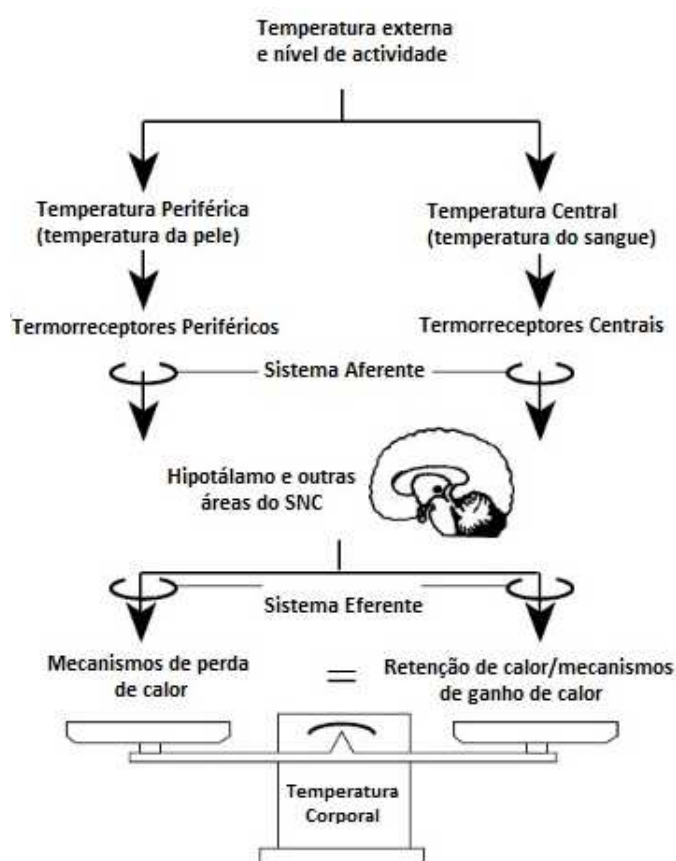


Figura 4 – Esquema representativo da Termorregulação segundo Gradjean.  
Fonte: adaptado de Mondelo, 1999.

## 5.1. Mecanismos Fisiológicos da Termorregulação

### 5.1.1. Vasoconstrição

A primeira reacção do corpo humano ao frio consiste na constrição dos vasos sanguíneos nas extremidades da superfície cutânea. Este mecanismo serve dois objectivos: o sangue quente é mantido afastado da superfície cutânea reduzindo-se deste modo as perdas de calor, aumentando-se por outro lado a capacidade de isolamento da pele até um máximo de seis vezes se o fluxo



neutralidade térmica, isto é, quando o aquecimento resultante dos arrepios apenas impede o arrefecimento, nunca sendo responsável por acumulação de calor no corpo (Sanders, 1993).

Este mecanismo é mais dependente da temperatura interna que da temperatura cutânea. O rácio de como as alterações das temperaturas interna e cutânea afectam aos tremores musculares é 4:1 (Van Someren et al., 2002).

Quanto melhor é a condição física da pessoa, mais eficiente é a produção de calor metabólico através das tremuras e durante mais tempo a pessoa consegue manter este reflexo sem atingir a exaustão. Se para um nível moderado de arrefecimento os arrepios são intermitentes, isto é, são activados e desactivados ao longo da exposição, para situações mais adversas esta condição mantém-se continuamente durante um determinado período (Parsons, 2003). Desta forma, em ambientes de frio extremo, uma boa forma física pode fazer a diferença entre a vida e a morte.

### **5.1.3. Piloerecção e Interrupção da Sudação**

Outro dos mecanismos de conservação do calor é a piloerecção. Este efeito tem pouca relevância no ser humano não só devido à reduzida quantidade de pêlos que cobre a superfície cutânea, mas também porque esta se encontra normalmente coberta com vestuário (Parsons, 2003, Wheeler, 2006). Contudo, nos animais torna-se importante uma vez que introduz uma camada de ar parado com propriedades isolantes. A redução ou inibição da sudação é outro recurso disponível (McIntyre, 1980), neste caso com influência directa nas trocas de calor por evaporação.

### **5.1.4. Vasodilatação**

Quando se entra num ambiente quente, os termorreceptores verificam a diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam o hipotálamo, que inicia o processo de vasodilatação para permitir que uma maior quantidade de sangue percorra os vasos superficiais, aumentando assim a temperatura da pele e propiciando uma maior dissipação de calor por convecção e radiação. Adicionalmente poderia haver um aumento da frequência cardíaca de modo a aumentar a irrigação de sangue para a superfície do corpo. Quando as acções anteriores não são suficientes para manter o equilíbrio térmico é iniciada a produção de suor para que o corpo possa perder calor com a sua evaporação. A Figura 6 representa esquematicamente a vasodilatação.

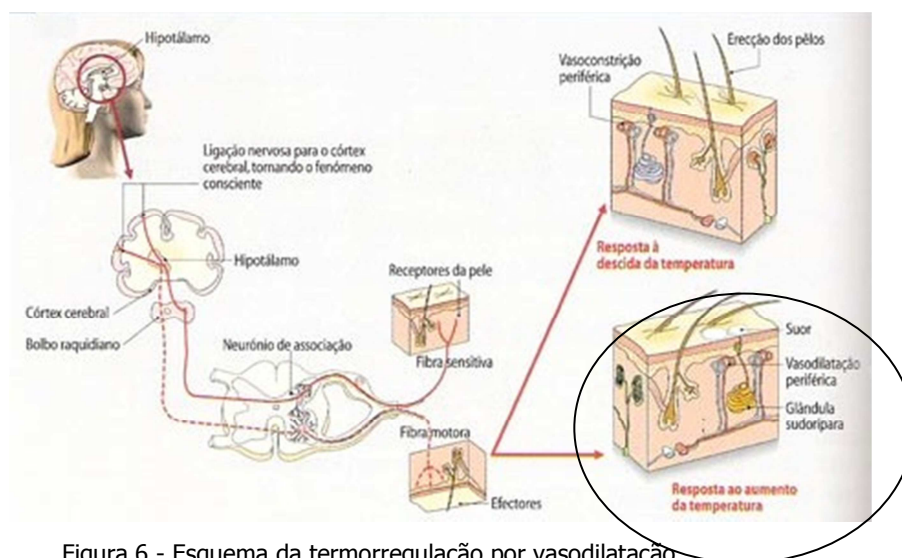


Figura 6 - Esquema da termorregulação por vasodilatação.

Fonte: <http://biotic.no.sapo.pt/images/centros.jpg>

### 5.1.5. Sudação

A actividade das glândulas sudoríparas, mediada por fibras simpáticas pós-ganglionares colinérgicas, permite a secreção e evaporação do suor, que constitui o principal mecanismo de perda de calor. Este é o principal mecanismo de perda de calor num ambiente não-húmido e pode aumentar até 2 litros por hora, ou seja, evaporar 1350W de calor por hora (Parsons, 2003). É no entanto importante salientar, que a sudação em si não garante a remoção de calor da pele, mas sim a evaporação do suor, que não depende do indivíduo, mas da humidade do ar, da qualidade e quantidade de vestuário, e da velocidade relativa do ar sobre o indivíduo (Mondelo, 1999). A sudorese excessiva em ambientes quentes por longos períodos de tempo pode ser prejudicial implicando perda de água e sais (4g por litro), que se não forem repostas podem causar danos significativos ao corpo, por diminuição da eficiência termorregulatória. Por outro lado, se o ambiente é muito húmido e o suor não evapora ou evapora pouco a pele molhada desacelera a sudorese, podendo tornar-se inútil e ser um elemento adicional de inquietação por gotejamento. Mas num ambiente que facilite a evaporação do suor, se a pele estiver molhada o rendimento evaporativo será apenas de 50%, sendo que será de 100% se estiver seca. Um indivíduo não aclimatizado pode suar 1,5 litros/h e com 10 dias de aclimatização pode elevar a sudação até 3 litros/h. Não obstante, a perda de 1 litro de água por hora corresponde a uma sudação intensa que se se prolongar por 8 horas, representa uma perda de 8 litros, quebrando o balanço hídrico do corpo humano (Guyton, 2000). A perda de 1,5 litros é suficiente para que o volume sanguíneo diminua significativamente e por conseguinte se dê o aumento da frequência cardíaca, no sentido de aumentar a densidade do sangue. Uma pessoa não aclimatizada, para além de suar menos, a sua secreção não será uniforme pelo que a eficácia evaporativa será menor. Para além disso, situações de desidratação, desequilíbrio electrolítico, medicamentos com efeito anticolinérgico diminuem a dissipação de calor, por diminuição da secreção do suor (Parsons, 2003).



## 6. SOBRECARGA TÉRMICA E TENSÃO TÉRMICA

Todo o ambiente térmico que provoque tensão no indivíduo que active os seus mecanismos naturais para manter a temperatura interna dentro do seu intervalo normal, constitui uma sobrecarga. As sobrecargas térmicas (por calor ou por frio) provocam no indivíduo tensões térmicas (por calor ou por frio). A sobrecarga térmica por calor (*Heat Stress*) é a causa que provoca no indivíduo o efeito psicofisiológico denominado tensão térmica por calor (*Heat Strain*), enquanto a sobrecarga térmica por frio (*Cold Stress*) é a causa que provoca no Homem o efeito psicofisiológico tensão por frio (*Cold Strain*) (Mondelo, 1999).

Nas condições de bem-estar ou conforto, o indivíduo encontra-se satisfeito e o seu organismo mantém o equilíbrio térmico, sem ajustes fisiológicos. As condições ditas toleráveis, levam o organismo a efectuar determinados ajustes fisiológicos para alcançar o equilíbrio térmico e manter a temperatura interna dentro dos limites adequados, o que provoca tensão térmica mais ou menos severa, devido à sobrecarga térmica existente, ao vestuário, à actividade e às restantes características individuais. Estes ajustes, inclusivamente na existência de equilíbrio térmico, poderão provocar desconforto psicológico, embora teoricamente defendam o indivíduo da agressão ambiental e não provoquem danos fisiológicos (Mondelo, 1999). Em condições críticas, seja por frio ou calor, não há equilíbrio térmico entre o ambiente e o corpo humano. Num ambiente frio a temperatura interna baixará continuamente até provocar a morte se o indivíduo permanecer exposto, acontecendo o oposto num ambiente quente, isto é, a temperatura interna aumentará até à morte do indivíduo, se este estiver exposto o tempo suficiente. A Figura 7, mostra a curva aproximada que relaciona a sobrecarga e tensão térmicas num indivíduo.

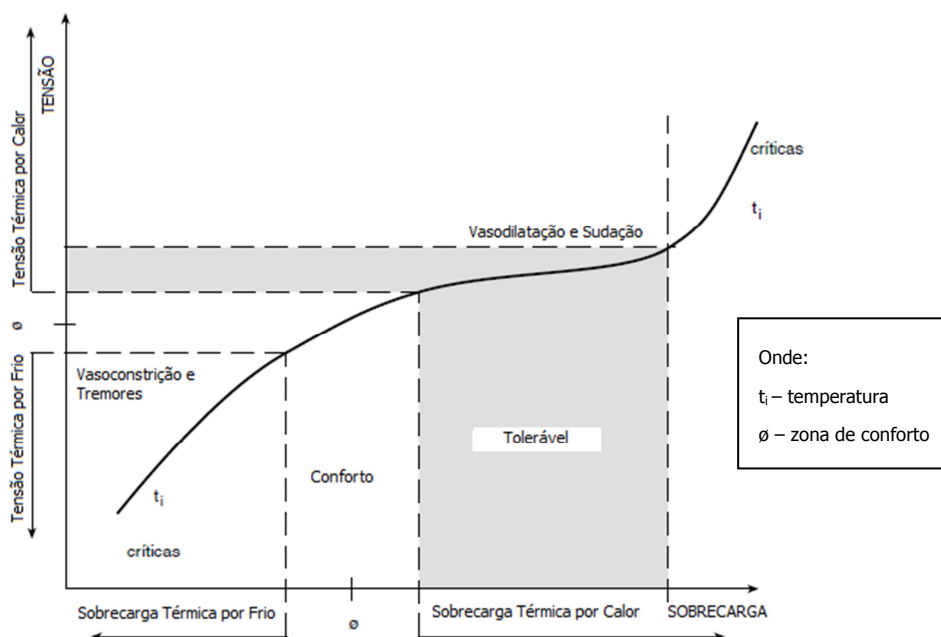


Figura 7 – Curva aproximada de um indivíduo da relação Sobrecarga e Tensão Térmicas.  
Fonte: adaptado de Mondelo, 1999.

## **6.1. Indicadores Fisiológicos de Tensão Térmica**

### **6.1.1. Temperatura Interna**

A noção de temperatura interna (*t<sub>core</sub>*) está associada a uma massa significativa de tecido humano e a órgãos distintos localizados em regiões bem diferentes do corpo, como o cérebro e o coração, pelo que é natural que a temperatura interna apresente algumas variações devido a metabolismos locais, concentração de redes vasculares e a alterações locais do fluxo sanguíneo (ISO 9886, 2004).

A temperatura interna é a temperatura de todos os tecidos localizados a uma profundidade suficientemente afastada da superfície exterior do corpo para não serem afectados pelos gradientes de temperatura que se verificam nas camadas superficiais (ISO 9886, 2004). O conceito de temperatura interna não é por isso, único, constante e uniforme.

Em condições de actividade ligeira, ambientes térmicos próximos da neutralidade e na ausência de perturbações internas que desencadeiem estados febris, considera-se como temperatura interna normal do corpo humano o valor de 37,0 °C. Reconhecem-se, no entanto, desvios em relação a este valor padrão e algumas particularidades associadas a esta grandeza.

Em termos pessoais, constata-se diferenças individuais significativas no valor padrão da temperatura interna, com oscilações registadas entre os 36 e 38 °C (Olesen, 1982). Parece também existir alguma adaptação do sistema termorregulador ao ciclo climático anual, dado que no Verão, as temperaturas do corpo são, em média, 0,2 °C inferiores no Inverno (Chamberlain et al., 1995). Em termos de população, é conhecido que as mulheres apresentam valores de temperatura ligeiramente superiores aos homens, podendo registar leituras até 0,8 °C superiores na segunda metade do ciclo menstrual (Stein, 1994).

Para a caracterização da temperatura interna do corpo, qualquer que seja a localização do ponto de medição, os valores normais da temperatura nesse ponto e os respectivos desvios devem, de forma fácil e correcta, quantificar um estado térmico normal, de arrefecimento ou de aquecimento do corpo humano (Oliveira, 2006).

Em situações de neutralidade térmica, a possível sensibilidade da temperatura nuclear a variações das condições ambientais é desprezável (Givoni, 1978), sendo normalmente considerado que, nestas condições de neutralidade térmica e actividade moderada, a temperatura nuclear não sofre alteração. Por outro lado, em condições ambientais extremas a variação da temperatura do corpo humano é um facto. Nos ambientes quentes a temperatura interna é influenciada de forma sensível pela carga térmica, devendo ter-se em atenção que valores superiores a 39,5 °C tornam o ser humano incapacitado e acima dos 42,0 °C é extremamente perigoso (Bridger, 1995). Valores superiores a 43,3 °C são letais (Guyton, 2000). Nas situações de exposição ao frio, a temperatura interna diminui sendo aceitáveis valores até 35,5 °C (Bridger, 1995; Guyton, 2000). Aos 33,0 °C iniciam-se distúrbios de ordem cardíaca, sendo extremamente perigosos valores inferiores a esse limite (Bridger, 1995). Cerca dos 29,0 °C deixa de funcionar o sistema de regulação térmica (Bridger, 1995), fixando-se o limite de sobrevivência nos 24-25 °C (Guyton, 2000). A Figura 8

mostra as diferenças da temperatura interna, relativamente à temperatura ambiente. Pode haver uma diferença de temperatura de 6 ° C entre as mãos e os órgãos centrais, sem danos ao tecido dispendio extra de energia (Wheeler, 2006).

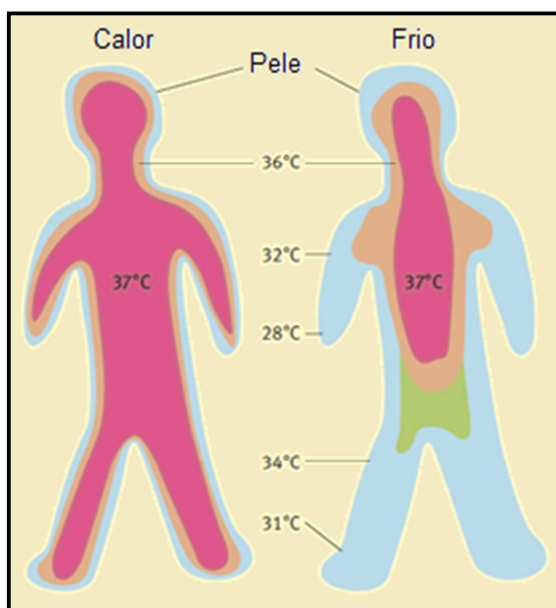


Figura 8 – Representação da temperatura interna em função da temperatura ambiente.  
Fonte: adaptada de Wheeler, 2006.

Porém, a principal dificuldade de medir a temperatura interna é que não existe um local de medição representativo, sendo que o valor das medições varia entre diferentes locais (Campbell, 2011). Num estado térmico constante todos os valores obtidos nos diferentes locais de medição, enquadram-se na gama  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  relativamente à temperatura central do sangue. A determinação da temperatura do hipotálamo ou até mesmo a temperatura do cérebro seria o ideal, mas obviamente não podem ser medidas directamente no Homem (Campbell, 2011).

Dependendo da técnica de medição utilizada, a temperatura medida pode reflectir a temperatura média da massa corporal, no entanto o objectivo será medir a temperatura do sangue que irriga o cérebro. Esta temperatura será a mais adequada para a avaliar a sobrecarga térmica a que um indivíduo está sujeito, uma vez que é a temperatura do sangue que irriga o cérebro que influencia os centros de regulação térmica localizados no hipotálamo (ISO 9886, 2004).

Consoante a localização do ponto de medição, podem ser identificados diferentes valores de temperatura interna, alguns dos quais se listam na Tabela 4.

Tabela 4 - Pontos e Métodos de Medição da Temperatura Interna.

| Local de Medição          | Designação                    | Símbolo  | Vantagens                                                                                                                                   | Desvantagens                                                                                                                                                        |
|---------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tímpano                   | Temperatura Timpânica         | $t_{ty}$ | Medição efectuada ao nível da membrana timpânica, vascularizada em parte pela artéria carótida interna, que também vasculariza o hipotálamo | Influenciável por trocas de calor locais<br>Complicações relativas à técnica de medição e de concretização da medição<br>Resultados pouco precisos                  |
| Canal Auditivo            | Temperatura do Canal Auditivo | $t_{ac}$ | Facilmente aceite pelo sujeito alvo de avaliação possuindo menor risco que a medição da $t_{ty}$                                            | Considerada como indicador da combinação das temperaturas nuclear e da pele do que da temperatura nuclear                                                           |
| Boca                      | Temperatura Oral              | $t_o$    | Fácil aplicabilidade.<br>Em certas condições é similar à $t_{es}$                                                                           | Influenciável pelas condições ambientais externas. Em certas condições pode sobrestimar $t_{es}$                                                                    |
| Esófago                   | Temperatura Esofágica         | $t_{es}$ | Considerado o método mais preciso na estimativa da temperatura interna                                                                      | Difícil aplicabilidade<br>Envolve procedimentos médicos<br>Não aplicável a situações em que o indivíduo se movimente                                                |
| Subclávio                 | Temperatura do Subclávio      | $t_{sc}$ | Comummente utilizado a nível doméstico                                                                                                      | Inapropriado para fins clínicos.<br>Tempo de estabilização elevado.<br>Temperatura 1°C superior à temperatura interna.                                              |
| Sistema Gastro-Intestinal | Temperatura Intra-Abdominal   | $t_{ab}$ | Tem ganho cada vez mais peso nos estudos de campo e em estudos envolvendo exercício.                                                        | As medições através de cápsula de telemetria podem ser afectadas por radiações electromagnéticas emitidas por outros equipamentos.                                  |
| Recto                     | Temperatura Rectal            | $t_{re}$ | Método eficaz apenas quando a acumulação de calor é lenta e o trabalho é desempenhado de forma mais ou menos uniforme por todo o corpo.     | Inapropriado em situações de exposição de curta duração ao calor.<br>Pode causar desconforto no sujeito alvo de medição.<br>Risco de perfuração rectal em crianças. |
| Vagina                    | Temperatura da Vagina         | $t_{va}$ | Não oferece maior vantagem do que por exemplo a $t_{re}$                                                                                    | Desconforto por parte da pessoa alvo de avaliação.                                                                                                                  |
| ---                       | Temperatura da Urina          | $t_{ur}$ | Bexiga considerada parte do núcleo do organismo humano                                                                                      | Medição tem que ser efectuada no momento de descarga da urina                                                                                                       |

Fonte: (Campbell, 2011; ISO 9886, 2004; Wheeler, 2006; Parsons, 2003; Byrne, 2007)

As várias técnicas disponíveis para a avaliação da temperatura interna naturalmente que diferem na facilidade de implementação e no grau de tolerância ou aceitação pelos indivíduos (Oliveira, 2006). As especificidades de ordem prática de todas elas requerem formação qualificada por parte de quem as efectua. O princípio do método, a técnica de medição e a interpretação dos resultados são, para cada caso, distintos, apresentando cada temperatura interna o seu valor característico. Não obstante, independentemente das técnicas que se utilizem, as medições só podem ser levadas a cabo quando as seguintes condições forem satisfeitas:

- o consentimento informado do indivíduo alvo de avaliação;
- a certeza de que as medições não apresentam risco para o indivíduo à luz de códigos de ética gerais ou específicos (ISO 9886, 2004).

Em estudos de avaliação de ambientes térmicos as técnicas de medição mais utilizadas são as que medem as temperaturas rectal e oral por se afigurarem praticáveis. Dada a sua especificidade, a medição da temperatura esofágica, apenas é exequível em meio hospitalar. Por outro lado, a sua adopção só poderá ter justificação em procedimentos relacionados com a investigação de índole médica.

A **temperatura da urina** dentro do corpo é representativa da temperatura interna e pode ser medida depois da excreção da urina, com uma perda insignificante de calor (Parsons, 2003). É um método que pode ser utilizado como termo de comparação ou quando a utilização de outros métodos não é aceitável.

A medição da **temperatura do canal auditivo** é um método pouco preciso e face à técnica de infravermelhos para a medição da temperatura timpânica pode actualmente ser considerado obsoleto. A medição da temperatura timpânica por ser de difícil concretização e devido à necessidade de serem controladas uma série de factores de índole técnica e prática, normalmente é posta de lado, para além de que a precisão do método é relativamente baixa por haver influência das condições ambientais exteriores, e de trocas de calor locais nomeadamente entre as superfícies cutâneas da orelha e cabeça (ISO 9886, 2004).

A medição da **temperatura oral** é comumente utilizada em contexto clínico. O sensor é colocado debaixo da língua, perto da artéria lingual. As condições externas poderão influenciar bastante a medição. Durante a mesma é conveniente que a boca se mantenha fechada alguns minutos (pelos menos 4 minutos). Em ambientes muito quentes (temperatura do ar e/ou radiante muito elevadas), poderão ter que ser tomadas algumas precauções, de modo a evitar a sobrestimação da leitura da temperatura quando o termómetro é retirado da boca. A respiração e a saliva também são factores que influenciam a eficiência da medição (Parsons, 2003).

A medição da **temperatura axilar**, apesar de ser comumente utilizada a nível doméstico no despiste de sintomas febris, e ser de fácil aplicação é tida como sendo inadequada para fins clínicos. Mede um valor que é inferior à temperatura oral e rectal, pelo que é desprovida de rigor científico. Embora, este seja um método conveniente para ser usado em idade pediátrica, não tem a mesma fiabilidade que a medição das temperaturas oral e rectal. Normalmente os valores medidos são 0,6°C inferiores à temperatura rectal (Stein, 1994).

A **temperatura vaginal** fornece indicações idênticas à temperatura rectal e não apresenta vantagens em relação a esta, pelo que é usada somente em aplicações clínicas (Parsons, 2003).

Como já foi referido, os métodos *gold-standard* para a medição da temperatura interna são a introdução de sensor no esófago no laboratório/hospital e a medição da temperatura rectal nos estudos de campo. Estes métodos são de difícil implementação no terreno, pelo que a introdução dos sensores térmicos ingeríveis (STI) veio permitir a monitorização e o registo da temperatura interna, sem as limitações técnicas dos outros métodos (Ribeiro, 2010). Assim a **temperatura intra-abdominal** é determinada através da ingestão de STI ou também designados de cápsula de telemetria. Esta é revestida de silicone, que após ser engolida percorre todo o aparelho digestivo. É calibrado individualmente no local de fabrico e tem capacidade para medir com precisão a temperatura interna durante a actividade física. O sistema viaja de modo inofensivo ao longo do aparelho digestivo, saindo naturalmente ao fim de 24 a 72 horas. A administração deste dispositivo deverá ser efectuada entre 12 e 18 horas antes do início previsto da avaliação, de forma a permitir

alguma progressão no tubo digestivo. Durante o percurso a temperatura vai variando consoante a sua localização, sendo maior nas áreas próximas dos vasos sanguíneos e junto dos órgãos com metabolismo elevado e menor nas paredes abdominais. A interpretação dos valores medidos depende do tempo decorrido desde a ingestão do sensor e da velocidade do tráfego gastrointestinal do indivíduo. Se o sensor está localizado no estômago ou duodeno, as variações de temperatura são similares às da temperatura esofágica. À medida que o sensor progride para o interior do intestino, a temperatura característica aproxima-se da temperatura rectal. A leitura e registo da temperatura intra-abdominal são conseguidos por um transmissor associado ao sensor. Deve, no entanto, ter-se o cuidado de manter a cápsula num banho de água a 37 °C antes da ingestão. O sinal é recebido por um receptor exterior portátil (ISO 9886, 2004). Este método tem sido usado na medição da temperatura interna de astronautas em missões espaciais (Parsons, 2003).

Contudo, este método pode surtir resultados enviesados, devido por exemplo, à bebida de água. Quanto mais tempo passa entre a ingestão da cápsula e da água, menor é o erro de medição já que, não só a temperatura da água se vai equilibrando com a temperatura interna, como a cápsula vai progredindo no aparelho digestivo. Wilkinson et al. (2008) concluíram que esta cápsula ingerida imediatamente antes do início da actividade física, não pode ser usada para medir com precisão a temperatura interna do corpo, durante 30 a 60 minutos e durante as 8 horas seguintes, em todos os sujeitos que tenham ingerido líquidos frios. Por outro lado, se a cápsula for ingerida 10 horas antes, os valores devolvidos por esta e os valores de temperatura rectal são semelhantes, sendo este independentes da eventual ingestão de líquidos (Wilkinson et al., 2008). (Kenefick et al., 2009), no seu estudo pretenderam avaliar o grau de concordância de duas cápsulas na medição da temperatura interna, ingeridas com intervalo de 24 horas, por soldados em ambientes quentes (38 a 46°C). Os autores concluíram que o momento da ingestão da cápsula é importante para a monitorização correcta da temperatura interna, que a medição feita cinco horas após a ingestão fornece leituras diferentes da ingestão após 29 horas. Consideram que, apesar da motilidade gastrointestinal variável, as leituras efectuadas após mais de cinco horas da ingestão da cápsula, permite leituras internas mais correctas. Parece claro que este é um método confiável e fácil de utilizar, que facilita a gestão de estudos que requeiram medições precisas da temperatura interna (McKenzie and Osgood, 2004). É um método de inegável valor em estudos de campo, em investigações cuja medição de temperatura interna tem de ser efectuada de forma contínua e em medições cujo indivíduo necessita de se movimentar livremente (Byrne and Lim, 2007).

A medição de **temperatura esofágica** (*tes*) tem vantagem sobre a temperatura rectal, já que a temperatura interna é medida num ponto mais próximo do cérebro, perto do coração e da artéria aorta, o que em termos de agressão térmica é bastante mais importante. As medições na extremidade distal do esófago dão uma indicação aproximada da temperatura cerebral, na ausência de tórax aberto, enquanto a medição nasofaríngea não deve ser utilizada por falta de fiabilidade, o mesmo acontecendo nos terços médios e superior do esófago, pois é influenciada

pelo arrefecimento ventilatório. No exercício realizado em ambiente quente, a temperatura esofágica pode permanecer mais elevada que a temperatura rectal, enquanto em ambiente frio acontece o oposto a partir de certa altura. Na impossibilidade de se medirem as temperaturas sanguínea e cerebral, a utilização da medição das temperaturas esofágica e na bexiga constituem uma alternativa adequada (Prat et al., 2009). Mas, por outro lado, a medição da temperatura esofágica tem causado desconforto pela instalação do dispositivo intra-esofágico, podendo inclusivamente ser doloroso e perigoso (Sato et al., 1996).

A temperatura esofágica é medida com o recurso a um sensor colocado na parte inferior do esófago, em contacto com a parte da frente da aurícula esquerda e a parte de trás da aorta descendente. Nesta posição o sensor pode registar variações na temperatura do sangue arterial com um tempo de resposta muito curto. Note-se que se a medição for efectuada na parte superior do esófago, o sensor pressiona a traqueia e a temperatura nesse nível é afectada pela respiração. Pelo contrário, se o sensor for colocado demasiado baixo, regista a temperatura gástrica. Por outro lado, a saliva segregada pela pessoa influencia também o valor medido, aspecto particularmente relevante em ambientes frios, pelo que a temperatura esofágica é adequada para a monitorização de valores de pico, não devendo ser considerada para estimar valores médios (ISO 9886, 2004). A *tes* é a que reflecte de forma mais precisa as variações da temperatura do fluxo sanguíneo proveniente do coração, e com toda a probabilidade, a temperatura do sangue que irriga os centros de regulação térmica no hipotálamo (ISO 9886, 2004).

A **temperatura rectal** ( $t_{re}$ ), é ainda o método *gold-standard* de medição da temperatura interna perante agressão térmica, em atletas e trabalhadores, mas geralmente é um grau inferior à medida no esófago (Ribeiro, 2010). O elemento de medição é inserido no recto a uma profundidade de pelo menos 100 mm. Uma vez que o sensor se encontra envolvido por uma grande quantidade de massa de tecido abdominal de baixa condutibilidade térmica, a temperatura é caracterizada por uma grande estabilidade. Quando um indivíduo está em repouso, a temperatura rectal apresenta o valor mais elevado das temperaturas do corpo. Se o indivíduo se encontra em actividade, a *tre* é afectada pela produção de calor nos músculos locais sendo, para iguais consumos de energia por unidade de tempo, maior quando o trabalho é executado com as pernas, do que quando é efectuado exclusivamente com os braços. A temperatura rectal fornece essencialmente uma indicação da temperatura média da massa corporal. Dada a sua inércia, é particularmente lenta para reflectir variações de temperatura no corpo (Chamberlain et al., 1995), só devendo ser considerada como um indicador da temperatura do fluxo sanguíneo e, portanto, da temperatura dos centros de regulação térmica, nos casos em que a acumulação de calor é lenta e o trabalho é desempenhado de forma mais ou menos uniforme por todo o corpo (ISO 9886, 2004). A temperatura rectal parece ser específica da população estudada, dado que se tem verificado que em repouso a temperatura rectal é superior nos residentes em climas tropicais relativamente aos residentes em climas temperados, assim como se verificou que a temperatura média durante o dia

nos vietnamitas em comparação com os japoneses, o que poderá sugerir que o termóstato esteja regulado para temperatura superior nos residentes em climas quentes (Ribeiro, 2010).

### **6.1.2. Temperatura Cutânea**

Na pele, verificam-se variações de temperatura numa gama muito mais alargada. Enquanto em ambientes térmicos quentes a temperatura cutânea tende a ser mais ou menos uniforme ao longo do corpo (Olesen, 1982), na presença de ambientes térmicos frios as variações podem ser significativas (ISO 9886, 2004). Por sua vez, em ambientes confortáveis, um indivíduo nu ou vestido com roupa ligeira apresenta também pouca variação da temperatura cutânea ao longo do corpo (McIntyre, 1980).

A temperatura da pele é um parâmetro fisiológico tido em conta pelo sistema autónomo de regulação térmica do sistema nervoso central que, embora não permita avaliar por si só a tensão térmica, constitui um critério importante de caracterização da sensação térmica do corpo humano (ISO 9886, 2004), tanto global como local. A temperatura da pele é uma grandeza que depende das trocas térmicas por condução, convecção, radiação e evaporação na sua superfície, da variação do fluxo sanguíneo e temperatura do sangue arterial que chega a uma zona particular do corpo (ISO 9886, 2004). É por isso natural que apresente uma variação ao longo da superfície do corpo, sendo mais significativa em ambientes frios. Por estas razões, deve fazer-se uma distinção entre temperatura local da pele - medida num ponto específico da superfície do corpo, representativo de uma região restrita – e temperatura média da pele, *tsk*, que não é mensurável de forma fácil e directa, mas pode ser estimada por ponderação das temperaturas medidas num conjunto de locais. Tipicamente um gradiente de cerca de 3 °C existe entre a temperatura interna e a temperatura média cutânea, sendo que esta última é mantida através de arrefecimento por evaporação (Kosaka et al., 2004).

(Gaspar, 2004), no âmbito de um estudo que envolveu a concepção de um sistema de aquecimento localizado, utilizou também uma ponderação baseada em 14 pontos de medição. As avaliações decorreram num gabinete em que a temperatura do ar oscilou entre os 16 e os 18 °C, com diferenças entre *tar* e temperatura operativa (*to*) inferiores a 0,5 °C. Com as pessoas sentadas e ocupadas em actividades de escritório sedentárias, obteve uma variação típica da temperatura média da pele entre os 31 e os 33 °C, tendo os homens e as mulheres apresentado uma evolução de *tsk* idêntica ao longo de todo o período de testes, com valores finais ligeiramente superiores no homens. Na literatura definem-se também valores para o limiar de dor. Enquanto para ambientes térmicos quentes esse limite é fixado nos 43 °C, em ambientes frios o limite inferior para a temperatura da pele é de 15°C especialmente nas extremidades, em particular nos dedos das mãos e dos pés (ISO 9886, 2004). No que diz respeito aos procedimentos de medição, a temperatura num determinado ponto da superfície do corpo pode ser avaliada à distância através de um termómetro de infravermelhos. Esta técnica, que deve ser utilizada sempre que possível, fornece-nos a temperatura média da área da pele que é interceptada pelo sensor. Em alternativa,

a temperatura da pele pode ser medida através de contacto fixando sensores na superfície. Quando a avaliação é efectuada em vários pontos, a temperatura média cutânea é calculada ponderando cada valor local através de um coeficiente relacionado com a área correspondente. Vários esquemas de ponderação têm sido propostos variando o número de pontos de medição entre 1 e 18, valor que depende do grau de precisão desejado, das condições ambientais, dos requisitos técnicos e do grau de incómodo tolerado pelo indivíduo.

Em qualquer caso, as medições devem ser levadas a cabo de forma sistemática para que os resultados possam ser comparáveis. A Figura 9 ilustra a localização dos diferentes pontos de medição, apresentando-se na Tabela 5 algumas das configurações propostas pela ISO 9886:2004.

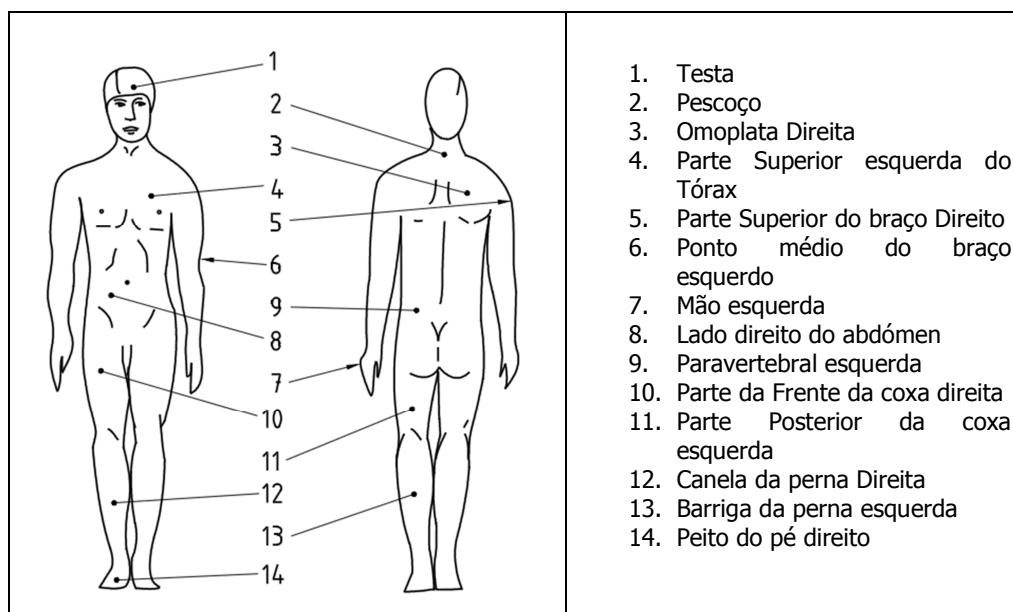


Figura 9 – Localização dos pontos para estimativa da temperatura média cutânea

Fonte: adaptado de ISO 9886, 2004

Tabela 5 – Locais de medição e respectivos coeficientes de ponderação

|    | Local                            | 4 Pontos | 8 Pontos | 14 Pontos |
|----|----------------------------------|----------|----------|-----------|
| 1  | Testa                            |          | 0,07     | 1/14      |
| 2  | Pescoço                          | 0,28     |          | 1/14      |
| 3  | Omoplata Direita                 | 0,28     | 0,175    | 1/14      |
| 4  | Parte Superior esquerda do Tórax |          | 0,175    | 1/14      |
| 5  | Parte Superior do Braço Direito  |          | 0,07     | 1/14      |
| 6  | Ponto Médio do Braço Esquerdo    |          | 0,07     | 1/14      |
| 7  | Mão Esquerda                     | 0,16     | 0,05     | 1/14      |
| 8  | Lado Direito do abdomen          |          |          | 1/14      |
| 9  | Paravertebral Esquerda           |          |          | 1/14      |
| 10 | Parte da Frente da Coxa Direita  |          | 0,19     | 1/14      |
| 11 | Parte Posterior da Coxa Esquerda |          |          | 1/14      |
| 12 | Canela da perna Direita          | 0,28     |          | 1/14      |
| 13 | Barriga da Eerna Esquerda        |          | 0,2      | 1/14      |
| 14 | Peito do Pé Direito              |          |          | 1/14      |

Fonte: adaptado de ISO 9886, 2004

A temperatura média da pele pode ser calculada através da seguinte equação:

$$\bar{t}_{sk} = \sum_i k_i t_{sk,i} ,$$

Equação 3 – Equação de cálculo da temperatura média da pele.

em que  $t_{sk}$ ,  $i$  e  $k$  representam, respectivamente, a temperatura da pele e o coeficiente de ponderação no local de medição  $i$ .

A Norma ISO 9886:2004 recomenda que, em ambientes térmicos frios e em condições próximas da neutralidade térmica, sejam adoptados esquemas com 8 ou 14 pontos. Outros métodos existem, em que são utilizados outros pontos de medição e/ou variam o número de pontos de medição.

Em condições de neutralidade térmica e ambientes frios recomenda-se a utilização de 8 ou 14 pontos de medição. Adicionalmente em ambientes muito frios, a medição da temperatura pode ser efectuada num ou mais dedos dos pés e das mãos, em ambos os lados do corpo (ISO 9886, 2004). Em ambientes térmicos quentes, excepto na presença de campos radiantes assimétricos, pode ser adoptado um esquema com apenas 4 pontos de medição. Num outro estudo, foram utilizados 15 pontos de medição, mas concluíram que o sistema baseado em 4 pontos apresenta resultados satisfatórios, pelo que é adequado para a maior parte das aplicações (McIntyre, 1980).

### 6.1.3. Frequência Cardíaca

A frequência cardíaca ( $\text{batimentos.min}^{-1}$ ) durante um intervalo de tempo  $t$  (em min) é definida como  $HR = n/t$ , onde  $n$  é o número de batimentos cardíacos durante esse intervalo de tempo. Este valor, normalmente é contado em intervalos de 1 minuto (ISO 9886, 2004).

A frequência cardíaca pode ser utilizada como índice de exposição ao calor. Com efeito, o calor provoca um aumento do débito sanguíneo e, consequentemente, da frequência cardíaca (Miguel, 2010).

O aumento da frequência cardíaca devido a alterações térmicas está directamente relacionado com o aumento da temperatura interna. O aumento da frequência cardíaca para um aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  da temperatura interna é denominada reactividade cardíaca térmica, sendo expressa por  $\text{batimentos.min}^{-1}.^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Variações individuais são muito importantes, mesmo para o mesmo indivíduo, varia de acordo com o tipo de esforço realizado, bem como da origem do stress térmico (exógena – devido ao clima ou endógena – devido essencialmente ao metabolismo). A componente térmica da frequência cardíaca é um indicador directo da tensão térmica experimentada pelo indivíduo naquele momento (ISO 9886, 2004).

O método mais simples para determinar a frequência cardíaca consiste na temporização de um pré-determinado número de batimentos cardíacos ao nível da artéria carótida. Esta técnica requer a imobilização do indivíduo e fornece uma estimativa descontínua da frequência cardíaca (ISO 9886, 2004). O erro associado a este tipo de técnica é bastante elevado, pelo que a preferência deve ser dada a técnicas como por exemplo o electrocardiograma.

#### **6.1.4. Perda de Massa Corporal**

A perda de massa corporal ( $\Delta m_g$ ) de um indivíduo durante um determinado intervalo de tempo, é a diferença entre a massa corporal medida no início e no fim desse intervalo.

A perda de massa corporal é a soma de várias componentes, sendo que no contexto da presente dissertação apenas será analisada uma das componentes: a perda de suor ( $\Delta m_{sw}$ ).

Num ambiente quente, a perda de suor pode ser considerada como um índice do esforço fisiológico de origem térmica, incluindo não só o suor que evapora na superfície da pele, mas também a fracção que goteja da superfície do corpo ou que se acumula no vestuário (ISO 9886, 2004).

A ingestão regular de pequenos volumes de água, durante o tempo de exposição, permite contrapor em 75% a perda de água. Esta percentagem pode ser assumida para o caso dos indivíduos estarem aclimatizados. Para os indivíduos não-aclimatizados, a periodicidade, o volume e a qualidade da água ingerida podem não ser adequadas, sendo aconselhável assumir que a perda de água não é de todo, compensada.

Em ambientes moderados ou frios, a perda de suor é reduzida. Contudo, pode ser comparado o valor previsto em função da taxa metabólica, no sentido de se avaliar o grau de conforto térmico (ISO 9886, 2004).

A precisão da balança utilizada para a medição da massa corporal deve ser pelo menos de 50 g.

Para medição das massa de excreções e ingestão, de ver ser utilizada uma balança mais sensível, sendo a gama de trabalho desejada de 0-5 kg com uma precisão de  $\pm 20$  g.

