



## **ACADEMIA MILITAR**

### **Predição da temperatura interna a partir de métodos não invasivos nos militares que integram equipas nuclear radiológico biológico químico**

**Aspirante de Infantaria Rafael Antunes Esteves Riscado**

Trabalho de Investigação Aplicada

### **Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria**

Orientador: Tenente-Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto de Lucena

Coorientadores: Capitão Art Cristiano Fonseca de Almeida

Professora Doutora Paula Cristina Pires Simões

#### **Júri**

Presidente: Professor Auxiliar António Paulo David Silva Duarte

Arguente: Professor Auxiliar Convidado Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Orientador: Tenente-Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto de Lucena

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Infantaria Roberto Martins Mariano

**junho de 2024**



## **ACADEMIA MILITAR**

### **Predição da temperatura interna a partir de métodos não invasivos nos militares que integram equipas nuclear radiológico biológico químico**

**Aspirante de Infantaria Rafael Antunes Esteves Riscado**

Trabalho de Investigação Aplicada

### **Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria**

Orientador: Tenente-Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto de Lucena

Coorientadores: Capitão Art Cristiano Fonseca de Almeida

Professora Doutora Paula Cristina Pires Simões

#### **Júri**

Presidente: Professor Auxiliar António Paulo David Silva Duarte

Arguente: Professor Auxiliar Convidado Nuno Ricardo da Conceição Almeida

Orientador: Tenente-Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto de Lucena

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Infantaria Roberto Martins Mariano

**junho de 2024**

## EPÍGRAFE

“O que a mente pode conceber e acreditar, pode alcançar.”

Napoleon Hill

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho de investigação aplicada requer bastante esforço e dedicação, o qual iria ser bastante mais difícil sem a ajuda e contributos de todos aqueles que se envolveram desde o início e se disponibilizaram para ajudar, de forma a concluir esta última etapa com sucesso.

Gostaria de começar por agradecer ao meu orientador Tenente-Coronel Cav Rui Jorge Palhoto Lucena por toda a disponibilidade, dedicação, empenho e conhecimento transmitido que foi crucial ao longo da elaboração deste trabalho de investigação.

Ao meu coorientador, Capitão Art Cristiano Fonseca de Almeida por toda a disponibilidade e conhecimento que foi essencial durante todo este processo.

À minha coorientadora, Professora Doutora Paula Cristina Pires Simões pelo apoio e conhecimento que foi fulcral para a elaboração e análise estatística deste trabalho de investigação.

A todos os camaradas que participaram neste estudo, que disponibilizaram o seu tempo e vontade de forma contributiva para que fosse possível a realização deste trabalho da melhor forma possível.

À Academia Militar, por toda a formação, conhecimento, valências e oportunidades que me foram dadas durante este longo percurso.

A todos os meus camaradas de curso, em especial aos meus irmãos de infantaria com os quais partilhei as melhores memórias e as maiores dificuldades, sem os quais seria impossível.

À minha namorada por todo o apoio emocional tanto nos bons como nos maus momentos, que foi fundamental durante todos estes anos e sem a qual teria sido impossível a conclusão deste curso.

Por fim, mas nunca menos importante, à minha família, especialmente aos meus pais por todos os sacrifícios que fizeram e têm feito ao longo de todo o meu percurso, que sempre se mostraram disponíveis para me ajudar e apoiar, por todo o carinho e aconselhamento, aos quais tudo devo porque sem eles não seria possível.

A todos vocês um grande e sincero obrigado.

## RESUMO

Atualmente, a instabilidade no mundo permanece e o ressurgimento da ameaça nuclear está cada vez mais presente. Sendo por isso necessário preparar militares com capacidades para atuar em ambientes contaminados e conhecer quais os seus limites fisiológicos.

Neste estudo, o objetivo central desta investigação prende-se com a predição da temperatura interna em militares que utilizem equipamentos de proteção individual (EPI) NRBQ. Para tal, o objeto de estudo é constituído por uma amostra de cinco elementos masculinos e quatro elementos femininos da Academia Militar. Como base para esta investigação, numa fase inicial foi elaborada uma revisão de literatura a partir de uma extensa pesquisa bibliográfica e posteriormente foram elaborados testes laboratoriais com base em protocolos à temperatura ambiente e temperatura elevada, por forma a complementar o estudo.

A predição da temperatura interna é fundamental, pelo facto de ser um meio essencial para a prevenção de situações clínicas extremas como os golpes de calor, hipertermia e stress térmico. Desta forma, ao estudarmos as variações da temperatura interna podemos prever estas situações, tornando ao mesmo tempo possível uma utilização mais eficaz e segura dos recursos humanos para o cumprimento da missão de forma mais eficiente.