A pesagem deve ser realizada com o indivíduo nu, de forma a evitar ter-se em conta a componente do vestuário e a eventual acumulação de suor no vestuário (ISO 9886, 2004).

#### **6.1.5. Limites dos Indicadores Fisiológicos de Tensão Térmica**

Os valores limite recomendados foram estabelecidos tendo em consideração os riscos para a saúde estudados num indivíduo adulto, fisicamente apto, em bom estado de saúde, e a relevância das diferentes técnicas para detectar estes riscos (ISO 9886, 2004). A Tabela 6 mostra os limites recomendados pela ISO 9886:2004. Contudo, outros valores continuam hoje em dia, a ser considerados nomeadamente aqueles que a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu em 1969. Os valores que a OMS estabelece são os seguintes:

- Temperatura interna: L. Superior = 40,6 °C e L. Prático = 38 °C;
- Frequência cardíaca: L. Pontual = 160 batimentos/min e L. jornada = 110 batimentos/min.
- Volume de sudação: L. Pontual = 1,5-2 litros/hora e L. jornada = 5 litros/dia.

No que diz respeito à temperatura cutânea considera-se apropriado um limite superior de 43,2 °C e um limite prático de 42 °C (Mondelo, 1999).

Tabela 6 – Valores limite dos parâmetros fisiológicos de tensão térmica

| Indicador Fisiológico               | Ambiente Quente                                                                                                                                                                                                    | Ambiente Frio                                                                                                                 |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatura Interna                 | <b>38 °C</b> ou aumento de <b>1 °C</b> a partir da temperatura interna inicial.                                                                                                                                    | <b>36 °C</b> – apenas as temperaturas esofágica, rectal e abdominal são relevantes.                                           |
|                                     | <b>38,5 °C</b> ou aumento de <b>1,4 °C</b> a partir da temperatura interna inicial – apenas se a temperatura esofágica e a frequência cardíaca forem continuamente monitorizadas                                   | < <b>36 °C</b> – excepcionalmente se a temperatura cutânea for monitorizada continuamente e os seus limites forem respeitados |
|                                     | > <b>38,5</b> – se o indivíduo estiver aclimatado, seja supervisionado por um médico e a frequência cardíaca seja monitorizada continuamente.                                                                      |                                                                                                                               |
|                                     | ≥ <b>39 °C</b> não é recomendado.                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                               |
| Temperatura Cutânea                 | <b>43 °C</b>                                                                                                                                                                                                       | <b>15 °C</b> – especialmente na cara, dedos dos pés e mãos.                                                                   |
| Frequência Cardíaca                 | <b>33 batimentos.min<sup>-1</sup></b> – em situação de tensão térmica por parte do indivíduo                                                                                                                       | Não é parâmetro relevante em ambientes frios.                                                                                 |
|                                     | <b>20 batimentos.min<sup>-1</sup></b> – em ambiente de trabalho                                                                                                                                                    |                                                                                                                               |
|                                     | <b>Frequência Cardíaca Limite = 185-0,65 x idade</b>                                                                                                                                                               |                                                                                                                               |
|                                     | <b>Frequência Cardíaca Limite Continuada = 180-idade</b>                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |
| Perda de Massa Corporal por Sudação | Em situação cujo limite máximo de temperatura interna ( <b>39 °C</b> ) seja atingido, podem-se chegar os <b>60 batimentos. min<sup>-1</sup></b> – aplicável apenas com supervisão médica e monitorização contínua. | Não é parâmetro relevante em ambientes frios.                                                                                 |
|                                     | ≤ <b>1,0 l/h</b> – para indivíduos não-aclimatados                                                                                                                                                                 |                                                                                                                               |
|                                     | ≤ <b>1,25 l/h</b> – para indivíduos aclimatados                                                                                                                                                                    |                                                                                                                               |
|                                     | ≤ <b>5% da massa corporal</b>                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                               |

Fonte: ISO 9886:2004

### 6.1.6. Comparação de Técnicas de Medição de Indicadores Fisiológicos

No momento de se escolher a técnica a ser utilizada na medição dos diferentes indicadores fisiológicos, vários aspectos têm que ser tidos em consideração, desde o risco para saúde, a complexidade da instrumentação envolvida, a tolerância do indivíduo, a técnica de medição, a interferência nas actividades ocupacionais do indivíduo e naturalmente o custo associado. A Tabela 7 mostra a comparação entre os métodos de avaliação da sobrecarga térmica bem como a sua relevância em diferentes condições climáticas.

Tabela 7 – Comparação entre os métodos fisiológicos de avaliação da sobrecarga térmica e sua relevância em diferentes condições climáticas

| Tabela 1 - Comparação entre os métodos fisiológicos de avaliação da sobrecarga térmica e sua relevância em diferentes condições climáticas |                                   |                             |                         |                                     |                                |                                       |                                    |                        |        |        |                       |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|--------|--------|-----------------------|------------------------------|
| Indicador Fisiológico                                                                                                                      | Complexidade Instrumental (0 a 2) | Requisitos Técnicos (0 a 2) | Continuidade da Medição | Interferência na Actividade (0 a 2) | Incómodo (0 a 3)               | Perigo para a Saúde (0 a 2)           | Custo (0 a 3)                      | Relevância do Método * |        |        | Interpretação (0 a 2) |                              |
|                                                                                                                                            |                                   |                             |                         |                                     |                                |                                       |                                    | Frio                   | Neutro | Quente |                       |                              |
| Temperatura Interna                                                                                                                        | $t_{es}$                          | 2 Complexo                  | 2 Supervisão Médica     | Medição Contínua                    | 1 Moderada                     | 3 Incómodo físico moderado            | 2 Potencial por anomalia anatómica | 1 Moderado             | +      | -      | +                     | 1 Requer Conhecimento Básico |
|                                                                                                                                            | $T_{re}$                          | 1 Intermédio                | 0 Técnica Simples       | Medição Contínua                    | 0 Limitada ao tempo de medição | 2 Psicológico mas sem incómodo físico | 1 Potencial por erro técnico       | 1 Moderado             | -      | +      | +                     | 0 Directa                    |
|                                                                                                                                            | $T_{ab}$                          | 2 Complexo                  | 1 Técnico Apto          | Medição Contínua                    | 0 Limitada ao tempo de medição | 2 Psicológico mas sem incómodo físico | 2 Potencial por anomalia anatómica | 3 Alto                 | +      | -      | +                     | 1 Requer Conhecimento Básico |
|                                                                                                                                            | $t_{ty}$<br>(transdutor)          | 2 Complexo                  | 2 Supervisão Médica     | Medição Contínua                    | 1 Moderada                     | 1 Limitado                            | 2 Potencial por anomalia anatómica | 1 Moderado             | -      | +      | +                     | 1 Requer Conhecimento Básico |
|                                                                                                                                            | $T_{ty}$<br>(dispositivo IV)      | 1 Intermédio                | 1 Técnico Apto          | Medição Descontínua                 | 0 Limitada ao tempo de medição | 1 Limitado                            | 1 Potencial por erro técnico       | 1 Moderado             | -      | +      | +                     | 1 Requer Conhecimento Básico |
|                                                                                                                                            | $t_{ac}$                          | 1 Intermédio                | 1 Técnico Apto          | Medição Contínua                    | 1 Moderada                     | 2 Psicológico mas sem incómodo físico | 1 Potencial por erro técnico       | 1 Moderado             | -      | +      | +                     | 1 Requer Conhecimento Básico |
|                                                                                                                                            | $T_{ur}$                          | 1 Intermédio                | 0 Técnica Simples       | Medição Descontínua                 | 0 Limitada ao tempo de medição | 2 Psicológico mas sem incómodo físico | 0 Sem Perigo                       | 0 Baixo                | -      | +      | +                     | 0 Directa                    |
| Frequência Cardíaca                                                                                                                        | $HR_{Pulso}$                      | 0 Simples                   | 0 Técnica Simples       | Medição Contínua                    | 0 Limitada ao tempo de medição | 0 Ligeiro                             | 0 Sem Perigo                       | 0 Baixo                | -      | -      | +                     | 2 Requer Especialista        |
|                                                                                                                                            | $HR_{Taxa}$                       | 1 Intermédio                | 0 Técnica Simples       | Medição Contínua                    | 0 Limitada ao tempo de medição | 0 Ligeiro                             | 0 Sem Perigo                       | 1 Moderado             |        |        |                       |                              |
|                                                                                                                                            | $HR_{ECG}$                        | 2 Complexo                  | 1 Técnico Apto          | Medição Contínua                    | 1 Moderada                     | 1 Limitado                            | 0 Sem Perigo                       | 2 Médio a Alto         |        |        |                       |                              |
| Temperatura Cutânea                                                                                                                        | $T_{sk: \text{Contacto}}$         | 1 Intermédio                | 1Técnico Apto           | Medição Contínua                    | 1 Moderada                     | 1 Limitado                            | 0 Sem Perigo                       | 2 Médio a Alto         | +      | +      | +                     | 2 Requer Especialista        |
|                                                                                                                                            | $T_{sk: \text{Sem contacto}}$     | 2 Complexo                  |                         | Medição Descontínua                 | 0 Limitada ao tempo de medição | 0 Ligeiro                             | 0 Sem Perigo                       | 3 Alto                 |        |        |                       |                              |
| Perda de Massa Corporal                                                                                                                    | $Perda \text{ de Suor}$           | 1 Intermédio                | 0 Técnica Simples       | Medição Descontínua                 | 1 Moderada                     | 1 Limitado                            | 0 Sem Perigo                       | 1 Moderado             | -      | +      | +                     | 1 Requer Conhecimento Básico |

Fonte: adaptado de ISO 9886:2004

\* Legenda: (+): Relevante; (-): Irrelevante



## 7. ÍNDICES DE STRESS TÉRMICO POR FRIO E POR CALOR

Quando se pretende estudar o impacto do ambiente térmico no ser humano, os parâmetros determinantes são normalmente ponderados sob a forma de índices empíricos simples, para uma qualificação média, ou mais elaborados quando se impõe uma quantificação mais cuidada. Na bibliografia científica da especialidade são sugeridos vários métodos de caracterização dos ambientes térmicos (quentes, moderados ou frios), podendo encontrar-se em Parsons (2003) uma revisão das metodologias com maior significado para a avaliação do conforto térmico e do stress térmico devido ao calor e ao frio.

A forma mais rigorosa para avaliar a exposição a stress térmico seria a determinação de indicadores fisiológicos. No entanto face aos constrangimentos que este tipo de determinações acarreta, torna-se compreensível a adopção de uma estratégia preventiva com base em índices de stress térmico. Vários índices têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de se apresentarem como uma alternativa viável e fidedigna à medição de indicadores fisiológicos, objectivando serem representativos da tensão fisiológica.

### 7.1. Índices de Stress por Calor

A Tabela 8 apresenta um resumo dos índices mais utilizados para representarem situação de stress térmico por calor.

Tabela 8 – Índices de Stress Térmico por calor e respectiva classificação.

| Índice                                       | Designação                              | Classificação | Autor                  | Descrição                                                                                                                             |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WBGT – <i>Wet Bulb Globe Temperature</i>     | Índice de temperatura húmida e de globo | Directo       | Yaglou e Minard, 1957  | Baseado na temperatura de globo e de bolbo húmido. Serve de base à norma ISO 7243:1989. Índice mais utilizado em ambientes quentes    |
| WGT – <i>Wet Globe Temperature</i>           | Índice de temperatura de globo húmida   | Directo       | Olesen, 1985           | Baseado na temperatura de globo húmida. Em certas condições pode ser relacionado com o WBGT                                           |
| WD – Oxford Index                            | Índice de Oxford                        | Directo       | Linde et al, 1957      | Baseia-se na temperatura de bolbo húmido e de bolbo seco. Não é apropriado quando existe calor radiante.                              |
| P4SR – <i>Predicted Four-Hour Sweat Rate</i> | Taxa de suor estimada para 4 Horas      | Empírico      | McArdle et al 1947     | Com base na avaliação de respostas fisiológicas de indivíduos aclimatizados, num período de 4 horas sob determinada condição térmica. |
| HRP – <i>Heat Rate Prediction</i>            | Taxa Cardíaca Prevista                  | Empírico      | Fuller e Brouha, 1966  | Índice simples que se baseia na estimativa da taxa cardíaca em batimentos/min                                                         |
| Swreq – <i>Required Sweat Rate</i>           | Índice de Sudação Requerida             | Racional      | Vogt et al (1981)      | Baseado na taxa de suor requerida, a partir do HSI e do ITS. Serviu de base para a norma ISO 7933:1989                                |
| PHS – <i>Predicted Heat Strain</i>           | Sobrecarga Térmica Prevista             | Racional      | Malchaire et al (1989) | Consiste numa versão revista e melhorada do SWreq. Serve de base para a versão actual da ISO 7933                                     |
| HSI – <i>Heat Stress Index</i>               | Índice de stress térmico por calor      | Racional      | Belding e Hatch, 1955  | Baseia-se na comparação da evaporação requerida para manter o equilíbrio térmico com com a                                            |

| Índice                                       | Designação                               | Classificação | Autor                     | Descrição                                                                                           |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                                          |               |                           | evaporação máxima que pode ser atingido no ambiente                                                 |
| ITS – <i>Index of Thermal Stress</i>         | Índice de Stress Térmico                 | Racional      | Givoni, 1963.             | Versão melhorada do HSI.                                                                            |
| ET – <i>Effective Temperature</i>            | Índice de Temperatura Efectiva           | Empírico      | Yagoglou e Houghton, 1923 | Inicialmente considerado como Índice de conforto térmico. Actualmente raramente é utilizado.        |
| CET – <i>Corrected Effective Temperature</i> | Índice de Temperatura Efectiva Corrigida | Empírico      | Bedford, 1946             | Surge da substituição da temperatura de bolbo seco, pela temperatura de globo nos nomogramas do ET. |

Fonte: (Mondelo, 1999); (Parsons, 2003); (Miguel, 2010); (ISO 7933, 2004)

Devido à consistência e maior ou menor aceitação dos índices citados, dois merecem maior destaque, pois são referências normativas para a avaliação e determinação de stress térmico. São eles o índice WBGT e o índice PHS. O primeiro é talvez o mais utilizado em ambiente industrial, mas o segundo é tido como o mais rigoroso. Assim, o procedimento comum é aplicar o índice PHS quando o índice WBGT excede o valor limite de referência. Não obstante, em ambientes extremamente quentes poder-se-á ainda efectuar medições de indicadores fisiológicos.

### 7.1.1. Índice WBGT

O stress por calor é dependente da produção interna de calor do corpo pela actividade física, e das características ambientais do local do trabalho que permitam a troca de calor entre o corpo e a atmosfera. Assim sendo, o stress térmico depende da carga térmica do organismo e de características ambientais.

A carga térmica interna do organismo, é o resultado da produção da energia metabólica causada pela actividade. As características ambientais são as referentes à temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade absoluta do ar. A influência destas características ambientais básicas, podem ser estimadas através de medições de parâmetros ambientais derivados, os quais são funções das características físicas do ambiente considerado. O índice WBGT, é determinado pelo conhecimento de dois parâmetros ambientais derivados, a temperatura do bolbo húmido ventilado naturalmente (tbh) e a temperatura de globo (tg). Em algumas avaliações, onde se tenha a presença da radiação solar, é necessário também o conhecimento da temperatura do ar (tar).

O WBGT pode então ser calculado, de acordo com as seguintes expressões:

- Ambientes internos ou externos sem radiação directa do sol:

$$\text{WBGT} = 0,7.tbh + 0,3.tg$$

Equação 4 – Equação para cálculo do WBGT sem radiação solar.

- Ambientes externos com radiação solar directa:

$$\text{WBGT} = 0,7.tbh + 0,2.tg + 0,1.tar$$

Equação 5 - Equação para cálculo do WBGT com radiação solar.

Os cálculos dos valores médios levam em conta as variações espaciais e temporais dos parâmetros considerados. Os dados recolhidos e calculados são então comparados com valores de referência existentes. Caso os valores encontrados estejam fora dos limites recomendados, deve-se:

- Reduzir directamente o índice no local do trabalho, através de métodos apropriados;
- Executar análises mais detalhadas de stress térmico, utilizando outros métodos, que embora sejam mais elaborados, são mais complexos e de difícil aplicação na prática.

Os valores de referência citados correspondem aos níveis de exposição que, sob determinadas condições especificadas e tabeladas, qualquer pessoa possa ficar exposta, sem qualquer prejuízo à sua saúde, exceptuando-se os casos onde se verifiquem a ocorrência de condições patológicas pré-existent. Esses níveis ou valores de referência devem contudo respeitar outros limites que possam ser fixados por outras importantes razões, como alterações psicossensoriais, as quais podem causar acidentes de trabalho.

### **Medição das características ambientais**

As características ambientais, bem como as características dos instrumentos de medição utilizados para tal, devem seguir os pressupostos da ISO 7726:1998.

#### **➤ Medições dos parâmetros (tbh e tg)**

A temperatura de bolbo húmido (tbh), é a temperatura fornecida por um sensor de temperatura coberto por um pavio molhado, o qual é ventilado naturalmente.

A temperatura de globo (tg) é a temperatura indicada por um sensor de temperatura localizada no centro de um globo. O sensor de temperatura do ar deve possuir um dispositivo de protecção contra a radiação, que não impeça a circulação do ar em seu redor.

### **Medição ou estimativa da taxa metabólica**

Como a quantidade de calor produzida pelo organismo é um dos elementos de avaliação de stress térmico, é essencial a sua determinação. A taxa metabólica pode ser determinada pelo consumo de oxigénio do trabalhador ou pela estimativa da taxa através de tabelas de referência, em função da actividade (ISO 8996, 2004).

Para a avaliação de stress térmico pelo índice WBGT, a utilização das tabelas padronizadas é suficiente. Na ausência de tabelas de referência mais precisas, a classificação das actividades

podem ser feitas em 5 classes principais, que são: descanso, baixa taxa metabólica, moderada taxa metabólica, alta taxa metabólica e taxa metabólica muito alta. A Tabela 9 apresenta essa classificação, e os valores apresentados são referentes a execução de actividades contínuas.

Tabela 9 – Classificação dos níveis de taxa metabólica

| Classe                                | Faixas e taxas metabólicas, M                   |                                              | Valores a serem utilizados para taxa metabólica média |     | Exemplos                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | Relativos à unidade de área da pele ( $W/m^2$ ) | Relativo a uma área de pele de $1,8 m^2$ (W) | $W/m^2$                                               | W   |                                                                                                                                            |
| <b>0</b> (Descanso)                   | $M \leq 65$                                     | $M \leq 117$                                 | 65                                                    | 117 | Descanso ou repouso                                                                                                                        |
| <b>1</b> (Baixa taxa Metabólica)      | $65 < M \leq 130$                               | $117 < M \leq 234$                           | 100                                                   | 180 | Sentado: leve actividade manual, trabalho com mãos e braços ou braços e pernas;<br>De pé: em bancadas, leve, caminhando levemente 3,5 km/h |
| <b>2</b> (Moderada Taxa Metabólica)   | $130 < M \leq 200$                              | $234 < M \leq 360$                           | 165                                                   | 297 | De pé: moderado trabalho de mãos e braços ou braços e pernas, caminhar de 3,5-5,5 km/h                                                     |
| <b>3</b> (Alta Taxa Metabólica)       | $200 < M \leq 260$                              | $360 < M \leq 468$                           | 230                                                   | 414 | Trabalho intenso de braços e tronco. Caminhar de 5,5-7 km/h, puxar e empurrar cargas                                                       |
| <b>4</b> (Muito Alta Taxa metabólica) | $M > 260$                                       | $M > 468$                                    | 290                                                   | 522 | Actividade muito intensa. Correr e caminhar a mais de 7 km/h                                                                               |

Fonte: tabela 1 da ISO 7243:1989.

## Valores de referência

Os valores de referência para o WBGT, em função da actividade desempenhada, encontram-se na Tabela 10.

Caso esses valores sejam excedidos, deve-se:

- Ou reduzir directamente o stress por calor no posto de trabalho, através de métodos apropriados, como controle do ambiente, do nível de actividade, do tempo de permanência no ambiente ou utilizando-se protecção individual;
- Ou executar outras análises mais detalhadas de stress por calor, de acordo com métodos mais sofisticados, a fim de se verificar com maior confiabilidade a existência ou não da situação de stress.

Os valores constantes da Tabela 10, supõem um indivíduo vestido normalmente ( $I_{cl}=0,6$  clo), apto para o desempenho das actividades e de boa saúde. Se o vestuário utilizado não estiver de acordo com o descrito acima, os valores de referência podem ser alterados, levando-se em conta as propriedades especiais do vestuário e do ambiente analisado. Caso a determinação da actividade

não seja possível com precisão, recomenda-se utilizar a de taxa metabólica mais alta, e se necessário utilizar a de classe 4.

Tabela 10 – Valores de referência, em função da actividade desempenhada.

| Classe de taxa metabólica | Taxa Metabólica                          |                | Valores de Referência de WBGT       |                               |                                         |                               |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
|                           | Relativa a unid area (W/m <sup>2</sup> ) | Taxa Total (W) | Pessoas aclimatizadas ao calor (°C) |                               | Pessoas não aclimatizadas ao calor (°C) |                               |
| 0                         | M≤65                                     | M≤117          | 33                                  |                               | 32                                      |                               |
| 1                         | 65<M≤130                                 | 117<M≤234      | 30                                  |                               | 29                                      |                               |
| 2                         | 130<M≤200                                | 234<M≤360      | 28                                  |                               | 26                                      |                               |
| 3                         | 200<M≤260                                | 360<M≤468      | Sem mov. de ar sensível<br>25       | Com mov. de ar sensível<br>26 | Sem mov. de ar sensível<br>22           | Com mov. de ar sensível<br>23 |
| 4                         | M>260                                    | M>468          | 23                                  |                               | 18                                      |                               |

Fonte: Tab. A.1 da (ISO 7243, 1989)

A Figura 10 fornece alguns valores de referência estabelecidos para ciclos de trabalho/descanso. O gráfico da figura foi elaborado considerando-se que o local de descanso apresenta um índice de WBGT igual ou muito próximo do WBGT do posto de trabalho. Devido à capacidade de adaptação fisiológica do organismo, uma pessoa que se encontra aclimatada com as condições ambientais, apresenta menos tensões ou disfunções fisiológicas do que uma pessoa que não se encontra aclimatada. Essa aclimação pode ser efectuada artificialmente, através de exposições controladas em câmaras climatizadas ou naturalmente, aumentando-se gradativamente a exposição do indivíduo ao posto de trabalho, até que as suas reacções sejam similares às dos trabalhadores aclimatados. O aumento de duração do trabalho, de situação de não aclimação para aclimação, deve ser feito gradualmente, num período superior a 7 dias.

Por aclimação entende-se um estado resultante de um processo de adaptação fisiológica que aumenta a tolerância do indivíduo quando é exposto a um dado ambiente por um período suficientemente longo. Em comparação com um indivíduo não aclimatizado, um indivíduo aclimatizado apresenta menores alterações fisiológicas sob a mesma carga térmica.

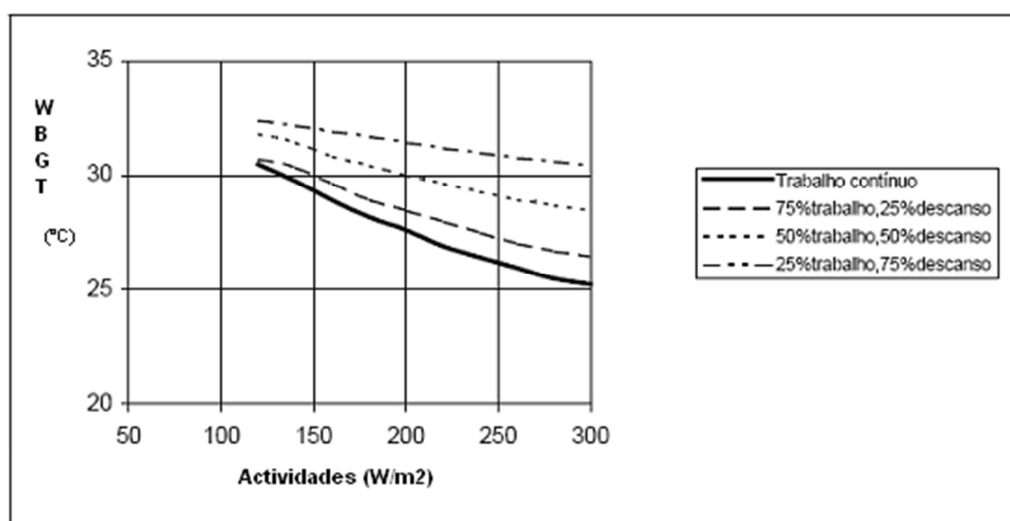


Figura 10 – Curvas de valores de referência WBGT, para vários ciclos de trabalho descanso.

Fonte: Adaptado de figura B.1 da ISO 7243:1989

## 7.2. Índices de Stress por Frio

A exposição ao frio em trabalho desenvolvido no exterior é um perigo em vários locais do mundo, em particular durante o Inverno, estando também presente em diversos tipos de actividades desenvolvidas no interior, como por exemplo a indústria de processamento de alimentos, entre outras (Holmer, 2009). Na Tabela 11 apresentam-se os métodos propostos pela comunidade científica para caracterizar as várias formas de arrefecimento. Se para o arrefecimento global do corpo e arrefecimento pelo vento os métodos actuais são consensuais, para outras formas de stress térmico os modelos existentes ainda apresentam limitações em termos de relevância e validação (Oliveira, 2006). Por este motivo, neste ponto desenvolvem-se apenas as metodologias de avaliação estabelecidas, nomeadamente o índice do Isolamento Térmico do Vestuário Requerido, *IREQ* (para o arrefecimento global do corpo) e o índice de Arrefecimento pelo Vento, *WCI* (para o arrefecimento pelo vento).

Tabela 11 – Métodos de Avaliação da Exposição ao frio

|                         |                               |                                        | Método de Avaliação da Exposição ao frio                  |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Tipos de Stress Térmico | Arrefecimento Global do Corpo |                                        | Isolamento Térmico do Vestuário Requerido ( <i>IREQ</i> ) |
|                         | Arrefecimento Local           | Arrefecimento das Extremidades         | Modelos de Previsão do Arrefecimento das Mãos             |
|                         |                               | Arrefecimento pelo Vento               | Índice de Arrefecimento pelo Vento ( <i>WCI</i> )         |
|                         |                               | Arrefecimento por Contacto             | Modelos e Equações de Previsão da Temperatura Cutânea     |
|                         |                               | Arrefecimento do Aparelho Respiratório | Determinação da temperatura do Ar e Metabolismo           |

Fonte: adaptado de (Holmér, 2000b).

### 7.2.1. Índice do Isolamento Térmico do Vestuário Requerido - *IREQ*

A investigação até agora levada a efeito sobre a temática da exposição ao frio tem si orientada preferencialmente para o campo militar, actividades de expedição e para condições de trabalho em ambientes exteriores (Parsons, 2003).

Holmér (1984), baseando-se na equação de balanço térmico do ser humano, desenvolveu um modelo de troca de calor para a avaliação do stress térmico associado à exposição a ambientes frios. Integrando os parâmetros climáticos mais representativos, a temperatura de bolbo seco ( $t_{ar}$ ), a temperatura média radiante ( $t_r$ ), a velocidade do ar ( $v_a$ ) e a humidade relativa ( $H_r$ ) e os parâmetros individuais do isolamento térmico do vestuário ( $I_{cl}$ ) e metabolismo ( $M$ ), o modelo permite a determinação do isolamento térmico do vestuário requerido (*IREQ*) para a manutenção do balanço térmico.

O índice *IREQ* aplica-se a situações de exposição contínua, intermitente ou ocasional, tanto em ambientes interiores como exteriores. Sugere-se que o stress térmico seja avaliado em termos do

arrefecimento global do corpo humano e do arrefecimento local de partes específicas do corpo (extremidades e face, p.e.), através de dois critérios especificados de tensão fisiológica: neutro e mínimo. Assim, os isolamentos térmicos  $IREQ_{neutro}$  e  $IREQ_{mínimo}$  são definidos da seguinte forma:

- $IREQ_{neutro}$  - define o isolamento térmico do vestuário requerido para a manutenção do equilíbrio térmico do ser humano a um nível normal da temperatura média do corpo. Este nível corresponde a um arrefecimento nulo ou mínimo do corpo humano, sendo caracterizado por um estado de neutralidade térmica, em que o indivíduo exprime satisfação com o ambiente térmico (ISO 11079, 2007).
- $IREQ_{mínimo}$  - define o isolamento térmico do vestuário requerido para a manutenção do equilíbrio térmico do ser humano a uma temperatura média cutânea de 30°C. É caracterizado por uma vasoconstrição periférica e ausência de regulação por transpiração (humedecimento cutâneo,  $w = 0,06$ ), coincidindo com uma sensação subjectiva de "ligeiramente frio" (ISO 11079, 2007). Este critério representa o valor mais elevado admissível para o arrefecimento do corpo sendo facilmente tolerado durante exposições prolongadas.

Convém notar que neste modelo não é tido em conta a forma como o vestuário se encontra distribuído pelo corpo. Desta forma, a sua utilização deve ter ser acompanhada de cuidados específicos, nomeadamente a prevenção do arrefecimento das partes periféricas do corpo (Gavhed and Holmér, 1998).

Quando o valor resultante do isolamento térmico do vestuário seleccionado ( $I_{cl}$ ) é inferior ao isolamento térmico requerido  $IREQ$ , o período de exposição tem de ser limitado para prevenir o arrefecimento progressivo do corpo. Assim, admitindo como aceitável alguma carga térmica do corpo,  $S$ , define-se a duração limite de exposição ao frio ( $DLE$ ) como o período máximo de exposição recomendado com o vestuário disponível ou seleccionado.

Calcula-se por

$$DLE = \frac{Q_{lim}}{S},$$

Equação 6 – Equação para cálculo da duração limite de exposição ao frio ( $DLE$ ).

onde  $Q_{lim}$  é o valor limite do calor perdido pelo corpo durante o período de exposição e  $S$  a carga térmica, que pode ser calculada recorrendo à expressão do balanço térmico.

A duração limite de exposição pode ser determinada para os dois níveis de tensão especificados (critérios mínimo e neutro), correspondendo ao nível mais elevado de tensão fisiológica ( $IREQ_{mínimo}$ ) a duração limite de exposição mais prolongada. Em qualquer caso, a  $DLE$  traduz o

tempo necessário para perder 40 Wh/m<sup>2</sup> (ISO 11079, 2007), redução que equivale a uma descida da temperatura média cutânea de 3°C, devida principalmente à vasoconstrição periférica, e a nenhuma alteração da temperatura interna.

Esta condição corresponde a uma sensação térmica subjectiva de frio ou ligeiramente frio, não se conhecendo efeitos adversos para a saúde associados a este nível (Holmér, 2000b). Após a exposição ao ambiente frio, ao colaborador deve ser permitido um período de recuperação para restabelecer o balanço térmico. O tempo de recuperação ( $RT$ ) calcula-se da mesma forma que  $DLE$ , substituindo as “condições de frio” pelas condições de exposição durante a fase de recuperação. Ou seja,  $RT = Q_{lim}/S'$ , onde  $S'$  é a taxa de armazenamento de calor (positiva), calculada para as condições de exposição durante o período de recuperação.

Uma vez que é suposto a recuperação ter início quando o corpo alcança uma certa perda de calor, o valor de  $Q_{lim}$  deve ser o mesmo quando se calcula  $RT$ .

A avaliação final da severidade do ambiente térmico através do índice  $IREQ$  apoia-se nos valores médios ponderados dos diferentes parâmetros registados e do metabolismo ao longo do período de registo em função do tempo e/ou tarefas que o operário desempenha no intervalo de tempo analisado, e a interpretação é baseada na comparação entre o valor de  $IREQ$  e o valor resultante do isolamento térmico do vestuário ( $I_{cl}$ ), podendo resultar num dos seguintes três cenários:

**$I_{cl} < IREQ_{mínimo}$**  – O conjunto de vestuário seleccionado não proporciona o adequado isolamento para prevenir o arrefecimento do corpo.

**$IREQ_{mínimo} \leq I_{cl} \leq IREQ_{neutro}$**  – O conjunto de vestuário seleccionado proporciona um isolamento suficiente. O nível de tensão fisiológica é aceitável e a sensação térmica subjectiva pode ser classificada como ligeiramente fria ou neutra.

**$I_{cl} > IREQ_{neutro}$**  – O conjunto de vestuário seleccionado proporciona um isolamento mais do que suficiente. Excesso de isolamento pode aumentar o risco de sobreaquecimento, transpiração excessiva e absorção pelo vestuário de vapor de água. Nestas condições aumenta o risco de aparecimento de hipotermia progressiva.

Assim, o conceito do isolamento térmico mínimo deve ser sublinhado no contexto da exposição a ambientes térmicos frios. É preferível um indivíduo recorrer a peças suplementares quando sente frio, do que reduzir o isolamento térmico, dispensando vestuário, quando este já se encontra humedecido devido à absorção de vapor de água resultante da transpiração. Deste modo, o intervalo  $IREQ_{mínimo} \leq I_{cl} \leq IREQ_{neutro}$  representa a zona de regulação do vestuário, onde cada indivíduo pode facilmente ajustar-se ao nível de protecção adequado. Para tal, devem evitar-se conjuntos fixos e fechados com valores de isolamento maximizados, optando-se por soluções optimizadas constituídas por peças de vestuário flexíveis e ajustáveis.

### 7.2.2. Índice de Arrefecimento pelo Vento - WCI

O índice de Arrefecimento pelo Vento, *WCI*, é um índice empírico e constitui um meio de caracterizar a severidade climática ao permitir avaliar a influência de parâmetros climáticos sobre o desempenho de actividades humanas. Em ambientes frios, predominam a temperatura do ar, *tar*, e a velocidade do vento, *var*. Assim, os efeitos adversos da sua acção combinada são avaliados pelo *WCI*, traduzido em desconforto e/ou perigo para o ser humano.

Originalmente desenvolvido na Antárctica por Siple e Passel (1945), a partir de medições da taxa de arrefecimento de reservatórios de plástico cilíndricos parcialmente cheios com água, este índice descreve a taxa de calor perdida por radiação e convecção em função da temperatura do ar e da velocidade do vento, admitindo uma temperatura superficial do cilindro de 33°C. Este valor foi escolhido como sendo representativo da temperatura média cutânea de um indivíduo em repouso num ambiente confortável. Contabilizando o tempo que demorava a congelar 250 g de água contidos em cilindros de plástico com 57 mm de diâmetro, para diferentes combinações dos dois parâmetros climáticos (*tar* e *var*) e relacionando os dados obtidos com a taxa de perda de calor da pele exposta a essas condições, Siple e Passel propuseram a seguinte expressão, actualmente incluída na Norma ISO 11079 (2007).

$$WCI = 1,16 \times (10,45 + 10\sqrt{v_{ar}} - v_{ar}) \times (33 - t_a),$$

Equação 7 – Equação para cálculo do WCI.

sendo *WCI* expresso em W/m<sup>2</sup> e *var* a velocidade relativa do vento [m/s].

A expressão é parabólica em *var*, ou seja, a perda de calor pela pele exposta atingirá o valor máximo quando a velocidade do vento for igual a 25 m/s, voltando a diminuir com o aumento da velocidade do vento. Assim, considera-se que este método sobrestima o arrefecimento da pele exposta na presença de velocidades do vento reduzidas e moderadas, e subestima-o para velocidades elevadas. Apesar disso, o *WCI* expressa de forma fidedigna o efeito combinado da temperatura e do vento no desconforto subjectivo em ambientes frios, especialmente para velocidades do vento inferiores ao valor atrás mencionado.

Uma série de objecções válidas tem sido feita a esta formulação como índice de previsão do calor perdido por uma pessoa vestida. Baseando-se em Gagge *et al.* (1941) que admitiram uma temperatura cutânea de 33 °C quando 85 % da pele está protegida por vestuário adequado, Siple e Passel assumiram este valor para a pele exposta (Makinen et al., 2000). No entanto, a temperatura da pele não protegida é normalmente inferior, pelo que Steadman (1971) propôs uma alteração ao índice original, considerando como aceitável para condições de conforto no exterior, uma temperatura cutânea das mãos, pés e face de 30 °C (Makinen et al., 2000). Estes dois métodos apresentam assim uma restrição comum importante, sendo válidos apenas para superfície

cutânea descoberta, não se aplicando a partes do corpo cobertas por vestuário. Na verdade, Burton e Edholm (1955) indicam que, em indivíduos vestidos, a perda de calor numa exposição ao vento é inferior à obtida a partir da expressão baseada nos 33 °C, atribuindo o sucesso da aplicação do *WCI* ao facto da tolerância à exposição ao vento ser largamente determinada pelas partes desprotegidas e não por prever de forma adequada a perda de calor (Makinen et al., 2000).

Mais tarde, Steadman (1984) reformulou a sua equação para permitir o cálculo da temperatura da pele descoberta, usando uma temperatura profunda do corpo de 37 °C e condições ambientais típicas. No entanto, devido a respostas incertas da temperatura cutânea à vasoconstrição, este autor não recomenda o cálculo da temperatura cutânea de superfícies descobertas em ambientes com temperaturas inferiores a 0 °C.

Segundo Kaufman e Bothe (1986), mesmo para velocidades do vento reduzidas, o efeito do vento num indivíduo vestido é de tal modo complexo que os índices de arrefecimento pelo vento existentes não podem ser aplicados. Concluíram também que o calor perdido por diferentes partes do corpo protegidas com vestuário dotado de revestimentos específicos para protecção do vento, não sofrerá um incremento significativo com o aumento da velocidade do vento. No entanto, estes resultados foram obtidos com medições em cilindros, podendo não ser aconselhável a extrapolação para o ser humano (Makinen et al., 2000).

Parsons (2003) considera o índice de arrefecimento pelo vento como um bom indicador do arrefecimento local das mãos, pés, face e pele exposta, em contraposição com o índice *IREQ* que é visto como um índice de stress térmico devido ao frio para o corpo todo.

Na prática, o *WCI* não é muito utilizado, sendo comum convertê-lo numa temperatura equivalente de arrefecimento pelo vento, *t<sub>ch</sub>*, representativa do desconforto relativo devido a temperaturas baixas combinadas com o vento. Deste modo, a *t<sub>ch</sub>* traduz a temperatura para uma situação de calma à qual a perda de calor seria a mesma que a da exposição da pele a uma determinada combinação de temperatura do ar e velocidade do vento. Os valores apresentados na Tabela 12 exprimem, através de *t<sub>ch</sub>*, o potencial de arrefecimento do vento em função da temperatura do ar. A *t<sub>ch</sub>* pode ser calculada pela seguinte equação:

$$t_{ch} = 33 - \frac{WCI}{25,5}.$$

Equação 8 – Equação de cálculo da temperature de arrefecimento pelo vento (*t<sub>ch</sub>*)

Tabela 12 – Temperatura equivalente de arrefecimento pelo vento, *tch*.

| Velocidade<br>do vento<br>(m/s) | Tar (°C)        |       |     |     |     |                                                |     |     |     |     |     |     |      |
|---------------------------------|-----------------|-------|-----|-----|-----|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|                                 | 10              | 5     | 0   | -5  | -10 | -15                                            | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | -45 | -50  |
| 1,8                             | 10              | 5     | 0   | -5  | -10 | -15                                            | -20 | -25 | -30 | -35 | -40 | -45 | -50  |
| 2                               | 9,4             | 4,2   | -1  | -6  | -11 | -16                                            | -21 | -27 | -32 | -37 | -42 | -47 | -52  |
| 3                               | 7,1             | 1,4   | -4  | -10 | -15 | -21                                            | -27 | -32 | -38 | -44 | -49 | -55 | -60  |
| 5                               | 3,9             | -2,4  | -9  | -15 | -21 | -28                                            | -34 | -40 | -47 | -53 | -59 | -66 | -72  |
| 8                               | 0,9             | -6,1  | -13 | -20 | -27 | -34                                            | -41 | -48 | -55 | -62 | -69 | -76 | -83  |
| 11                              | -1,1            | -8,5  | -16 | -23 | -31 | -38                                            | -46 | -53 | -60 | -68 | -75 | -83 | -90  |
| 15                              | -2,8            | -10,5 | -18 | -26 | -34 | -42                                            | -49 | -57 | -65 | -73 | -80 | -88 | -96  |
| 20                              | -3,8            | -11,8 | -20 | -28 | -36 | -44                                            | -52 | -60 | -68 | -76 | -84 | -92 | -100 |
|                                 | Perigo Reduzido |       |     |     |     | Perigo Crescente $WCI \geq 1600 \text{ W/m}^2$ |     |     |     |     |     |     |      |

Fonte: adaptado de ISO 11079, 2007



## 8. FACTORES CONDICIONANTES DA TOLERÂNCIA A AMBIENTES TÉRMICOS EXTREMOS

Não é fácil determinar os efeitos da exposição ao calor ou ao frio, porque alguns factores são difíceis de identificar e avaliar (Mondelo, 1999). Em estudos com grupos de pessoas expostas a condições de sobrecarga térmica, as reacções podem ser variadas e podem resultar em respostas completamente diferentes. Esta situação tanto pode ocorrer devido a diferenças fisiológicas individuais (sexo, condição física, aclimação, idade, constituição corporal, entre outros), mas também a factores mais subtis como o estado físico, que pode variar num curto espaço de tempo por diversas causas. É também influenciado por factores ambientais como factores físicos (o ambiente térmico – temperatura e radiação, humidade, velocidade do ar; ruído, iluminação, vibrações, radiações), químicos (compostos orgânicos voláteis), biológicos (microrganismos que podem levar ao desenvolvimento de doenças), podem também influenciar a tolerabilidade humana a ambientes térmicos desfavoráveis.

Não obstante, factores de origem ocupacional, como dimensões e características estruturais do espaço, carga de trabalho, desenho ergonómico, equipamentos utilizados, entre outros podem ser de facto influenciadores da resistência humana ao calor ou ao frio.

Naturalmente, estes factores não são estanques, interagem entre si, podendo criar condições mais ou menos desfavoráveis ao indivíduo exposto. O Homem sendo um ser biopsicossocial não pode ser dissociado das suas componentes. Nesse sentido a análise da tolerância humana a ambientes térmicos severos, só faz sentido abordada num cenário de integração como mostra a Figura 11.

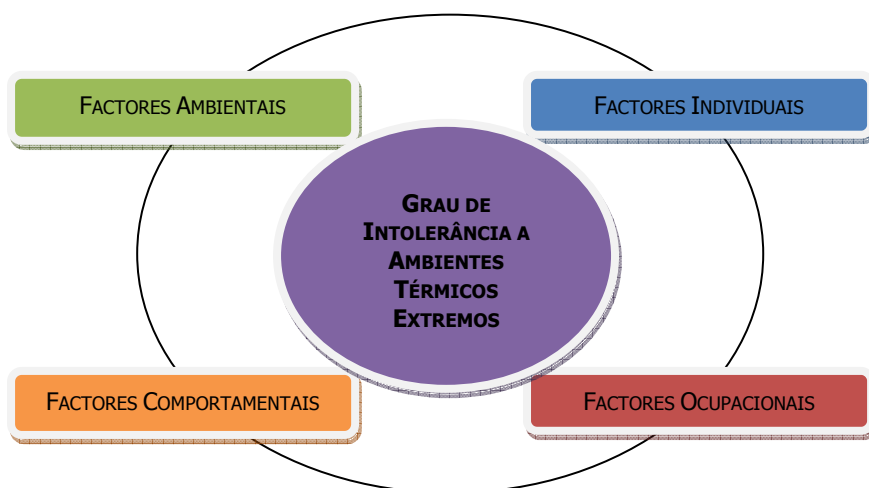


Figura 11 – Factores que influenciam a tolerabilidade térmica.