Foi verificado ao longo desta investigação que a combinação dos métodos não invasivos, como os sensores térmicos na pele e as bandas de frequência cardíaca contribuem para a predição da temperatura interna. Os resultados obtidos através da combinação destes métodos, evidenciam que é possível a produção de um modelo de regressão linear múltipla para a predição da temperatura interna, a uma temperatura elevada ( $26,92 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$ ), com uma correlação linear positiva forte de  $R = 0,751$ , entre as variáveis em estudo (temperatura interna, temperatura na pele e frequência cardíaca).

A implementação deste estudo para o Exército Português revela-se de grande importância devido à falta de estudos nesta área em Portugal. Considera-se ainda como um ponto de partida para futuras investigações neste âmbito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Temperatura Interna; NRBQ; Algoritmo de Predição; Métodos Não Invasivos;

## ABSTRACT

Today, the world remains unstable and the resurgence of the nuclear threat is increasingly present. It is therefore necessary to prepare military personnel with the skills to operate in contaminated environments and to know their physiological limits.

The main aim of this study is to predict the internal temperature of soldiers wearing NRBQ personal protective equipment (PPE). To this end, the object of study is a sample of five male and four female members of the Military Academy. The basis for this research was initially a literature review based on extensive bibliographic research and then laboratory tests based on protocols at room temperature and high temperature, to complement the study.

Predicting core temperature is fundamental, as it is an essential means of preventing extreme clinical situations such as heat stroke, hyperthermia and heat stress. In this way, by studying variations in internal temperature we can predict these situations, while at the same time making it possible to use human resources more effectively and safely to fulfill the mission more efficiently.

This research has shown that the combination of non-invasive methods, such as thermal sensors on the skin and heart rate bands, helps to predict core temperature. The results obtained by combining these methods show that it is possible to produce a multiple linear regression model for predicting core temperature at a high temperature ( $26,92 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$ ), with a strong positive linear correlation of  $R = 0,751$ , between the variables under study (core temperature, skin temperature and heart rate).

The implementation of this study for the Portuguese Army is of great importance due to the lack of studies in this area in Portugal. It is also seen as a starting point for future research in this area.

**KEYWORDS:** Core Temperature; NRBQ; Prediction Algorithm; Non-Invasive Methods;

# ÍNDICE GERAL

|   |          |
|---|----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b> |
| <b>CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                      | <b>4</b> |
| 1.1. Enquadramento Histórico da ameaça NRBQ .....                   | 4        |
| 1.1.1. Conceito e Enquadramento Geral de NRBQ.....                  | 4        |
| 1.1.2. Organização do Sistema de Defesa NRBQ.....                   | 5        |
| 1.1.3. Companhia de Defesa NBQR .....                               | 5        |
| 1.2. Balanço Térmico e Parâmetros Básicos do Ambiente Térmico ..... | 6        |
| 1.2.1. Balanço Térmico .....  | 6        |
| 1.3. Termorregulação Humana.....                                    | 9        |
| 1.3.1. Vasodilatação .....  | 12       |
| 1.3.2. Sudação .....  | 12       |
| 1.4. Indicadores Fisiológicos de Tensão Térmica .....               | 13       |
| 1.4.1. Temperatura Interna .....                                    | 13       |
| 1.4.2. Métodos não invasivos .....                                  | 15       |
| 1.4.2.1. Temperatura na Pele.....                                   | 15       |
| 1.4.2.2. Frequência Cardíaca.....                                   | 17       |
| 1.4.3. Métodos Invasivos.....                                       | 18       |
| 1.4.3.1. Temperatura Intra Abdominal.....                           | 18       |
| 1.5. Indicadores Fisiológicos de Tensão Térmica .....               | 19       |
| 1.5.1. Idade .....  | 19       |
| 1.5.2. Sexo.....  | 20       |
| 1.5.3. Capacidade Aeróbia .....                                     | 21       |
| 1.5.4. Aclimação.....   | 21       |
| 1.5.5. Adiposidade.....   | 22       |
| 1.5.6. Hidratação .....   | 22       |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.5.7. Taxa Metabólica Basal .....   | 23        |
| 1.6. Definição e Caracterização de Patologias Fisiológicas .....                                 | 23        |
| 1.6.1. Hipertermia.....  | 23        |
| 1.6.2. Golpes de Calor.....  | 24        |
| 1.6.3. Stress Térmico.....   | 25        |
| <b>CAPÍTULO 2. METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS.....</b>   | <b>26</b> |
| 2.1. Tipo de Abordagem.....  | 26        |
| 2.2. Definição do Objetivo Geral e Objetivos Específicos .....                                   | 27        |
| 2.3. Pergunta de Partida e Perguntas Derivadas.....  | 27        |
| 2.4. Amostra: Composição e Justificação .....  | 28        |
| 2.5. Métodos Estatísticos Usados.....  | 29        |
| 2.6. Procedimentos Formais e Éticos .....  | 30        |
| 2.7. Métodos de Medição Utilizados.....  | 31        |
| 2.7.1. Instrumentos de Medição .....   | 31        |
| 2.7.2. Protocolo para o Estudo da Variação da Temperatura Interna e<br>Temperatura na Pele ..... | 32        |
| 2.7.3. Vestuário .....   | 33        |
| <b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....</b>   | <b>35</b> |
| 3.1. Resultados em Laboratório .....   | 35        |
| 3.1.1. Análise das Variáveis em Estudo .....   | 35        |
| 3.1.2. Análise Estatística Bivariada.....  | 37        |
| 3.1.2.1. Análise da Temperatura Interna Vs Temperatura na Pele.....                              | 37        |
| 3.1.2.2. Análise da Temperatura Interna Vs Frequência Cardíaca.....                              | 38        |
| 3.1.2.3. Algoritmo de Predição da Temperatura Interna.....                                       | 39        |
| 3.1.3. Análise das Variáveis entre Sexos .....   | 40        |
| 3.1.3.1. Teste de Hipóteses para as Diferenças nos Sexos.....                                    | 42        |
| <b>CAPÍTULO 4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>   | <b>46</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                | <b>53</b> |
| APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....                           | I         |
| APÊNDICE B – CIRCUITO DO PROTOCOLO ÀS DIFERENTES<br>TEMPERATURAS ..... | II        |
| APÊNDICE C – CONSENTIMENTO INFORMADO .....                             | III       |
| APÊNDICE D – LISTA DE MATERIAL .....                                   | V         |
| APÊNDICE E – ESCALAS .....   | VII       |
| APÊNDICE F – ANÁLISE RESULTANTE DA REGRESSÃO LINEAR<br>MÚLTIPLA .....  | IX        |
| APÊNDICE G – ANÁLISE DOS TESTES DE HIPÓTESES .....                     | X         |
| APÊNDICE H – FOLHAS DE REGISTO LABORATORIAL .....                      | XI        |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |      |
|--|------|
| Figura n.º 1- Termorregulação feita pelo hipotálamo.....   | 10   |
| Figura n.º 2 - Distribuição e Percentagem de Termo-Recetores no Corpo Humano.  | 11   |
| Figura n.º 3 - Localização dos Pontos para Estimativa da Temperatura Média da Pele .....   | 17   |
| Figura n.º 4 – <i>Box-plots</i> das Variáveis à Temperatura Ambiente: Temperatura na Pele (Esquerda), Frequência Cardíaca (Centro) e Temperatura Interna (Direita).....                                      | 35   |
| Figura n.º 5 – <i>Box-plots</i> das Variáveis à Temperatura Elevada: Temperatura na Pele (Esquerda), Frequência Cardíaca (Centro) e Temperatura Interna (Direita).....                                       | 36   |
| Figura n.º 6 – Representação da Variável Explicativa (Temperatura na Pele) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita) .....             | 37   |
| Figura n.º 7 – Representação da Variável Explicativa (Frequência Cardíaca) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita) .....             | 38   |
| Figura n.º 8 – Representação entre Sexos da Variável Exploratória (Temperatura na Pele) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita)..... | 40   |
| Figura n.º 9 – Relação entre Sexos da Variável Exploratória (Frequência Cardíaca) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).....       | 41   |
| Figura n.º 10 – Representação Gráfica por Meio de Box-plot da Variável Temperatura Interna por Sexo à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita)..                                      | 42   |
| Figura n.º 11 – Representação Gráfica por Meio de Box-plot da Variável Temperatura na Pele por Sexo à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).....                                   | 43   |
| Figura n.º 12 – Representação Gráfica por Meio de Box-plot da Frequência Cardíaca por Sexo à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).....  | 44   |
| Figura n.º 13 – Circuito do Protocolo às Diferentes Temperaturas.....  | II   |
| Figura n.º14 – Escala da Humidade na Pele .....  | VII  |
| Figura n.º 15– Escala da Sensação Térmica .....  | VII  |
| Figura n.º 16– Escala do Conforto Térmico .....  | VII  |
| Figura n.º 17 – Escala da Perceção Subjetiva do Esforço.....   | VIII |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela n.º 1- Variáveis Envolvidas na Análise do Balanço Térmico entre o Homem e o Ambiente. ....        | 8  |
| Tabela n.º 2 – Pontos de Medição da Temperatura Interna. ....  | 14 |
| Tabela n.º 3 – Locais de Medição e Respetivos Coeficientes de Ponderação. ....                           | 16 |
| Tabela n.º 4 -Tabela com as Estatísticas Descritivas Sumário das Variáveis por Sexo nos Protocolos. .... | 42 |
| Tabela n.º 5 - Caracterização da Amostra. ....   | I  |
| Tabela n.º 6 - Lista de Material. ....   | V  |
| Tabela n.º 7 – Análise Estatística Resultante da Regressão Linear Múltipla à Temperatura Ambiente. ....  | IX |
| Tabela n.º 8 – Análise Estatística Resultante da Regressão Linear Múltipla à Temperatura Elevada. ....   | IX |
| Tabela n.º 9 – Análise Estatística Resultante dos Testes de Hipóteses à Temperatura Ambiente. ....       | X  |
| Tabela n.º 10 – Análise Estatística Resultante dos Testes de Hipóteses à Temperatura Elevada. ....       | X  |
| Tabela n.º 11 – Folha de Registo do Protocolo à Temperatura Ambiente. ....                               | XI |
| Tabela n.º 12 – Folha de Registo do Protocolo à Temperatura Elevada. ....                                | XI |