## **8.1. Factores Individuais**

### **8.1.1. Idade**

A idade também de si gera alguma controvérsia. Os primeiros artigos e experiências datam de 1972 e relacionam-se com o trabalho (Guedes, 2011). Alguns estudos baseados em relações estatísticas mostram que a idade está fortemente relacionada com a tolerância ao calor (Havenith et al., 1998, Havenith, 2005), no entanto outros estudos defendem que estas diferenças podem ser explicadas devido a outros parâmetros que não o envelhecimento: como a pré-existência de doenças crónicas, ou tendência para aumentar a quantidade de gordura com a idade, perda de capacidade física (Pandolf, 1991, Pandolf, 1997). Algumas experiências mostram que a variação da tolerância ao calor em idades avançadas tem menos expressão quando não há influência de doenças crónicas, adiposidade e de uma performance física reduzida (Wenger, 2002). Ainda assim, a evidência sugere que a resposta termorreguladora e a tolerância a ambientes, fora do conforto térmico, se alteram com a idade (Inoue and Shibasaki, 1996). Embora exista alguma controvérsia relativamente à importância deste factor, o corpo humano sofre alterações com a idade, a qual, juntamente com outros factores, potencia a diminuição da tolerância a ambientes quentes e frios. As crianças e os idosos são mais susceptíveis a alterações patológicas, quando expostas, quer a ambientais quentes, quer a ambientes frios. Em ambientes quentes, as respostas térmicas das crianças são quantitativamente diferentes das dos jovens adultos. Para um mesmo ambiente, a evaporação de suor e a temperatura da pele são inferiores às dos adultos. Além disso, apresentam um rácio de área de superfície por volume corporal duas a três vezes superior ao dos adultos, resultando numa maior perda de suor. Aceita-se que as crianças não podem tolerar ambientes quentes como os adultos, apresentando um elevado risco de exaustão pelo calor e instabilidade cardiovascular (Astrand, 2003, Çinar and Filiz, 2006). As crianças, apesar de conseguirem aumentar 100 a 200% a produção de calor metabólico, sem tremores, em relação a uma situação de repouso, apresentam um rácio de área de superfície por volume corporal, duas a três vezes superior ao dos adultos, constituindo uma desvantagem na exposição ao frio (Frisancho, 1995). Pelo facto de terem uma prega adiposa (gordura subcutânea) pequena e a vasoconstrição não ser muito efectiva, apresentam maior perda de calor do que os adultos. Por esta razão, se a taxa metabólica do bebé for baixa, a temperatura ambiente deve ser mais elevada (32 a 34°C) do que para os adultos (Çinar and Filiz, 2006). Têm também menor taxa de sudação por glândula sudorípara, menor reposta de frequência cardíaca, menos volume de plasma sanguíneo, geram mais calor metabólico e aliado ao facto de possuírem um rácio de superfície corporal por massa superior aos adultos resulta numa maior perda relativa de fluido (Dougherty, 2008). A outra faixa etária que apresenta alterações fisiológicas passíveis de potenciar o desenvolvimento de patologias é a dos idosos. São descritas alterações como, uma transpiração mais tardia, diminuição linear do fluxo sanguíneo e da circulação à superfície da pele (Inoue and Shibasaki, 1996, Kenney, 2001), alteração da função cardíaca (menor aumento da frequência cardíaca numa situação de calor, diminuição do débito cardíaco máximo), menor redistribuição do fluxo sanguíneo das vísceras,

recuperação mais lenta após aumento de temperatura, menor condutância do calor (Inoue and Shibasaki, 1996). As alterações vasculares parecem preceder a alteração da função das glândulas sudoríparas e começam normalmente a estabelecer-se nos membros inferiores, passando depois para os membros superiores e para a cabeça (Inoue and Shibasaki, 1996, Astrand, 2003). Genericamente estabelecem-se como grupo de maior risco indivíduos com idades superiores aos 65 anos, sendo a idade acima dos 75 anos considerada o factor crítico. Também indivíduos com idade compreendida entre 0-14 anos são apontados como grupo de risco. A Figura 12 resume as principais capacidades fisiológicas que são afectadas com a idade.

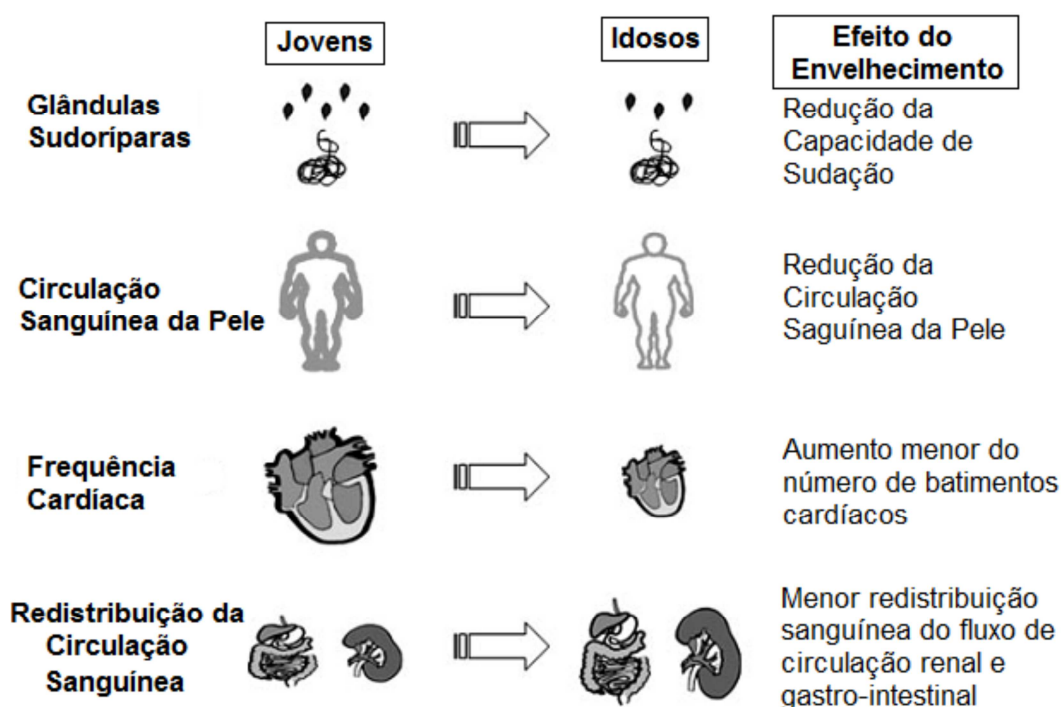


Figura 12 – Alteração das capacidades de termorregulação com a idade.  
Fonte: (Kenney and Munce, 2003).

### 8.1.2. Género

Tal como a idade, a variável género foi inicialmente estudada isoladamente, sem ter em conta algumas interferências, sobretudo na década de 1980, em que os estudos sugeriam que as mulheres eram menos tolerantes a ambientes térmicos, fora da zona de conforto. Uma das razões apresentadas relaciona-se com a composição e tamanho do corpo. As mulheres são geralmente mais pequenas, ou seja, apresentam menos massa, e a composição corporal tem, regra geral, maior teor de gordura (McLellan, 1998). Mais recentemente, quando se começaram a controlar algumas variáveis, nomeadamente a intensidade de exercício, verificou-se que as diferenças eram inferiores às reportadas anteriormente (Plowman, 2003).

A variável género tem de ser compreendida em conjunto com outras variáveis pois, por si só, apenas apresenta alguma interferência na fase folicular do ciclo menstrual. A mulher apresenta, no entanto, um maior risco relativo e absoluto de morte aquando de eventos térmicos extremos. São apontadas algumas diferenças fisiológicas, mas também sociais (Kovats and Hajat, 2008).

Em ambientes quentes, o homem parece apresentar um melhor funcionamento das glândulas sudoríparas, sendo que, a activação máxima das mesmas requer um maior aumento da temperatura ou da intensidade da taxa metabólica nas mulheres. O facto de os homens transpirem mais cedo, e melhor, ajuda a dissipar calor. Diminui, no entanto, o volume sanguíneo, pelo que, se não houver uma hidratação correcta, pode não ser uma vantagem em ambientes quentes (Plowman, 2003, Inoue et al., 2010).

Por outro lado, o ciclo menstrual feminino influencia a reacção do corpo na fase folicular, diminuindo a tolerância ao calor (Cheung et al., 2000). A resposta termorregulatória varia ao longo do ciclo menstrual, sendo que na fase lútea (14º ao 21º dia do ciclo menstrual) apresenta uma temperatura interna superior à da fase folicular, levando a uma activação mais lenta e menos eficaz dos mecanismos compensatórios do aumento de temperatura (Plowman, 2003).

Seria de esperar que a mulher apresentasse uma temperatura mais estável, em ambientes frios, do que a do homem, pois normalmente apresenta uma maior camada adiposa. Mas como, normalmente, a mulher apresenta um menor peso corporal, o rácio área de superfície por volume corporal é mais elevado, perdendo mais calor. Apresenta, também, uma menor capacidade de produção de calor devido ao baixo peso. Estas diferenças verificam-se sobretudo em repouso, uma vez que em exercício as diferenças tendem a anular-se (Frisancho, 1995).

### **8.1.3. Capacidade Aeróbia**

A capacidade aeróbia é descrita como um factor de vantagem na tolerância ao calor (Guedes, 2011). Indivíduos que possuam treino apresentam já cerca de 50% das adaptações necessárias na resposta ao calor (diminuição da frequência cardíaca, vantagem de circulação cardiovascular, aumento da taxa de sudação e diminuição do teor salino) (Pandolf, 1979). Está descrito que a capacidade máxima de consumo de oxigénio ( $VO_{2max}$ ) por unidade de peso (capacidade aeróbia), durante o trabalho máximo, é a medida da capacidade individual de trabalho, dado que reflecte a capacidade de os músculos utilizarem o oxigénio e a capacidade do sistema cardiovascular transportar o oxigénio até aos tecidos. A taxa de consumo de oxigénio aumenta linearmente com a intensidade de exercício (Astrand, 2003).

O treino aeróbio melhora a termorregulação e a tolerância ao calor. O treino de *endurance* resulta numa temperatura interna de repouso mais baixa, maior volume de plasma, transpiração mais precoce e menor diminuição do volume de plasma durante o exercício. As pessoas com elevada capacidade aeróbia têm uma melhor resposta do sistema cardiovascular à exigência associada ao exercício em ambientes quentes, diminuindo também o tempo de aclimação necessário (Plowman and Smith, 2003). O treino melhora a transpiração, para o mesmo nível de temperatura

interna (devido ao aumento da sensibilidade das glândulas sudoríparas), aumentando a dissipação de calor. Os indivíduos bem adaptados ao exercício têm melhores respostas em situações de *stress* devido ao frio do que indivíduos não treinados (Frisancho, 1995). Indivíduos com melhor performance física apresentam uma sensibilidade tecidual aumentada à acção vascular e metabólica da noradrenalina. Apresentam também uma maior reserva de catecolaminas, o que permite uma melhor adaptação a condições que exijam a sua libertação para a manutenção da homeostase, nomeadamente em ambientes frios (Astrand, 2003).

#### **8.1.4. Adiposidade**

A gordura subcutânea é considerada o isolamento térmico natural mais importante do Homem, uma vez que o tecido adiposo não é muito vascularizado e a condutividade térmica é muito inferior à do músculo (Parsons, 2003).

Contrariamente ao tecido magro que aquece facilmente e arrefece, o tecido adiposo produz o efeito contrário, o que faz com que a sua quantidade afecte directamente a capacidade do corpo produzir e reter calor. Assim, quantidade, distribuição e localização de tecido adiposo influenciam a transferência interna de calor e a sua dissipação (McLellan and Selkirk, 2001). Como consequência deste facto, a troca de calor com o ambiente é inferior, contribuindo para uma menor diminuição da temperatura interna em ambientes frios. Assim, as pessoas com maior prega subcutânea apresentam tremores com menor intensidade e frequência, quando sujeitas a imersão em água muito fria (Frisancho, 1995). Em ambientes quentes, a gordura cutânea terá exactamente o efeito contrário, pois impossibilitará a perda de calor para o exterior, aumentando a temperatura interna e diminuindo a tolerância (Havenith et al., 1998). Assim, indivíduos com maior volume corporal estão em desvantagem em ambientes quentes, mas em vantagem em ambientes frios. Deve-se essencialmente ao facto da produção de calor de um corpo ser proporcional ao seu volume e da dissipação do mesmo ser proporcional à sua superfície (Mondelo, 1999).

#### **8.1.5. Patologias**

Teoricamente, qualquer condição de saúde que provoque uma alteração em qualquer mecanismo do sistema termorregulador, aumenta o risco das consequências por exposição ao *stress* térmico (Kovats and Hajat, 2008). Estudos epidemiológicos mostram que pessoas com depressão, patologias cardiovasculares e cerebrovasculares e diabetes, necessitam de cuidados especiais, sobretudo em ambientes quentes. Os mecanismos associados não estão ainda muito bem descritos. No entanto, sabe-se que estas condições favorecem a desidratação, aumentando a viscosidade sanguínea, e outras alterações fisiológicas.

Pessoas com hipertensão apresentam alterações na termorregulação, não só pelas alterações da circulação periférica, mas também pelo aumento do trabalho cardíaco em relação a pessoas normo-tensas. Este factor conduz a uma reduzida capacidade de transporte de calor do corpo para a pele e aumenta o risco de sobreaquecimento (Ribeiro et al., 2004).

### 8.1.6. Medicação e Estupefacientes

A medicação, assim como os estupefacientes, dirigida para o sistema cardiovascular, sistema nervoso central ou sistema músculo-esquelético, poderá influenciar as respostas a ambientes térmicos fora do conforto térmico, uma vez que alteram o funcionamento de partes do sistema termorregulador, sobretudo os que provocam vasodilatação/vasoconstrição e/ou alteram a função cardíaca. Por exemplo, os anticolinérgicos interferem com a transpiração e os diuréticos podem causar desidratação, por diminuição de volume de plasma (OSHS, 1997). Todo o trabalhador medicado deve ser sujeito a supervisão médica (NIOSH, 1986).

O álcool é frequentemente associado à ocorrência de heat stroke. A sua ingestão antes ou durante o trabalho em ambientes quentes, reduz a tolerância ao calor e aumenta o risco de aparecimento de patologias associadas ao calor (NIOSH, 1986).

As substâncias que podem influenciar a termorregulação encontram-se apresentadas na tabela 7.

Tabela 13 - Lista de substâncias que potenciam a intolerância térmica.

| <b>Substâncias que podem condicionar os indivíduos em ambientes quentes</b> | <b>Substâncias que podem condicionar os indivíduos em ambientes frios</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Álcool                                                                      | Álcool                                                                    |
| Antidepressivos (ex. tricíclicos)                                           | Antidepressivos (ex. tricíclicos)                                         |
| Hipnóticos (ex. barbitúricos)                                               | Tranquilizantes (ex. benzodiazepinas)                                     |
| Psicotrópicos                                                               | Cannabis                                                                  |
| Canabis                                                                     | Morfina                                                                   |
| Morfina                                                                     | Anestésicos                                                               |
| Anfetaminas                                                                 | Agentes bloqueadores dos gânglios simpáticos                              |
| Anestésicos                                                                 | Organofosfatos                                                            |
| Cocaína                                                                     | Insulina                                                                  |
| Anticolinérgicos (ex.atropina)                                              | Hipnóticos                                                                |

Fonte: OSHS, 1997.

### 8.1.7. Alimentação e Hidratação

Este factor tem sobretudo influência em ambientes quentes, pois o risco de desidratação é superior e a tolerância ao calor depende, em grande parte, do estado de hidratação e da qualidade da alimentação do ser humano. A desidratação leva a um menor volume de plasma sanguíneo, que tem como consequência o aumento da viscosidade sanguínea, a diminuição do retorno venoso e do débito cardíaco (Astrand, 2003).

Quando a temperatura ambiente ultrapassa a temperatura corporal, o calor não pode ser dissipado por convecção. A possibilidade de perda de calor por evaporação é normalmente diminuída em ambientes húmidos. Nestas condições, a hidratação assume um papel fundamental na manutenção da homeotermia, repondo o défice hídrico causado pela perda de suor. As perdas de sais e minerais são aumentadas em ambientes quentes, devido à maior perda de suor, sendo necessário suplemento de minerais e sal (Miguel, 2010, Sawka et al., 2007). No entanto a rehidratação através do consumo de líquidos, sobretudo açucarados, pode funcionar no sentido de ajudar a hidratar rapidamente ou degenerar em patologia em que devido ao processo de osmose (o

equilíbrio de concentrações salinas dentro e fora do meio celular) ocorre hiponatremia (défice do teor salino no meio celular) e esta por sua vez leva à produção de hormonas que funcionam no sentido de reter líquidos e prolongar o problema que pode atingir casos gravíssimos. Não obstante, em ambientes frios é possível a ocorrência de desidratação. Os factores que contribuem para esse facto incluem a perda de líquidos pela respiração ou pelo suor, quando é utilizado vestuário excessivo, sobretudo durante uma actividade intensa. A desidratação pode também ocorrer devido a uma menor ingestão de líquidos, propiciada pelas temperaturas baixas (Sawka et al., 2007).

#### **8.1.8. Etnia**

As diferenças étnicas no que concerne à exposição ao calor são subtis, não havendo evidência que a cor da pele tenha efeitos importantes na absorção de radiações infra-vermelhas (Mondelo, 1999). Por outro lado, quando indivíduos nórdicos se expõem pela primeira vez ao calor, o seu organismo sofre até que se dê a aclimação, pelo que as diferenças étnicas se devem sobretudo a problemas de aclimação (Mondelo, 1999).

Todavia, não há qualquer evidência de que os indivíduos de pele clara possuam diferentes respostas fisiológicas à perda de calor, o que lhes daria vantagem quando expostos a situações extremas. Esta circunstância, combinada com o facto de se reconhecer uma grande diversidade étnica na mortalidade, leva a crer que as maiores taxas de mortalidade associadas aos indivíduos não-brancos estejam relacionadas não com a etnia, mas com factores sociais e ambientais (Kenny et al., 2011).

As etnias de pele escura que teoricamente devem absorver mais radiações infra-vermelhas, aparentemente sofreram uma maior preparação para estarem expostos a climas quentes, devido à evolução, estando a sua pele mais preparada para enfrentar as radiações ultravioletas, provenientes do sol (Mondelo, 1999).

Nas etnias de pele clara, a pele exposta durante largos períodos ao sol, modifica a sua cor, escurecendo progressivamente mediante a produção de melanina, com a finalidade de se proteger contra os raios ultravioletas. Este provavelmente terá sido o mecanismo que determinou a cor da pele que o Homem haveria de ter, de acordo com o local onde se desenvolvesse e vivesse. Este facto também é evidenciável, por exemplo, pelo tipo de cabelo africano, que ao que tudo indica está preparado para diminuir a incidência de raios solares sobre a cabeça (Mondelo, 1999).

#### **8.1.9. Vestuário**

O vestuário, utilizado pelo ser humano, interfere com a capacidade do organismo de perder calor para o ambiente, formando uma fronteira de transição entre ambos que diminui ou incrementa os efeitos do ambiente térmico sobre o indivíduo (Mondelo, 1999).

O vestuário exerce uma espécie de barreira protectora perante o calor radiante e limita o contacto da pele com o ar frio formando uma camada de ar quente (aquecido pelo corpo) entre o ar frio e a pele, limitando a velocidade do ar sobre a mesma. Apesar disso em ambientes quentes, a

necessidade de utilização de vestuário depende do tipo de calor. Numa situação de ambiente quente e seco, o vestuário constitui uma barreira protectora contra a radiação, sendo o seu uso uma condição essencial para evitar a desidratação por excessiva evaporação do suor, uma vez que o ar seco absorve o suor em grandes quantidades e de forma rápida (Mondelo, 1999). Em ambientes quentes e húmidos, onde o ar possui uma grande carga de humidade o vestuário dificulta a evaporação do suor, devendo o vestuário ser ligeiro.

Em situações de exercício, a utilização de uma camada de roupa leve, clara, feita de material absorvente para facilitar a evaporação do suor permitirá uma melhor termorregulação, ao contrário do material impermeável (AAP, 2000).

A utilização de vestuário em excesso ou equipamentos de protecção individual, podem ser a principal causa de *stress* por calor, mesmo que o ambiente não seja quente. Por outro lado, um isolamento insuficiente poderá resultar em lesões devido ao frio. Alguns empregadores não facultam aos trabalhadores a possibilidade de adaptarem o seu vestuário aos factores individuais e à actividade realizada (Parsons, 2003).

#### **8.1.10. Aclimação**

Quando indivíduos estão sistematicamente expostos a ambientes quentes, durante alguns dias, as suas respostas fisiológicas ao calor alteram-se, suando mais cedo e em maior quantidade a determinado estímulo térmico. Designa-se por aclimatização quando é induzida em ambiente natural e aclimação quando é conduzida em laboratório (Parsons, 2002).

Ambas têm os mesmos objectivos e ocorrem perante a exposição ao calor de modo a aumentar o metabolismo basal, diferindo apenas no contexto em que ocorrem (Ribeiro, 2010). Permite aumentar a tolerância do indivíduo quando é exposto a um dado ambiente por um período suficientemente longo. Em comparação com um indivíduo não aclimatizado, um indivíduo aclimatizado apresenta menores alterações fisiológicas sob a mesma carga térmica.

A aclimação ao frio desenvolve-se do mesmo modo que em ambientes quentes, e, após o período de adaptação, o indivíduo tolera melhor o frio e os seus efeitos são atenuados. Um organismo aclimatizado/aclimatado sofre imensas alterações que vão desde os sinais mais clássicos (diminuição do batimento cardíaco, aumento da taxa de sudção durante exercício e até baixar o valor da temperatura interna), às alterações fisiológicas mais complexas (como capacidade de manter elevado nível de sudção, de diminuir o teor de minerais no suor, redistribuir a sudção do tronco para os membros, aumentar a quantidade de água no organismo e redistribuí-la de modo diferente, transformações metabólicas e endócrinas entre outras alterações pouco estudadas) (Wenger, 2002). Todavia, para uma aclimatização integral são necessárias até 3 semanas de actividade física contínua em condições similares de sobrecarga térmica (ACGIH, 2011). A perda de aclimatização inicia-se quando a actividade nas condições de sobrecarga térmica é descontinuada, e principalmente quando o indivíduo fica pelo menos 4 dias afastado da exposição (ACGIH, 2011).

No entanto, segundo o plano de aclimatização para trabalhadores industriais (NIOSH, 1986) a aclimatização dos trabalhadores por um período de 6 dias é efectuada da seguinte forma:

- 1º dia – 50% do total;
- Aumento diário de 10%;
- 6º dia – 100% de exposição total.

Os trabalhadores aclimatizados que regressem ao trabalho após 9 ou mais dias de férias ou mais de 4 dias de ausência, serão submetidos a uma aclimação de 4 dias, num processo idêntico ao anterior, mas com incrementos por dia até alcançar os 100% no 4º dia (NIOSH, 1986). No caso dos bombeiros deverão ser simulados incêndios, para que este se familiarize com o forte calor e fumos.

A manutenção da aclimatização pode ser posta em causa, se se trabalhar ou estiver exposto 3 a 4 vezes por semana, dado que uma menor frequência ou exposição passiva ao calor terá um efeito muito mais débil e pode reduzir gradualmente a tolerância ao calor (Mondelo, 1999). Em todo o caso o fim-de-semana não parece ter efeitos sobre a aclimatização. A interrupção durante 2 a 3 semanas faz com que o indivíduo deixe de estar aclimatado, embora possa manter-se naqueles que habitem em zonas quentes ou realizem exercício físico regular (Mondelo, 1999). Há que salientar que a aclimatização natural obtida ao longo de várias semanas pode proporcionar maior tolerância fisiológica do que a aclimatização obtida durante alguns dias (Sawka et al., 2001).

## 8.2. Factores Comportamentais

A termorregulação comportamental ou termo-comportamento é uma acção coordenada para estabelecer uma condição óptima para a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente (Schlader et al., 2009). Dependendo da circunstância inclui situações que impliquem perdas ou ganhos de calor. Os mecanismos fisiológicos de termorregulação têm uma capacidade limitada, enquanto as respostas comportamentais são virtualmente ilimitadas (Schlader et al., 2009).

Em repouso o papel sugerido do comportamento visa manter o equilíbrio de calor e evitar a activação de energia e / ou perda de água através de respostas fisiológicas como por exemplo a sudorese. Exemplos de tal comportamento incluem (mas não estão limitados) a mudança de posição do corpo, o ajuste do termostato numa sala, ou a adição / remoção de vestuário (Schlader et al., 2010). A Figura 13 representa uma situação de repouso, quando há liberdade total para o termo-comportamento. A alteração da temperatura cutânea resulta na manutenção comportamental do balanço térmico, para que os ganhos de calor (+) igualem as perdas (-).

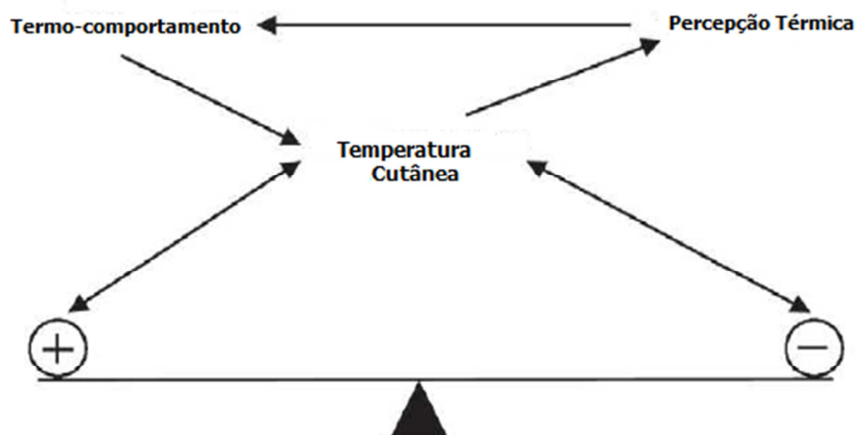


Figura 13 – Termo-Comportamento em repouso.  
Fonte: adaptado de Schlader, 2010

Durante o exercício, a produção de calor metabólico é elevada acima dos níveis basais e a regulação da temperatura requer a activação de respostas autónomas de perda de calor que ocorrem independentemente do início do termo-comportamento. No entanto, durante o exercício em ambiente quente, as respostas termo-comportamentais, tais como a alteração da intensidade do exercício, são importantes para manter a regulação da temperatura, permitindo a conclusão de um determinado exercício (Marino, 2004).

A Figura 14 mostra uma situação durante exercício no calor, onde o seu ganho é inevitável dado que a produção de calor metabólico supera a capacidade de perda de calor. No entanto, a regulação da temperatura provoca ajustes comportamentais na capacidade de trabalho (ou seja, na produção de calor metabólico), que são sinalizadas pela temperatura da pele, e resultam numa taxa controlada de ganho de calor que permite a conclusão do exercício. Alterações na percepção térmica, predominantemente devido a elevada temperatura cutânea, medeiam um decréscimo na produção de calor metabólico de maneira a manter a percepção de esforço, independente da temperatura ambiente. Daí se conclui que a temperatura cutânea é o principal *input* das respostas termo-comportamentais (Schlader et al., 2010).

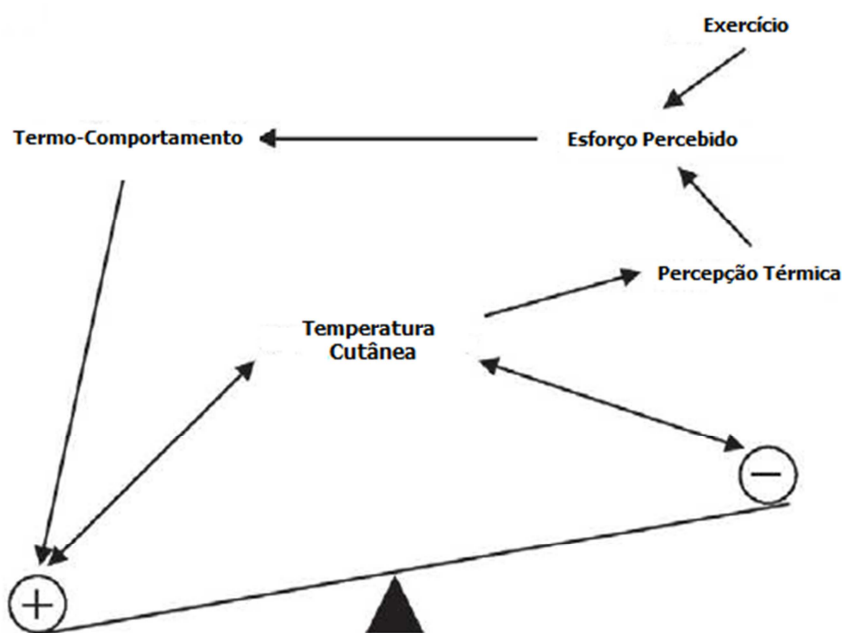


Figura 14 - Termo-Comportamento em exercício.  
Fonte: adaptado de Schlader, 2010

### 8.3. Factores Ambientais

Apesar dos ambientes serem avaliados em termos dos efeitos de cada uma dos seus componentes, na prática os ocupantes estão expostos à sua globalidade (Parsons, 2000). Cada indivíduo está exposto a um ambiente complexo e a sua análise deve ser efectuada com o máximo de parâmetros possíveis, atendendo a critérios de relevância relativa. A metodologia de avaliação actualmente seguida de forma generalizada, procura analisar o ambiente agente a agente e parte do princípio que sendo cumprido cada requisito de conforto ou limite de exposição o ambiente se pode considerar seguro. Ora esta é uma premissa cada vez menos verdadeira. Num ambiente ocupacional todos os agentes independentemente da sua natureza etiológica, afectam os ocupantes no seu conjunto e não separadamente. A qualidade do ar e os efeitos dos gases sobre a saúde são directamente dependentes de parâmetros do ambiente térmico.

O ambiente térmico, factor central na abordagem em questão, tem uma relação estreita com os restantes factores de risco ambientais, uma vez que a proliferação e contaminação dos restantes agentes (químicos e biológicos) são em grande parte determinadas pelas variáveis temperatura e humidade, não apenas numa abordagem de climas interiores, como também de climas exteriores (Luber and Hess, 2007). Contudo, há que fazer uma distinção entre ambientes quentes e secos e ambientes quentes e húmidos. A desidratação é a principal preocupação de um ambiente seco, contudo com uma boa aclimatização, um plano de hidratação adequado com reposição de minerais consegue-se um bom desempenho físico e boa tolerância. No caso de ambientes quentes e húmidos, a termorregulação e adaptação não se desenvolve nem se adapta da mesma forma. Ambientes húmidos impedem a perda de calor por sudção que é uma das principais formas de

perda de calor em ambientes quentes. Em suma, as exigências do organismo em climas quentes e húmidos são maior que em climas com ambiente seco.

Apesar de estar em desenvolvimento uma norma que estuda e prevê os efeitos combinados dos componentes ambientais na saúde humana, conforto e desempenho (Parsons, 2003), esta ainda não foi publicada e ainda existe pouca informação sobre esta matéria. Existe uma grande lacuna devido à dificuldade de ensaios e multiplicidade de combinações de variáveis. Há no entanto grande valor prático e teórico em saber como factores físicos (ruído, ambiente térmico e níveis de iluminação) podem combinar ou interagir na produção de efeitos na performance cognitiva (Hygge and Knez, 2001).

## **8.4. Factores Ocupacionais**

O ambiente ocupacional é composto por um conjunto de factores de natureza etiológica variada, sendo no fundo produto da contribuição desses factores. A temperatura interna do corpo tende a aumentar com posturas fisicamente mais exigentes, situação que se tende a agravar com o aumento da temperatura ambiente. Assim, factores como o esforço físico necessário para executar as tarefas, a utilização de fato de trabalho e equipamentos de protecção desconfortáveis, a inexistência de aclimatização gradual e questões ergonómicas como o desenho ergonómico, dimensões do espaço, posturas e a movimentação manual de cargas podem influenciar o grau de tolerância a temperaturas extremas. Aliás, o ar frio influencia a posição da cabeça, provavelmente devido à adaptação da respiração. Posturas que aumentem o contacto com superfícies tendem a diminuir a dissipação de calor, bem como posturas fisicamente exigentes tendem a aumentar a produção de calor interno (Kaynakli et al., 2003). Também as questões psicossociais, como, a carga e ritmo de trabalho, horário de trabalho, exigência das tarefas, assédio moral, violência no trabalho, entre outras influenciam o estado emocional do indivíduo que muitas vezes se traduz em reacções fisiológicas, como por exemplo a sudorese ou a elevação da temperatura cutânea, que geram a percepção de intolerabilidade para com o ambiente térmico. Aliás, a expectativa para com determinado ambiente ocupacional, se este possuir por exemplo sistema de climatização, associado ao tempo de serviço e à consequente aclimatização, sugere à partida uma maior aceitabilidade para com o ambiente térmico em questão (Carvalhais, 2011).

Não são de todo desprezíveis, factores de natureza estrutural e arquitectónica que determinado ambiente interior possa oferecer. Aspectos básicos como a orientação do edifício em relação ao sol; ventos predominantes; massas de vegetação; dimensão e posicionamento das janelas e portas; resistência térmica das paredes e coberturas (espessura, amortecimento, condutibilidade térmica dos materiais de construção) e um óptimo desempenho em eficiência energética, sem deixar que os princípios de economia, funcionalidade e racionalidade estejam sempre presentes, bem como, conforto ambiental, sustentabilidade, tecnologia e meio ambiente (Ribeiro, 2007), influenciam claramente a sensação de conforto podendo até incrementar negativamente o grau de tolerabilidade térmica.

## **9. PATOLOGIAS ASSOCIADAS À EXPOSIÇÃO AMBIENTES TÉRMICOS EXTREMOS**

O aparecimento de patologias devidas ao frio está directamente relacionado com a intensidade do stress térmico. Se sob condições moderadas se constata apenas desconforto térmico, os efeitos psicológicos e a diminuição da performance surgem logo com situações de stress térmico leve (Oliveira, 2006). À medida que o ambiente envolvente impõe cargas térmicas mais severas, as patologias devidas ao frio ou calor assumem-se como a principal consequência.

### **9.1. Patologias associadas ao Frio**

Quando o corpo se torna frio (particularmente mãos, pés e face) podem ocorrer algumas lesões, dependendo da natureza do frio e do tempo de exposição. Essas lesões resultam normalmente de uma acção local e prolongada do frio sobre zonas do corpo não protegidas ou por falhas na termorregulação (Astrand, 2003; Miguel, 2010).

A hipotermia, que constitui a patologia geral devida ao frio, por falência da termorregulação, traduz-se no início por um arrepio generalizado, uma temperatura interna que baixa e uma pressão arterial que se eleva. A Tabela 14 mostra a relação entre a temperatura interna e a sintomatologia associada à hipotermia.

Entre as lesões provocadas pelo frio distinguem-se as que envolvem congelação dos tecidos ou somente o seu arrefecimento. As queimaduras e o enregelamento identificam-se com as primeiras, enquanto a manifestação mais conhecida das segundas são as frieiras.

A exposição continuada ao frio pode ainda desencadear outras consequências para a saúde, nomeadamente ao nível cardiovascular e respiratório.

Em termos respiratórios, a inalação de ar frio pode dar origem a episódios asmáticos, em particular quando associado a níveis de actividade moderados ou elevados (Oliveira, 2006).

Existe ainda evidência que a exposição crónica ao frio pode estar associada à ocorrência de lesões músculo-esqueléticas, sendo considerado um grande factor de risco em caso de exposições moderadas (Aasmoe et al., 2008). Os movimentos finos dos dedos e das mãos podem também sofrer uma deterioração apreciável, mesmo com níveis moderados de exposição (Holmér, 2000b). Num outro estudo (Piedrahíta et al., 2004) procuraram estabelecer a relação entre os problemas músculo-esqueléticos e a exposição ao frio numa unidade industrial de processamento de carne. Concluíram pela existência de alguma correlação, embora esta tenha de ser confirmada com estudos posteriores tanto de carácter experimental como epidemiológico. A capacidade de trabalho que um músculo pode gerar diminui com o frio, o que reduz a sua performance e enfraquece a sua eficiência, em particular na presença de artrites. A Tabela 15 identifica de forma não exaustiva algumas patologias associadas ao frio.

Tabela 14 - Sintomas clínicos da hipotermia em função da temperatura interna

| Temperatura Interna (°C) | Sintomas Clínicos                                                                                                |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 37,5                     | Temperatura interna (rectal) normal                                                                              |
| 37                       | Temperatura oral normal                                                                                          |
| 36                       | O metabolismo aumenta para compensar a perda de calor                                                            |
| 35                       | Tremores muito intensos                                                                                          |
| 34                       | Vítima consciente, com pressão arterial normal                                                                   |
| 33                       | Hipotermia severa abaixo desta temperatura                                                                       |
| 31-32                    | Diminuição da consciência, pressão arterial baixa, pupilas dilatadas                                             |
| 30-29                    | Perda progressiva da consciência, aumento da rigidez muscular, dificuldade de obter o pulso e a pressão arterial |
| 28                       | Fibrilhação ventricular com irritabilidade do miocárdio                                                          |
| 27                       | Ausência de movimentos voluntários, ausência de reacção das pupilas, ausência dos reflexos medulares             |
| 26                       | Vítima raramente consciente                                                                                      |
| 25                       | Fibrilhação pulmonar pode ocorrer espontaneamente                                                                |
| 24                       | Edema Pulmonar                                                                                                   |
| 22-21                    | Risco máximo de fibrilhação ventricular                                                                          |
| 20                       | Falência Cardíaca                                                                                                |
| 18                       | Valor mínimo ao qual uma vítima accidental de hipotermia recuperou                                               |
| 17                       | Electroencefalograma isoelectrico                                                                                |
| 9                        | Valor mínimo ao qual um paciente sujeito a hipotermia induzida artificialmente recuperou                         |

Fonte: ACGIH, 2011; Parsons, 2003.

Tabela 15 – Patologias associadas ao frio, aspectos médicos e prevenção.

| Patologia                  | Categoria e Características Clínicas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Predisposição                                                                                                                                                          | Distúrbio Fisiológico                                                                                                         | Tratamento                                                                                                                                                   | Prevenção                                                                                                                                                        |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hipotermia                 | <i>Temperatura interna &lt; 35°C</i> ; entra-se em hipotermia;<br><i>32°C &lt; Temperatura interna &lt; 35°C</i> considera-se um estado de hipotermia ligeira ocorrendo arrepios.<br><i>28°C &lt; Temperatura interna &lt; 32°C</i> considera-se um estado de hipotermia moderada, as tremuras cessam, diminuindo os ritmos cardíaco e respiratório.<br><i>Temperatura interna &lt; 28°C</i> , perda de consciência. | Por vezes dá-se de forma accidental.                                                                                                                                   | Termorregulação excessiva e consequente falência da termorregulação.                                                          | Em caso de hipotermia severa o tratamento está limitado a prevenir perdas de calor.<br>Em caso de hipotermia moderada um banho quente poderá ser suficiente. | Numa situação ocupacional, deverão existir pausas para descanso. Grande risco em ambientes exteriores pelo que deverá ser utilizado ser vestuário isolante seco. |
| Queimadura e enregelamento | Pontos esbranquiçados nos tecidos expostos. A área lesada assemelha-se ao de uma zona marmorizada de tecido branco congelado, que se apresenta fria, rígida ao toque                                                                                                                                                                                                                                                 | Exposição de partes do corpo desprotegidas a ventos frios ou contacto com superfícies frias. Fadiga, desnutrição e vestuário insuficiente favorecem o seu aparecimento | Rupturas dos tecidos das células pelos cristais de gelo, podendo as células sanguíneas unir-se aos vasos originando gangrena. | A zona afectada deve ser reaquecida rapidamente para prevenir a extensão do dano, nomeadamente a progressão para enregelamento                               | Utilização de vestuário adequado. Protecção de locais mais susceptíveis como mãos, pés e orelhas.                                                                |
| Frieiras                   | dano superficial que se apresenta sob a forma de                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Surge nas pessoas                                                                                                                                                      | redução de caudal sanguíneo                                                                                                   | Se a área afectada for                                                                                                                                       | Utilização de vestuário                                                                                                                                          |

| Patologia                   | Categoria e Características Clínicas                                                                                                                                                                                                           | Predisposição                                                                                                                    | Distúrbio Fisiológico                                                                                                                                                                                                                                                                       | Tratamento                                                                                                                                                           | Prevenção                                                                 |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                             | um inchaço duro, doloroso, de cor azulada ou violeta, por vezes com gretas                                                                                                                                                                     | sensíveis ao frio como consequência da redução de caudal sanguíneo verificada durante exposições a baixas temperaturas (1-15 °C) |                                                                                                                                                                                                                                                                                             | pequena (por ex. dedo) não será necessário tratamento a não ser analgésicos. Em áreas maiores poderá ser necessário um reaquecimento lento dessa área (por ex. pés). | adequado. Protecção de locais mais susceptíveis como mãos, pés e orelhas. |
| Eritrocianose               | Extremidades num tom vermelho-azulado                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                  | alteração circulatoria devida ao frio                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      | Utilização de vestuário adequado. Protecção de locais mais susceptíveis.  |
| Pe-das-trincehirs           | O pé apresenta-se frio, cor de cera ou violáceo, com edema e flictenas (empolamento da pele) esbranquiçadas                                                                                                                                    | temperaturas superiores a 0 °C em situações de permanência ou estagnação em áreas húmidas                                        | redução de aporte sanguíneo                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                      | Utilização de vestuário adequado. Protecção de locais mais susceptíveis.  |
| Alterações cardiovasculares | 1) Bradicardia;<br>2) Angina de peito;<br>3) <i>Fenómeno de Raynaud's</i> desencadeia alterações da cor da pele das extremidades, ora com palidez, ora com cianose (extremidades roxas), seguidas ou não de hiperemia reaccional (vermelhidão) | 1) Exposição a ambiente frios;<br>2) Inalação de ar frio;<br>3) Associado ao stress emocional, vibrações e frio                  | 1) Aumento da pressão arterial induzida pela vasoconstrição;<br>2) Circulação de sangue inadequada nos vasos do miocárdio<br>3) Vasoconstrição pode comprometer o fornecimento de sangue aos tecidos mais próximos da superfície cutânea quando coexiste com uma doença vascular periférica | Em indivíduos comuns recomenda-se a consulta de um cardiologista, mesmo que se trate de uma situação transitória.                                                    | Actividade física regular. Protecção de locais susceptíveis.              |
| Alterações Respiratórias    | Asma;<br>Rinite, tosse e sangramento do nariz                                                                                                                                                                                                  | Níveis de exercício moderado a elevado em ambientes frios;                                                                       | Inflamação crónica das vias aéreas que determinam o seu estreitamento                                                                                                                                                                                                                       | Desobstrução das vias respiratórias                                                                                                                                  | Em situações ocupacionais deverão existir pausas para descanso            |

Fonte: (ISO 12894:2001); (Parsons, 2003); (Oliveira, 2006); (Miguel, 2010); (Fauci, 2010)

## 9.2. Patologias associadas ao Calor

Em ambientes, cuja temperatura é elevada, o organismo procura manter o equilíbrio térmico. As situações extremas podem originar danos irreversíveis. Pela importância que a evaporação tem, no equilíbrio térmico do organismo, em ambientes térmicos quentes, o balanço da mesma é especialmente importante no caso de indivíduos que efectuem actividades pesadas sob ambientes térmicos quentes ou que tenham de utilizar roupas impermeáveis. Para além do papel fundamental na termorregulação, a água desempenha também funções essenciais no transporte de hormonas, anticorpos, nutrientes, produtos de excreção e permite reacções químicas. A sua insuficiência põe em causa a eficiência destas reacções e as células reduzem a capacidade de produzir energia.

A diminuição da sudação, por diminuição da quantidade de água total, promove um aumento rápido da temperatura interior para 38-39°C, podendo ocorrer o colapso por volta dos 41°C. Pode ocorrer um quadro de falência multiorgânica que resulta da combinação de alterações fisiológicas associadas à hipertermia (falência circulatória, hipoxia, aumento das necessidades metabólicas), efeitos citotóxicos directos do calor e respostas inflamatória e protrombótica, confusão mental, alterações comportamentais, falência da termorregulação do sistema nervoso central e da sudação e eventual morte com a desnaturação das proteínas (Marto, 2005). A Tabela 16 resume as patologias associadas ao calor.

Tabela 16 – Patologias associadas ao calor, aspectos médicos e prevenção.

| Patologia                                      | Categoria e Características Clínicas                                                                                                                                                                        | Predisposição                                                                                                                                                                                                         | Distúrbio Fisiológico                                                                                     | Tratamento                                                                                                                                                        | Prevenção                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Golpe de calor                                 | Pele quente e seca com coloração avermelhada e/ ou irregular;<br><br>$T_{re} = 40,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;<br><br>Confusão, perda de consciência, confusão e morte (caso não sejam prestados socorros). | Não-aclimação;<br>Obesidade;<br>Falta de exercício físico;<br>Desidratação;<br>Susceptibilidade individual e<br>Doença cardiovascular crónica;<br>Condições ambientais:<br>$T_a = 34^{\circ}\text{C}$ e 100% Humidade | Falha da sudação levando à perda de arrefecimento por evaporação e aumento acelerado da $T_{re}$          | Imersão rápida e imediata em água fria;<br><br>Acondicionamento em toalha molhada com vigoroso abanar com ar seco e frio (para atingir os 39 °C).                 | Numa situação ocupacional, deverá ser efectuada uma selecção do trabalhador com base na saúde e forma física; Aclimação e supervisão médica regular no trabalho. |
| Síncope por calor                              | Desmaio quando erecto e imóvel em ambiente quente                                                                                                                                                           | Não-aclimação                                                                                                                                                                                                         | Acumulação de sangue nos vasos dilatados da pele e partes inferiores do corpo.                            | Retirar o indivíduo para uma área fresca;<br>Descanso numa posição reclinada;<br>Recuperação completa.                                                            | Aclimação, actividade intermitente para permitir o regresso venoso ao coração                                                                                    |
| Depleção de água e /ou sal: Exaustão por calor | Fadiga, náuseas, cefaleias, palidez, desorientação, desmaio;<br>Total normal ou baixam as $T_{re}$ usualmente entre 37,5-38,5;<br>Urina concentrada (depleção de água) e                                    | Não-aclimação;<br>Reposição insuficiente de água face à desidratação ocorrida durante a sudação.                                                                                                                      | Desidratação por deficiência de água;<br>Depleção do volume de sangue a circular;<br>Tensão circulatória. | Retirar o indivíduo para uma área fresca;<br>Descanso numa posição reclinada;<br>Ingestão de fluidos;<br>Continuar em repouso até o volume urinário indicar que o | Aclimação;<br>Suplementos de sal durante o período de aclimação;<br>Disponibilização de água para ser consumida a qualquer altura durante o dia de               |

| Patologia                                                           | Categoria e Características Clínicas                                                                                    | Predisposição                                                                                                                                         | Distúrbio Fisiológico                                                                                                     | Tratamento                                                                                     | Prevenção                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                     | pouco volume; Urina menos concentrada (depleção de sais)                                                                |                                                                                                                                                       |                                                                                                                           | balanço da água foi repostado.                                                                 | trabalho.                                                                                                          |
| Depleção de água e /ou sal: Câibras                                 | Espasmos musculares dolorosos                                                                                           | Grande quantidade de suor durante trabalho ao calor; Ingestão de grande quantidade de água sem reposição de sais. Perda de NaCl por sudorese intensa. | Perda de sais durante a sudorese; Ingestão de água diluída com electrólitos, a água entra nos músculos e provoca espasmos | Ingestão de líquidos salgados / soro fisiológico (solução a 0,9 % de NaCl).                    | Adequação das refeições; Em trabalhadores não aclimatizados deverá ser tomado um suplemento de sais nas refeições. |
| Erupções da pele: <i>Rash</i> cutâneo (miliaria rubra)              | Pequenas protuberâncias rosadas; Ocorrem principalmente no pescoço e na parte superior do tórax, nas costas e no peito. | Exposição a ambientes quentes e húmidos com pele continuamente húmida                                                                                 | Entupimento dos ductos das glândulas sudoríparas com retenção de suor e reacção inflamatória                              | Limpeza de pele para prevenir infecções.                                                       | Dormir em locais frescos, para permitir a secagem da pele entre exposições ao calor                                |
| Erupções da pele: Exaustão anidrótica por calor (miliaria profunda) | Áreas extensas de pele que não sua com exposição ao calor, mas apresenta arrepios em ambientes mais frescos             | Semanas ou meses de exposição constante ao calor com histórico prévio de brotoeja                                                                     | Trauma cutâneo; Retenção de suor; Redução da evaporação de suor                                                           | Inexistência de tratamento efectivo; Recuperação ocorre gradualmente em ambientes mais frescos | Afastamento periódico de ambientes quentes.                                                                        |
| Afecções Psíquicas: Fadiga por calor                                | Performance reduzida em tarefas que exijam grande capacidade motora, mental e de vigilância, no calor                   | Decréscimo de performance, principalmente em indivíduos não-aclimatizados                                                                             | Desconforto e tensão fisiológica                                                                                          | Não indicado a não ser que hajam sintomas de outra patologia associada ao calor                | Aclimação e treino no calor                                                                                        |
| Afecções Psíquicas: Fadiga crónica por calor                        | Performance reduzida, falta de concentração, auto-imposta dos padrões sociais                                           | Indivíduos que se mudam de climas temperados para climas quentes                                                                                      | Stress psicológico, podem envolver desequilíbrio hormonal                                                                 | Tratamento médico para casos graves                                                            | Orientação no que respeita ao estilo de vida a adoptar em regiões quentes                                          |

Fonte: (ISO 12894, 2001); (Parsons, 2003); (Kosaka et al., 2004); (Malchaire, 2004); (Karwowski, 2006); (Marto, 2005); (Miguel, 2010); (Fauci, 2010).



## **10. EXPERIMENTAÇÃO HUMANA NA INVESTIGAÇÃO EM AMBIENTES CONTROLADOS: CONSIDERAÇÕES ÉTICO-LEGAIS**

Os estudos de investigação científica no âmbito do ambiente térmico podem dividir-se em dois grandes grupos: estudos de campo e estudos em câmaras de ambiente controlado. Os estudos de campo são realizados em ambientes reais, com indivíduos a desempenhar actividades normais. Neste tipo de pesquisas, o investigador não interfere nas variáveis ambientais e pessoais. Os estudos levados a cabo em câmaras climáticas são realizados no interior de ambientes totalmente controlados pelo investigador, onde tanto as variáveis ambientais como as variáveis pessoais são manipuladas. Porém, estes estudos podem ter objectivos muito distintos dependendo do tipo de ambiente a estudar. Vários estudos objectivam encontrar a melhor combinação possível entre as diversas variáveis a fim de fornecer uma situação confortável. Quando as investigações se centram em ambientes extremos, pode-se testar o isolamento térmico do vestuário, as reacções fisiológicas dos indivíduos expostos, entre outros. Os estudos realizados em câmaras climáticas, principalmente por Fanger na Dinamarca e posteriormente por outros investigadores nos Estados Unidos e no Reino Unido forneceram dados importantes para o desenvolvimento de índices de aferição de conforto ou stress térmico, actualmente presentes em normas internacionais e comumente utilizados. Apesar de tudo, vários autores criticam os estudos de cariz laboratorial, por não representarem fielmente o ambiente real (Oseland, 1995).

Para além disso, questões de cariz ético-legal podem ser levantadas na experimentação humana levada a cabo em ambientes controlados, apesar de ser usual para os investigadores da área da saúde recrutarem sujeitos humanos (voluntários), que são indivíduos que pertencem à população, comunidade ou grupo objecto de investigação (Simon and Mosavel, 2010).

É legítimo o interesse em estudar os limites das condições ambientais, que os indivíduos podem tolerar com segurança e também os efeitos dessas condições na performance mental e nas tarefas de cariz físico. Tais estudos são normalmente melhor conduzidos em ambiente laboratorial, no qual a exposição pode ser controlada e as respostas devidamente monitorizadas. Neste tipo de estudos é usual recorrer-se à participação de voluntários que regra geral, não possuem experiência prévia no que respeita aos ambientes em estudo e às técnicas de medição envolvidas na investigação. Tais estudos são considerados como eticamente aceitáveis, se cumprirem uma série de princípios gerais, devendo existir uma expectativa genuína nos dividendos científicos que da investigação possam advir. É inaceitável que voluntários sejam submetidos a desconforto elevado, a não ser que a informação que irá ser obtida se revista de grande valor prático ou teórico (ISO 12894, 2001).

Os riscos inerentes a qualquer investigação devem ser tidos em conta aquando do desenho do estudo, de forma a minimizá-los. Os voluntários deverão poder desistir do estudo a qualquer momento sem fornecer explicações. Por outro lado, o investigador deverá ter acesso a condições

adequadas para desenvolver o estudo com sucesso e proporcionar o bem-estar dos sujeitos a avaliar, nomeadamente em questões práticas como por exemplo, locais onde instrumentação analítica (se for o caso) possa ser aplicada em privacidade, assim como áreas destinadas ao descanso e à recuperação após uma sessão experimental. Assim, o protocolo da investigação deve ser submetido à apreciação por parte da comissão de ética onde decorrerá o estudo, para aprovação. Este protocolo deverá incluir uma avaliação da severidade decorrente da exposição dos voluntários a diferentes agentes ambientais, informação sobre os potenciais riscos para a saúde, e sempre que necessário, informação detalhada acerca dos mecanismos propostos para a avaliação da aptidão e vigilância da saúde dos sujeitos. Para além disso deverá conter informações acerca de eventuais compensações caso ocorra alguma lesão no indivíduo, sendo por isso recomendado que o laboratório possua seguro apropriado para estas situações, que abranja esta eventualidade.

Naturalmente, os voluntários devem dar o seu consentimento por escrito, para participar no estudo. Este consentimento só é válido se for verdadeiro e informado. Para o consentimento ser verdadeiro, não poderão existir factores que injustamente possam influenciar a decisão do indivíduo em participar na investigação, como por exemplo a possível relação entre sujeito e investigador ou a eventual remuneração que possa vir a ser oferecida (Appelbaum, 2001).

Para o consentimento ser informado, o investigador deverá explicar ao potencial voluntário o objectivo do estudo, a metodologia a ser utilizada, o nível de desconforto espectável e os riscos previstos. Estas explicações devem estar disponíveis por escrito. Além disso, deverá ficar claro para os potenciais voluntários, que poderão desistir do seu consentimento a qualquer momento, incluindo durante uma sessão experimental. Por outro lado, os indivíduos que aceitem estas condições, também possuem responsabilidades, nomeadamente o cumprimento rigoroso das instruções fornecidas pelo investigador, particularmente em relação a comportamentos a evitar antes das sessões, como por exemplo, não fumar, não consumir álcool ou cafeína. Convém salientar que a participação em mais do que um estudo no mesmo espaço temporal, por parte dos voluntários, pode invalidar os resultados e colocar em risco a sua saúde, pelo que numa situação do género o sujeito deverá informar o investigador.

### **10.1. Principais Códigos de Ética Internacionais na Experimentação Humana**

Internacionalmente existem guias, que visam estabelecer regras de conduta que pautem a investigação com seres humanos. Existem três principais códigos internacionais de ética para a pesquisa biomédica envolvendo seres humanos: o Código de Nuremberga, a Declaração da Associação Médica Mundial de Helsínquia e as Directrizes Éticas Internacionais para a Pesquisa Biomédica Envolvendo Seres Humanos desenvolvido pelo *Council for International Organizations of Medical Sciences* (CIOMS) em colaboração com a OMS (Levine, 2001).

Apesar das diferenças no âmbito e autoria destes documentos, todos parecem concordar com os princípios básicos da ética na investigação. Aliás estes princípios têm vindo a ser incorporados em legislação ou regulamentos de vários países e organizações internacionais.

- Código de Nuremberga – publicado em 1947 como resposta à divulgação de experimentação médica não ética, por cientistas alemães durante a II Guerra Mundial. Elabora normas de revisão e conduta para a investigação envolvendo sujeitos humanos e que incluem consentimento voluntário dos sujeitos de investigação, justificação científica para a experimentação e protecção dos participantes.
- Organização das Nações Unidas - 1948 subscreve a Declaração Universal dos Direitos do Homem.
- Declaração de Helsínquia<sup>1</sup> – subscrita em 1964 pela Associação Médica Mundial. Consiste na elaboração de um conjunto de regras de conduta que pautam a investigação com seres humanos.
- Declaração Universal dos Direitos do Homem – artigo 7 – 1966 “...ninguém será submetido, sem seu livre consentimento, a experiências médicas ou científicas”
- Declaração de Tóquio – 1975
- Declaração de Veneza – 1983
- Declaração de Hong Kong – 1989
- Organização Mundial de Saúde / CIOMS – 1993 – Directivas Éticas Internacionais para a Investigação Biomédica em Seres Humanos, revista em 2002 em Genebra.
- Declaração de Somerset Oeste – 1996
- Declaração de Edimburgo – 2000
- Declaração de Seul – 2008
- Directiva 2005/28/CE que estabelece princípios e directrizes pormenorizadas de boas práticas clínicas no que respeita aos medicamentos experimentais para uso humano, bem como os requisitos aplicáveis às autorizações de fabrico ou de importação desses produtos.

---

<sup>1</sup> **Adoptada pela 18.ª Assembleia Geral da AMM, Helsínquia, Finlândia, Junho 1964**, e corrigida pela 29.ª AG da AMM, Tóquio, Japão, Outubro 1975, pela 35.ª AG da AMM, Veneza, Itália, Outubro 1983, pela 41.ª AG da AMM, Hong Kong, Setembro 1989, pela 48.ª AG da AMM, Somerset West, República da África do Sul, Outubro 1996, pela 52.ª AG da AMM, Edimburgo, Escócia, Outubro 2000, pela 53.ª AG da AMM, Washington 2002 (acrescentado esclarecimento ao parágrafo 29), pela 55.ª AG da AMM, Tóquio 2004 (acrescentado esclarecimento ao parágrafo 30) e **pela 59.ª AG da AMM, Seul, Outubro 2008.**

## 10.2. Legislação Nacional no âmbito da Experimentação Humana

A Constituição Portuguesa – VII Revisão Constitucional (2005) refere no ponto 3 do artigo 26º (Outros direitos pessoais), que *“A lei garantirá a dignidade pessoal e a identidade genética do ser humano, nomeadamente na criação, desenvolvimento e utilização das tecnologias e na experimentação científica”*. No entanto a legislação portuguesa específica referente a esta temática está direccionada para a investigação associada à prática clínica, nomeadamente ao teste de fármacos em humanos.

A Lei de Bases da Saúde (Lei nº 48/90 de 24 de Agosto, com alterações introduzidas pela Lei nº 27/2002 de 8 de Novembro) refere relativamente à protecção das pessoas na investigação, na base XIV, intitulada “Estatuto dos Utentes” refere no ponto b) *“Decidir receber ou recusar a prestação de cuidados que lhe é proposta, salvo disposição especial da lei”*. Essa referência é abordada na Base XVII “Investigação”, especialmente no ponto 3 que refere que *“As acções de investigação a apoiar devem sempre observar, como princípio orientador, o de que a vida humana é o valor máximo a promover e a salvaguardar em quaisquer circunstâncias”*.

O Decreto-Lei nº 97/95 de 10 de Maio regula a existência de comissões de ética. No ponto 1 do Artigo 2º refere que as comissões de ética têm “uma composição multidisciplinar e são constituídas por sete membros, designados de entre médicos, enfermeiros, farmacêuticos, juristas, teólogos, psicólogos, sociólogos ou profissionais de outras áreas das ciências sociais e humanas”.

Mais genericamente o Código Penal, no seu artigo 156º imputa à realização de intervenções ou tratamentos sem consentimento do doente, uma pena de prisão até três anos ou pena de multa.

Na listagem seguinte indicam-se os principais referenciais jurídicos nacionais, no que respeita à experimentação humana.

- Lei nº 48/90 de 24 de Agosto, com alterações introduzidas pela Lei nº 27/2002 de 8 de Novembro – Lei de Base da Saúde.
- Lei 24/2009 de 29 de Maio – Regime Jurídico do Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida.
- Decreto-lei nº 97/95 - cria as Comissões de Ética para a Saúde (CES).
- Decreto-lei nº 67/98 - Lei da Protecção de Dados Pessoais – transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 95/46/CE.
- Lei nº 46/2004 de 19 de Agosto - Lei dos ensaios clínicos com medicamentos de uso humano – transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2001/20/CE.
- Portaria nº57/2005 - cria a Comissão de Ética para a Investigação Clínica (CEIC) – transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2001/20/CE.
- Despacho nº 3568/2005 (2ª série) – nomeação dos membros da CEIC.

- Lei n.º 12/2005 de 26 de Janeiro - define o conceito de informação de saúde e de informação genética, a circulação de informação e a intervenção sobre o genoma humano no sistema de saúde, bem como as regras para a colheita e conservação de produtos biológicos para efeitos de testes genéticos ou de investigação.
- Lei n.º 46/2007, de 24 de Agosto - Regula o acesso aos documentos administrativos e a sua reutilização, revoga a Lei n.º 65/93, de 26 de Agosto, com a redacção introduzida pelas Lei nº 8/95, de 29 de Março, e nº 94/99, de 16 de Julho, e transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2003/98/CE, do Parlamento e do Conselho, de 17 de Novembro, relativa à reutilização de informações do sector público.

Não obstante ao esforço que tem vindo a ser feito, o comprometimento face a esta problemática deverá persistir, pelo que todas as nações deverão clarificar a sua própria formação jurídica, cultural, ética e social no sentido da controvérsia relativa aos direitos dos voluntários/pacientes numa investigação ser minimizada (Rittner, 2009).

### **10.3. Ética na Universidade do Porto**

A Comissão de Ética da U. Porto (CEUP), como órgão colegial, multidisciplinar e independente, ocupa-se da observância e promoção de padrões éticos em todas as actividades académicas (docência, investigação e actividades de extensão, incluindo prestação de serviços à comunidade e divulgação da ciência) das diversas unidades da U. Porto e na conduta dos seus membros (docentes, funcionários ou alunos)(Universidade do Porto, 2011)<sup>2</sup>.

A CEUP procura fomentar a formação em ética dentro da UP, bem como a existência de Comissões de Ética em todas as suas unidades orgânicas (faculdades e institutos de investigação), as quais possam apreciar e acompanhar, nomeadamente, os projectos de investigação, sobretudo aqueles que envolvam temas sensíveis, nomeadamente, aqueles que incluam (sob qualquer forma) pessoas, animais ou material biológico proveniente de pessoas ou animais. (Universidade do Porto, 2011)<sup>2</sup>. Do Regulamento Interno da CEUP destacam-se os artigos 1º e 2º (definição e competências da CEUP, respectivamente) transcrito de seguida.

#### **Artigo 1º**

##### **(Definição)**

*A Comissão de Ética é um órgão colegial consultivo e de autoridade moral que visa zelar pela conservação de padrões de integridade, honestidade e qualidade inerentes à existência e actuação das unidades orgânicas, que constituem a Universidade do Porto, e à conduta ética da comunidade académica.*

#### **Artigo 2º**

---

<sup>2</sup> Informação retirada da página web da Comissão de Ética da Universidade do Porto [http://sigarra.up.pt/up/web\\_base.gera\\_pagina?p\\_pagina=1001669](http://sigarra.up.pt/up/web_base.gera_pagina?p_pagina=1001669)

(Competências)

- 1. À Comissão de Ética compete a análise de todas as questões que suscitem problemas éticos no âmbito das actuações e relações, internas e externas, das unidades orgânicas da Universidade do Porto.*
- 2. Compete à Comissão de Ética emitir, com isenção e independência, recomendações e decisões, por escrito, resultantes da análise feita no âmbito do número anterior.*
- 3. Para o desempenho das suas competências a Comissão de Ética solicitará e avaliará toda a informação que considere relevante.*
- 4. Não caberá à Comissão de Ética analisar questões que já estejam a ser discutidas na esfera judicial.*

## **10.4. Requisitos Básicos para a Avaliação Ética de uma Investigação<sup>3</sup>**

Mesmo tendo como objectivo o desenvolvimento de conhecimento que possa contribuir para melhorar a saúde humana, a investigação clínica necessita de preencher requisitos éticos que assegurem que:

- ao contribuírem para o bem comum, os seres humanos participantes (directamente ou através do estudo dos seus dados pessoais) são tratados com respeito e em segurança;
- os recursos de saúde e investigação são usados de forma racional;
- a metodologia para obtenção de conhecimento “novo” é cientificamente válida e generalizável.

Entre as normas internacionais classicamente invocadas para validação ética dos estudos de investigação incluem-se: a Declaração de Helsínquia (2008), a Convenção sobre os Direitos do Homem e da Biomedicina (2001), as orientações do CIOMS (2002). Em sete pontos é possível sumarizar os requisitos considerados básicos para a avaliação ética de uma qualquer investigação clínica, respeitando os referidos documentos éticos fundamentais (Emanuel et al., 2000):

**1. Relevância** em termos de produção de conhecimento e/ou de ganhos em saúde, correspondendo a uma pergunta de investigação pertinente, nova e passível de ser respondida e a uma previsão de divulgação dos resultados atingidos;

**2. Validade científica** directamente dependente do rigor metodológico, o que tem sido considerado um dos passos incontornáveis da apreciação ética (CIOMS, 2002) e inclui obrigatoriamente a definição explícita dos seguintes itens:

---

<sup>3</sup> Reprodução parcial do texto debatido no “SEMINÁRIO SOBRE INVESTIGAÇÃO CLÍNICA E O PAPEL DAS COMISSÕES DE ÉTICA PARA A SAÚDE” organizado em 29/09/2010 pelas Comissões de Ética para a Saúde da região norte. Destina-se a ser um documento de orientação, sem carácter vinculativo. Disponível em <http://portal.arsnorte.min-saude.pt/portal/page/portal/ARSNorte/Comiss%C3%A3o%20de%20%C3%89tica/Investiga%C3%A7%C3%A3o%20Cl%C3%ADnica>

**a) Objectivos** claros, atingíveis, precisos e mensuráveis, definidos sempre no início do projecto e determinantes do seu desenho;

**b) Desenho** viável e adequado ao objectivo definido, podendo ser:

**i)** Observacionais dividindo-se estes em descritivos (de que são exemplo os inquéritos e os estudos de prevalência) *vs.* analíticos; por sua vez, os estudos analíticos podem ser de coorte (retrospectivos *vs.* prospectivos) ou de caso controlo; os estudos observacionais podem ainda dividir-se em transversais (incidindo sobre um único corte temporal) ou longitudinais (estudando vários cortes de temporais);

**ii)** Experimentais, de que é exemplo o ensaio clínico (pode ser controlado, aleatório e cego ou duplamente cego);

**c) Local** (ou locais) e **horizonte temporal** em que decorrerá o estudo;

**d) População** em estudo: critérios de inclusão do grupo de elementos – pessoas ou não – sobre quem se colocou a pergunta de investigação e a quem se aplicam os seus resultados (e critérios de emparelhamento nos estudos de caso-controlo). Se não for possível estudar toda a população, definir ainda:

**i)** O **tipo de amostragem**: aleatória (simples, sistemática, estratificada) *vs.* Não aleatória (de conveniência, accidental, consecutiva);

**ii)** A **dimensão da amostra** e de que modo se procedeu para assegurar a sua representatividade;

**iii)** Método de **recrutamento** dos participantes;

**e) Variáveis**: descrição clara do que se vai medir e de como as variáveis serão operacionalizadas (quanto mais subjectivas forem, mais compreensiva deve ser a operacionalização).

**f)** Método válido de colheita de **dados**, especificando todos os contactos, gestos, medições e exames complementares que excedam os decorrentes dos habituais cuidados e necessidades de saúde do participante. Os dados podem ser colhidos por:

**i)** Observação directa dos fenómenos;

**ii)** Registo fotográfico / audiovisual;

**iii)** Uso de escalas ou questionários (ministrados por inquiridor, pessoalmente ou por telefone, ou de auto-preenchimento, anónimos ou não), sempre que possível previamente validados e, quando não existam validados, respeitando as respectivas regras de elaboração e validação;

**iv)** Recolha de dados secundários, isto é, previamente colhidos por terceiros;

**g)** Plano de **análise estatística** capaz, incluindo suporte para criação da base de dados, método para lidar com dados em falta, definição do intervalo de confiança nos estudos observacionais em que foi utilizada uma amostra e os testes de inferência estatística e de análise bi- e multi-variada a utilizar nos estudos analíticos;

**h)** Plano de minimização de potenciais **vieses**.

**3. Seleccção justa da população** do estudo, por um lado, com critérios de inclusão e exclusão em função dos objectivos científicos do mesmo e não de privilégios, da sua maior vulnerabilidade ou potencial para condicionar os resultados. Por outro lado, grupos populacionais incluídos nos objectivos do estudo mas com características que os tornem mais vulneráveis a riscos graves da investigação devem ser explicitamente excluídos;

**4. Razão risco-benefício favorável**, sendo assegurado que, de acordo com o conhecimento científico preexistente, se minimizou o risco, se maximizou o benefício (social ou científico) decorrente da investigação (não sendo aceitável a inclusão nesta razão de quaisquer benefícios que não sejam produto da própria investigação);

**5. Revisão independente** do protocolo zelando pelo correcto enquadramento de eventuais conflitos entre os legítimos interesses dos participantes, da ciência e dos investigadores (em conduzir investigação de boa qualidade, em a conduzir em tempo útil, em obter financiamento, em propulsionar a sua carreira...). No nosso país esta revisão independente é uma inerência das Comissões de Ética para a Saúde e tem também a capacidade de tranquilizar os potenciais participantes quanto à dimensão ética do estudo para o qual são convidados a participar;

**6. Garantia de consentimento informado, esclarecido e livre** pelos participantes, assegurando que só participam se assim o desejarem, se a investigação estiver de acordo com os seus valores e interesses (o que implica a veiculação de informação precisa acerca dos objectivos, métodos, riscos e benefícios esperados) e que a recusa em participar não interferirá com os cuidados de saúde a receber. O consentimento é requerido não só para a participação directa na investigação (mediante assinatura de documento), como também para que sejam identificados como potenciais participantes ou para que sejam acedidos os respectivos dados de saúde (mediante assinatura de documento escrito ou dado verbalmente ao profissional de saúde que os referenciar ao investigador).

**7. Respeito pelos participantes** em todas as fases do estudo, assegurando:

- a)** a privacidade e a confidencialidade dos seus dados clínicos;
- b)** o direito dos participantes recrutados a mudar de ideias e abandonar a investigação sem qualquer penalização e sem obrigatoriedade de justificarem um eventual abandono;
- c)** a informação sobre novos dados (por exemplo sobre riscos ou benefícios) eventualmente conhecidos no curso da investigação;
- d)** cuidados (e eventualmente suspensão da investigação) aos participantes que experimentem reacções adversas ou agravamento do seu estado de saúde;
- e)** a informação sobre o novo conhecimento gerado pela investigação para a qual contribuíram.

**Os princípios éticos subjacentes a estes requisitos incluem:**

**1.** Uso responsável e racional dos recursos (finitos) para investigação, canalizando-os para projectos com potencial para melhorar a saúde o bem-estar das populações, o conhecimento científico ou a aplicabilidade de determinada intervenção.

2. A não exploração dos seres humanos participantes, poupando-os quer a riscos, quer a sobrecargas infrutíferas ou desproporcionadas para os benefícios (sociais ou científicos) que se esperam obter. Mesmo não implicando intervenções ou propriamente riscos para a saúde, toda a investigação realizada a partir por exemplo de instituições de prestação de cuidados representa uma sobrecarga para os participantes (que, não raro, são pessoas doentes ou de algum modo vulneráveis), assim como para os profissionais que aí trabalham.
3. A igualdade e justiça no tratamento, bem como no assumir de riscos e benefícios da investigação.
4. A beneficência ou a obrigação moral de agir em prol do benefício do outro;
5. A não-maleficência ou o dever de não prejudicar o outro;
6. A autonomia das pessoas, respeitando as suas opções, valores e interesses, quer sobre o seu corpo, quer sobre os seus registos de saúde.

## **10.5. Instrução de processo para autorização de uma investigação**

O (s) investigador (es) deve (m) organizar um processo documental que será, juntamente com o requerimento de autorização para a realização do estudo, entregue à entidade com poder decisório para a sua autorização.

### **O processo deve incluir:**

1. Protocolo de investigação, com:
  - a) Título: descritivo e objectivo.
  - b) Identificação completa do(s) investigador(es) responsável(is) e entidade(s) de origem, quando aplicável.
  - c) *Curriculum vitae* resumido do(s) investigador(es).
  - d) Introdução: justificando o estudo, enunciando a questão clínica (ou outra) que o desencadeou e a respectiva pertinência com base numa revisão bibliográfica adequada (respondendo ao requisito nº 1 "Relevância").
  - e) Metodologias (respondendo a cada um dos pontos do requisito 2 "Validade Científica")
  - f) Recursos / orçamento / protocolo financeiro e origem de eventuais financiamentos.<sup>4</sup>
  - g) Cronograma.
2. Os formulários, escalas (com declaração das respectivas validações para a população portuguesa, se houver, ou justificação, no caso contrário) ou documentos de recolha de dados a utilizar, se aplicável.<sup>4</sup>
3. O modelo de Consentimento Informado que deve conter a menção a que é feito em duplicado (uma via para o investigador, uma via para quem consente). Um modelo deste documento

---

<sup>4</sup> Os investigadores que considerem que as condições específicas do estudo pretendido podem dispensar a entrega dos documentos assinalados deverão justificar a sua ausência da documentação que acompanha o requerimento.

encontra-se no Anexo I. Nele deve constar de duas partes distintas, consagrando um compromisso entre partes:

**a)** A primeira parte assinada pelo investigador que pede o consentimento, cujo nome dactilografado estará junto da assinatura, deve incluir:

- i)** título e descrição sumária de objectivos, métodos e enquadramento académicos, com menção da escola e do(s) orientador(es), se for o caso;
- ii)** garantia formal de confidencialidade e de ocultação da identidade dos participantes;
- iii)** reconhecimento do direito do participante a revogar o consentimento e abandonar o estudo, em qualquer altura e sem quaisquer prejuízos assistenciais ou outros;
- iv)** informação sumária sobre o financiamento do estudo e sobre custos e incómodos, ou a ausência deles, por parte dos participantes (mencionando especificamente se há ou não compensação por despesas de deslocação);

**b)** A segunda parte destinada à declaração de consentimento e assinatura da pessoa que consente, a qual só é recolhida depois de dadas as informações e da assinatura do investigador.

**4.** Modelo de declaração de compromisso para outros investigadores ou colaboradores na investigação, se aplicável, destinada a documentar o seu envolvimento nas garantias de confidencialidade dadas pelo investigador principal. Um modelo deste documento está disponível no Anexo II.<sup>5</sup>

**5.** Modelo de declaração a assinar por profissionais de saúde que referenciem participantes aos investigadores, onde se garanta que essa referenciação foi feita com autorização, ainda que verbal, dos participantes, ultrapassando assim o problema da revelação de diagnósticos a terceiros, mas não isentando os investigadores de informar claramente cada participante e de recolher o respectivo consentimento informado, livre e esclarecido.<sup>5</sup>

**6.** Declaração(ões) do(s) orientador(es) científico(s) ou pedagógico(s), caso se trate de estudo realizado em ambiente académico.<sup>5</sup>

**7.** Cópia da notificação à Comissão Nacional de Protecção de Dados sobre criação de bases de dados, especialmente em estudos de coorte, e compromisso de só dar início ao estudo depois de resposta favorável dessa entidade.<sup>5</sup>

**8.** Declaração do investigador sobre a propriedade de dados e resultados do estudo e sobre a disponibilidade de publicação dos resultados finais, em especial quando haja, para além do investigador, a figura do promotor.

---

<sup>5</sup> Os investigadores que considerem que as condições específicas do estudo pretendido podem dispensar a entrega dos documentos assinalados deverão justificar a sua ausência da documentação que acompanha o requerimento.

## 11. MATERIAIS E MÉTODOS

### 11.1. Dispositivos Experimentais

#### 11.1.1. Câmara Climática - Localização

A FEUP encontra-se actualmente sediada no Pólo II da Universidade do Porto, no Pólo da Asprela, junto de outras Faculdades desta Universidade. O edifício foi inaugurado em 2000 e destacado na altura pela Ordem dos Engenheiros como uma das 100 construções mais relevantes executadas em Portugal. O Campo da Asprela cobre uma área total de 90.000m<sup>2</sup>, com 13 edifícios dedicados às actividades da Faculdade, mais dois edifícios de instituições independentes: a nave do Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI); e o edifício do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto (INESC).

A Figura 15 mostra a planta do Pólo da Asprela com a respectiva classificação de edifícios (A - Administração, B - Salas de Aula, C - Biblioteca, D - CICA, E - Química, F - Minas e Metalurgia; G - Civil, H - Civil Norte, I - Electrotecnia, J - Electrotecnia Norte, L - Mecânica, M - Mecânica Norte, N - Garagem).

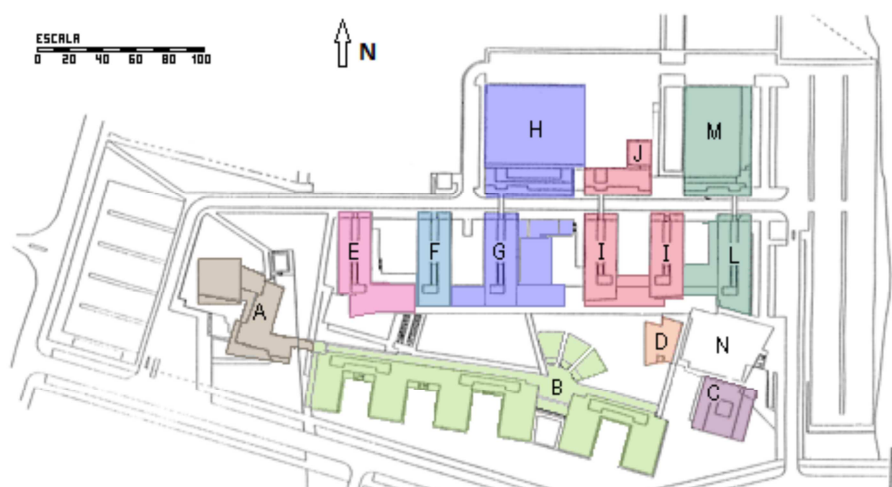


Figura 15 – Pólo da Asprela – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A Câmara Climática alvo de estudo localiza-se no laboratório F-403, no 4º Piso do Edifício F – Minas e Metalurgia, conforme mostra a Figura 16. Este laboratório possui uma área de 86 m<sup>2</sup>, possuindo uma parede orientada a poente para o exterior, com cinco janelas (duas delas do tipo basculante, situadas no plano superior dessa parede, junto ao tecto). O sistema de iluminação artificial geral é assegurado por 11 luminárias com 1 lâmpada fluorescente cada, sem difusor ou reflector. Os dispositivos de controlo da luminosidade cingem-se a estores metálicos colocados nas duas janelas do tipo basculante.

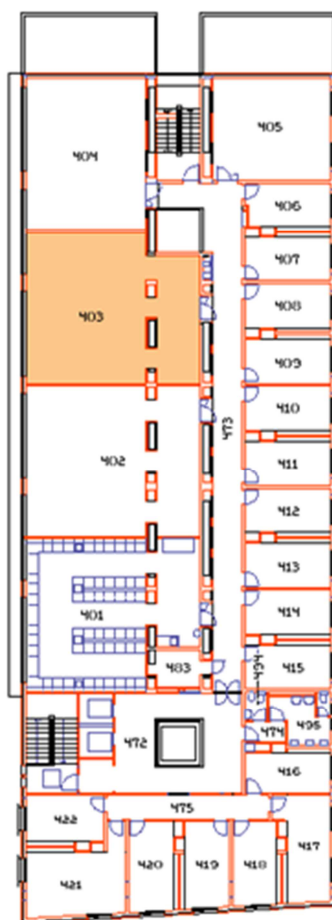


Figura 16 – Localização do laboratório onde a Câmara Climática está instalada.

### 11.1.2. Câmara Climática – Caracterização Estrutural

A FITOCLIMA 25000 EC20 é uma câmara climática que se destina ao controlo preciso das condições ambientais, nomeadamente, temperatura e humidade relativa, tendo sido projectada e fabricada para testes climáticos. A sua capacidade útil é de aproximadamente 25000 litros.

As dimensões do equipamento encontram-se esquematizadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Dimensões da Câmara Climática

|                 | <b>Largura (m)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Profundidade (m)</b> |
|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Interior</b> | 3,60               | 2,40              | 3,20                    |
| <b>Exterior</b> | 3,81               | 2,65              | 3,61                    |

As Figuras 17, 18 e 19 esquematizam a câmara nas perspectivas frontal, lateral e superior com o respectivo dimensionamento.

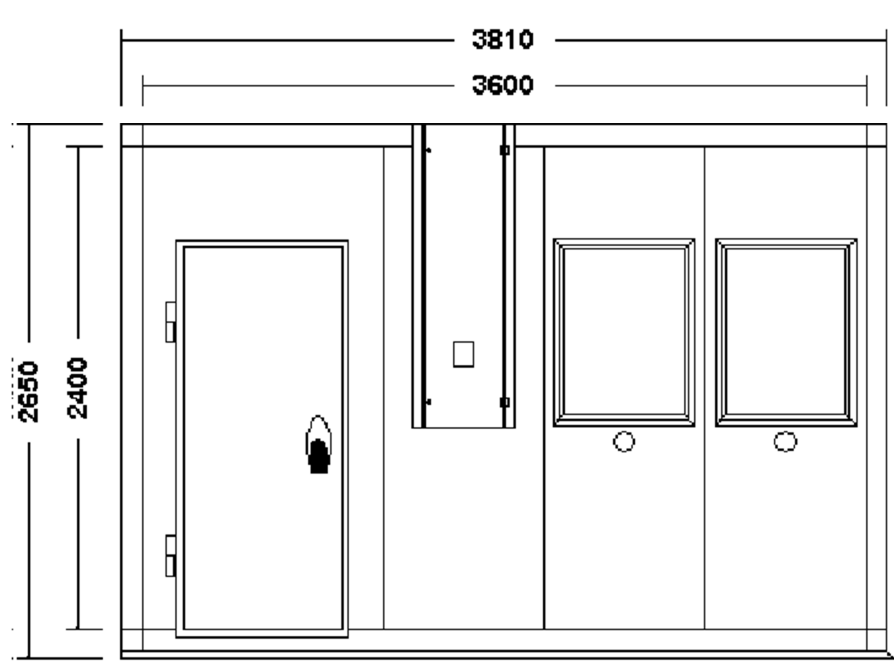


Figura 17 – Desenho esquemático da vista frontal da câmara.

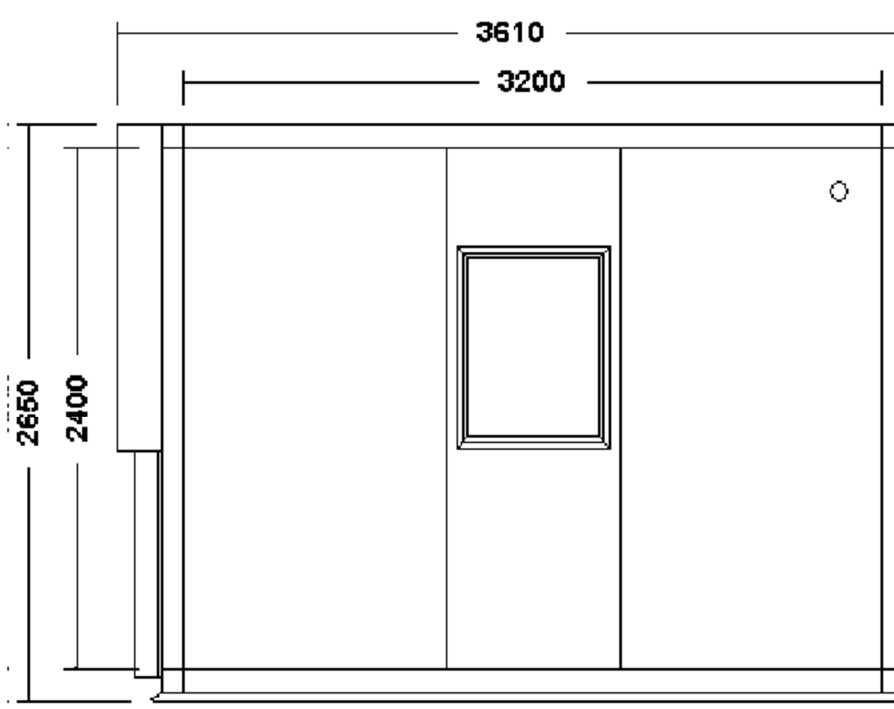


Figura 18 – Desenho esquemático da vista lateral da câmara.