## **LISTA DE APÊNDICES**

Apêndice A – Caracterização da Amostra

Apêndice B – Consentimento Informado

Apêndice C – Lista de Material

Apêndice D – Circuito do Protocolo às Diferentes Temperaturas

Apêndice E – Escalas

Apêndice F – Análise Resultante da Regressão Linear Múltipla

Apêndice G – Análise dos Testes de Hipóteses

Apêndice H – Folhas de Registo Laboratorial

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

**ADM** – Armas de Destruição em Massa  
**AM** – Academia Militar  
**APA** – American Psychological Association  
**Bpm** – Batimentos Por Minuto  
**CDefNBQR** – Companhia de Defesa Nuclear Biológico Químico Radiológico  
**C-IED** – Counter Improvised Explosive Device  
**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono  
**ECG** – Eletrocardiograma  
**ECOSF** – Elementos da Componente Operacional do Sistema de Forças  
**EFSA** – European Food Safety Authority  
**EME** – Estado Maior do Exército  
**EMS** – Emergency Medical Services  
**EOD** – Explosive Ordnance Device  
**EPI** – Equipamento de Proteção Individual  
**ES** – Emergency Services  
**FM** – Frequência Modulada  
**HC** – Hipertermia Clássica  
**HIE** – Hipertermia Induzida pelo Esforço  
**HR** – Heart Rate  
**Hz** – Hertz  
**IED** - Improvised Explosive Device  
**IMC** – Índice de Massa Corporal  
**IMG** – Índice de Massa Gorda  
**IMM** – Índice de Massa Magra  
**ISO** – International Organization for Standardization  
**IUM** – Instituto Universitário Militar  
**JISR** – Joint Intelligence Surveillance and Reconnaissance  
**kg** – Quilograma  
**km/h** – Quilómetro por Hora  
**l/h** – Litro por Hora  
**ml** - Mililitros

**ml/kg/min** – Mililitros por Quilograma por Minuto  
**n/t** – Batimentos Cardíacos num Intervalo de Tempo  
**NATO** – North Atlantic Treaty Organization  
**NEP** – Norma de Execução Permanente  
**NSCA** – National Strength and Conditioning Association  
**NRBQ** – Nuclear Radiológico Biológico Químico  
**NSA** – National Security Agency  
**NSA** – Nódulo Sino Auricular  
**°C** – Graus Celcius  
**OE** – Objetivo Específico  
**OG** – Objetivo Geral  
**PD** – Pergunta Derivada  
**PP** – Pergunta Partida  
**QR** – Quociente Respiratório  
**STC** – Stress Térmico Compensável  
**STI** – Stress Térmico Incompensável  
**TIA** – Trabalho de Investigação Aplicado  
**TIMs** – Toxic Industrial Materials  
**T<sub>sk</sub>** – Temperatura na Pele  
**W/m<sup>2</sup>** – Watt por Metro Quadrado