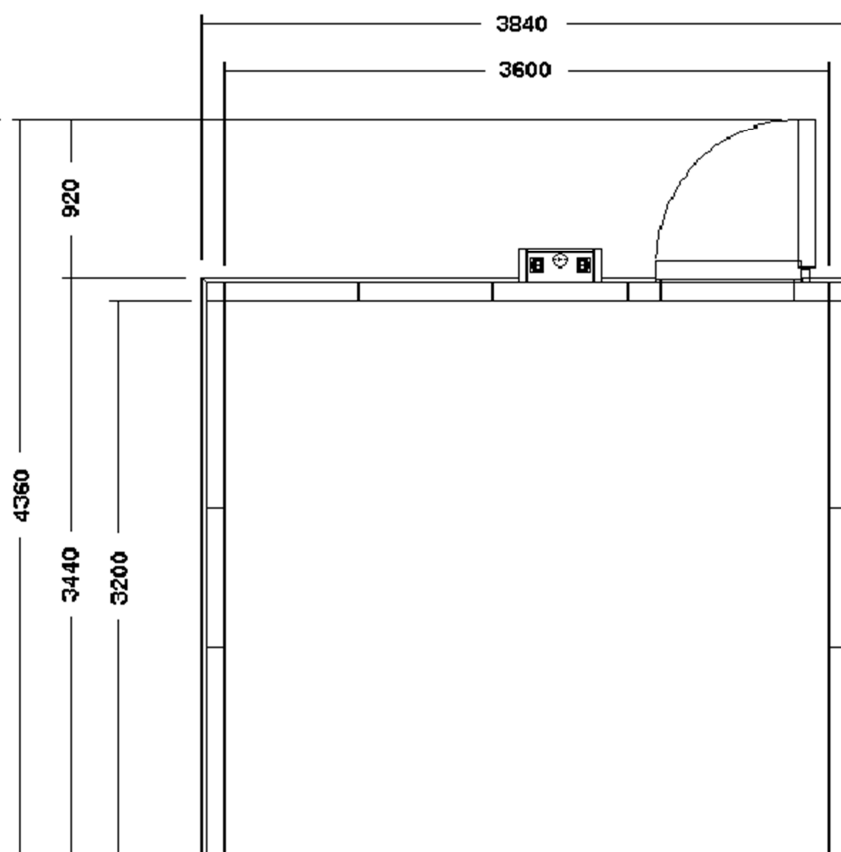


Figura 19 – Desenho Esquemático da vista superior da câmara.

Os materiais utilizados na construção de uma câmara climática podem ser vários, e as opções tomadas devem seguir alguns critérios, de forma a permitir que a mesma possua características construtivas e funcionais que sejam capazes de simular as condições físicas e termo-higrométricas de grande parte dos ambientes ocupacionais reais (Amaral, 1995). O isolamento é uma questão importante neste tipo de construção, pois permitirá reduzir trocas térmicas indesejáveis. No caso de ambientes frios devem manter a parede externa a uma temperatura próxima da do ambiente, de modo a evitar condensações (Amaral, 1995). A Tabela 18 mostra os materiais utilizados na construção da câmara climática em estudo, bem como algumas observações relativamente ao tipo de material.

Tabela 18 – Materiais utilizados na construção da Câmara Climática.

| Componentes | Material                       | Isolamento                                                                                                                                                                                             | Observações                         |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Paredes     | Isotérmicas em aço termolacado | Poliuretano Expandido                                                                                                                                                                                  | Utilização de Silicone como vedante |
| Tecto       |                                | Densidade: ( $\text{Kg/m}^3$ ) 30 a 45;<br>Condutibilidade ( $\text{kcal/m.h}^\circ\text{C}$ ) 0,02;<br>Resistência Mecânica ( $\text{kg/cm}^2$ ) 2,0;<br>Permeabilidade ( $\text{g/m.h.mmHg}$ ) baixa |                                     |
| Pavimento   |                                | Revestimento de PVC                                                                                                                                                                                    |                                     |
| Janelas     |                                | Vidro Duplo                                                                                                                                                                                            |                                     |

### 11.1.3. Câmara Climática – Caracterização Técnica

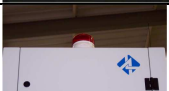
Este equipamento tem como função efectuar testes climáticos em condições controladas de temperatura, humidade, CO<sub>2</sub> e alarme de oxigénio (sendo que estes dois últimos parâmetros actualmente apenas podem ser lidos e não controlados). A ventilação no interior é regulável, forçada e contínua. Para efectuar o controlo das diferentes variáveis de processo, existe um controlador programado com os valores de ensaio. O controlo de temperatura está conectado a um grupo condensador e resistências eléctricas de aquecimento. O controlo da humidade relativa é assegurado por um gerador ultra-sónico. No que concerne ao CO<sub>2</sub>, o seu controlo é efectuado por um sistema de renovação de ar com admissão de ar exterior forçado e monitorizado por um sensor de CO<sub>2</sub>. A Tabela 19 resume as especificações técnicas da câmara e a Tabela 20, identifica cada componente da câmara. A instrução de trabalho deste equipamento encontra-se no Anexo III.

Tabela 19 – Especificações técnicas da Câmara Climática 25000EC20

|                                |                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Parâmetros controláveis</b> | Temperatura, Humidade                                                                  |
| <b>Gama de temperatura (*)</b> | -20°C a 50°C, $\pm 0,5^\circ\text{C}$                                                  |
| <b>Sensor de temperatura</b>   | Pt100 80 / 60 x 4mm – Electrotherm<br>Tipo Capacitivo Rotronic XB32                    |
| <b>Gama de humidade</b>        | 30%rH a 98%rH, $\pm 2\%\text{rH}$                                                      |
| <b>Sensor de humidade</b>      | Tipo Capacitivo Rotronic XB32                                                          |
| <b>Aquecimento (**)</b>        | Resistência 6000W (3x2000W)                                                            |
| <b>Refrigeração (**)</b>       | Mecânica por evaporação de R404a                                                       |
| <b>Humidificação</b>           | Gerador ultra-sónico                                                                   |
| <b>Desumidificação</b>         | Mecânica por evaporação de R404a                                                       |
| <b>Dimensões</b>               | Interior: L- 3600mm, A- 2400mm, P- 3200mm<br>Exterior: L- 3810mm, A- 2650mm, P- 3610mm |
| <b>Peso</b>                    | Aprox. 4500Kg                                                                          |
| <b>Voltagem nominal (**)</b>   | 400V; 50Hz                                                                             |
| <b>Corrente nominal (**)</b>   | 16A (por fase)                                                                         |
| <b>Potência nominal (**)</b>   | 20KW                                                                                   |
| <b>Ligação eléctrica (**)</b>  | Trifásica com neutro e terra                                                           |

\*\*Valores indicativos que podem variar dependendo da gama de temperatura

Tabela 20 – Componentes da câmara climática.

| Componentes do Sistema                                                                                                                           | Especificações                                                                                              | Identificação                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Interruptor Geral</i> - Permite ligar/desligar o equipamento.                                                                                 | Localização: Quadro de comandos                                                                             |  |
| <i>Termóstato de Segurança</i> - Permite a configuração da temperatura máxima e mínima de segurança.                                             | Tipo: Electrónico Digital<br>Marca/Modelo: Eliwell / IC 915 PT100 230VAC<br>Localização: Quadro de comandos |  |
| <i>Indicador de Alarme</i> - Permite identificar uma situação de alarme através de um sinal visual intermitente.                                 | Localização: na parte superior do quadro de comandos                                                        |  |
| <i>Compartimento Eléctrico</i> - No compartimento eléctrico estão localizadas as unidades de comando e os componentes eléctricos do equipamento. |                                                                                                             |  |

| Componentes do Sistema                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Especificações                                                                                                                                                                    | Identificação                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Sensores</i> - Os sensores usados para a medição da <math>T_a</math> e <math>H_r</math> encontram-se atrás da grelha de circulação de ar. A câmara está equipada também com sensores de <math>O_2</math> e <math>CO_2</math>. Este último permite gerar um alarme se a concentração de <math>CO_2</math> for muito elevada, isto é quando exceder o valor de alarme introduzido.</p> | <p><b><math>T_a</math></b><br/>Marca: Rotrotonic<br/>Modelo: PT 100, classe A<br/>Localização: Retorno do ar ao túnel de tratamento dentro da câmara</p>                          |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><b><math>H_r</math></b><br/>Marca: Rotrotonic<br/>Modelo: Capacitivo XB32<br/>Localização: Retorno do ar ao túnel de tratamento dentro da câmara</p>                           |                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><b><math>CO_2</math></b><br/>Marca: E+E Elektronik<br/>Modelo: EE82-5C6<br/>Localização: Retorno do ar ao túnel de tratamento dentro da câmara</p>                             |                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><b><math>O_2</math></b><br/>Marca: OLDHAM<br/>Modelo: CTX300<br/>Localização: Retorno do ar ao túnel de tratamento dentro da câmara</p>                                        |                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                   |                                                                                       |
| <p><i>Passagens Tubulares</i> - As passagens tubulares, localizadas na frente do equipamento, existem para possibilitar a colocação de sondas de medição no interior da câmara de testes.</p>                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                   |                                                                                       |
| <p><i>Evaporador</i> - Permite o arrefecimento do ar na câmara de testes, e encontra-se atrás da grelha de circulação de ar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Tipo: Permutador de cobre-alumínio a ar forçado<br/>Controlo de Fluido: Válvula de expansão Danfoss TS2 (VEX1)<br/>Localização: Túnel de tratamento de ar dentro da câmara</p> |    |
| <p><i>Humidificador</i> - Permite a humedificação do ar na câmara de testes.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Tipo: Humidificador ultra-sónico<br/>Marca: ARALAB<br/>Localização: Montados na parte traseira da câmara</p>                                                                   |   |
| <p><i>Resistências</i> - Permitem o aquecimento do ar na câmara de testes, e encontram-se atrás da grelha de circulação de ar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Tipo: Resistências eléctricas em aço inoxidável 2000 W<br/>Marca/Modelo: ARALAB 400V-2000W<br/>Localização: Túnel de tratamento de ar dentro da câmara</p>                     |  |
| <p><i>Ventilação</i> - Permite uma distribuição uniforme das condições de <math>T_a</math> e <math>H_r</math> no interior câmara. (Ventiladores centrífugos)</p>                                                                                                                                                                                                                           | <p>Marca: Metec<br/>Modelo: CMP 820-4T Inox<br/>Localização: Montados na parte traseira da câmara</p>                                                                             |  |
| <p><i>Luminária</i> - permite a iluminação no interior da câmara de testes.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Possui 2 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes 58W 230V, referência LAMP58W21</p>                                                                                            |  |
| <p><i>Controlador</i> - Permite a regulação das condições climáticas, controlo de alarmes, visualização em tempo real das variáveis de processo, execução de programas, entre outras funções.</p>                                                                                                                                                                                          | <p>Marca: ARALAB<br/>Modelo: CLIMAPLUS V<br/>Microprocessador: Versão THC 834<br/>Localização: Quadro de comandos na frente da câmara</p>                                         |  |

#### 11.1.4. Câmara Climática – Ensaios por Laboratório Acreditado

A calibração da câmara objectiva, para além da obtenção do erro de leitura em vários pontos da gama de trabalho por comparação de leituras de temperatura e humidade com valores padrão, avaliar a uniformidade e estabilidade dos parâmetros referidos, no interior da câmara. Este tipo de ensaio permite identificar as zonas que apresentam maiores desvios em relação à temperatura e humidade médias. Para a realização do ensaio recorreu-se a um laboratório externo acreditado, o ISQ (Instituto para a Soldadura e Qualidade). Neste sentido, foram colocados 8 sensores de temperatura e humidade relativa em zonas representativas do interior da câmara para evitar o

contacto com as paredes da mesma. A Figura 20 representa esquematicamente o posicionamento dos sensores.

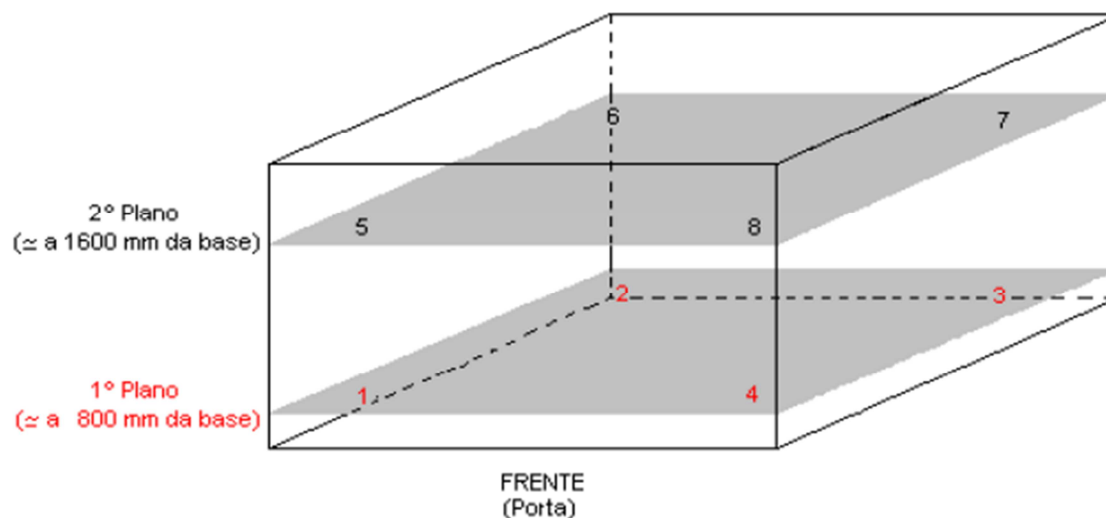


Figura 20 – Posicionamento dos sensores na câmara climática.

As Tabelas 21 e 22 mostram a validação do relatório de ensaio da câmara (Relatório nº EHUM 132/11 de 02/06/2011). Os critérios de aceitação são 1°C e 4%, para temperatura e humidade relativa, respectivamente. Foram determinados a partir de informações fornecidas pelo fabricante e pela precisão requerida para futuros ensaios.

Tabela 21 – Validação do certificado de calibração da câmara climática – temperatura.

| Temperatura | Leitura<br>Câmara<br>(°C) | Valores de Referência (°C) |                    |              |                    |              |                    |              |                    |              |                    |              |                    |              |                    |              |                    |
|-------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
|             |                           | Posição<br>1               | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>2 | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>3 | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>4 | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>5 | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>6 | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>7 | Erro<br>+Incerteza | Posição<br>8 | Erro<br>+Incerteza |
| Máxima      | -20,00                    | -20,18                     | 0,44               | -20,13       | 0,39               | -19,86       | 0,40               | -20,44       | 0,70               | -20,24       | 0,50               | -20,22       | 0,48               | -20,21       | 0,47               | -20,01       | 0,27               |
| Mínima      | -20,00                    | -20,34                     | 0,60               | -20,29       | 0,55               | -20,21       | 0,47               | -20,6        | 0,86               | -20,4        | 0,66               | -20,38       | 0,64               | -20,18       | 0,44               | -20,17       | 0,43               |
| Máxima      | 0,00                      | -0,07                      | 0,33               | 0,16         | 0,42               | 0,1          | 0,36               | -0,16        | 0,42               | -0,18        | 0,44               | -0,1         | 0,36               | 0,25         | 0,51               | 0,22         | 0,48               |
| Mínima      | 0,00                      | -0,16                      | 0,42               | 0,09         | 0,35               | -0,03        | 0,29               | -0,26        | 0,52               | -0,33        | 0,59               | -0,26        | 0,52               | 0,1          | 0,36               | 0,13         | 0,39               |
| Máxima      | 10,00                     | 10,11                      | 0,32               | 10,37        | 0,58               | 10,07        | 0,28               | 10,14        | 0,35               | 9,95         | 0,26               | 10,06        | 0,27               | 10,35        | 0,56               | 10,23        | 0,44               |
| Mínima      | 9,90                      | 9,97                       | 0,28               | 10,28        | 0,59               | 9,98         | 0,29               | 10,04        | 0,35               | 9,86         | 0,25               | 9,9          | 0,21               | 10,21        | 0,52               | 10,13        | 0,44               |
| Máxima      | 25,00                     | 25,12                      | 0,33               | 25,59        | 0,80               | 25,00        | 0,21               | 25,38        | 0,59               | 24,98        | 0,23               | 25,13        | 0,34               | 25,36        | 0,57               | 25,22        | 0,43               |
| Mínima      | 25,00                     | 24,89                      | 0,32               | 25,36        | 0,57               | 24,83        | 0,38               | 25,16        | 0,37               | 24,75        | 0,46               | 24,91        | 0,30               | 25,14        | 0,35               | 25,00        | 0,21               |
| Máxima      | 25,00                     | 25,18                      | 0,39               | 25,59        | 0,80               | 25,06        | 0,27               | 25,45        | 0,66               | 25,09        | 0,30               | 25,20        | 0,41               | 25,37        | 0,58               | 25,22        | 0,43               |
| Mínima      | 25,00                     | 25,02                      | 0,23               | 25,42        | 0,63               | 24,90        | 0,31               | 25,25        | 0,46               | 24,88        | 0,33               | 24,97        | 0,24               | 25,20        | 0,41               | 25,06        | 0,27               |
| Máxima      | 25,00                     | 25,16                      | 0,37               | 25,55        | 0,76               | 24,97        | 0,24               | 25,43        | 0,64               | 25,08        | 0,29               | 25,17        | 0,38               | 25,27        | 0,48               | 25,12        | 0,33               |
| Mínima      | 25,00                     | 24,93                      | 0,28               | 25,28        | 0,49               | 24,74        | 0,47               | 25,20        | 0,41               | 24,79        | 0,42               | 24,95        | 0,26               | 25,11        | 0,32               | 24,89        | 0,32               |
| Máxima      | 35,00                     | 34,93                      | 0,28               | 35,49        | 0,70               | 34,79        | 0,42               | 35,37        | 0,58               | 34,87        | 0,34               | 35,00        | 0,21               | 35,14        | 0,35               | 34,93        | 0,28               |
| Mínima      | 34,90                     | 34,78                      | 0,33               | 35,33        | 0,64               | 34,63        | 0,48               | 35,17        | 0,48               | 34,65        | 0,46               | 34,84        | 0,27               | 34,97        | 0,28               | 34,77        | 0,34               |
| Máxima      | 50,10                     | 49,77                      | 0,65               | 50,54        | 0,76               | 49,48        | 0,94               | 50,38        | 0,60               | 49,63        | 0,79               | 49,90        | 0,52               | 49,94        | 0,48               | 49,66        | 0,76               |
| Mínima      | 49,90                     | 49,49                      | 0,73               | 50,19        | 0,61               | 49,26        | 0,96               | 50,05        | 0,47               | 49,38        | 0,84               | 49,62        | 0,60               | 49,67        | 0,55               | 49,46        | 0,76               |
| Máxima      | 45,00                     | 44,88                      | 0,44               | 45,48        | 0,80               | 44,63        | 0,69               | 45,41        | 0,73               | 44,79        | 0,53               | 44,99        | 0,33               | 45,09        | 0,41               | 44,80        | 0,52               |
| Mínima      | 45,00                     | 44,74                      | 0,58               | 45,38        | 0,70               | 44,49        | 0,83               | 45,25        | 0,57               | 44,63        | 0,69               | 44,85        | 0,47               | 44,88        | 0,44               | 44,66        | 0,66               |

Tabela 22 - Validação do certificado de calibração da câmara climática – Humidade Relativa.

| Humida de Relativa | Leitur a na Câmar a (%) | Valores de Referência (%) |                 |           |                 |           |                 |           |                 |           |                 |           |                 |           |                 |           |                 |
|--------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
|                    |                         | Posição 1                 | Erro+Incertez a | Posição 2 | Erro+Incertez a | Posição 3 | Erro+Incertez a | Posição 4 | Erro+Incertez a | Posição 5 | Erro+Incertez a | Posição 6 | Erro+Incertez a | Posição 7 | Erro+Incertez a | Posição 8 | Erro+Incertez a |
| Máxima             | 30,60                   | 31,87                     | 2,57            | 32,06     | 2,76            | 31,45     | 2,15            | 32,05     | 2,75            | 31,73     | 2,43            | 31,56     | 2,26            | 31,53     | 2,23            | 31,57     | 2,27            |
| Mínima             | 29,50                   | 30,41                     | 2,21            | 30,61     | 2,41            | 30        | 1,80            | 30,6      | 2,40            | 30,26     | 2,06            | 30,1      | 1,90            | 30,06     | 1,86            | 30,12     | 1,92            |
| Máxima             | 40,70                   | 41,34                     | 1,94            | 41,49     | 2,09            | 40,89     | 1,49            | 41,56     | 2,16            | 41,26     | 1,86            | 41,05     | 1,65            | 41        | 1,60            | 40,92     | 1,52            |
| Mínima             | 39,60                   | 40,34                     | 2,04            | 40,56     | 2,26            | 39,92     | 1,62            | 40,54     | 2,24            | 40,24     | 1,94            | 40,05     | 1,75            | 40,05     | 1,75            | 40,01     | 1,71            |
| Máxima             | 60,20                   | 61,84                     | 3,04            | 61,86     | 3,06            | 61,54     | 2,74            | 61,94     | 3,14            | 61,87     | 3,07            | 61,85     | 3,05            | 61,5      | 2,70            | 61,58     | 2,78            |
| Mínima             | 59,80                   | 61,24                     | 2,84            | 61,33     | 2,93            | 61,11     | 2,71            | 61,29     | 2,89            | 61,26     | 2,86            | 61,34     | 2,94            | 61,04     | 2,64            | 61,07     | 2,67            |
| Máxima             | 70,10                   | 71,64                     | 3,44            | 71,82     | 3,62            | 71,44     | 3,24            | 71,70     | 3,50            | 71,75     | 3,55            | 71,70     | 3,50            | 71,59     | 3,39            | 71,65     | 3,45            |
| Mínima             | 69,80                   | 71,15                     | 3,25            | 71,32     | 3,42            | 70,98     | 3,08            | 71,16     | 3,26            | 71,28     | 3,38            | 71,24     | 3,34            | 71,19     | 3,29            | 71,29     | 3,39            |
| Máxima             | 98,00                   | 96,63                     | 3,27            | 97,08     | 2,82            | 96,85     | 3,05            | 96,86     | 3,04            | 96,61     | 3,29            | 96,55     | 3,35            | 96,72     | 3,18            | 96,96     | 2,94            |
| Mínima             | 98,00                   | 96,50                     | 3,40            | 96,75     | 3,15            | 96,68     | 3,22            | 96,78     | 3,12            | 96,56     | 3,34            | 96,50     | 3,40            | 96,60     | 3,30            | 96,48     | 3,42            |

A câmara climática está apta em toda a sua gama de trabalho, quer para a temperatura quer para a humidade relativa.

## 11.2. Outros Dispositivos Experimentais

### 11.2.1. Estação Microclimática BABUC-A

O equipamento de medição dos parâmetros ambientais utilizado é o da marca BABUC modelo A (*Laboratori di Strumentazione Industriali* (LSI)), que consiste num microprocessador electrónico que regista os dados que são processados através de um software. Este equipamento é composto por sensores que efectuem as medições de cada variável ambiental, os quais estão conectados a um dispositivo para aquisição de dados. O equipamento BABUC-A permite a medição das variáveis ambientais, com precisão, de acordo com os limites recomendados pela ISO 7726:1998.

Os sensores utilizados no presente estudo são:

- Psicrómetro de ventilação forçada:

O psicrómetro é responsável pela medição da temperatura de bolbo húmido (Tbh) e seco (Tbs), além de obter o valor da humidade relativa do ar (Hr).

- Termómetro de Globo:

O sensor utilizado foi o termómetro de globo negro, de 15 cm de diâmetro e emissividade igual a 0,95, padronizado pela norma ISO 7726:1998, e responsável pela medição da temperatura de globo (Tg), que fornece a temperatura radiante média, em conjunto com a temperatura do ar e velocidade do ar.

- Termómetro (termopar)

Este sensor foi utilizado para a medição da temperatura do ar.

- Anemómetro de Fio Quente:

O sensor utilizado para a medição da velocidade do ar foi o anemómetro de fio quente.

A Figura 21 mostra o equipamento e os seus principais componentes.

O equipamento é calibrado anualmente de acordo com as especificações do fabricante, num laboratório acreditado. Assim, no sentido de se perceber a necessidade de corrigir ou não valores lidos por este equipamento, fez-se a análise dos respectivos certificados de calibração conforme se pode observar nas Figuras 22, 23 e 24. Verificou-se que será necessário efectuar a correcção dos resultados obtidos pelas sondas BST 131 e BSU 132, no que respeita à temperatura, dado que  $|\text{Erro} + \text{Incerteza}| > \text{Critério de Aceitação (CA)}$ . No que respeita à humidade relativa, a sonda cumpre o respectivo CA, pelo que não será necessário efectuar qualquer tipo de correcção. Relativamente à velocidade do ar, dado o não cumprimento do CA, será um parâmetro cujos resultados medidos deverão ser corrigidos. Os CA foram obtidos através da norma ISO 7726:1998. Em anexo encontra-se a instrução de trabalho deste equipamento (Anexo IV).

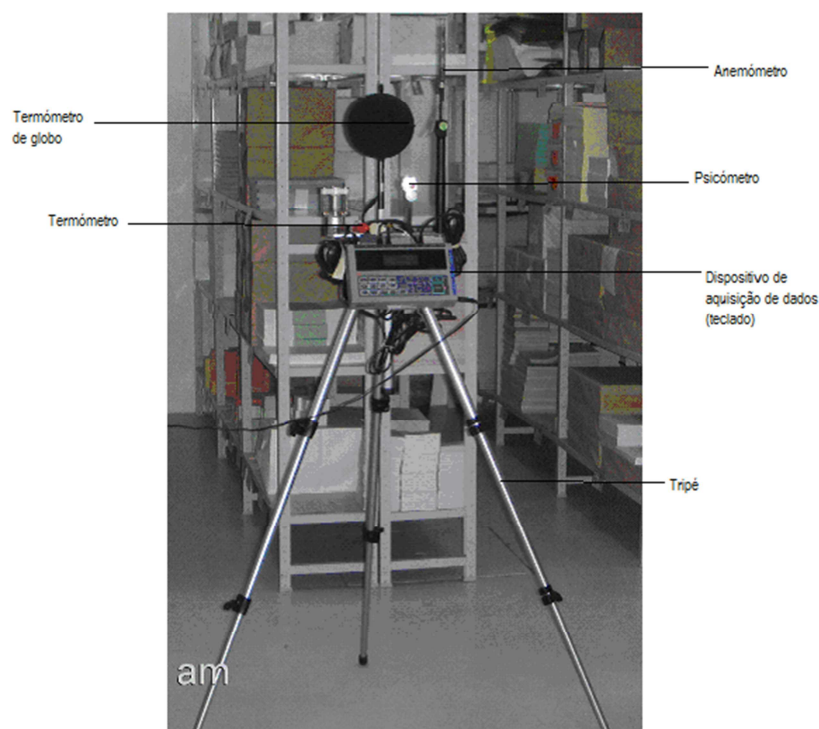
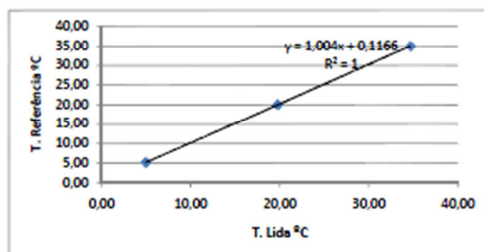


Figura 21 – BABUC-A e respectivos componentes.

| Sonda   | T. Lida | T. Referência | Erro  | Incerteza | E + Inc | C.A. |
|---------|---------|---------------|-------|-----------|---------|------|
| BST 131 | 5,00    | 5,13          | -0,13 | 0,2       | 0,33    | 0,5  |
|         | 19,80   | 20,01         | -0,21 | 0,3       | 0,51    |      |
|         | 34,70   | 34,95         | -0,25 | 0,3       | 0,55    |      |

Aprovado com correcção da gama [5,0; 34,7]



| Sonda   | T. Lida | T. Referência | Erro  | Incerteza | E + Inc | C.A. |
|---------|---------|---------------|-------|-----------|---------|------|
| BST 101 | 5,00    | 5,13          | -0,13 | 0,2       | 0,33    | 0,5  |
|         | 19,90   | 20,01         | -0,11 | 0,2       | 0,31    |      |
|         | 34,90   | 34,95         | -0,05 | 0,3       | 0,35    |      |

Aprovado sem correcção em toda a gama [5,0;34,9]

| Sonda   | T. Lida | T. Referência | Erro  | Incerteza | E + Inc | C.A. |
|---------|---------|---------------|-------|-----------|---------|------|
| BSU 121 | 5,10    | 5,13          | -0,03 | 0,2       | 0,23    | 0,5  |
|         | 19,90   | 20,00         | -0,10 | 0,3       | 0,4     |      |
|         | 34,90   | 34,95         | -0,05 | 0,3       | 0,35    |      |

Aprovado sem correcção em toda a gama [5,0;34,9]

| Sonda   | T. Lida | T. Referência | Erro  | Incerteza | E + Inc | C.A. |
|---------|---------|---------------|-------|-----------|---------|------|
| BSU 102 | 4,70    | 5,13          | -0,43 | 0,3       | 0,73    | 0,5  |
|         | 19,70   | 20,00         | -0,30 | 0,3       | 0,6     |      |
|         | 34,80   | 34,96         | -0,16 | 0,4       | 0,56    |      |

Aprovado com correcção da gama [4,7; 34,8]

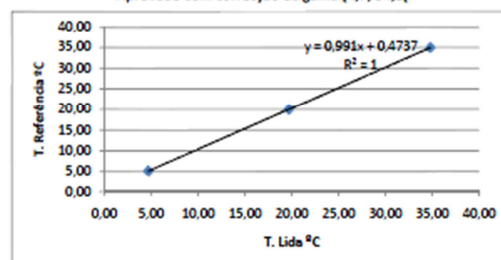


Figura 22 – Validação do certificado de calibração das sondas de temperatura em °C.

| Sonda   | Hr Lida % | Hr Referência % | Erro % | Incerteza % | E + Inc | C.A. (%) |
|---------|-----------|-----------------|--------|-------------|---------|----------|
| BSU 102 | 29,40     | 30,31           | -0,91  | 1,2         | 2,11    | 6,5 *    |
|         | 49,60     | 50,36           | -0,76  | 1,3         | 2,06    |          |
|         | 71,40     | 70,74           | 0,66   | 1,8         | 2,46    |          |

| Conversão de % para Kpa (a 20 °C) * |             |                   |          |               |         |            |
|-------------------------------------|-------------|-------------------|----------|---------------|---------|------------|
| Sonda                               | Hr Lida Kpa | Hr Referência Kpa | Erro Kpa | Incerteza Kpa | E + Inc | C.A. (Kpa) |
| BSU 102                             | 0,69        | 0,71              | -0,02    | 0,03          | 0,05    | 0,15       |
|                                     | 1,16        | 1,18              | -0,02    | 0,03          | 0,05    |            |
|                                     | 1,67        | 1,65              | 0,02     | 0,04          | 0,06    |            |

Aprovado em toda a gama [29,4; 71,4] %

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|
| * Conversão efectuada com recurso ao Software de Conversão "Propriedades Psicométricas" desenvolvido por:                                                                                                                                                                                                                                                                | Desenvolvimento: | Dr. Enq. Nathan Mendes                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  | M. Eng. Luciano A. dos Santos                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Programação:     | Kelly Christine Landolfi                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  | Marcos Dominiques Mikos<br>Detlef Vesenmeier |
| Pontifícia Universidade Católica do Pa<br>Laboratório de Sistemas Térmicos<br>R. Imaculada Conceição 1155<br>Curitiba -PR- 80215-901<br>Fones: (41) 330 1691, 330-1515 R21<br>Fax: (41) 330-1349<br>Email: nmendes@cet.pucpr.br<br><a href="http://www2.pucpr.br/educacao/ist/software_psico_prop1.html">http://www2.pucpr.br/educacao/ist/software_psico_prop1.html</a> |                  |                                              |

Figura 23 – Validação do certificado de calibração – sonda Humidade relativa em Kpa.

| Sonda   | V <sub>u</sub> Lida (m/s) | V <sub>u</sub> Referência (m/s) | Erro (m/s) | Incerteza (m/s) | E + Inc | C.A. (m/s) |
|---------|---------------------------|---------------------------------|------------|-----------------|---------|------------|
| BSV 101 | 1,67                      | 1,69                            | -0,02      | 0,1             | 0,11    | 0,1335     |
|         | 5,73                      | 4,88                            | 0,85       | 0,2             | 1       | 0,3365     |
|         | 11,41                     | 9,96                            | 1,45       | 0,3             | 1,72    | 0,6205     |

Aprovado com correcção da gama [1,67; 11,41] m/s

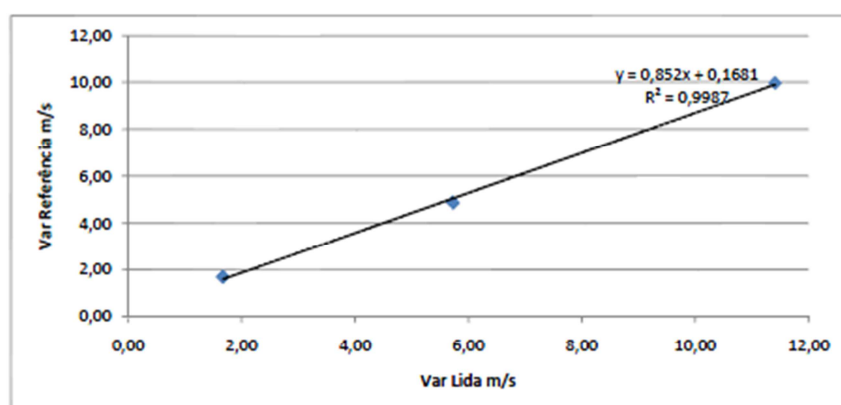


Figura 24 – Validação do certificado de calibração do anemômetro em m/s.

### 11.2.2. Luxímetro MAVOLUX 5032C/B USB

O equipamento utilizado para determinar os níveis de iluminância da câmara é um luxímetro de leitura directa, modelo MAVOLUX 5032C/B USB. A Figura 25 mostra o equipamento utilizado. A sua calibração é efectuada regularmente em laboratório de calibração acreditado. A Figura 25 mostra a validação do certificado de calibração. O CA de 10% está estabelecido na norma ISO/CIE 8995-1:2002. Na Tabela 23 é possível verificar a validação do certificado de calibração do equipamento.



Figura 25 – Luxímetro MAVOLUX 5032C/B USB.

Tabela 23 – Validação do certificado de calibração do luxímetro.

| Escala                                   | Inc. (%) | Valor ref (lx) | Valor lido (lx) | Erro (lx) | Erro (%) | Erro+Inc   (%) | CA (%) |
|------------------------------------------|----------|----------------|-----------------|-----------|----------|----------------|--------|
| 200 Lx                                   | 1,5      | 50             | 49,8            | -0,2      | -0,4     | 2              | 10     |
|                                          | 1,5      | 100            | 99,5            | -0,5      | -0,5     | 2              |        |
|                                          | 1,5      | 150            | 149,4           | -0,6      | -0,4     | 2              |        |
|                                          | 1,5      | 180            | 179,3           | -0,7      | -0,4     | 2              |        |
| 10000 Lx                                 | 1,5      | 500            | 496             | -4        | -0,8     | 2              |        |
|                                          | 1,5      | 999            | 989             | -10       | -1,0     | 3              |        |
|                                          | 1,5      | 1500           | 1485            | -15       | -1,0     | 3              |        |
|                                          | 1,5      | 1800           | 1783            | -17       | -0,9     | 2              |        |
| Aprovado sem correcção na gama [50,1800] |          |                |                 |           |          |                |        |

### 11.2.3. Sonómetro 01 dB SOLO Premium

O equipamento para monitorizar os níveis de ruído foi o Sonómetro 01 dB modelo SOLO Premium. Este equipamento é calibrado anualmente em laboratório de calibração acreditado, estando apto para medições acústicas. A Figura 26 mostra o sonómetro utilizado.



Figura 26- Sonómetro 01 dB SOLO Premium.

### 11.3.Procedimento Experimental

Os ensaios efectuados objectivaram validar e testar a Câmara Climática 25000 EC20, sem ocupação. A planificação dos ensaios teve em consideração a utilização futura da câmara. Assim sendo optou-se por estudar e validar as gamas de trabalho que serão utilizadas primeiramente em trabalhos futuros. Os ensaios foram realizados durante os meses de Março a Julho de 2011.

As curvas de temperatura e humidade foram efectuadas através da definição dos respectivos *set-points*. Nas curvas de aquecimento/arrefecimento e humidificação/desumidificação o princípio foi o mesmo, contudo os dados foram monitorizados pela estação microclimática BABUC-A e foi efectuada a monitorização do ruído que a câmara produz nestas curvas.

A determinação dos níveis de iluminância visou essencialmente caracterizar a luminosidade no interior da câmara e a adequabilidade do sistema artificial de iluminação instalado.

Outras questões de relativas à funcionalidade do equipamento foram testadas, nomeadamente a verificação da influência da abertura e fecho de porta nas condições termo-higrométricas da câmara. A gravação de todos os dados foi efectuada através do programa *Fitolog*.

Foram definidos critérios de aceitação para os parâmetros controláveis da câmara climática, tendo em conta informações do fabricante e a utilização futura da instalação. Assim, definiu-se  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  para temperatura e  $\pm 4\%$  para a humidade relativa.

A Tabela 24 resume os ensaios realizados e os respectivos objectivos.

Tabela 24 – Ensaios de Validação da Câmara Climática

| Ensaio                                                                             | Curva                                                                                                                                                                                                    | Objectivo                                                                                                                                    | Técnica de Ensaio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Curvas Temperatura em função da Humidade                                           | 15-50 °C /<br>50°C 15°C –<br>30%                                                                                                                                                                         | Obter tempos de resposta e de estabilização                                                                                                  | Definição dos <i>set-points</i> pretendidos no controlo de comando da câmara. Tempo de aquisição de dados de 30 em 30s. Gravação dos dados através do <i>software fitolog</i> e transferência pelo <i>software fitoview</i> .<br>Duração dos ensaios variável.                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                    | 15-50 °C /<br>50°C 15°C –<br>40%                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                    | 15-50 °C /<br>50°C 15°C –<br>50%                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                    | 15-50 °C /<br>50°C 15°C –<br>60%                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                    | 15-50 °C /<br>50°C 15°C –<br>70%                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                    | 15-50 °C /<br>50°C 15°C –<br>80%                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Curvas de Humidade em função Temperatura                                           | 15-(-) 20°C / -<br>20°C-15°C –<br>30%                                                                                                                                                                    | Caracterizar a emissão de ruído e monitorizar as curvas com a estação microclimática BABUC-A                                                 | Definição dos <i>set-points</i> pretendidos no controlo de comando da câmara. Tempo de aquisição de dados de 1 em 1min. Gravação dos dados através do <i>software fitolog</i> e transferência pelo <i>software fitoview</i> .<br>Colocação do BABUC-A e do sonómetro no interior da câmara, com tempo de aquisição de dados de 1min e 1s respectivamente. Operacionalidade dos equipamentos, como factor limitante dos intervalos de Tar e Hr estudados.<br>Duração dos ensaios variável. |
|                                                                                    | 40-98 % (25°C)                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                    | 30-90 % (30°C)                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                    | 30-70 % (19°C)                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Curva de Arrefecimento                                                             | 40-5°C a 30%                                                                                                                                                                                             | Caracterizar a emissão de ruído e monitorizar as curvas com a estação microclimática BABUC-A                                                 | Divisão imaginária da câmara em 9 quadrados e medição dos níveis de iluminância com recurso a um luxímetro, no centro de cada quadrado, ao nível dos olhos na posição de pé.<br>Medições efectuadas com luzes ligadas/desligadas em alturas do dia em que se prevê a utilização da câmara.                                                                                                                                                                                                |
| Curva de Aquecimento                                                               | 5º-40°C a 30%                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Curva de Humidificação                                                             | 30-80% a 25°C                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Curva de Desumidificação                                                           | 80-30% a 25°C                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Determinação dos níveis de Iluminância                                             | ---                                                                                                                                                                                                      | Caracterizar a luminosidade no interior da câmara                                                                                            | Definição dos <i>set-points</i> pretendidos no controlo de comando da câmara. Tempo de aquisição de dados de 30 em 30s. Gravação dos dados através do <i>software fitolog</i> e transferência pelo <i>software fitoview</i> .                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Verificação da Influência da abertura e fecho de Porta nos parâmetros controláveis | ---                                                                                                                                                                                                      | Verificar a existência de condicionalismos na abertura e fecho de porta da câmara em estado estável                                          | Definição dos <i>set-points</i> pretendidos no controlo de comando da câmara. Tempo de aquisição de dados de 30 em 30s. Gravação dos dados através do <i>software fitolog</i> e transferência pelo <i>software fitoview</i> .                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Distribuição e Uniformidade de Temperatura e Humidade Relativa                     | Temperatura:<br>25°C (30%,<br>40%, 98%);<br>35°C (60%);<br>45 °C (60%);<br>50°C (60%);<br>10°C;<br>0°C;<br>-20°C.<br>Humidade:<br>30% (25°C);<br>40% (25°C);<br>60% (25°C);<br>70 (45°C);<br>98% (25°C). | Identificar as zonas que apresentam maiores desvios em relação à temperatura média (realizado pelo Instituto de Soldadura e Qualidade – ISQ) | Definição dos <i>set-points</i> pretendidos no controlo de comando da câmara. Tempo de aquisição de dados de 30 em 30s. Gravação dos dados através do <i>software fitolog</i> e transferência pelo <i>software fitoview</i> .<br>Colocação de 8 sondas distribuídas por 2 planos (um inferior e outro superior).                                                                                                                                                                          |



## 12. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 12.1. Análise de Curvas de Aquecimento

De seguida são apresentadas as Figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 32 que mostram gráficos que representam as curvas de aquecimento na gama de 15 a 50 °C, a diferentes percentagens de humidade relativa. Para além das curvas, estes gráficos mostram o *Set-Point* de cada parâmetro, bem como a tolerância máxima e mínima definida ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$  para a temperatura e  $\pm 4\%$  para a humidade relativa). A Tabela 25 resume os dados observáveis a partir das referidas figuras.

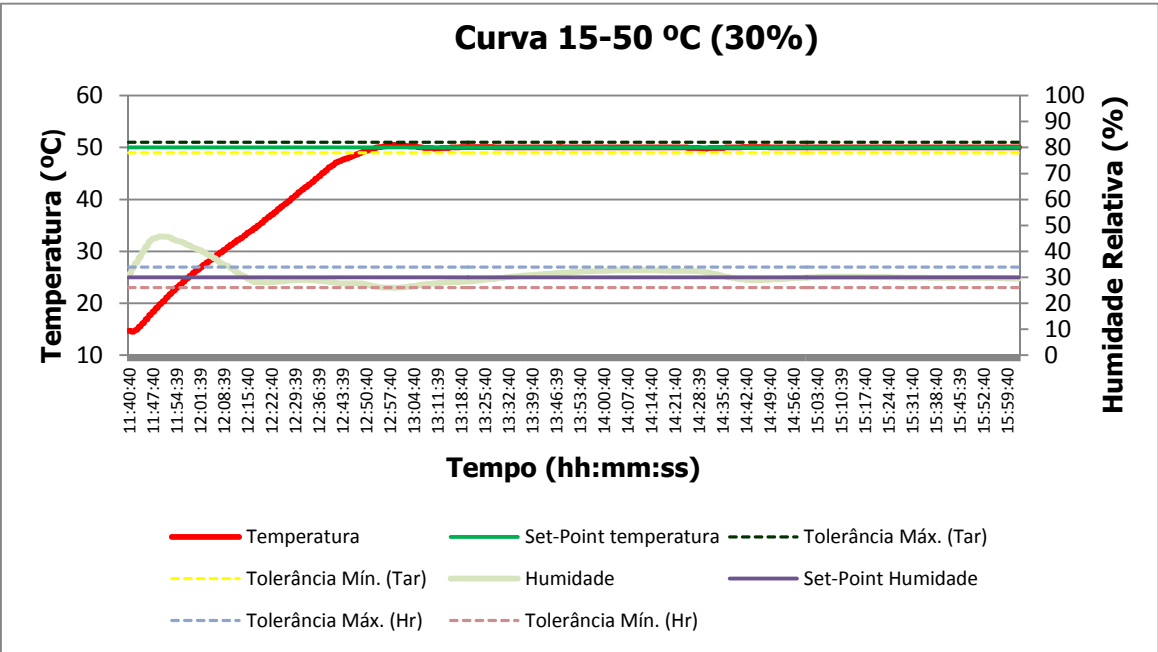


Figura 27 – Curva 15-50°C a 30%.