## INTRODUÇÃO

No moderno campo de batalha é cada vez maior o risco do uso de armas Nucleares, Radiológicas, Biológicas e Químicas (NRBQ). Estas quando utilizadas em determinados cenários têm a capacidade para despontar uma emergência (quer por ocorrência de incidentes em estabelecimentos, quer por causas acidentais ou negligência humana) ao se operar com matérias perigosas ou ainda no transporte das mesmas, podendo levar a acidentes com graves consequências. Existe ainda a possibilidade de ocorrerem incidentes deliberados, nomeadamente, atos terroristas. (Alberto & Barbosa, 2021; Mclellan et al., 1996). Os militares que pertencem às equipas NRBQ estão sujeitos a perigos mais elevados, uma vez que operam em ambientes contaminados e têm um maior risco de exposição a estas matérias pelo que necessitam de estar permanentemente protegidos, sendo essencial a utilização de fatos de proteção (Mclellan et al., 1996).

O equipamento de proteção é composto por uma camada grossa e pouco respirável, ao qual, para garantir a segurança contra agentes contaminantes se junta ainda a utilização da máscara, botas e luvas de borracha. Assim, devido à sua composição e especificidade, pode causar grandes dificuldades na regulação da temperatura corporal (Mclellan et al., 1996). Consequentemente, a utilização deste equipamento potencia condições que podem levar ao stress térmico (ocorre quando a perda de calor necessária para manter uma temperatura normal excede a capacidade máxima de evaporação do equipamento) (Richmond et al., 2013).

A prevenção de situações clínicas extremas tais como: golpes de calor, hipertermia e stress térmico são fundamentais nestes casos, uma vez que garantem o sucesso da missão, e a saúde e bem-estar dos militares, ao estudarmos as variações da temperatura interna podemos prever estas situações. Em termos clínicos, a avaliação da temperatura interna é maioritariamente medida através da temperatura retal ou temperatura timpânica, que por sua vez se torna de difícil medição uma vez que é um método bastante invasivo (Hamatani et al., 2015).

Pretende-se com este Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) contribuir para o desenvolvimento do conhecimento científico na predição da temperatura interna dos militares, através da utilização de métodos não invasivos, tal como a temperatura na pele e a frequência cardíaca, permitindo assim avaliar a variação da temperatura interna dos militares aquando da utilização do fato de proteção NRBQ, durante as suas operações.

Esta avaliação será feita através de protocolos realizados em contexto laboratorial, de forma a medir através de métodos não invasivos, a temperatura interna dos militares ao utilizarem os fatos de proteção individual.

Durante os testes os indivíduos serão monitorizados através do registo não invasivo da pressão arterial, frequência cardíaca, temperatura na pele e temperatura interna.

A necessidade de compreender e interpretar as alterações fisiológicas a que o nosso corpo está sujeito aquando da utilização do equipamento NRBQ no cumprimento de tarefas é fundamental para a mitigação de acidentes ou lesões. Não obstante, o desenvolvimento de mecanismos de apoio à decisão dos comandantes das equipas NRBQ são ferramentas que podem contribuir para esse processo de prevenção. Assim, dado as condições extremas que os militares estão muitas vezes sujeitos, sejam estas a temperaturas elevadas, o contacto com substâncias contaminadas e até mesmo a constituição dos fatos de proteção, a monitorização fisiológica em tempo real permitirá uma utilização eficaz e segura dos recursos humanos tornando o cumprimento da missão mais eficiente.

O objetivo geral desta investigação é predizer a temperatura interna em militares que utilizem Equipamentos de Proteção Individual (EPI) NRBQ. É assim essencial perceber quais são os fatores fisiológicos principais que se correlacionam com a temperatura interna e determinar/avaliar, dos fatores em estudo, quais os que permitem explicar a temperatura interna e se esta análise se mantém semelhante em ambos os sexos ou se por sua vez, são identificadas diferenças. Pretende-se ainda, com esta análise traduzir por meio de um modelo a temperatura interna de um individuo através do estudo dos seus fatores fisiológicos, nomeadamente, a temperatura na pele e a frequência cardíaca, em duas situações distintas.

Seguindo esta linha de investigação foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos (OE):

**OE1** – Avaliar a existência de diferenças nas alterações dos fatores fisiológicos consoante o sexo;

**OE2** – Caracterizar os fatores fisiológicos que melhor predizem a temperatura interna;

**OE3** – Determinar um algoritmo que prediz a temperatura interna em função dos fatores fisiológicos em análise.

Apresentados os OE, foi formulada a pergunta de partida (PP), sendo ela, “Será possível predizer a temperatura interna através de métodos não invasivos nos militares que utilizam EPI NRBQ?”.