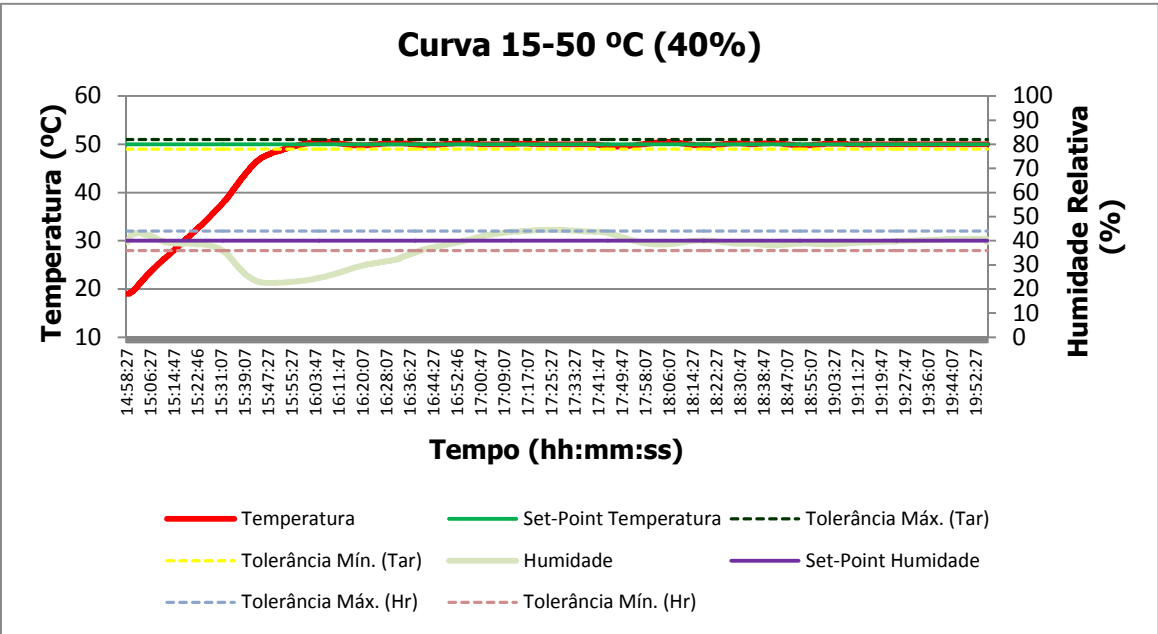


Figura 28 – Curva 15-50 °C a 40%.

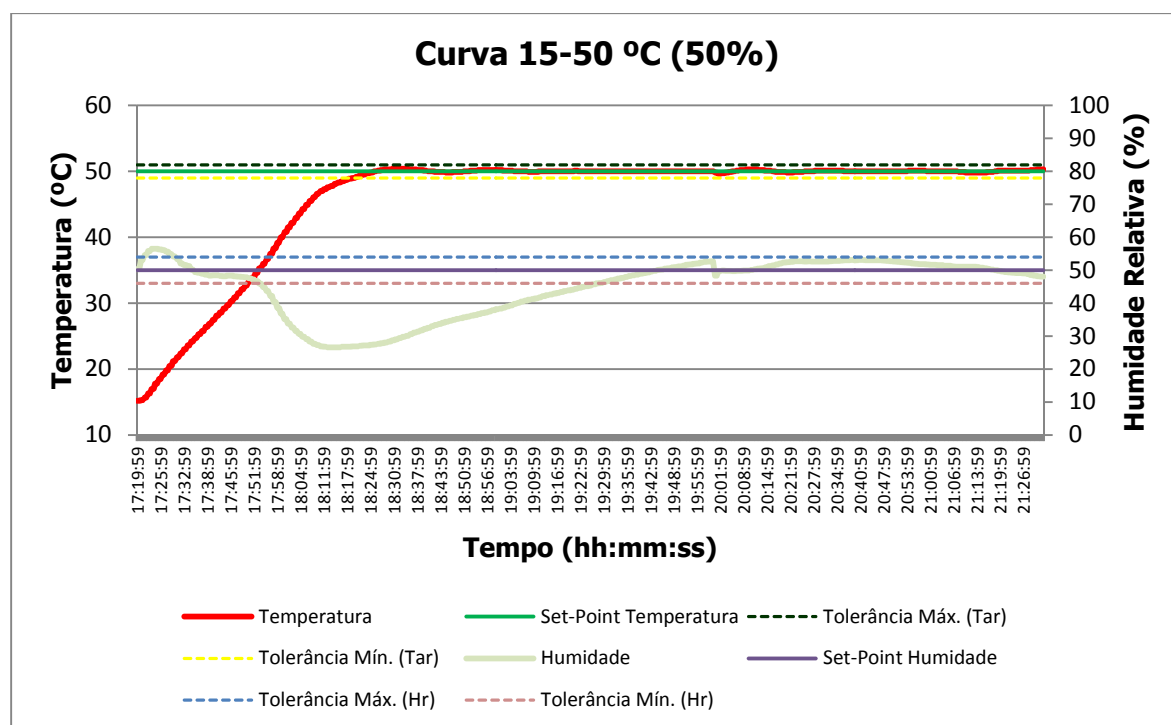


Figura 29 – Curva 15-50 °C a 50 %.

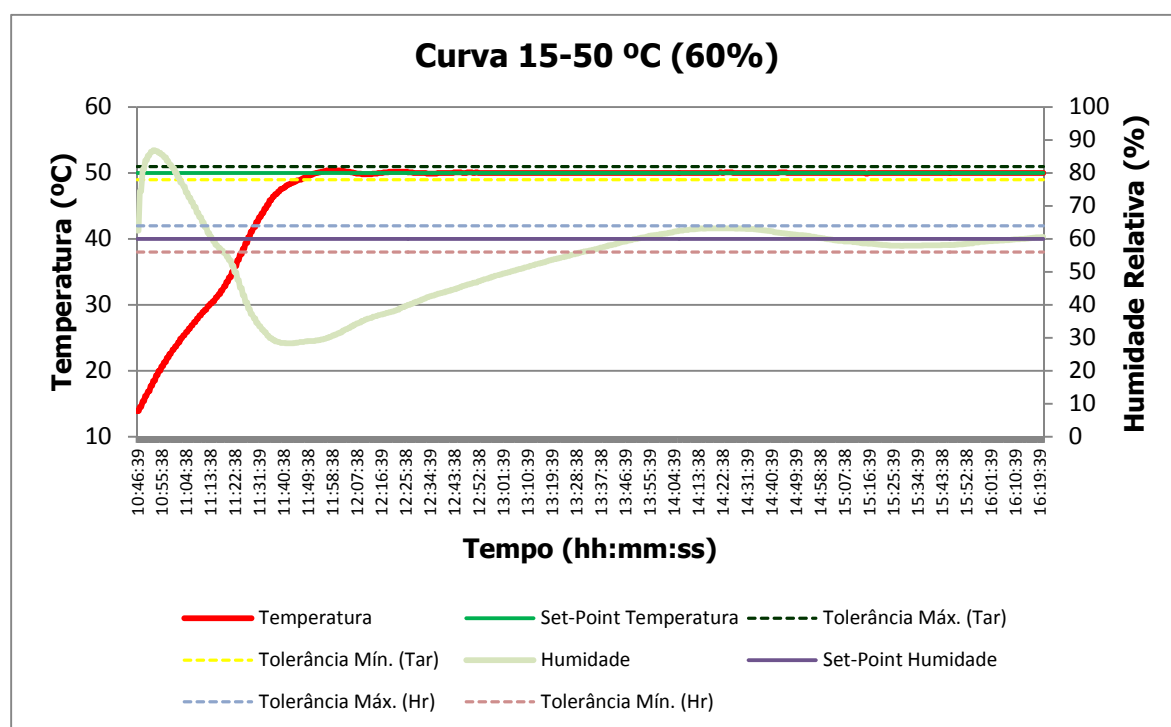


Figura 30 – Curva 15-50 °C a 60 %.

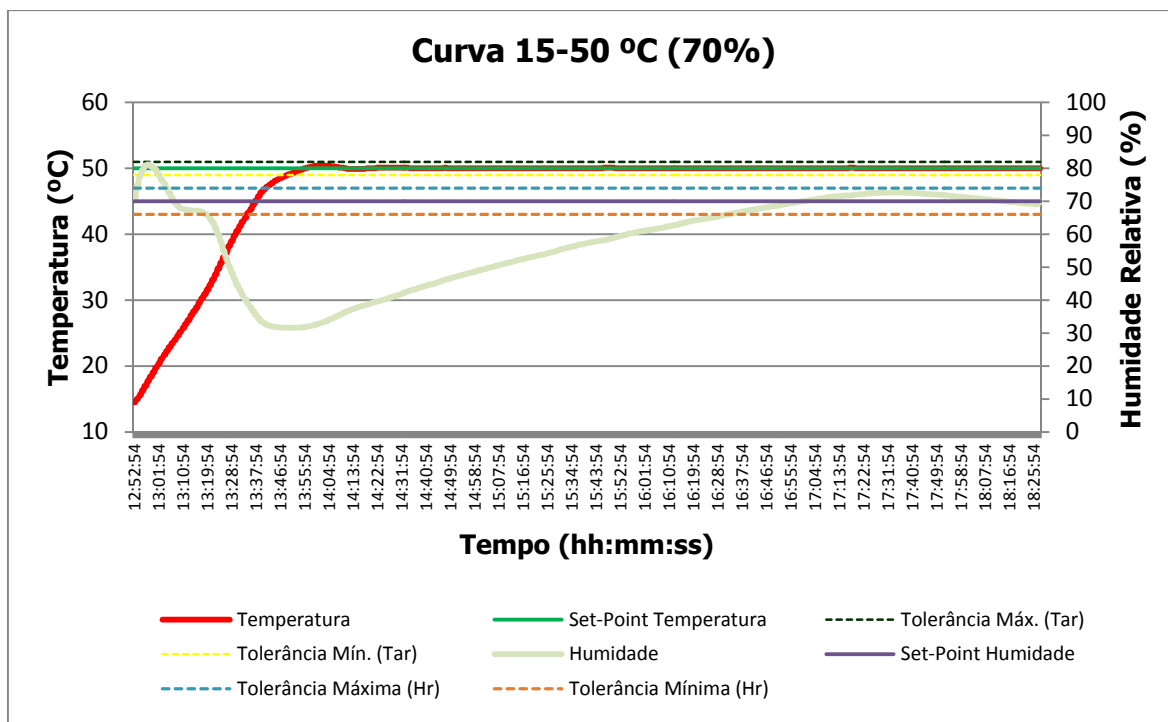


Figura 31 – Curva 15-50°C a 70%.

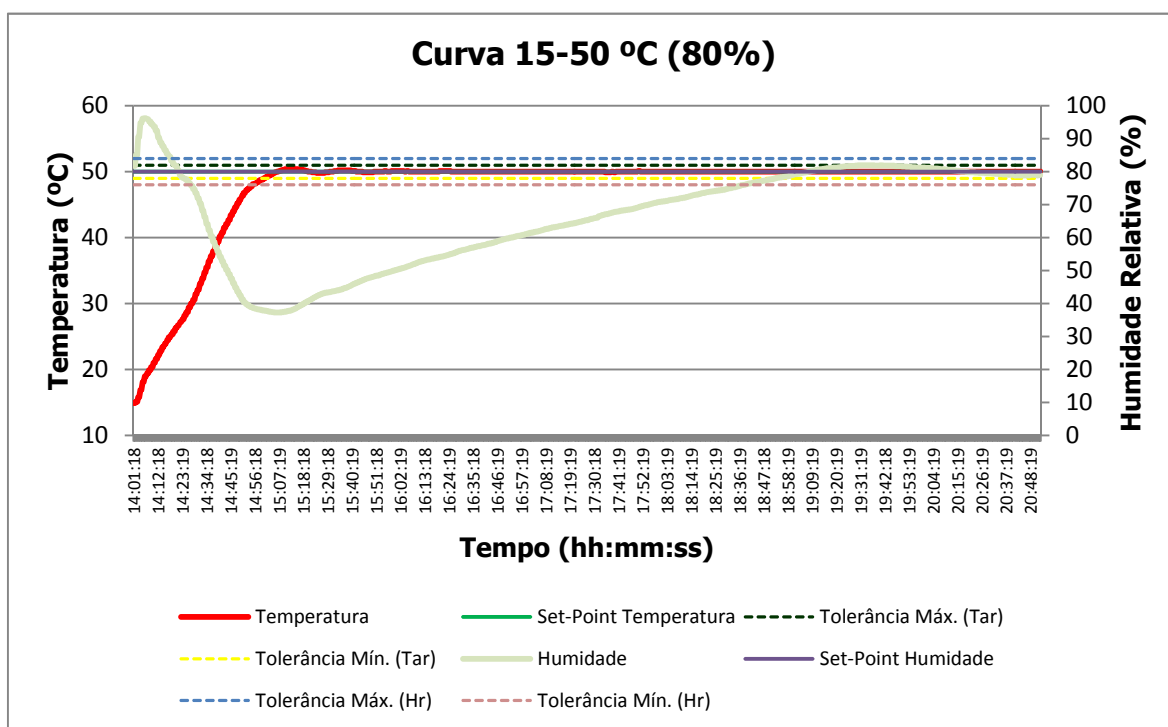


Figura 32 – Curva 15-50 °C a 80%.

Pela análise da Figura 27 verifica-se que a humidade sofreu maior oscilação tendo ao fim de 30min de ensaio entrado na faixa definida como aceitável e saído da mesma passados 39min, estabilizando ao fim de 1h19min. Relativamente à temperatura, demorou cerca de 1h09min a estabilizar.

Tabela 25 – Tempo de Estabilização da temperatura e humidade relativa nas curvas de aquecimento.

| Curva                                | Critério de Aceitação        |               | Tempo de Estabilização |         |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------|---------|
|                                      | Tar: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ | Hr: $\pm 4\%$ | Tar                    | Hr      |
| Curva 15-50 $^{\circ}\text{C}$ (30%) | 49-51 $^{\circ}\text{C}$     | 26-34 %       | 1h09min                | 1h19min |
| Curva 15-50 $^{\circ}\text{C}$ (40%) |                              | 36-44 %       | 54min                  | 2h37min |
| Curva 15-50 $^{\circ}\text{C}$ (50%) |                              | 46-54 %       | 1h00min                | 2h08min |
| Curva 15-50 $^{\circ}\text{C}$ (60%) |                              | 56-64 %       | 1h00min                | 2h44min |
| Curva 15-50 $^{\circ}\text{C}$ (70%) |                              | 66-74 %       | 57min                  | 3h40min |
| Curva 15-50 $^{\circ}\text{C}$ (80%) |                              | 76-84 %       | 59min                  | 4h37min |

Na Figura 28 verifica-se que tal como na Figura 26, os valores de humidade sofreram maior variação tendo ao fim de 1h42min de ensaio entrado na faixa definida como aceitável e saído da mesma 1h16 depois, estabilizando ao fim de 2h37min na faixa de aceitação. No que respeita à temperatura, o tempo de estabilização foi de 54min.

A Figura 29 mostra um comportamento semelhante ao das curvas anteriores. No entanto, a humidade, uma vez atingida a gama aceitável, não voltou a sair, mantendo-se na mesma ao fim de 2h08min de ensaio. A curva da temperatura teve um comportamento semelhante, atingindo valores aceitáveis ao fim de 1h00min.

Na Figura 30 é possível observar-se um comportamento das curvas, muito similar ao da figura anterior. A humidade atingiu valores aceitáveis ao fim de 2h44min de ensaio. A curva da temperatura após 1h00min entra e mantém-se na faixa de valores aceitáveis.

A Figura 31 mostra uma tendência semelhante, registando-se uma diminuição da humidade relativa proporcional ao aumento da temperatura. Após a estabilização desta última ao fim de 57min, os valores de humidade começaram a aumentar até atingirem valores aceitáveis passadas 3h40min do início do ensaio.

Na Figura 32, verifica-se que a diferença para as figuras anteriores prende-se com o tempo de estabilização da humidade relativa. Neste caso, foram necessárias cerca de 4h37min até que a humidade relativa chegasse e se mantivesse enquadrada na gama aceitável. No que concerne à temperatura, foram necessários 59min para que atingisse valores aceitáveis.

A Tabela 25 sistematiza e resume os tempos de estabilização obtidos em cada curva analisada e a partir dos quais a câmara climática poderá ser utilizada. A temperatura demora cerca de 1h a estabilizar enquanto a humidade relativa tende (excepto num caso) a demorar mais quanto mais elevados forem os níveis de humidade pretendidos.

É possível constatar que quando a temperatura aumenta, a humidade relativa tende a diminuir, e só posteriormente aumenta de forma a atingir o *Set-Point* definido.

## 12.2. Análise de Curvas de Arrefecimento

Neste ponto são apresentadas as Figuras 33, 34, 35, 36, 37 e 38 que mostram gráficos que representam as curvas de arrefecimento na gama de 50 a 15 °C, a diferentes percentagens de humidade relativa. Para além das curvas, estes gráficos mostram o *Set-Point* de cada parâmetro, bem como a tolerâncias máxima e mínima definida ( $\pm 1^\circ\text{C}$  para a temperatura e  $\pm 4\%$  para a humidade relativa). A Tabela 26 sistematiza os dados observáveis através das figuras referidas.

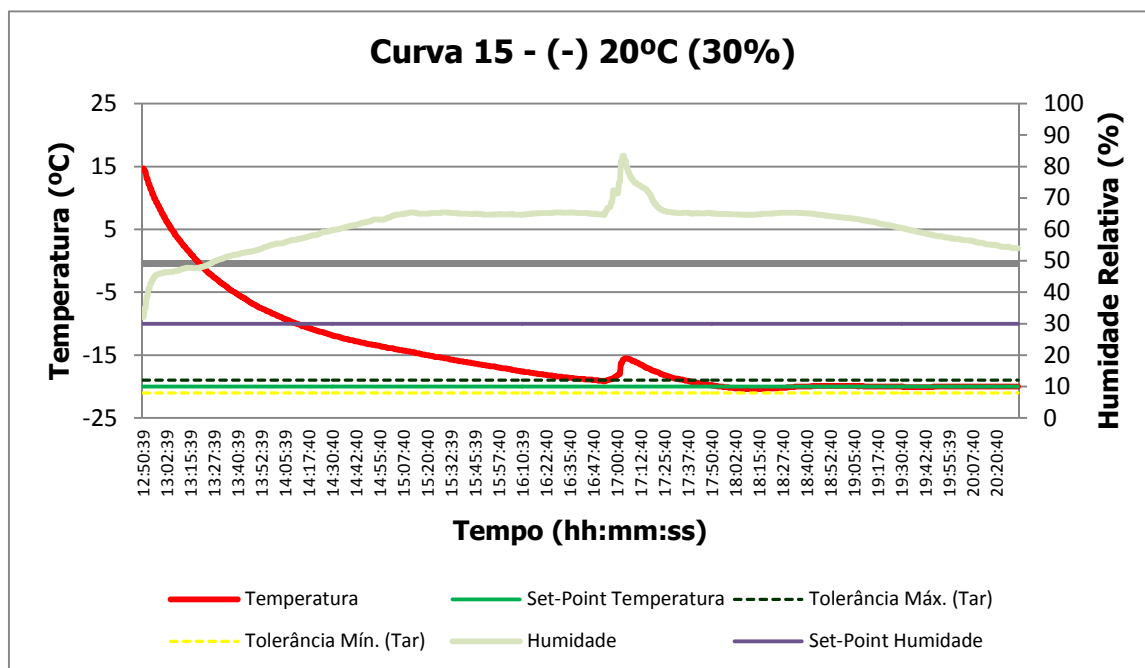


Figura 33 – Curva 15 a -20 °C a 30 %.

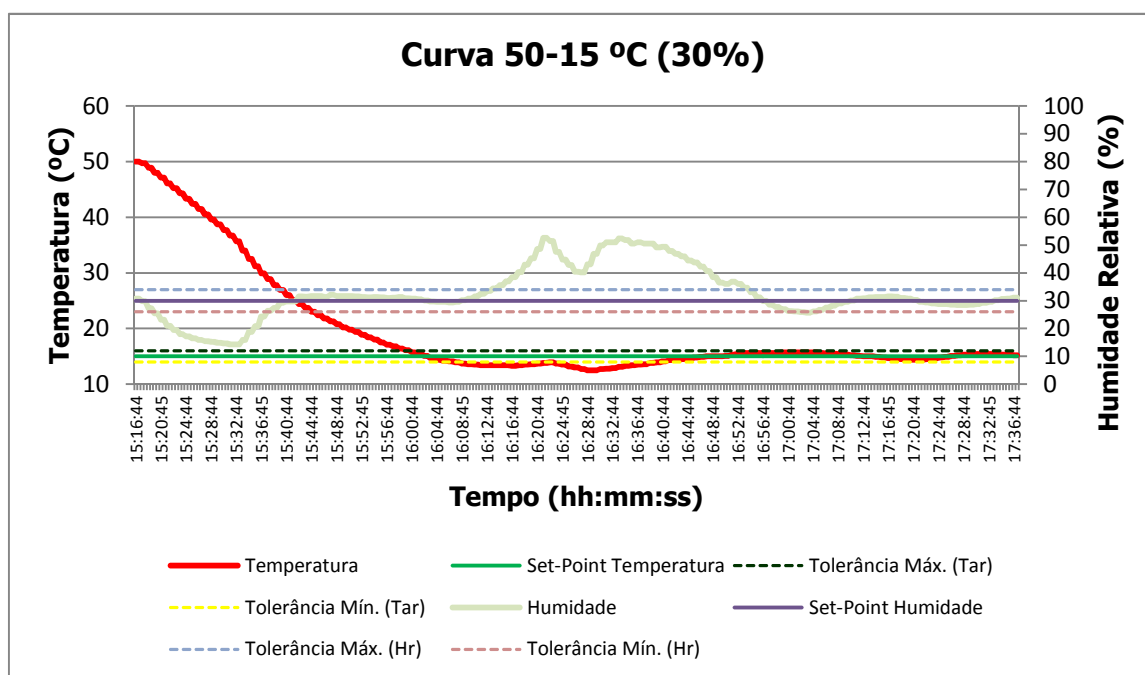


Figura 34 – Curva 50-15 °C a 30 %.

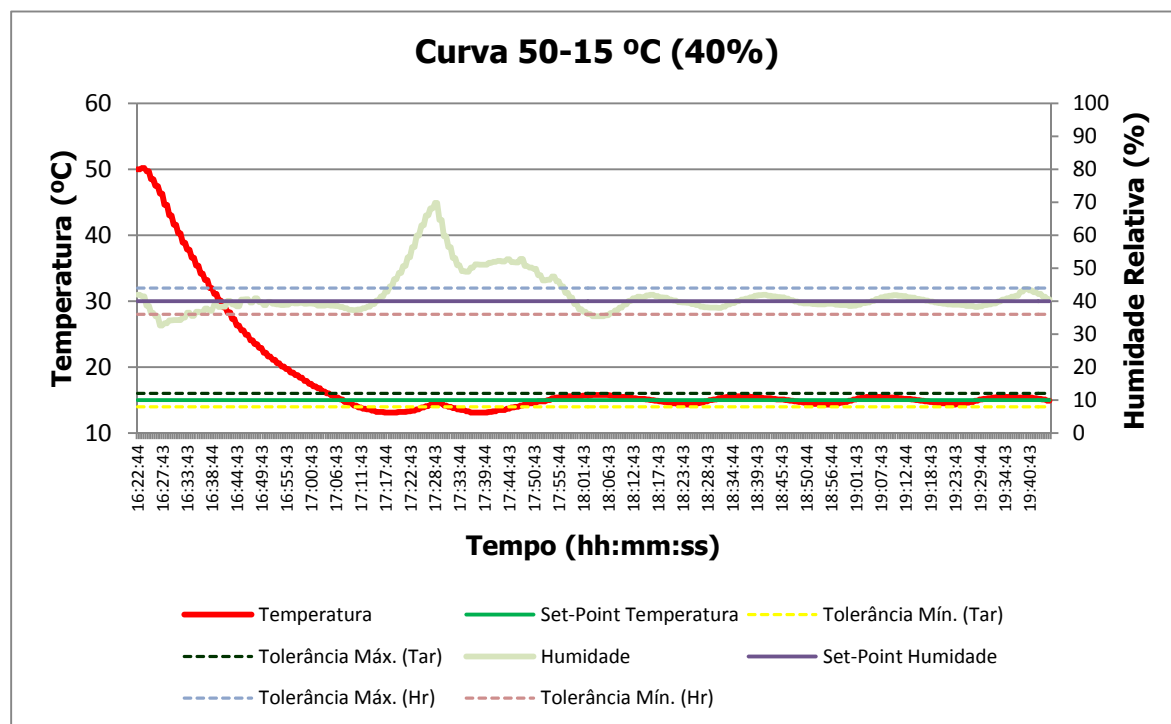


Figura 35 – Curva 50-15 °C a 40%.

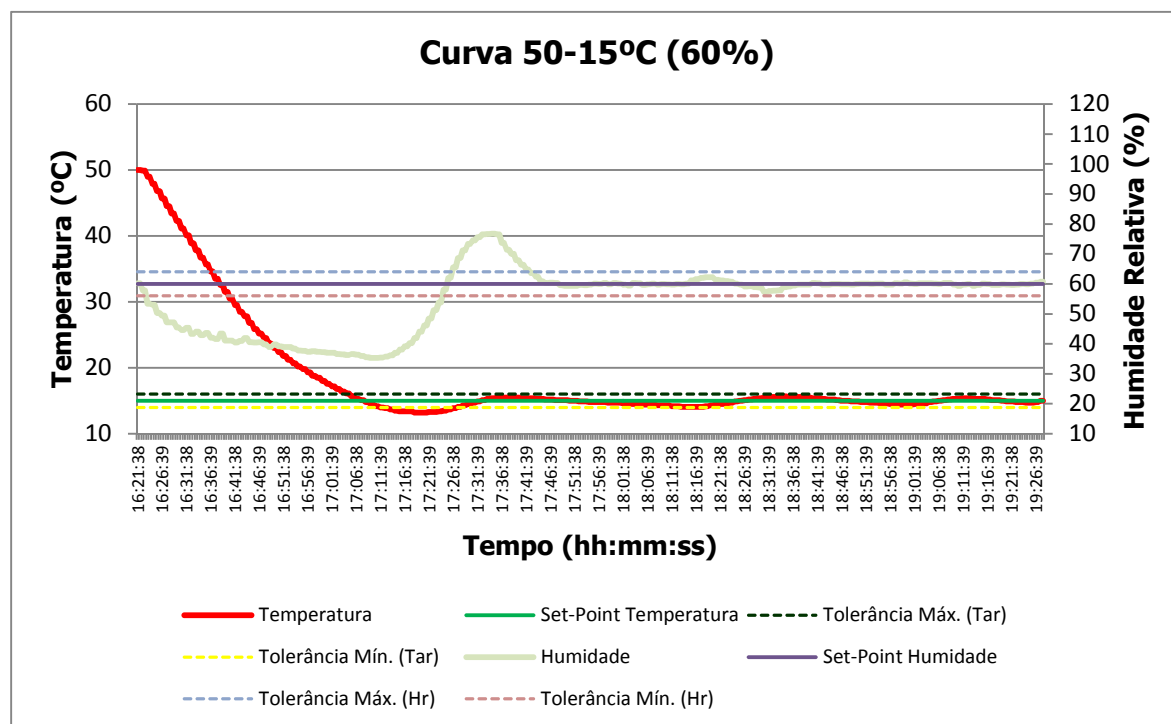


Figura 36 – Curva 50-15°C a 60%.

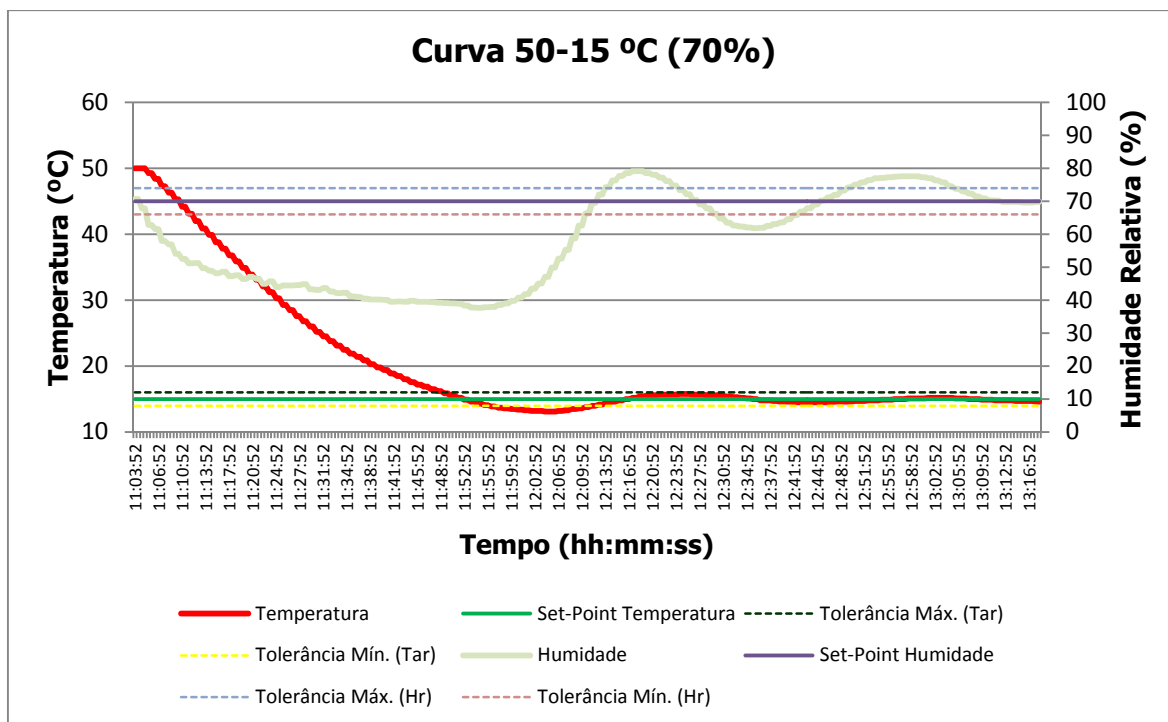


Figura 37- Curva 50-15 °C a 70%.

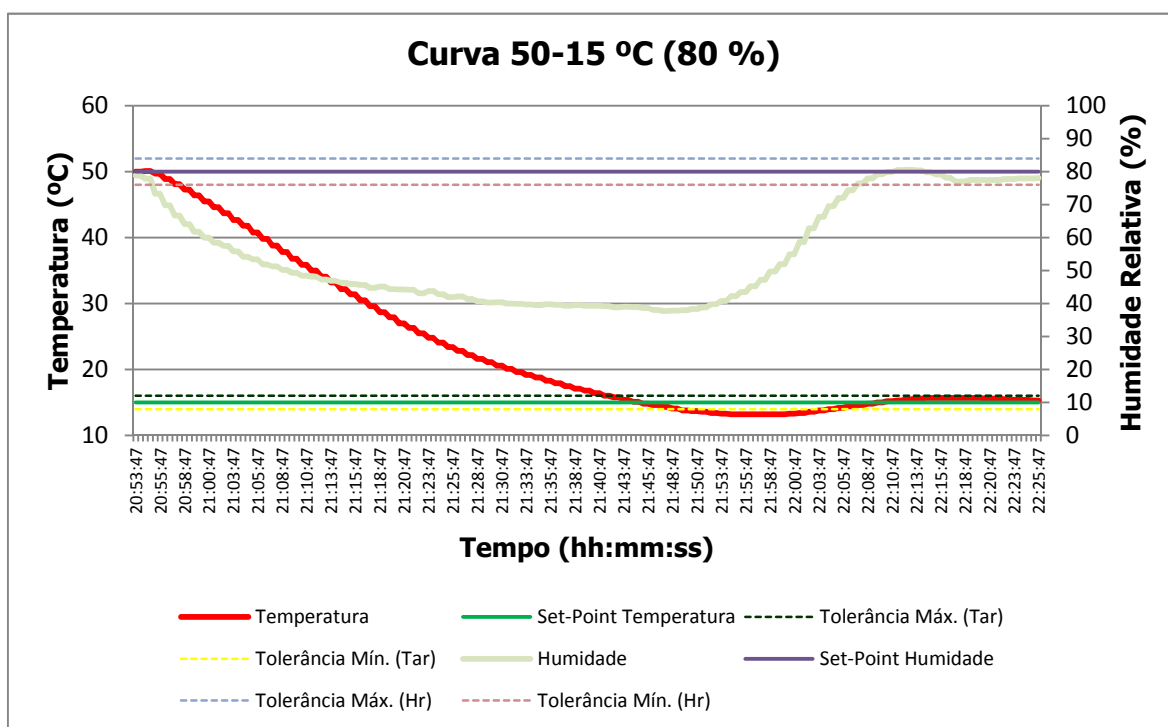


Figura 38 – Curva 50-15 °C a 80 %.

A partir da análise da Figura 33 verifica-se que a temperatura, entrou na gama aceitável após 3h37min de ensaio, tendo saído da mesma cerca de 9min depois. Estabilizou ao fim de 4h15min. Os níveis de humidade não são controláveis a partir dos 5 °C, pelo que os valores obtidos representarão pequenas variações de temperatura que em ambientes muito frios se repercutem nos valores de humidade relativa lidos durante o período de estabilização da temperatura.

Tabela 26 - Tempo de Estabilização da temperatura e humidade relativa nas curvas de arrefecimento.

| Curva                                    | Critério de Aceitação        |               | Tempo de Estabilização |         |
|------------------------------------------|------------------------------|---------------|------------------------|---------|
|                                          | Tar: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ | Hr: $\pm 4\%$ | Tar                    | Hr      |
| Curva 15- (-) $20^{\circ}\text{C}$ (30%) | -21 a $-19^{\circ}\text{C}$  | ---           | 4h15min                | ---     |
| Curva 50-15 $^{\circ}\text{C}$ (30%)     | 14-16 $^{\circ}\text{C}$     | 26-34 %       | 1h29min                | 1h48min |
| Curva 50-15 $^{\circ}\text{C}$ (40%)     |                              | 36-44 %       | 1h24min                | 1h45min |
| Curva 50-15 $^{\circ}\text{C}$ (60%)     |                              | 56-64 %       | 1h06min                | 1h21min |
| Curva 50-15 $^{\circ}\text{C}$ (70%)     |                              | 66-74 %       | 1h08min                | 2h02min |
| Curva 50-15 $^{\circ}\text{C}$ (80%)     |                              | 76-84 %       | 1h11min                | 1h14min |

Na Figura 34 verifica-se que os valores de humidade oscilaram bastante até terem entrado definitivamente na faixa definida como aceitável e ao fim de 1h48min. No que respeita à temperatura, o tempo de estabilização foi de 1h29min, notando-se alguma flutuação de valores num curto período quando estavam decorridos cerca de 44min de ensaio.

A Figura 35 mostra alguma flutuação em ambas as curvas. A humidade, apesar de ter atingido a gama aceitável passados 11min de ensaio, só estabilizou após 1h45min. A curva da temperatura entrou definitivamente na gama de valores aceitáveis ao fim de 1h24min.

Na Figura 36 é possível observar-se um comportamento das curvas, similar ao da figura anterior embora com menor oscilação. A humidade atingiu valores aceitáveis ao fim de 1h21min de ensaio. A curva da temperatura após 1h06min estabilizou na faixa de valores aceitáveis.

A Figura 37 mostra uma tendência semelhante, registando-se uma maior variação nos níveis de humidade do que nos casos anteriores. A sua estabilização ocorreu ao fim de 2h02min. No que respeita à temperatura embora tenha entrado na gama aceitável depois de 46min de ensaio, só ao fim de 1h08 é que estabilizou.

Na Figura 38, verifica-se que a diferença para as figuras anteriores prende-se com o facto da humidade relativa ter estabilizado ao fim de 1h14 de ensaio sem grande oscilação, enquanto a temperatura apesar de ter estabilizado 3min antes, ainda variou entre valores aceitáveis e inaceitáveis.

A Tabela 26 resume os tempos de estabilização obtidos em cada curva analisada e a partir dos quais a câmara climática poderá ser utilizada. A temperatura durante o arrefecimento nas gamas quentes demora em média 1h16min a estabilizar. A humidade relativa demora em média 1h47min a estabilizar, um período de tempo muito menor relativamente à fase de aquecimento.

Durante o arrefecimento é notório, principalmente a percentagens mais elevadas de humidade relativa, que quando a temperatura diminui a humidade relativa tende também a diminuir, de maneira a evitar condensação dentro da câmara. Só após a temperatura atingir o seu *set-point* é que a humidade relativa começa a aumentar.

### 12.3. Análise de Curvas de Humidificação e Desumidificação

De seguida são apresentadas as Figuras 39, 40, 41 e 42 que mostram gráficos que representam as curvas de humidificação e desumidificação em várias gamas, a diferentes temperaturas. Para além das curvas, estes gráficos mostram o *Set-Point* de cada parâmetro, bem como a tolerâncias máxima e mínima definida ( $\pm 1^\circ\text{C}$  para a temperatura e  $\pm 4\%$  para a humidade relativa).

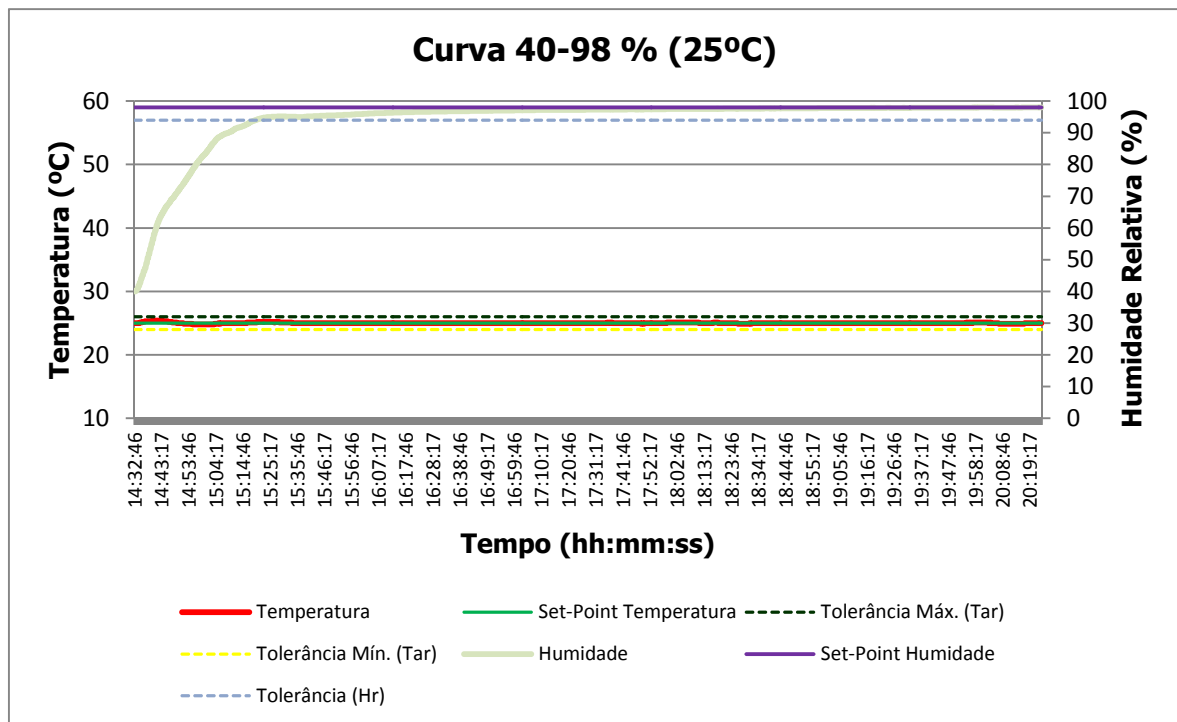


Figura 39 - Curva 40-98 % a 25 °C.

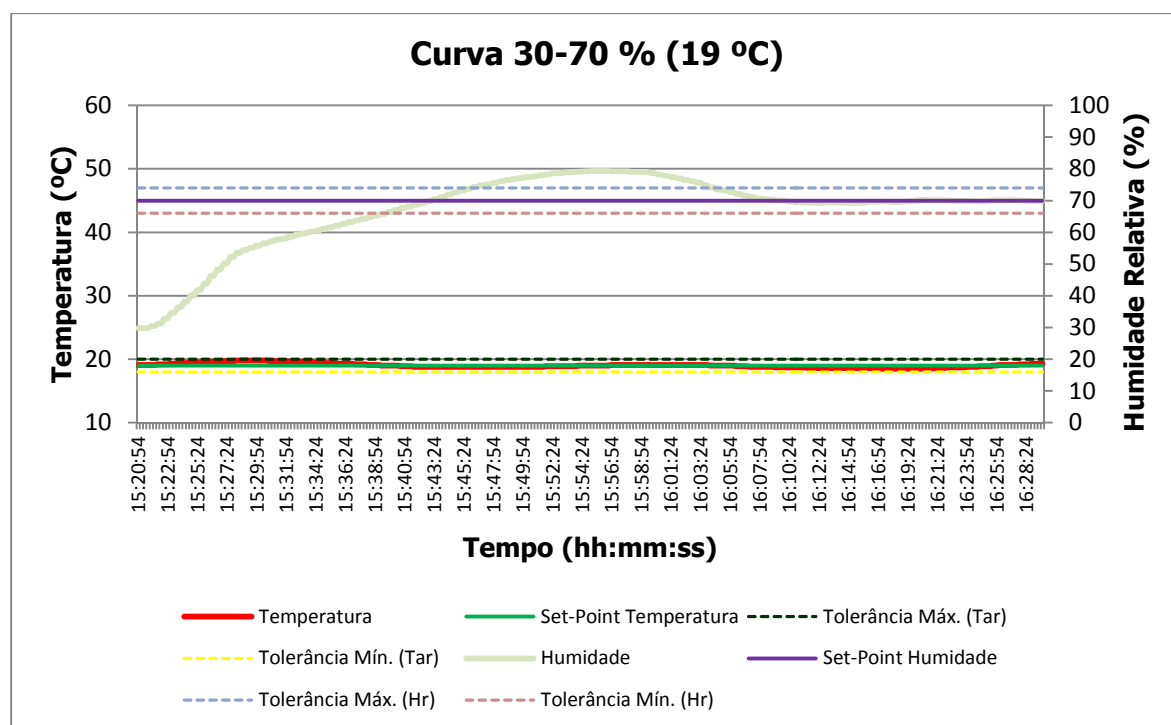


Figura 40 – Curva 30-70 % (19 °C).

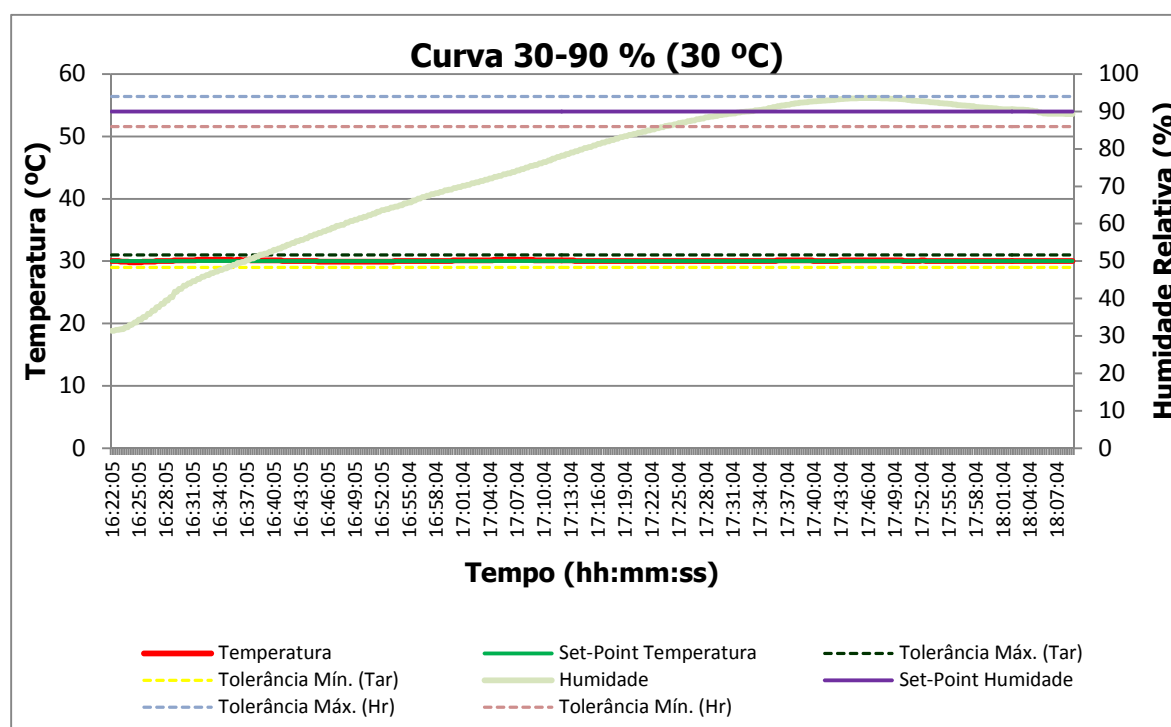


Figura 41 – Curva 30- 90 % (30°C).

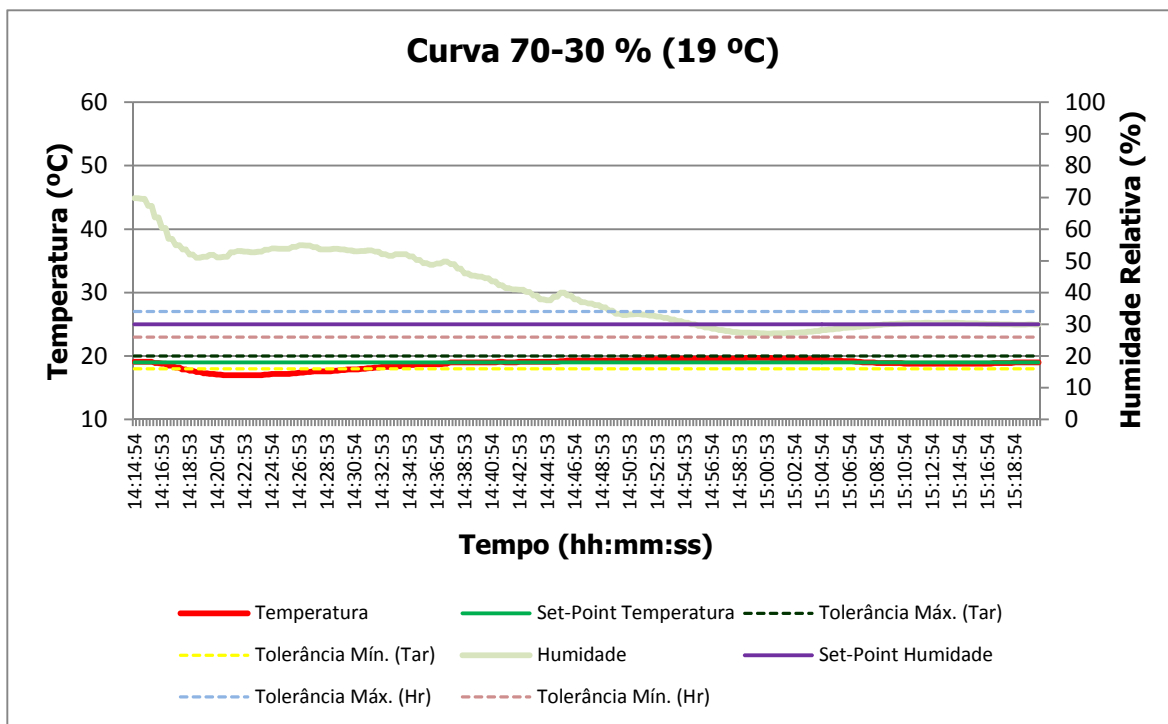


Figura 42 – Curva 70-30 % (19°C).

Em todas as figuras é possível observar que a temperatura, uma vez estável, varia muito pouco em função da humidade relativa. Assim, na Figura 39 verifica-se que a humidade relativa estabiliza ao fim de 47min de ensaio. Pela análise da Figura 40 pode-se constatar que a humidade demora cerca de 44min para estabilizar. Já na Figura 41 é possível observar que depois de 1h01min de ensaio é que este parâmetro estabiliza. A Figura 42 mostra uma estabilização da humidade relativa ao fim de 35min de ensaio.

Constata-se que de uma maneira geral, quando a temperatura está estável, os tempos de estabilização da humidade relativa são bastante menores, do que quando se pretende que ambos os parâmetros estabilizem em simultâneo.

## 12.4. Análise Comparativa de Curvas de Aquecimento-Arrefecimento, Humidificação-Desumidificação e Ruído

Neste ponto são apresentadas as Figuras 43 e 44 que mostram gráficos que representam as curvas de aquecimento/arrefecimento nas gamas de 5 a 40 °C e humidificação/desumidificação 30 a 80 %. Para além das curvas, estes gráficos mostram as curvas de temperatura e humidade obtidas pela estação microclimática BABUC-A e ainda a respectiva curva de ruído. As curvas de temperatura e humidade exteriores foram obtidas através da estação climática da FEUP.

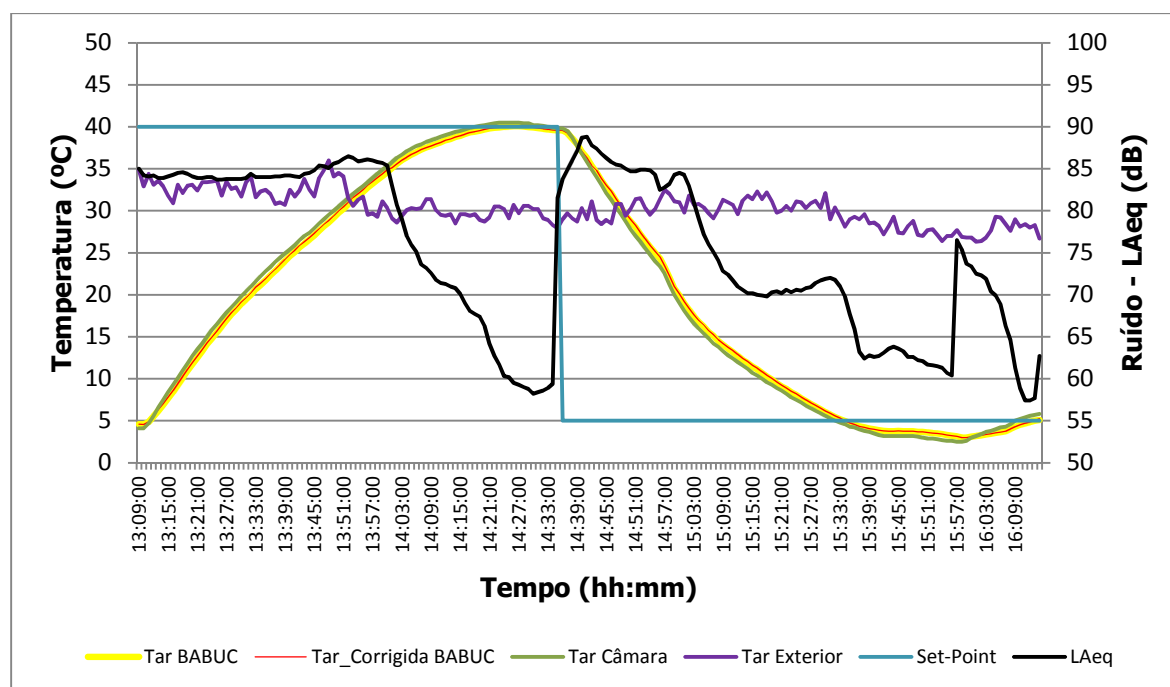


Figura 43 – Curvas de aquecimento/arrefecimento com monitorização de ruído.

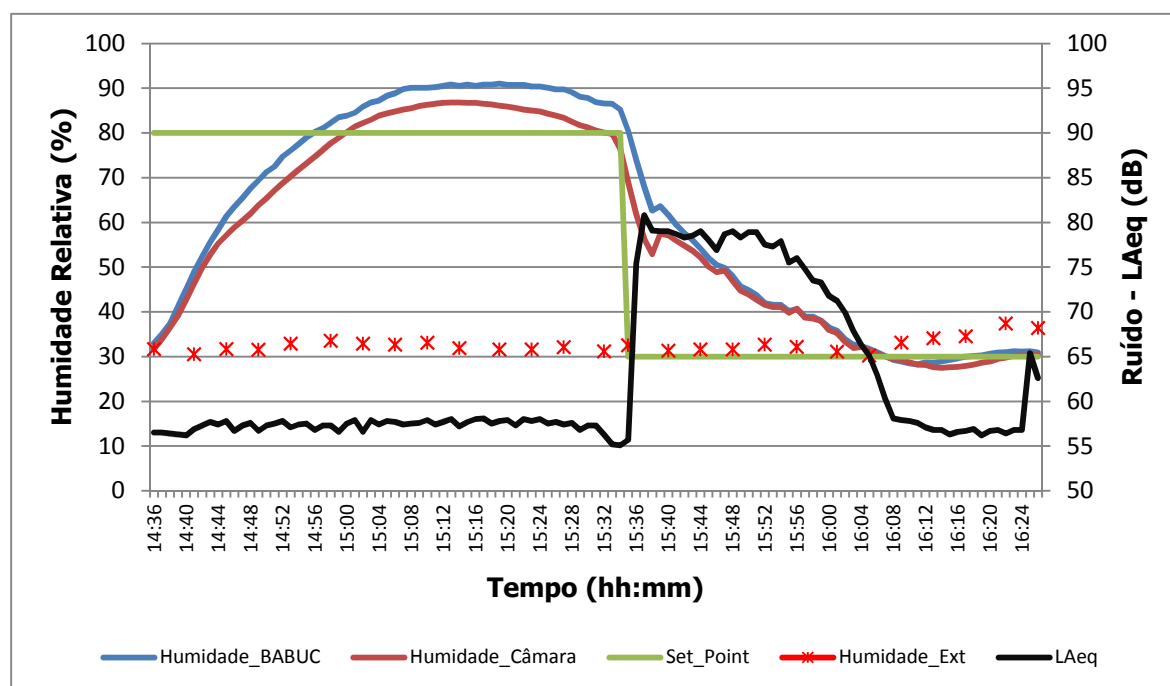


Figura 44 – Curvas de humedificação/desumidificação com monitorização de ruído.

Na Figura 43 é possível observar na fase de aquecimento que os níveis de ruído variam em torno dos 85 dB (A), sendo que diminui para valores abaixo dos 60 dB (A) quando a temperatura se aproxima do *Set-Point* (40 °C) definido. Na fase de arrefecimento, verifica-se novamente um aumento de ruído até cerca de 89 dB (A). Por volta das 15h:57min nota-se um pico de ruído que corresponde à altura em que a temperatura está abaixo do *Set-Point* (5 °C) definido e se dá uma

pequena fase de aquecimento. Os valores médios dos níveis de pressão sonora rondam os 77,9 dB (A) na fase de aquecimento e os 72,7 dB (A) na fase de arrefecimento.

A Figura 44 mostra que os níveis de pressão sonora durante a humedificação se mantêm estáveis entre os 55 e 60 dB (A), aumentando acima dos 80 dB (A) quando se inicia a fase de desumidificação. Os níveis médios de ruído durante a fase de humedificação são de 57,3 dB (A) e de 68,0 dB (A) na fase de desumidificação. Para além disso, nota-se que há um certo desfasamento entre as curvas da câmara e da estação microclimática, essencialmente durante a humedificação. Ora, este facto apesar da validação do certificado de calibração da referida sonda demonstrar que o equipamento está apto para utilização, pode ser explicado pelo facto dos pontos de calibração se enquadrarem na gama 30 a 70 %, não se podendo assumir a aptidão do psicómetro para valores lidos fora dessa gama. Na própria figura é possível observar que o desfasamento de leituras aumenta de forma mais acentuada entre os 60 e 70 %, aumentando ainda mais em níveis de humidade superiores.

Salienta-se que os níveis de pressão sonora foram obtidos na pior situação possível durante as fases em que câmara produz níveis de ruído superiores. No entanto, mesmo em períodos de estabilização dos parâmetros térmicos os níveis de ruído de fundo não serão inferiores a 35 dB (A) como nas câmaras climáticas desenvolvidas pela Universidade Técnica da Dinamarca e inauguradas em 2001, visto que os níveis de pressão sonora nessas fases oscilam entre os 55 e 60 dB (A). Os níveis de ruído destas câmaras são inferiores a 35 dB (A), dado que cada ventilador está equipado com silenciador (Toftum et al., 2004).

## 12.5. Análise dos Níveis de Iluminância

A Figura 45 mostra a distribuição dos níveis de iluminância no interior da câmara em diferentes períodos e em condições distintas. Na Tabela 27, é possível constatar quais os valores médios de iluminância no interior da câmara bem como a sua uniformidade, calculadas de acordo com a ISO/IEC 8995-1:2002.

Tabela 27 – Valores médios dos níveis de iluminância e sua uniformidade no espaço.

|                       | Valores Médios | Uniformidade |
|-----------------------|----------------|--------------|
| Luzes Apagadas (dia)  | 22,5           | 0,2          |
| Luzes Ligadas (noite) | 861            | 0,6          |
| Luzes Ligadas (dia)   | 1160           | 0,6          |

A adequação ou não dos níveis de iluminância no interior da câmara climática será sempre definida conforme o tipo de ensaio que se pretenda efectuar. Assim, a análise aos resultados circunscreve-se ao carácter geral subjacente aos objectivos do presente trabalho.

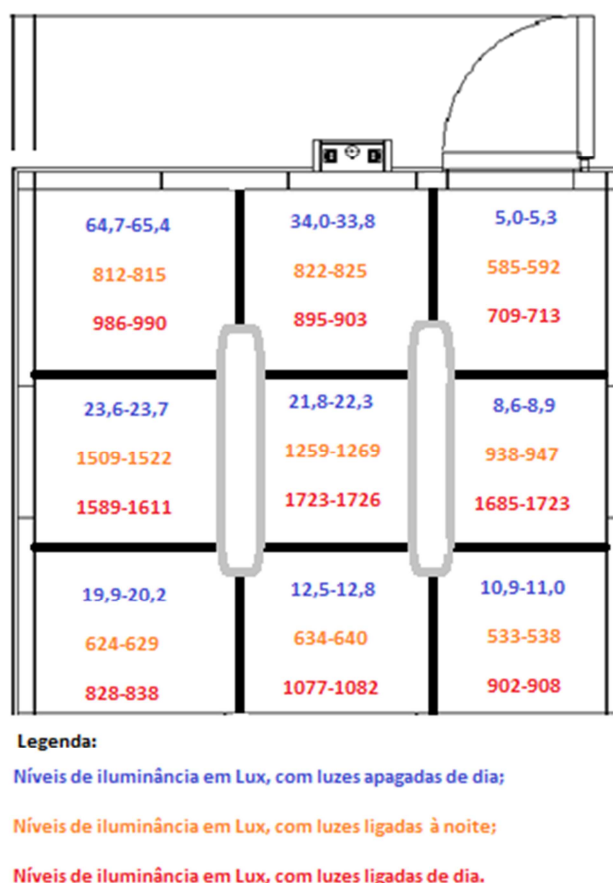


Figura 45 – Níveis de iluminância no interior da câmara climática.

Através dos resultados obtidos é possível constatar que em diferentes condições os níveis de iluminância no interior da câmara variam acentuadamente. Comparando os valores obtidos com os valores recomendados pela ISO/IEC 8995-1:2002 para locais de trabalho, conclui-se que a utilização da câmara sem o sistema artificial de iluminação ligado poderá ser inadequado, quer em termos de valores médios, quer em termos de uniformidade. Com o sistema de iluminação artificial ligado, garante-se uma maior uniformidade dos níveis de iluminância da câmara e garante-se de certa forma que em ensaios futuros em que sejam simuladas actividades laborais, os níveis de iluminância cumpram com os respectivos requisitos (excluindo-se destas naturalmente as que necessitem de maior acuidade visual). Ainda assim, a gama de iluminância obtida abrange e adequa-se a um leque assinalável de actividades laborais que poderão ser testadas e estudadas no futuro. Esta é uma vantagem por exemplo, relativamente às três câmaras climáticas projectadas pela Universidade Técnica da Dinamarca. As mesmas foram desenvolvidas para investigação dos efeitos isolados e/ou combinados da exposição humana a parâmetros do ambiente interior, incluindo parâmetros térmicos, acústicos, visuais e da qualidade do ar e a subsequente observação dos seus efeitos no conforto, saúde e produtividade (Toftum et al., 2004). Todas as câmaras são iluminadas através de lâmpadas fluorescentes que fornecem uma iluminação uniforme a rondar os 300 Lux (Toftum et al., 2004). Nos estudos que incidam sobre a iluminação, este será provavelmente um factor limitante.

## 13. CONCLUSÕES

Neste trabalho, a fase de recolha bibliográfica permitiu uma actualização e um conhecimento mais completos sobre as matérias em foco nesta dissertação. Apesar da natural dificuldade em sintetizar as diversas componentes em análise, entende-se que o conteúdo de cada um dos temas é o indispensável para uma abordagem consolidada a desenvolvimentos posteriores.

Através da revisão bibliográfica foi possível perceber que a tolerância a ambientes térmicos extremos depende de inúmeros factores nomeadamente a predisposição individual (pontual ou prolongada no tempo), factores ambientais, ocupacionais e comportamentais. Evitar os ambientes de exposição é por vezes inviável, no entanto controlando quem está sujeito à exposição através sensibilização e formação, vigiando os indicadores fisiológicos individuais e avaliando a aptidão para o trabalho ajuda a evitar cenários mais perturbadores.

Apesar dos estudos realizados até aos dias de hoje, existem lacunas de conhecimento que são perceptíveis principalmente na determinação de valores e efeitos (isolados e/ou combinados) concretos e mensuráveis sobre os parâmetros que ajudam a prever a intolerância a uma exposição. Ainda assim, verificou-se a existência de várias técnicas de aferição de indicadores fisiológicos, entre os quais a temperatura interna. Apesar dos prós e contras da sua utilização, as temperaturas consideradas como *gold-standard* nesta matéria são a medição da temperatura rectal e esofágica. A primeira é utilizada comumente a nível familiar, hospitalar e em pesquisas científicas. A segunda é considerada por diversos autores como a mais representativa, mas a sua utilização e determinação é efectuada maioritariamente a nível hospitalar. Todavia, no momento de se escolher a técnica mais representativa de medição de indicadores fisiológicos é necessário ter-se em conta uma série de factores como a complexidade instrumental, a interferência na actividade, o incómodo expectável, o custo associado e, naturalmente, a relevância do método nos ambientes térmicos onde os sujeitos alvo de avaliação estão inseridos. Face aos constrangimentos que este tipo de determinações acarreta, torna-se compreensível a adopção de uma estratégia preventiva com base em índices de stress térmico. Vários índices têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de se apresentarem como uma alternativa viável e fidedigna à medição de indicadores fisiológicos, objectivando serem representativos da tensão fisiológica. Os mais utilizados são os índices WBGT e PHS para ambientes quentes e os índices IREQ e WCI para os ambientes frios.

Os resultados da exposição ao calor ou ao frio podem ser de tal forma graves, que podem ter como consequência a morte. Daí ser vital que cada vez mais se realizem estudos a este nível, quer de cariz laboratorial, quer com uma componente marcadamente de campo.

É neste sentido que a câmara climática, alvo de estudo desta dissertação, se afigura como factor potenciador de investigações futuras no âmbito desta temática. A motivação dominante da sua construção residiu precisamente na necessidade de dispor de um instrumento de investigação sofisticado, capaz de simular a exposição de seres humanos a diversos ambientes térmicos

ocupacionais. Neste tipo de estudos, o envolvimento e participação de voluntários acarreta uma série de questões éticas que devem ser tidas em conta na fase de planeamento da investigação. Deverá recorrer-se a *guidelines* internacionais, uma vez que a legislação portuguesa é parca nesta matéria.

Através dos ensaios e testes efectuados (sem ocupação) verificou-se que as futuras sessões experimentais que envolvam a utilização da câmara têm que ter em conta os tempos de estabilização obtidos para incorporarem no seu planeamento este factor. Com o presente estudo conclui-se que quando a temperatura está estável, a humidade relativa demora menos tempo a estabilizar. Assim, será mais proveitoso efectuar primeiro ensaios cujas condições requeridas sejam uma temperatura específica e várias percentagens de humidade relativa diferentes, do que tentar que temperatura e humidade relativa estabilizem em conjunto. Esta alternativa afigura-se como mais morosa, podendo inviabilizar o plano previamente definido.

Outra situação que hipoteticamente poderia ser um factor em conta nas condições de estabilidade dos parâmetros controláveis da câmara era a abertura da porta. Contudo, verificou-se que a temperatura e humidade relativa permanecem dentro de valores aceitáveis, mesmo com a porta aberta durante 10 minutos. Como consequência existe um aumento de ruído, em virtude do esforço suplementar dos ventiladores para assegurarem as condições pré-definidas.

Relativamente ao ruído, existe de facto um aumento substancial durante as fases de aquecimento e arrefecimento, com valores de pressão sonora a rondar 77,9 dB (A) na primeira e os 72,7 dB (A) na segunda. Os níveis médios de ruído durante a fase de humidificação são de 57,3 dB (A) e de 68,0 dB (A) na fase de desumidificação. Estes valores traduzem a pior situação possível. Todavia em condições de temperatura e humidade relativa estáveis, os níveis de ruído variam entre os 50 a 60 dB (A), valores ainda assim, superiores aos emitidos por outros equipamentos semelhantes.

Com a determinação dos níveis de iluminância foi possível constatar a influência da iluminação natural, nas condições de luminosidade da câmara. Ainda assim, o sistema artificial de iluminação instalado possibilita a simulação de diversas actividades laborais, abrindo mais uma área de investigação futura.

Em suma, a câmara climática proporcionará no futuro oportunidades experimentais únicas no âmbito da investigação do ambiente interior e o seu impacto na saúde, conforto e performance humana.

## **14. PERSPECTIVAS FUTURAS**

A partir dos tópicos desenvolvidos no presente trabalho, relacionados com a tolerância humana a ambientes térmicos extremos e face aos recursos materiais existentes, nomeadamente a câmara climática FITOCLIMA 25000 EC20 sugere-se o aprofundamento em trabalhos futuros dos seguintes temas de pesquisa:

Estudos de campo no âmbito do conforto térmico, desconforto térmico local e stress em residências, escritórios, hospitais e sector industrial com medição complementar de indicadores fisiológicos;

Investigação de ambientes térmicos individuais em laboratório:

- Determinação e adaptação de índices de conforto térmico PMV-PPD ou outros;
- Preferências individuais dos ocupantes;
- Controlo individual do micro ambiente personalizado;

Investigação de ambiente térmico sob condições transitórias e dinâmicas:

- Rampas de temperatura, ciclos e patamares;
- Rampas de humidade, ciclos e patamares;
- Alternância cíclica entre locais com temperaturas e humidades diferentes;
- Mudanças de temperatura transitórias, devidas a alterações temporais e espaciais originadas por ocupantes e fontes de calor;

Estudo da influência simultânea de outros factores cumulativamente com factores térmicos (ruído, níveis de iluminação, parâmetros da qualidade do ar interior...) na performance, saúde e produtividade;

Estudos comparativos da influência de parâmetros térmicos na velocidade de reacção por actividade, englobando avaliações em campo e em laboratório.



## 15. BIBLIOGRAFIA

- AAP 2000. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. American Academy of Pediatrics. Committee on Sports Medicine and Fitness. *Pediatrics*, 106, 158-9.
- AASMOE, L., BANG, B., EGENESS, C. & LOCHEN, M. L. 2008. Musculoskeletal symptoms among seafood production workers in North Norway. *Occupational Medicine-Oxford*, 58, 64-70.
- ACGIH 2011. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices*, New York, American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- AMARAL, C. A. A. P. 1995. *Contribuição para o estudo de condições termo-higrométricas de ambientes de trabalho: Projecto e construção de uma câmara climática*. Dissertação de Mestrado em Ciências de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- APPELBAUM, P. S. 2001. Research Subjects, Informed and Implied Consent of. In: NEIL, J. S. & PAUL, B. B. (eds.) *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Pergamon.
- ASTRAND, P. O., RODAHL, K., DAHL, H., & STROMME, S. 2003. *Textbook of Work Physiology - Physiological Bases of Exercise*, USA, Human Kinetics.
- BRIDGER, R. S. 1995. *Introduction to Ergonomics*, Singapore, International Editions, McGraw Hill.
- BYRNE, C. & LIM, C. L. 2007. The ingestible telemetric body core temperature sensor: a review of validity and exercise applications. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 126-133.
- CAMPBELL, I. 2011. Body temperature and its regulation. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 12, 240-244.
- CARVALHAIS, C., SANTOS, J., LOURENÇO, I., TEIXEIRA, J. P., BAPTISTA, J. S., 2011. Thermal Comfort in a Hospital Environment – the case of sterilization service. In: AREZES, P. B., BAPTISTA, J. S., BARROSO, M., CARNEIRO, P., CORDEIRO, P., COSTA, N., MELO, R., MIGUEL, A.S., PERESTELO, G., ed. *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene*, 2011 Guimarães, Portugal.
- CHAMBERLAIN, J. M., TERNDROP, T. E., ALEXANDER, D. T., SILVERSTONE, F. A., WOLFKLEIN, G., O'DONNELL, R. & GRANDNER, J. 1995. Determination of Normal Ear Temperature with an Infrared-Emission Detection Thermometer. *Annals of Emergency Medicine*, 25, 15-20.
- CHEUNG, S. S., MCLELLAN, T. M. & TENAGLIA, S. 2000. The thermophysiology of uncompensable heat stress. Physiological manipulations and individual characteristics. *Sports Med*, 29, 329-59.

- ÇINAR, N. D. & FILIZ, T. M. 2006. Neonatal thermoregulation. *Journal of Neonatal Nursing*, 12, 69-74.
- DEAN, R. 1967. The use of environmental stress in conjunction with simulation testing. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 3, nº 4.
- DOUGHERTY, K. A. 2008. *THERMOREGULATION AND FLUID BALANCE IN CHILDREN EXERCISING IN THE HEAT*, United States: , UMI.
- EMANUEL, E. J., WENDLER, D. & GRADY, C. 2000. What makes clinical research ethical? *JAMA*, 283, 2701-11.
- FAUCI, A. S., BRAUNWALD, E., KASPER, D. L., HAUSER, S. L., LONGO, D. L., JAMESON, J. L., LOSCALZO, J., 2010. *Harrison - Manual de Medicina (versão portuguesa)*, Algés, Portugal, Euromédice - Edições Médicas.
- FREITAS, L. C. 2008. *Manual de Segurança e Saúde no Trabalho*, Lisboa, Edições Sílabo.
- FRISANCHO, A. R. 1995. *Human Adaptation and Accommodation* Ann Arbor, University of Michigan Press.
- GASPAR, A. M. R. 2004. *Contribuição para o estudo de ambientes térmicos interiores - A dimensão do indivíduo e do edifício: da experimentação à modelação*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Mecânica na especialidade de Climatização e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- GAVHED, D. C. E. & HOLMÉR, I. 1998. Thermal responses at three low ambient temperatures: Validation of the duration limited exposure index. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21, 465-474.
- GIVONI 1978. *L'Homme, l'architecture et le climat*, Paris, Editions du Moniteur.
- GUEDES, J., DIOGO. M. T., BAPTISTA., J. S. 2011. Conditioning Factors of Heat Tolerance. *In*: AREZES, P. B., J; BARROSO, M.; CARNEIRO, P.; CORDEIRO, P.; COSTA, N.; MELO, R.; MIGUEL, A.S.;PERESTRELO, G., ed. International Symposion on Occupational Safety and Hygiene, 2011 Guimarães, Portugal.
- GUYTON, A. C., HALL, J. E., 2000. *Textbook of Medical Physiology*, USA, W. B. Saunders Company.
- HAVENITH, G. 2005. Temperature regulation, heat balance and climatic stress. *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, 69-80 303.
- HAVENITH, G., COENEN, J. M. L., KISTEMAKER, L. & KENNEY, W. L. 1998. Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77, 231-241.

- HAVENITH, G., HOLMÉR, I. & PARSONS, K. 2002. Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energy and Buildings*, 34, 581-591.
- HOLMÉR, I., (1984), "Required clothing insulation (IREQ) as an analytical index of cold stress", ASHRAE Transactions, 90, 1116 – 1128.
- HOLMER, I. 2009. Evaluation of Cold Workplaces: An Overview of Standards for Assessment of Cold Stress. *Industrial Health*, 47, 228-234.
- HOLMÉR, I. 2000a. Cold stress: Part I--Guidelines for the practitioner\*. In: ANIL MITAL, Å. K. & SHRAWAN, K. (eds.) *Elsevier Ergonomics Book Series*. Elsevier.
- HOLMÉR, I. 2000b. Cold stress: part II--The scientific basis (knowledge base) for the guide. In: ANIL MITAL, Å. K. & SHRAWAN, K. (eds.) *Elsevier Ergonomics Book Series*. Elsevier.
- HYGGE, S. & KNEZ, I. 2001. EFFECTS OF NOISE, HEAT AND INDOOR LIGHTING ON COGNITIVE PERFORMANCE AND SELF-REPORTED AFFECT. *Journal of Environmental Psychology*, 21, 291-299.
- INOUE, Y., ICHINOSE-KUWAHARA, T., ISEKI, Y., HARA, S., OGURA, Y. & KONDO, N. 2010. Sex differences in the effects of physical training on sweat gland responses during a graded exercise. *Experimental Physiology*, 95, 1026-1032.
- INOUE, Y. & SHIBASAKI, M. 1996. Regional differences in age-related decrements of the cutaneous vascular and sweating responses to passive heating. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74, 78-84.
- ISO 7243 1989. Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGTindex (wet belt globe temperature). Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 7726 1998. Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 7730 2005. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 7933 2004. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 8996 2004. Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.

- ISO 9886 2004. Ergonomics -- Evaluation of thermal strain by physiological measurements. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 11079 2007. Ergonomics of the thermal environment -- Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 12894 2001. Ergonomics of the thermal environment - Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- KARWOWSKI, W. 2006. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, USA, Taylor & Francis.
- KAYNAKLI, O., UNVER, U. & KILIC, M. 2003. Evaluating thermal environments for sitting and standing posture. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 30, 1179-1188.
- KENEFICK, R. W., GOODMAN, D. A., CADARETTE, B. S. & CHEUVRONT, S. N. 2009. Influence of Sensor Ingestion Timing on Consistency of Temperature Measures. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 597-602.
- KENNEY, W. L. 2001. Decreased cutaneous vasodilation in aged skin: mechanisms, consequences and interventions. *Journal of Thermal Biology*, 26, 263-271.
- KENNEY, W. L. & MUNCE, T. A. 2003. Invited review: aging and human temperature regulation. *J Appl Physiol*, 95, 2598-603.
- KENNY, G. P., YARDLEY, J. & SIGAL, R. J. 2011. Heat health planning: The importance of social and community factors. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 21, 670-679.
- KOSAKA, M., YAMANE, M., OGAI, R., KATO, T., OHNISHI, N. & SIMON, E. 2004. Human body temperature regulation in extremely stressful environment: epidemiology and pathophysiology of heat stroke. *Journal of Thermal Biology*, 29, 495-501.
- KOVATS, R. S. & HAJAT, S. 2008. Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 29, 41-+.
- LEVINE, R. J. 2001. Ethics for Biomedical Research Involving Humans: International Codes. In: NEIL, J. S. & PAUL, B. B. (eds.) *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Pergamon.
- LOPES, R. F. 2008. *Condições de conforto térmico na construção de edifícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- LUBER, G. & HESS, J. 2007. Climate change and human health in the United States. *Journal of Environmental Health*, 70, 43-+.
- MAKINEN, T., GAVHED, D., HOLMER, I. & RINTAMAKI, H. 2000. Thermal responses to cold wind of thermoneutral and cooled subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 397-402.
- MALCHAIRE, J. 2004. Travail à la chaleur. *EMC-Toxicologie Pathologie*, 96-116.
- MARINO, F. E., LAMBERT, M.I., NOAKES, T.D., 2004. Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *Journal of Applied Physiology*, 96, 124-30.
- MARTO, N. 2005. Ondas de Calor: Impacto sobre a saúde. *Acta Medica Portuguesa*, 18, 467-474.
- MCINTYRE, D. A. 1980. *Indoor Climate*, London, Applied Science Publishers.
- MCKENZIE, J. E. & OSGOOD, D. W. 2004. Validation of a new telemetric core temperature monitor. *Journal of Thermal Biology*, 29, 605-611.
- MCLELLAN, T. M. 1998. Sex-related differences in thermoregulatory responses while wearing protective clothing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 28-37.
- MCLELLAN, T. M. & SELKIRK, G. A. 2001. Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 91, 2055-2063.
- MIGUEL, A. S. S. R. 2010. *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho* Porto, Porto Editora.
- MONDELO, P. R. T., E. G.; ÚRIZ, S. C.; VILELLA, E. C.; LACAMBRA; E. B. 1999. *Ergonomía 2 Confort y estrés térmico*, Barcelona, Mutua Universal - Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- NIOSH 1986. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments (Revised Criteria 1986) - Publication No. 86-113. Cincinnati: Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health.
- OLESEN, B. W. 1982. Thermal Comfort. Brüel & Kjær Technical Review N 2.
- OLIVEIRA, A. V. F. M. D. 2006. *Estudo de Ambientes Térmicos Frios - Desenvolvimentos Experimentais e Avaliação de Condições de Trabalho*. Tese de Doutorado em Ciências de Engenharia Mecânica na especialidade de Climatização e Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- OSELAND, N. A. 1995. Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes. *Energy and Buildings*, 23, 105-115.
- OSHS 1997. Guidelines for the Management of Work in Extremes of Temperature. New Zealand: Occupational Safety and Health Service.

- PANDOLF, K. B. 1979. Effects of physical training and cardiorespiratory physical fitness on exercise-heat tolerance: recent observations. *Med Sci Sports*, 11, 60-5.
- PANDOLF, K. B. 1991. Aging and heat tolerance at rest or during work. *Experimental Aging Research*, 17, 189-204.
- PANDOLF, K. B. 1997. Aging and human heat tolerance. *Experimental Aging Research*, 23, 69-105.
- PARSONS, K. C. 2000. Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31, 581-594.
- PARSONS, K. C. 2002. The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34, 593-599.
- PARSONS, K. C. 2003. *Human Thermal Environments - The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*, London, Taylor & Francis
- PIEDRAHÍTA, H., PUNNETT, L. & SHAHNAVAZ, H. 2004. Musculoskeletal symptoms in cold exposed and non-cold exposed workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34, 271-278.
- PLOWMAN, S., SMITH, D., 2003. *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*, Second Edition, Daryl Fox.
- PRAT, G., TONNELIER, A., DEYE, N., NOWAK, E., JAFFUEL, S., TONNELIER, J. M., RENAULT, A., L'HER, E. & BOLES, J. M. 2009. Evaluation of Cardiac Effects of Hypothermia in Cardiac Arrest Survivors by Transesophageal Echocardiography: A Pilot Study. *Intensive Care Medicine*, 35, 283-283.
- RIBEIRO, B. 2010. *Calor, Fadiga e Hidratação*, Alfragide, Texto Editores.
- RIBEIRO, G. A., RODRIGUES, L. O. C., MOREIRA, M. C. V., SILAMI-GARCIA, E., PASCOA, M. R. S. & CAMARGOS, F. F. O. 2004. Thermoregulation in hypertensive men exercising in the heat with water ingestion. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37, 409-417.
- RIBEIRO, G. P. 2007. *Conforto Ambiental, Sustentabilidade, Tecnologia e Meio Ambiente: Estudo de Caso Hospital Sarah Kubitschek – Brasília* [Online]. [Accessed Consultado em 22 de Abril 2011].
- RITTNER, C. 2009. The role of an independent and interdisciplinary assessment of research studies with human subjects in Europe and worldwide. *Legal Medicine*, 11, S80-S81.
- SANDERS, M. S., MCCORMICK, E. J., 1993. *Human Factors in Engineering and Design*, New York, McGraw-Hill.

- SATO, K. T., KANE, N. L., SOOS, G., GISOLFI, C. V., KONDO, N. & SATO, K. 1996. Reexamination of tympanic membrane temperature as a core temperature. *Journal of Applied Physiology*, 80, 1233-1239.
- SAWKA, M. N., BURKE, L. M., EICHNER, E. R., MAUGHAN, R. J., MONTAIN, S. J. & STACHENFELD, N. S. 2007. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 377-90.
- SAWKA, M. N., LATZKA, W. A., MONTAIN, S. J., CADARETTE, B. S., KOLKA, M. A., KRANING, K. K. & GONZALEZ, R. R. 2001. Physiologic tolerance to uncompensable heat: intermittent exercise, field vs laboratory. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 422-430.
- SCHLADER, Z. J., PRANGE, H. D., MICKLEBOROUGH, T. D. & STAGER, J. M. 2009. Characteristics of the control of human thermoregulatory behavior. *Physiology & Behavior*, 98, 557-562.
- SCHLADER, Z. J., STANNARD, S. R. & MÜNDEL, T. 2010. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise -- A prospective review. *Physiology & Behavior*, 99, 269-275.
- SIMON, C. & MOSAVEL, M. 2010. Community Members as Recruiters of Human Subjects: Ethical Considerations. *American Journal of Bioethics*, 10, 3-11.
- STEIN, J. H. 1994. *Internal Medicine*, USA, Fourth edition, Mosby-Year Book, Inc.
- TOFTUM, J., LANGKILDE, G. & FANGER, P. O. 2004. New indoor environment chambers and field experiment offices for research on human comfort, health and productivity at moderate energy expenditure. *Energy and Buildings*, 36, 899-903.
- UNIVERSIDADE DO PORTO. 2011. *Comissão de Ética da Universidade do Porto* [Online]. Porto. Available: [http://sigarra.up.pt/up/web\\_base.gera\\_pagina?p\\_pagina=1001669](http://sigarra.up.pt/up/web_base.gera_pagina?p_pagina=1001669) [Accessed 2011-06-25].
- VAN SOMEREN, E. J. W., RAYMANN, R. J. E. M., SCHERDER, E. J. A., DAANEN, H. A. M. & SWAAB, D. F. 2002. Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Research Reviews*, 1, 721-778.
- WENGER, C. B. 2002. Human Adaption to Hot Environments Medical Aspects of Harsh Environments. *Medical Aspects of Harsh Environments*. Department of Defense, Office of The Surgeon General, US Army, Borden Institute.
- WHEELER, D. 2006. Temperature regulation. *Surgery (Oxford)*, 24, 446-451.
- WILKINSON, D. M., CARTER, J. M., RICHMOND, V. L., BLACKER, S. D. & RAYSON, M. P. 2008. The effect of cool water ingestion on gastrointestinal pill temperature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 523-528.



---

# **ANEXOS**

**Anexo I – DEMSHO-IM01\_01 – Declaração de Consentimento Informado**

**Anexo II – DEMSHO-IM02\_01 – Declaração de Ética**

**Anexo III – DEMSHO-IT01\_01 – Modo de Utilização da Câmara Climática  
FITOCLIMA 25000 EC20**

**Anexo IV – DEMSHO-IT02\_01 – Modo de Utilização da Estação Micro  
Climática BABUC-A**

**Codificação: IM** – Impresso; **IT** – Instrução de Trabalho; **01\_01** – número do documento\_versão.



## Declaração de Consentimento Informado

*Baseado no anexo A da ISO 12894:2001*

Nome.....  
Género: M ☐ F ☐ Idade:..... anos  
Médico de família.....  
Morada.....

1. Estou disposto(a) a participar como sujeito experimental no estudo

.....  
.....

Que será conduzido por

.....  
.....  
..

Nas instalações do(a)

.....  
.....  
..

2. Recebi explicações acerca da natureza e objectivos do estudo, bem como de eventuais riscos para a minha saúde que dele advenham.
3. Concordo em fornecer informação precisa acerca do meu estado de saúde e a ser medicamente examinado(a) se for considerado necessário. Concordo que o meu médico de família (ou similar) possa fornecer informação do meu histórico clínico ao médico que acompanha o estudo. Sei que toda a informação será tratada de forma totalmente confidencial.
4. Aceito cooperar totalmente com os investigadores e conscientemente não fazer nada que possa invalidar os resultados. Durante o curso da investigação à qual estou neste

momento a dar o meu consentimento, não participarei como sujeito experimental noutro estudo, sem informar primeiramente os investigadores e obter a sua aprovação.

5. Sei que posso recusar-me a participar ou interromper a qualquer momento a participação no estudo, sem nenhum tipo de penalização por este facto.
6. Compreendi a informação que me foi dada, tive oportunidade de fazer perguntas e as minhas dúvidas foram esclarecidas.
7. Aceito participar de livre vontade no estudo acima mencionado
8. Concorde que sejam efectuados os exames e/ou a colheita de amostras de sangue para realizar as análises que fazem parte deste estudo. [se aplicável]
9. Também autorizo a divulgação dos resultados obtidos no meio científico, garantido o anonimato.