Quanto à formulação e estruturação, este trabalho foi redigido de acordo com a Norma de Execução Permanente (NEP) 522/1ª publicada pela AM em 20 de janeiro de 2016, estando dividido em 4 capítulos. O primeiro capítulo, incorpora uma revisão de literatura abrangendo um enquadramento histórico sobre a ameaça NRBQ e como o Exército Português está equipado para o combate a esta ameaça, como também todos os aspetos físicos e fisiológicos relacionados com a termorregulação e a temperatura interna apresentando várias definições e relações acerca dos mesmos. No segundo capítulo, está explicada a metodologia utilizada neste TIA, a abordagem adotada para o tratamento de dados, a seleção e a caracterização da amostra, como também os instrumentos de recolha dos dados e os protocolos, e ainda os procedimentos formais e éticos. No terceiro capítulo estão expostos os resultados obtidos do decorrer desta investigação, no que concerne aos testes realizados em laboratório. Por último, o quarto capítulo, onde está a discussão dos resultados obtidos, bem como a confrontação e relação com o saber obtido através da revisão de literatura intrínseca à pesquisa bibliográfica. No final, estão ainda as conclusões alusivas a esta investigação, como também todas as limitações e propostas para investigações vindouras, seguidas das referências bibliográficas. Estão ainda compreendidas posteriormente, no que respeita a parte pós-textual deste TIA os apêndices importantes.

# CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo expõe-se uma revisão de literatura apresentando um enquadramento histórico sobre a ameaça NRBQ e como o Exército Português está equipado para o combate a esta ameaça. São abordados também todos os aspetos físicos e fisiológicos relacionados com a termorregulação e a temperatura interna apresentando várias definições e relações entre estes.

## 1.1. Enquadramento Histórico da ameaça NRBQ

Segundo a National Security Agency (NSA) (2012), apesar do fim da Guerra Fria e de uma redução da ameaça de uma guerra nuclear global, o mundo permanece instável, tal como se observa nos dias de hoje, com uma guerra que perdura há mais de 2 anos entre a Rússia e a Ucrânia. A ameaça nuclear volta novamente a entrar no espectro, podendo esta ser intencional ou não intencional, o que traz grandes implicações a nível global (Horovitz & Wachs, 2022).

### 1.1.1. Conceito e Enquadramento Geral de NRBQ

As previsões atuais realçam a natureza cada vez mais fragmentada e diversificada dos conflitos. As nações do *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) não devem apenas esperar confrontar Estados-nacionais tradicionais em conflitos regionais, mas, terá de lidar com uma ampla gama de ameaças não estatais (NSA, 2012).

Observamos a disseminação de armas de destruição em massa (ADM<sup>1</sup>) e suas diversas formas de lançamento, acompanhadas pelo aumento do papel de atores não estatais. Esses agentes demonstram uma tendência crescente de atacar alvos, sejam civis ou militares, de maneira aleatória (Estado Maior do Exército [EME], 2019).

Apesar dos esforços contínuos nos campos do controlo de armas, existem evidências sólidas de uma proliferação contínua e de desenvolvimento de armas NRBQ<sup>2</sup> no mundo inteiro, juntamente com os seus sistemas de entrega. Simultaneamente, o aumento da urbanização e a distribuição global de indústrias e materiais nucleares, biológicos e químicos

---

<sup>1</sup> As armas de destruição maciça também podem ser designadas de armas de destruição em massa, ou mesmo armas de destruição massiva. As ADM são capazes de provocar um elevado número de baixas com apenas uma única utilização (Estado Maior do Exército [EME], 2019).

<sup>2</sup> O termo NRBQ (pode aparecer também como NBQR) é uma sigla que se refere ao nuclear, radiológico, biológico e químico, o qual é usado para referenciar as situações de risco que ocorrem quando existe a presença de algum destes agentes (Alberto & Barbosa, 2021).

aumentam as possibilidades de libertação de Materiais Tóxicos Industriais (*TIMs*) no ambiente, devido a negligência, desastres naturais, ação deliberada ou danos colaterais no decurso de operações militares (NSA, 2012).

### **1.1.2. Organização do Sistema de Defesa NRBQ**

No EME (2019) está preconizado que o Exército Português, quanto à estruturação e organização do seu sistema de defesa NRBQ, vai de acordo com as normas impostas pela NATO, adaptadas consoante a estrutura dos Elementos da Componente Operacional Do Sistema de Forças (ECOSF), sendo que se aproximaram as estruturas já existentes às tipologias das restantes forças da NATO, permitindo assim uma maior interoperabilidade entre as forças aliadas.

A defesa NRBQ divide-se em três níveis de capacidades (EME, 2019, p.101):

- a. “Básico (*Basic*): Visa assegurar a sobrevivência individual;”
- b. “Avançado (*Enhanced*): Visa assegurar a continuação das operações em ambiente com ameaça ou com contaminação NRBQ;”
- c. “Especializado (*Specialized*): visa assegurar a resposta qualificada em missões e o desempenho de tarefas NRBQ executadas por unidades especialistas.”

### **1.1.3. Companhia de Defesa NBQR**

O Exército Português possui a Companhia de Defesa NBQR (CDefNBQR) que se destaca como uma unidade especializada, com especificidades notáveis no âmbito da defesa contra ameaças NRBQ. A sua principal vocação reside na intervenção em ambientes contaminados ou em suspeita de contaminação, sobretudo em operações de reconhecimento e descontaminação (EME, 2019).

Esta unidade tem a flexibilidade de atuar em qualquer ponto do Teatro de Operações (TO), oferecendo, quando necessário, apoio crucial às unidades de manobra na frente da área de operações, estendendo-se até às unidades na retaguarda (EME, 2019).

De acordo com Pires (2017), esta companhia tem várias capacidades, das quais se destacam:

- Comandar e controlar entre 2 a 6 subunidades especializadas NRBQ;
- Conduzir o reconhecimento, deteção (apenas deteção pontual de agentes biológicos), identificação provisória, monitorização e descontaminação de agentes NRBQ e TIM;

- Assegurar, no mínimo, as capacidades de um Pelotão de Reconhecimento NRBQ e um Pelotão de Descontaminação NRBQ;
- Executar operações de busca e extração de forças, em áreas urbanas, em ambiente NRBQ;
- Incorporar pelotões NRBQ multifuncionais e/ou pelotões de detecção biológica;
- Estabelecer e manter ligação com organizações civis (Organizações Não Governamentais, autoridades locais, etc.);
- Integrar um sistema de gestão e informação NRBQ;
- Integrar o sistema de informação, vigilância e reconhecimento conjunto (*JISR - Joint Intelligence Surveillance and Reconnaissance*) para permitir a execução eficiente do plano de pesquisa, cruzamento de informação com outros meios de pesquisa e disseminação da informação recolhida;
- Conhecer a percepção situacional (*situation awareness*) das forças amigas em tempo real / próximo do real;
- Garantir um nível de proteção adequado, integrando e empregando meios de Proteção da Força (segurança de operações, informações, comunicações, NRBQ, C-IED) e políticas e normas de proteção da saúde;
- Garantir proteção adequada no âmbito da defesa contra ameaças NRBQ de acordo com *Allied Command Operations (ACO) Force Standards*;

### **Balanco Térmico e Parâmetros Básicos do Ambiente Térmico**

De acordo com Carvalhais (2011), o balanço térmico é obtido quando o calor produzido pelo corpo através do metabolismo é dissipado no meio ambiente.

O ambiente térmico do ser humano começa na superfície da pele e estende-se pelo ambiente que o rodeia, consistindo no ar que respiramos, a roupa que utilizamos, estruturas feitas pelo Homem, calor, frio e humidade causada pelo ambiente e exposição à radiação solar (Nishi, 1981).

#### **1.1.4. Balanço Térmico**

De forma a obter a homeotermia, o corpo humano juntamente com o ambiente, executam trocas térmicas, que dependem de vários fatores, realizadas por processos físicos, como a convecção, radiação, evaporação e eventualmente a condução (Carvalhais, 2011).

Sempre que existem dois corpos em presença, a temperaturas diferentes, dá-se um destes fenómenos de transporte de calor, do corpo que está a uma temperatura mais elevada para o que está a uma temperatura mais baixa (Carvalhais, 2011).

Quando se fala do processo de convecção, este refere-se à transferência de calor pela retenção de calor por um meio (água ou ar) que flui numa superfície estática (Lim, 2020), ou seja, quando a temperatura ambiental é inferior à da pele do organismo, dá-se uma perda de calor do corpo para o ambiente por efeito de condução (quando há contacto do organismo com o ar envolvente) e convecção (Carvalhais, 2011).