Data

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura

\_\_\_\_\_

**Declaração do Investigador**

De acordo com o estudo supramencionado, expliquei ao (à) .....  
a natureza e objectivos desta investigação, bem como os riscos para a saúde inerentes à participação na mesma. Expliquei ainda, que a decisão de se voluntariar não afecta o direito à compensação caso alguma lesão ou doença ocorra durante o estudo.

Data

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura

\_\_\_\_\_

## DECLARAÇÃO DE ÉTICA

Eu, ....., investigador(a)  
no(a) .....declaro o meu comprometimento com a  
investigação em curso no sentido de garantir a protecção e manter a confidencialidade das  
informações relevantes a que tiver acesso, no âmbito das actividades do presente estudo, mesmo  
após o término da minha colaboração.

Declaro igualmente não estar envolvido(a) nem me envolver em quaisquer actividades que  
possam afectar a minha actuação com imparcialidade e independência, nem ceder a pressões  
indevidas de natureza comercial, financeira ou outras, susceptíveis de influenciar a minha  
avaliação. Comprometo-me ainda a informar o investigador responsável de qualquer actividade,  
potencialmente geradora de conflito de interesses, em que esteja ou preveja vir a estar envolvido  
(a).

Assinatura ou Rubrica: .....

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

|                                                                   |                                                                 |                |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Departamento de Engenharia de Minas</b>                        | <b>Instrução de Trabalho</b>                                    | DEMSHO-IT01_01 |
| <b>Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais</b> | <b>Modo de utilização Câmara Climática FITOCLIMA 25000 EC20</b> |                |

## 1 - Objectivo e Âmbito

A presente instrução de trabalho tem como objectivo descrever o modo de operação da Câmara Climática FITOCLIMA 25000 EC20, em ensaios cuja condição de exequibilidade seja o controlo preciso das condições ambientais.

## 2 – Responsabilidades

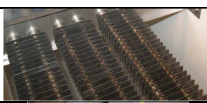
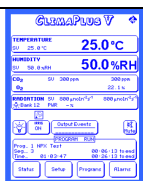
A responsabilidade pelo cumprimento da presente instrução de trabalho é dos técnicos e investigadores habilitados a proceder a ensaios teste ou ensaios no âmbito de estudos científicos, bem como pelo gestor de equipamento.

## 3 – Descrição

### 3.1 – Especificações Técnicas

|                                |                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Parâmetros controláveis</b> | Temperatura, Humidade                                                                  |
| <b>Gama de temperatura (*)</b> | -20°C a 50°C, $\pm 0,5^\circ\text{C}$                                                  |
| <b>Sensor de temperatura</b>   | Pt100 80 / 60 x 4mm – Electrotherm<br>Tipo Capacitivo Rotronic XB32                    |
| <b>Gama de humidade</b>        | 30%rH a 98%rH, $\pm 2\%\text{rH}$                                                      |
| <b>Sensor de humidade</b>      | Tipo Capacitivo Rotronic XB32                                                          |
| <b>Aquecimento (**)</b>        | Resistência 6000W (3x2000W)                                                            |
| <b>Refrigeração (**)</b>       | Mecânica por evaporação de R404a                                                       |
| <b>Humidificação</b>           | Gerador ultra-sónico                                                                   |
| <b>Desumidificação</b>         | Mecânica por evaporação de R404a                                                       |
| <b>Dimensões</b>               | Interior: L- 3600mm, A- 2400mm, P- 3200mm<br>Exterior: L- 3810mm, A- 2650mm, P- 3610mm |
| <b>Peso</b>                    | Aprox. 4500Kg                                                                          |
| <b>Voltagem nominal (**)</b>   | 400V; 50Hz                                                                             |
| <b>Corrente nominal (**)</b>   | 16A (por fase)                                                                         |
| <b>Potência nominal (**)</b>   | 20KW                                                                                   |
| <b>Ligação eléctrica (**)</b>  | Trifásica com neutro e terra                                                           |

### 3.2 – Identificação de Componentes

| Componentes do Sistema                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Identificação                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Interruptor Geral</i> - Permite ligar/desligar o equipamento.                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
| <i>Termóstato de Segurança</i> - Permite a configuração da temperatura máxima e mínima de segurança.                                                                                                                                                                                                                          |    |
| <i>Indicador de Alarme</i> - Permite identificar uma situação de alarme através de um sinal visual intermitente.                                                                                                                                                                                                              |    |
| <i>Compartimento Eléctrico</i> – No compartimento eléctrico estão localizadas as unidades de comando e os componentes eléctricos do equipamento.                                                                                                                                                                              |    |
| <i>Sensores</i> - Os sensores usados para a medição da $T_a$ e $H_r$ encontram-se atrás da grelha de circulação de ar. A câmara está equipada também com sensores de $O_2$ e $CO_2$ . Este último permite gerar um alarme se a concentração de $CO_2$ for muito elevada, isto é quando exceder o valor de alarme introduzido. |   |
| <i>Passagens Tubulares</i> - As passagens tubulares, localizadas na frente do equipamento, existem para possibilitar a colocação de sondas de medição no interior da câmara de testes.                                                                                                                                        |  |
| <i>Evaporador</i> - Permite o arrefecimento do ar na câmara de testes, e encontra-se atrás da grelha de circulação de ar.                                                                                                                                                                                                     |  |
| <i>Humidificador</i> - Permite a humedificação do ar na câmara de testes.                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
| <i>Resistências</i> - Permitem o aquecimento do ar na câmara de testes, e encontram-se atrás da grelha de circulação de ar.                                                                                                                                                                                                   |  |
| <i>Ventilação</i> - Permite uma distribuição uniforme das condições de $T_a$ e $H_r$ no interior câmara.                                                                                                                                                                                                                      |  |
| <i>Luminária</i> – permite a iluminação no interior da câmara de testes.                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| <i>Controlador</i> - Permite a regulação das condições climáticas, controlo de alarmes, visualização em tempo real das variáveis de processo, execução de programas, entre outras funções.                                                                                                                                    |  |

### 3.3 – Modo de Funcionamento

#### 3.3.1- Ligar/Desligar o Equipamento

Após a instalação, para **ligar** a câmara coloque o interruptor geral, localizado na parte lateral do quadro eléctrico, para a posição “I”. O visor acende-se, indicando que o controlador está pronto para ser programado.

**Atenção:** Sempre que o equipamento for ligado, após um longo período de inoperacionalidade, deve ficar em “**Chamber OFF**” pelo menos 4 horas para aquecer o óleo do compressor (ver ponto 3.3.2).

Para **desligar** a câmara coloque o interruptor geral, localizado na parte lateral do quadro eléctrico, para a posição “0”. O visor apaga-se.

Considere os seguintes aspectos:

- Não deixe material de teste no interior do equipamento.
- No final de cada ensaio o equipamento deverá ficar em “**Chamber OFF**”. O interruptor geral só deve ser desligado, se o próximo teste a efectuar não se realizar nos próximos 15 dias.
- Sempre que possível faça uma limpeza/manutenção ao equipamento (ver ponto 4).

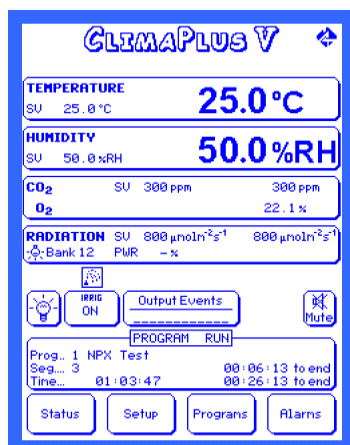
#### 3.3.2 – Controlador

O Controlador **CLIMAPLUS V** é constituído por um conjunto de quadros onde se apresenta informação para o utilizador e onde também estão inseridos botões para pressionar com determinadas funcionalidades. Permite controlar um Processo por um valor fixo desejado para cada uma das Variáveis de Processo (variável que se pretende controlar), denominado *Set Point* (valor desejado para a variável de processo). Através da execução de Programas, é possível alterar esse *Set Point* ao longo do tempo gerando rampas de controlo.

Na presente Instrução de Trabalho serão apresentados em pormenor os seguintes quadros: **principal, controlo de execução de programas, programas, construção/alteração de programas e alarme**. Os restantes (**status, configuração e gráficos**) poderão ser consultados no *Manual do Utilizador FITOCLIMA 25000 EC20*.

##### 3.3.2.1 - **Quadro Principal**

Neste quadro são apresentadas as variáveis controladas na câmara e respectivos *Set Points* ( $T_a$ , Hr,  $CO_2$  e  $O_2$  e Intensidade de Radiação Luminosa).



### Modo de funcionamento do Controlador:

- MANUAL:** *Set Points* e Eventos fixos;
- PROGRAM:** *Set Points* e Eventos controlados pela execução de um Programa.

Fornece ainda a seguinte informação:

- Identificação do Programa em execução (número e nome);
- Número do segmento actual e tempo que falta para terminar;
- Tempo de execução do Programa e tempo que falta para terminar.



Permite a ligação de luz interior, ligando os bancos 1 e 2 com a intensidade de radiação no mínimo.



Permite silenciar o alarme acústico pelo tempo programado no quadro de alarmes.



Possibilita estabelecer o novo estado dos Eventos programáveis.



Botão que permite visualizar o estado do Controlador (valores de *Set Point*, valores de Temperatura e Humidade e potências de Calor/Frio, Humidificação/Secagem e outras variáveis de processo).



Botão de acesso à configuração do Controlador.

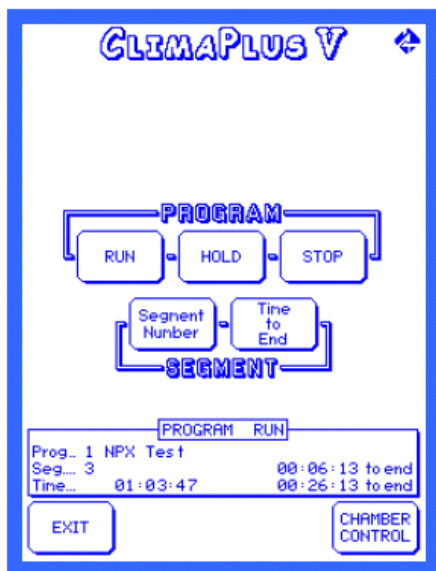


Botão de acesso à construção/alteração de Programas.



Botão de acesso às definições de alarmes do Controlador, visualização de alarmes gerados, Lista de Alarmes e à função MUTE que permite silenciar o alarme sonoro.

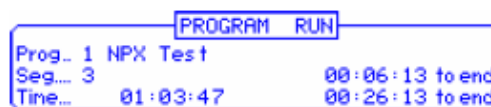
### 3.3.2.2 - Quadro de Controlo de Execução de Programas



Para aceder a este quadro deve-se premir um dos seguintes botões existentes no Quadro Principal:



OU



**Nota:** Apenas um destes botões estará disponível, dependendo se a câmara está programada ou em modo manual.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Executar um Programa ou restabelecer a sua execução após ter sido colocado em pausa ( <b>HOLD</b> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|  | Permite colocar um programa em pausa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|  | Termina a execução de um Programa. Os <i>Set Points</i> e Eventos definidos nesse momento ficarão estabelecidos para a Câmara.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|  | Colocar a execução do Programa no segmento escolhido. Os <i>Set Points</i> definidos nessa situação são os do novo segmento (#).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  | Estabelecer um novo valor para o tempo que falta para terminar o segmento actual (#).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|  | Permite colocar a Câmara em <b>ON</b> ou <b>OFF</b> . Se a Câmara não estiver em uso deverá ser colocada em <b>OFF</b> o que desliga todas as funções de controlo excepto a iluminação interna e o aquecimento do Compressor ( <b>CHAMBER OFF</b> ).<br><br><b>Nota:</b> O desligar da Câmara no interruptor geral provoca o arrefecimento do Compressor e, ao ligar a Câmara, é necessário esperar o tempo suficiente para que o seu aquecimento se processe o que poderá demorar algumas horas. Esta acção deverá ser tomada quando se prevê a não utilização da câmara por um período superior a 15 dias. |

(#) - A alteração do segmento em execução ou do tempo que falta para terminar inviabiliza a contagem do tempo que falta para terminar o Programa.



### 3.3.1.3 - **Quadro de Programas**



Para aceder a este quadro deve-se premir o botão  do Quadro Principal.

Neste quadro é permitida a construção e/ou alteração de Programas (o Controlador tem capacidade para 50 Programas de 50 Segmentos cada).

**Erase All Programs** apaga todos os Programas definidos no controlador.

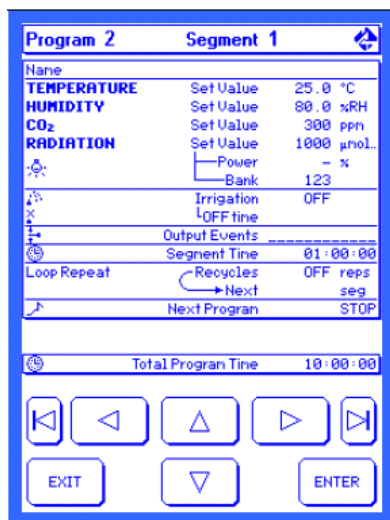
|                                                                                     |                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Executa o programa seleccionado.                                                           |
|  | Entra no modo de edição do programa seleccionado para construção ou alteração do programa. |
|  | Apaga o programa seleccionado.                                                             |
|  | Apresenta os primeiros 10 programas da lista de programas (1 a 10).                        |
|  | Apresenta os últimos 10 programas da lista de programas (41 a 50).                         |
|  | Apresenta os 10 programas anteriores da lista de programas.                                |
|  | Apresenta os 10 programas seguintes da lista de programas.                                 |

### 3.3.1.4 - **Quadro de construção/alteração de Programas**

Cada Programa é constituído por 50 segmentos mais o segmento inicial. Cada segmento é constituído por:

- **Set Point** de Temperatura, Humidade, Nível de CO<sub>2</sub> e Intensidade de Radiação. A Intensidade de Radiação pode ser definida por um *Set Point* ou uma Potência de Radiação fixa e ainda que Bancos de Luzes estarão activos;
- **Irrigation** – Irrigação (Rega) definida por um tempo de **ON** e um tempo de **OFF**;

- **Output Events** (Eventos programáveis).
- Tempo de Segmento: tempo ao fim do qual a Variável de Processo deverá ser igual ao *Set Point* introduzido. Se o tempo for 0 (zero), significa Fim do Programa (**PG\_END**).
- Número de **Recycles** e segmento para onde é feito esse *recycle* (**Next Segment**). **Recycles** é um número que permite ao Programa saltar para um outro segmento em **Next Segment**. Caso não seja definido o **Recycles** (colocado a zero), é executado o segmento seguinte.



**Name** Nome simbólico a dar ao Programa, por exemplo Norma ASTX20.

**Next Program** Próximo Programa a ser executado em sequência após o fim do Programa actual.

**ProgramTime** indica a duração do Programa.

O Controlador **CLIMAPLUS V** dispõe de 50 Programas de 50 Segmentos capazes de gerar rampas, ciclos e re-ciclos bem como o encadeamento entre programas. Cada segmento de programa indica os valores de *Set Point* que serão atingidos pela Câmara decorrido o tempo de segmento programado:

- Segmento 0: Segmento de Início. Os *Set Points* são imediatamente colocados nos valores definidos neste segmento ficando a Câmara nesse estado durante o tempo definido no início do arranque do Programa (o segmento 0 é o segmento de arranque e estabilização da Câmara).
- Segmento n: O *Set Point* introduzido é o valor que a Variável de Processo atingirá após o tempo de segmento.

Ex: se o segmento 1 for 10 °C e o segmento 2 for 20 °C e o tempo do segmento 2 for 1 hora, a Câmara evoluirá de 10 °C para 20 °C ao longo de 1 hora, ou seja, após 15 minutos a Câmara deverá estar em 12,5 °C, após 30 minutos em 15 °C e assim sucessivamente.

- **Recycles**: Execução de ciclos dentro de um programa. Se no segmento 7 for programado **Recycle** = 2 e **Next Segment** = 4, o ciclo Segmento 4 -> Segmento 5 -> Segmento 6 -> Segmento 7 será executado 3 vezes (a vez natural mais duas repetições (*recycles*)).

A Câmara termina o Programa no segmento que tem o tempo de segmento a 0 (zero) ou no segmento 50 (último) e fica com os valores de *Set Point* programados nesse segmento.



### 3.3.1.5 - **Quadro de Alarmes**

Neste quadro são definidos os valores máximos de alarme (**High**), valores mínimos (**Low**) e Alarme de banda (**Band**).

| ALARMS          |           |            |
|-----------------|-----------|------------|
| TEMPERATURE     | High      | 180.0 °C   |
|                 | Low       | -50.0 °C   |
|                 | Band      | OFF        |
| HUMIDITY        | High      | 98.0 %RH   |
|                 | Low       | 15.0 %RH   |
|                 | Band      | OFF        |
| CO <sub>2</sub> | High      | 1000 ppm   |
|                 | Low       | 0 ppm      |
|                 | Band      | OFF        |
| RADIATION       | High      | 2000 µmol. |
|                 | Low       | 0 µmol.    |
|                 | Band      | OFF        |
| Acoustic Buzzer | Delay     | 1 min      |
|                 | Mute Time | 20 min     |
|                 | Beep      | OFF        |

Mute (icon), Alarms List (icon), EXIT, ENTER

#### Acoustic Buzzer:

-**Delay:** define o tempo ao fim do qual a entrada numa condição de alarme gera um alarme acústico;

-**Mute Time:** define o tempo que demora silenciar o alarme após pressão no botão MUTE;

-**Beep:** sinal acústico avisador de alarme ocorrido no passado e já resolvido.



Permite silenciar o alarme acústico.



Botão de acesso à Lista de Alarmes gerados durante o funcionamento. Regista até 255 alarmes (a geração de um novo alarme com a lista cheia apaga o alarme registado há mais tempo).



O botão ALARMS em intermitência, indica a activação de um alarme em curso ou já ocorrido. Ao pressionar este botão visualiza-se um quadro onde se podem consultar os alarmes em curso e os alarmes já ocorridos. É ainda possível visualizar os botões RESET ALARMS e HELP.



Apaga os alarmes ocorridos no passado e restabelece o normal funcionamento da câmara. A ALARMS LIST não é afectada pela acção deste botão.



Permite obter uma descrição dos alarmes em curso.

Na tabela 1 estão identificados os sinais de alarme passíveis de ocorrer, a respectiva mensagem de alarme apresentada no controlador e uma breve descrição da possível origem do alarme e respectiva acção para a resolver.

**Tabela 1 – Tipos de Alarme.**

| Tipo de Alarme                                                       | Mensagem              | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Acção Correctiva                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alarmes programáveis                                                 | Alarm Temperature     | Foi ultrapassada a Temperatura/Humidade/CO <sub>2</sub> / Intensidade de Radiação Máxima/Mínima ou a Temperatura/Humidade/CO <sub>2</sub> / Intensidade de Radiação afastou-se do <i>Set Point</i> um valor superior ao programado na Banda;                                                    | Redefinir no quadro de alarme os valores mínimos e máximos de alerta dos parâmetros controláveis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                      | Alarm Humidity        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Alarm CO <sub>2</sub> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Alarm Radiation       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Alarmes de detecção de falha de sensores e falta de gás refrigerante | Fail: Sensor UC1      | Um ou mais sensores da Placa Electrónica UC1 estão a falhar – Sensores de UC1: Temperatura do Ar, Humidade Relativa do Ar, Temperatura Móvel e Temperatura da caixa das Lâmpadas;                                                                                                               | Verificar o sensor que está fora da gama.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                                      | Fail: Sensor UC2      | Um ou mais sensores da Placa Electrónica UC2 estão a falhar – Sensores de UC2: Temperaturas dos Evaporadores, sonda de CO <sub>2</sub> e de O <sub>2</sub> ;                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Sensor UC3      | Um ou mais sensores da Placa Electrónica UC3 estão a falhar – Sensores de UC3: Temperatura/Pressão de Discharge do Compressor, Temperatura/Pressão de Suction do Compressor, Temperatura de <i>Condensing</i> , Temperatura do exterior da Câmara ( <b>Outdoor</b> ) e Intensidade de Radiação; |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Low Gas         | Falta de gás de refrigeração no circuito do Compressor;                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Alarmes de Protecção da Câmara                                       | Fail: Max Temp        | Foi ultrapassada a Temperatura Máxima de Alarme definida no módulo TM1;                                                                                                                                                                                                                         | Redefinir no quadro de alarme os valores mínimos e máximos de alerta dos parâmetros controláveis.<br>Activado automaticamente o térmico de segurança das lâmpadas.<br>Activado automaticamente o térmico de segurança das resistências de aquecimento.                                                                                                                                                      |
|                                                                      | Fail: Min Temp        | Foi ultrapassada a Temperatura Mínima de Alarme definida no módulo TM1;                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Lamp Temp       | Temperatura acima do limite                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Heater Cut      | Temperatura das resistências acima do limite                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Alarmes do Compressor                                                | Fail: Power Comp      | Falha de energia eléctrica do Compressor;                                                                                                                                                                                                                                                       | Verificar a temperatura do compressor e o fornecimento eléctrico.<br>Verificar protecção D6.<br>Verificar a temperatura do compressor e o fornecimento eléctrico.<br>Verificar protecção D5.<br>Verificar filtro da água/Temperatura/pressão no circuito de arrefecimento de água.                                                                                                                          |
|                                                                      | Fail: HI/LO Pressure  | Pressão no compressor demasiado alta ou baixa;                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Int Comp        | Falha interna do Compressor;                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Oil Heater      | Falha do aquecimento do óleo do Compressor;                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Atn Pwr Comp    | Compressor desligado por excesso de atenuação provocada provavelmente por deficiências da água de refrigeração (quando aplicável);                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Alarmes                                                              | Fail: No Water        | Falta de água de humidificação;                                                                                                                                                                                                                                                                 | Verificar a pressão do desmineralizador e o fornecimento de água.<br>Verificar protector. Verificar se não houve falha de fornecimento de energia.<br>Verificar MAIN POWER no módulo VT para Sequência de fase. Verificar se não houve falha de fornecimento de energia.<br>Repetir ensaio. Contactar o ARALAB.<br>A intensidade é automaticamente reduzida;<br>As Lâmpadas são automaticamente desligadas; |
|                                                                      | Fail: Ventilation     | Falha da Ventilação;                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: AC Power        | Falha de energia eléctrica por valor de tensão fora dos limites ou troca de fases;                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Air Inlet       | Falha da admissão de ar para arrefecimento da caixa das lâmpadas;                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: Air Outlet      | Falha da extracção de ar de arrefecimento da caixa das lâmpadas;                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: CO <sub>2</sub> | Falha do dispositivo de leitura de CO <sub>2</sub> ;                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Fail: O <sub>2</sub>  | Falha do dispositivo de leitura de O <sub>2</sub> ;                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Alarm Lamp Limit      | Temperatura das Lâmpadas acima do primeiro limite de protecção.                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                      | Alarm Lamp Cut        | Temperatura das Lâmpadas acima do segundo limite de protecção.                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Nota:** Alarmes Críticos – *Fail: BOARD UC1/UC2/UC3* deve-se contactar de imediato NORCONCESSUS.

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

## 4 – Manutenção

Os cuidados regulares e a manutenção são factores decisivos para o funcionamento perfeito e vida do equipamento. Na tabela 2 são apresentados alguns trabalhos de manutenção, que não substituem a manutenção profissional que é efectuada pelos serviços de assistência técnica.

**Tabela 2** – Plano de Manutenção da Câmara Climática.

| Periodicidade   | Modo de Proceder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Responsabilidade                                |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Após cada teste | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar o bom funcionamento do esgoto;</li> <li>• Controlar e limpar o interior do equipamento;</li> <li>• Verificar se a temperatura indicada coincide com a programada;</li> <li>• Verificar se a humidade relativa indicada coincide com a programada.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                 |
| Semestral       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar e limpar a vedação da porta;</li> <li>• Verificar o estado da ligação eléctrica (se necessário substituir);</li> <li>• Verificar o estado das mangueiras de esgoto (se necessário substituir);</li> <li>• Verificar o estado do tubo de alimentação de água desmineralizada (se necessário substituir);</li> <li>• Verificar, com a ajuda de um higrómetro calibrado no interior da câmara, se os valores das variáveis de processo estão correctos. As verificações devem ser feitas em três pontos distintos de temperatura e humidade (ex: 10°C, 25°C e 40°C para temperatura e 40%, 60% e 80% para humidade);</li> <li>• Verificar se o escoamento de água se faz de forma rápida;</li> <li>• Verificar se o ventilador de recirculação de ar funciona correctamente;</li> <li>• Verificar se existe algum térmico de segurança necessita ser rearmado;</li> <li>• Limpar o filtro de admissão de água do humidificador;</li> <li>• Aspirar o condensador caso haja acumulação de poeiras.</li> </ul> | Gestor do Equipamento                           |
| Anual           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar o estado geral do equipamento (interior e exterior);</li> <li>• Controlar a estanqueidade da porta (verificar vedação e fecho);</li> <li>• Verificar se existem sinais de corrosão;</li> <li>• Verificar se a temperatura indicada está correcta (calibração);</li> <li>• Verificar se a humidade relativa indicada está correcta (calibração);</li> <li>• Verificar os apertos de motores, ventiladores, resistências, entre outros;</li> <li>• Executar ensaios de segurança (testar alarmes de temperatura máxima e mínima no controlador e no termóstato de segurança).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar dispositivos de segurança;</li> <li>• Verificar o estado geral de conservação...</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Serviços de Assistência Técnica<br>NORCONCESSUS |

**Toda a manutenção deve ser efectuada com a câmara desligada.**

**O interruptor principal deve estar na posição “0”.**



|                                                            |                                                      |                |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|
| Departamento de Engenharia de Minas                        | Instrução de Trabalho                                | DEMSHO-IT02_01 |
| Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais | Modo de utilização da estação microclimática BABUC-A | Página 1       |

## 1 – OBJECTIVO E ÂMBITO

O objectivo desta instrução de trabalho é estabelecer a metodologia a seguir na utilização do equipamento BABUC-A, na avaliação do conforto térmico (índices PMV e PPD) e stress térmico por calor (índice WBGT).

## 2 – RESPONSABILIDADES

A responsabilidade pelo cumprimento da presente instrução de trabalho, é dos técnicos habilitados para proceder à determinação dos pântmetros necessários à obtenção dos índides de conforto e stress térmico.

## 3 – IDENTIFICAÇÃO DE PEÇAS

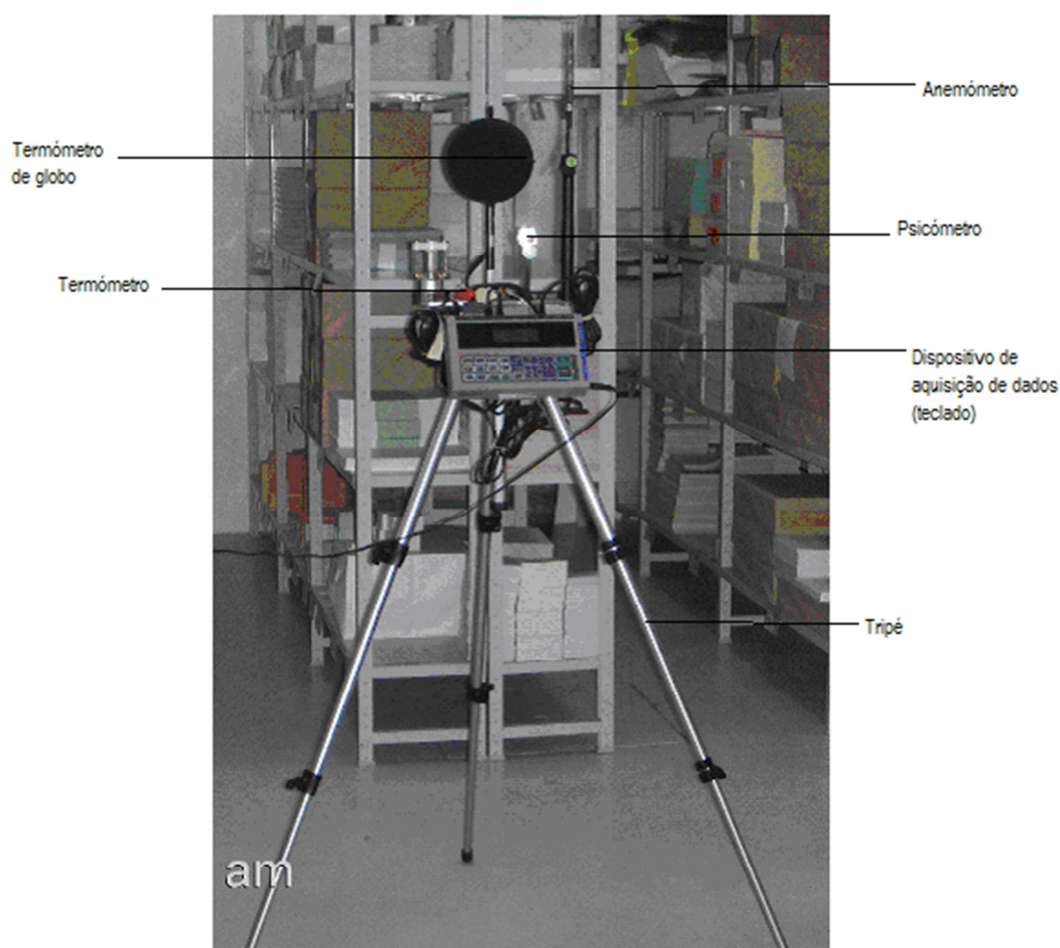


**Figura 1 – Identificação de peças do BABUC-A**

### 3.1 – Teclado



Figura 2 – Dispositivo de aquisição de dados (teclado).

- ✓ **ON** – interruptor geral;
- ✓ **Cursor** –    – escolha de opções;
- ✓ **OFF FINE** – para aparecer o menu quando se quer ver os resultados obtidos;
- ✓ **Pg (UP)** – para mudar para o topo do **MENU** ou **SUB-MENU**;
- ✓ **Pg (DOWN)** – para mudar para a última opção do **MENU** ou **SUB-MENU**;
- ✓ **IMMIS** – tecla para a confirmação de dados (**ENTER**);
- ✓ **ESC** – tecla de saída;
- ✓ **VEXT** – (LED) alimentação exterior.

**Nota:** existem ainda as teclas numéricas

### 3.2 – Psicómetro

O psicrómetro é responsável pela medição da temperatura de bolbo húmido (Tbh) e seco ou do ar (Tbs), além de obter o valor da humidade relativa do ar (Hr).

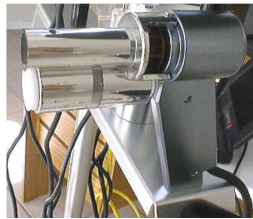


**Figura 3 – Psicómetro de ventilação forçada**

### **3.3 – Termómetro de Globo**

Responsável pela medição da temperatura de globo ( $T_g$ ), que fornece a temperatura radiante média, em conjunto com a temperatura do ar e velocidade do ar.



**Figura 4 – Termómetro de globo.**

### **3.4 – Anemómetro de fio quente**

O anemómetro de fio quente é o sensor utilizado para a medição da velocidade do ar ( $V_a$ ).



**Figura 5 – Anemómetro de fio quente.**

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

**Tabela 1 - Especificações técnicas das variáveis ambientais fornecidas pelo fabricante do equipamento BABUC-A**

| Variáveis | Resolução | Precisão  |          | Campo de Medição |
|-----------|-----------|-----------|----------|------------------|
| Tbh e Tbs | 0,03 °C   | ±0,13 °C  |          | -20°C a 60 °C    |
| Tg        | 0,03 °C   | ±0,15 °C  |          | -10°C a 100°C    |
| Va        | 0,01 m/s  | 0 a 1 m/s | > 1 m/s  | 0 a 5 m/s        |
|           |           | ±0,04 m/s | ±4% Va   |                  |
| Hr        | 0,1%      | 15 a 40%  | 40 a 70% | 0 a 100%         |
|           |           | ±2%       | ±1%      |                  |

## 4- MODO DE FUNCIONAMENTO

### 4.1 – Preparação da medição:

- o Colocar o aparelho sobre uma superfície plana rígida ou sobre o tripé do BABUC;
- o Colocar as sondas a utilizar (as sondas devem ser colocadas antes de ligar o aparelho);
- o Após a ligação em **ON** irá aparecer um *check-up* que durará aproximadamente 5 segundos, em seguida aparecerá o número da matrícula, modelo do aparelho e programa;

```

      B A B U C
P r o g r a m      V . * . * *
M a t r . * * * * . * * * *
  
```

- o Deverá seguidamente carregar em **IMMIS** e aparecerá o **MENU** do aparelho, que é constituído por:



**SURVEY** – pode ser utilizado pa agrupar todos os parâmetros permitindo ao BABUC adquirir, mostrar e armazenar dados, bem como, iniciar ou interromper uma medição;



**SHUTDOWN** – permite desligar o aparelho;



**FILES** – utiliza-se para exibir toda a informação, tendo em atenção o espaço requerido pela memória e o cancelamento da medição;



**PRINTOUTS** - habilita a impressão dos ficheiros, com várias configurações, usando uma impressora ligada directamente ao aparelho;



**COMMUNICATION** – utiliza-se para modificar opções de ligação entre o BABUC e o computador ou impressora;



**UTILITY** – providencia informação acerca do funcionamento do instrumento, excluindo informação sobre as medições ou sensores conectados. Contém as seguintes opções:

SYSTEM DATE/HOUR – acertar data e hora;

MEMORY AVAILABLE – memória disponível;

BATTERY VOLTAGE – tensão da bateria;

ERROR MANAGEMENT – gestor de erros;

INNER TEMP – opção;

BEEPER – desligar/ligar sinal sonoro;

KEYBOARD PROTECTION – protecção de teclado;

DISPLAY BLANKING – para o visor se desligar sozinho;

VERSION/MATR – visionar a versão e a matrícula.



**SYSTEM** – utiliza-se para modificar as características de funcionamento dos sensores que podem ser conectados ao instrumento.

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

---

- o Depois de aparecer o **MENU** deve seleccionar a opção pretendida com as teclas (**cursor**) e carregar **IMMIS**, e assim sucessivamente até encontrar o que pretende, já que cada função do **MENU** pode ter sub-funções.

## 4.2 – MEDIÇÃO – Sem armazenamento de dados:

1º Ligue o aparelho conforme explicado no ponto anterior;

2º Seccione a opção **SURVEY**;

```
> N o r m a l   s u r V e y
  " K " F a c t o r   S u r v e y
  s h u t d o w n
  F i l e s
P r i n t o u t s
C o m m u n i c a t I o n
U t i l i t y
S y s t e m
```

3º Carregue **IMMIS** de modo a aparecerem as seguintes opções:

```
> W i t h o u t   s t O r a g e
  W i t h   s t o r a G e
```

4º Deve seleccionar a opção **WITHOUT STORING** e carregar **IMMIS** (depois de aproximadamente 10 segundos a seguinte informação irá aparecer):

```
S u r v e y   w i t H o u t
s t o r a g e   i n   p r o g r
```

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

---

**5º** Deverá carregar **IMMIS**, de modo a aparecerem as seguintes opções:

```
> V i s u a l i z a t I o n  
E n d   o f   S u r V e y  
N e w   S u b s u r V e y  
U t i l i t y
```

**6º** Seleccione a opção **VISUALIZATION** e primir **IMMIS**, de modo a aparecerem as seguintes sugestões de selecção:

```
> S y n t h e t i c   D a t a  
S t a t i s t i c a l   d a t a  
R e s e t       s t a T i s t i c s
```

**7º** Escolha a opção **SYNTHETIC DATA** e carregue **IMMIS**, de forma a visualizar os valores e verificar se o aparelho está a detectar todas as sondas;

**8º** Para completar a medição, deverá carregar **ESC** para retroceder até à mensagem **"SURVEY WITHOUT STORAGE IN PROGRESS"** e primir **ESC** de novo, de modo a visualizar as seguintes opções:

```
> V i s u a l i z a t I o n  
E n d   o f   S u r V e y  
N e w   S u b s u r V e y  
U t i l i t y
```

**9º** Seleccione **END OF SURVEY** e prima **IMMIS**. Carregue **ESC** para regressar ao menu principal.

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

---

### 4.3 – MEDIÇÃO – com armazenamento de dados:

1º No menu principal, seleccione a opção ***SURVEY***;

```
> N o r m a l   s u r V e y  
  " K " F a c t o r   S u r v e y  
  s h u t d o w n  
  F i l e s  
  P r i n t o u t s  
  C o m m u n i c a t I o n  
  U t i l i t y  
  S y s t e m
```

2º Carregue **IMMIS** de modo a aparecerem as seguintes opções:

```
> W i t h o u t   s t O r a g e  
  W i t h   s t o r a G e
```

3º Seleccione a opção ***WITH STORING*** e carregue **IMMIS**, de modo a aparecer a seguinte mensagem:

```
> E x e c u t i o n  
  S e t u p
```

4º Escolha ***SETUP*** e prima **IMMIS** aparecendo de seguida a data e a hora, devendo esta ser seleccionada através dos números e das teclas cursor;

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

```

          nn / nn / nn   nn : nn
          dd / mm / yy   hh : mm
S t a r t : 0 0 / 0 0 / 0 0   0 0 : 0 0
D u r a t i o n :      0 0 0   0 0 : 0 0
          . . .
  
```

5º Carregue **IMMIS**, de forma a aparecer o seguinte:

```

I n s e r t   p r o b E s
f o r   c h e c k i n G
> C h e c k
E x i t
  
```

6º Seccione **CHECK** e prima **IMMIS** (o aparelho irá pedir para aguardar);

7º Carregue novamente em **IMMIS** (o aparelho irá perguntar se confirma as sondas);

```

D o   y o u   c o n f I r m
c o n n e c t e d   p R o b e s
N O
> Y E S
  
```

8º Escolha a opção correcta e carregue em **IMMIS** (aparecerá a memória disponível);

```

M e m o r y   a v a i L a b l e
c o m p u t e d
D a y s       x x x
H r s         x x : x x : x x
  
```

9º Prima **IMMIS**, para aparecer de seguida:

```

> A c c e p t   c o n F i g
S h o w   a c q .   R a t e s
S e t   a c q u i s I t . r a t e S
  
```

Departamento de Engenharia de Minas  
Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

---

**10º** Seleccione **SET ACQUISIT RATES** e prima **IMMIS**, de modo a escolher o factor colectivo de multiplicação para as taxas de todos os sensores conectados. No fundo este factor corresponde ao tempo de aquisição de dados por parte de todos os sensores. Após a escolha do factor deverá primir **IMMIS**, aparecendo novamente as opções do 9º passo;

**11º** Deverá seleccionar **ACCEPT CONFIG** e carregar em **IMMIS**. O aparelho irá pedir para introduzir o número da medição, devendo de seguida primir novamente **IMMIS**, de forma a aparecerem as seguintes opções:

```
A c q u i s i t i o n
s e t u p   O K
```

**12º** Neste momento o aparelho está pronto a iniciar a medição, devendo-se carregar em **IMMIS** de forma a retornar ao seguinte menu:

```
> E x e c u t i o n
S e t u p
```

**13º** Deverá seleccionar **EXECUTION** e primir **IMMIS** para a confirmação da operação;

```
S u r x x x / x x x   I n   p r o g r .
          d d / m m / y y   h h : m m
S t a r t :
E n d
```

**14º** A medição irá decorrer no tempo programado, sendo que poderá ser terminada a qualquer momento, utilizando a opção **END OF SURVEY**. Para tal deverá primir **ESC** de modo a aparecer o seguinte:

```
> Display
  End of Survey
  New Subsurvey
  Utility
```

**15º** Seleccione a opção **END OF SURVEY** e prima **IMMIS**. Carregue em **ESC** para regressar ao **MENU** principal.

## 5 – DIAGNÓSTICO

A tabela 2 lista as mensagens de erro, descreve-as e recomenda algumas acções a tomar mediante os problemas com que o técnico se depara quando utiliza o BABUC-A. De salientar que os problemas descritos na seguinte tabela são os mais comuns (para mais informações deverá consultar o manual do equipamento).

**Tabela 2 – Diagnóstico do BABUC-A**

| Mensagem                                       | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                    | Acção Correctiva                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bateria descarregada                           | No início da medição o aparelho verifica se existe bateria suficiente para continuar.                                                                                                                                                                        | Como o equipamento utiliza bateria recarregável, deve ligá-lo ao carregador e por conseguinte ligar este último a uma tomada eléctrica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Pesquisa (medição) não definida correctamente. | A definição do procedimento da medição não foi completada correctamente devido a um erro ou porque o operador abandonou a operação. Nenhuma medição deve ser iniciada nestas condições, porque os dados introduzidos são insuficientes ou estão incorrectos. | Recomece a etapa SET-UP. (4º passo do ponto 4.3 desta IT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Dados de memória insuficientes                 | A memória (RAM) reservada para o armazenamento temporário de dados lidos pelos sensores é insuficiente.                                                                                                                                                      | Defina um tempo de transferência de dados mais curto (SYSTEM -TRANSF. STATIC MEMORY).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Memória cheia                                  | A corrente medição ou a última a ser executada tem tentado guardar dados em excesso, para o espaço disponível na memória. Contudo os dados já existentes permanecem perfeitamente válidos.                                                                   | Eliminar o erro com a opção de menu apropriada. Antes de dar início a uma nova medição, eliminar uma ou mais medições da memória.<br>(Files-Delete Last-All)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Sensor não conectado                           | O operador está a tentar executar uma medição sem os sensores estarem ligados ao dispositivo de aquisição de dados.                                                                                                                                          | Se pelo menos um sensor for instalado, verifique se o conector está montado correctamente e que o <i>input</i> adequado para o sensor está a ser usado. Caso o erro continue, verificar se os pinos ou o sensor estão danificados. Se possível, mudar a entrada do sensor (mas só se estiver a utilizar um tipo de sensor identificado automaticamente pela entrada). Se o resultado de todos os testes for negativo, o dispositivo de aquisição ou o sensor deverão ser devolvidos ao fabricante para reparações. |

## **6– MANUTENÇÃO**

### **6.1 – Equipamento**

- deverá ter em atenção ao recipiente que contém água destilada. Verificar sempre se esse recipiente contém água suficiente para a sua posterior utilização aquando da montagem do equipamento (nomeadamente no psicómetro de ventilação forçada);
- deverá colocar sempre que terminar uma medição, a protecção do sensor do anemómetro (aquando da medição retire a protecção e certifique-se que o sensor se encontra exposto);
- garantir que a bateria se encontra sempre carregada, devendo no entanto transportar o carregador para qualquer eventualidade.

### **6.2 – Armazenamento**

- guardar o equipamento na respectiva mala (de forma a evitar a entrada/acumulação de pó e proteger o equipamento de eventuais choques);
- certifique-se que as sondas são envolvidas no respectivo saco plástico e que a água é retirada do psicómetro de ventilação forçada.