A condução dá-se quando há contacto entre duas superfícies estáticas, sendo esta bidirecional, normalmente, há transferência de calor da superfície mais quente para a mais fria, por exemplo, o contacto com equipamentos eletrónicos e de comunicação carregados pelos militares (Lim, 2020).

A radiação consiste na troca física de calor entre duas superfícies que não estão em contacto uma com a outra, através do movimento do calor no ar. No ser humano esta dá-se através da troca de calor entre o ar e a pele, por exemplo, ao executar tarefas ao ar livre sob o sol ou até mesmo ao trabalhar ao lado de maquinaria pesada (Lim, 2020).

A evaporação acontece quando os processos clássicos de transmissão de calor não são suficientes para manter a homeostasia, sendo este o processo mais importante no equilíbrio térmico. No ser humano o processo de evaporação ocorre pela transpiração (Carvalhais, 2011).

A equação do balanço térmico descreve a maneira como o corpo humano, sendo ele homeotérmico, consegue manter uma temperatura interna constante (37°C) ao mesmo tempo que gera calor e estabelece trocas de calor com o ambiente (Parsons, 2003). De forma a calcular o balanço térmico, ASHRAE (2005) desenvolveu a seguinte equação (1):

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_k + S_{cr}) \quad (1)$$

Onde:

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

W = Taxa de trabalho mecânico desenvolvido (W/m<sup>2</sup>)

q<sub>sk</sub> = Perda total de calor pela pele (W/m<sup>2</sup>)

q<sub>res</sub> = Perda total de calor pela respiração (W/m<sup>2</sup>)

C + R = perda sensível de calor pela pele (W/m<sup>2</sup>)

E<sub>sk</sub> = taxa total de perda de calor pela pele através da evaporação (W/m<sup>2</sup>)

$C_{res}$  = Taxa de perda de calor pela respiração através da convecção ( $W/m^2$ )

$E_{res}$  = taxa de perda de calor pela evaporação através da respiração ( $W/m^2$ )

$S_{sk}$  = Taxa de armazenamento de calor no compartimento da pele ( $W/m^2$ )

$S_{sc}$  = Taxa de armazenamento de calor no compartimento interno ( $W/m^2$ )

De acordo com a equação do balanço térmico, constata-se que todos os termos da equação (1) são expressos em função de variáveis pessoais (metabolismo e trabalho) e variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade do ar), à exceção da temperatura da superfície externa do vestuário que deve ser calculada repetidamente, tendo em conta as variáveis determinadas em relação da temperatura média da pele (Parsons, 2003). A temperatura do ar, a temperatura radiante, a humidade e a velocidade do ar, são as quatro variáveis básicas que devem ser medidas ou estimadas para definir a relação do corpo humano com o ambiente. Relacionando todas estas variáveis com o trabalho do metabolismo e o vestuário, podemos analisar a transferência de calor entre o corpo e o ambiente, formando assim as 6 variáveis necessárias para formular e calcular a equação do balanço térmico, como representado na Tabela n.º 1 (Parsons, 2003).

Tabela n.º 1- Variáveis Envolvidas na Análise do Balanço Térmico entre o Homem e o Ambiente.

| Elementos do balanço térmico        | Variáveis   |                 |            |                |                  |                               |             |          |
|-------------------------------------|-------------|-----------------|------------|----------------|------------------|-------------------------------|-------------|----------|
|                                     | Ta          | Tr              | Va         | Pa             | Icl              | Rcl                           | M           | W        |
|                                     | Temp. do ar | Temp. Rad. Med. | Vel. do ar | Humidade do ar | Isolamento Vest. | Resistência de Evap. do Vest. | Metabolismo | Trabalho |
| Produção de calor ( M-W )           |             |                 |            |                |                  |                               | x           | x        |
| Tranferência por radiação ( R )     |             | x               |            |                | x                |                               |             |          |
| Tranferência por convecção ( C )    | x           |                 | x          |                | x                |                               |             |          |
| Evaporação na pele ( E )            |             |                 | x          | x              |                  | x                             |             |          |
| Evaporação pela respiração ( Eres ) |             |                 | x          | x              |                  |                               | x           |          |
| Convecção pela respiração ( Cres )  | x           |                 |            |                |                  |                               | x           |          |

Fonte – Tabela 1 da (ISO 7266: 1998, 1998).

## 1.2. Termorregulação Humana

De acordo com Carvalhais (2011), a termorregulação consiste no conjunto de mecanismos que impedem grandes variações na temperatura interna de forma a preservar o bom funcionamento dos sistemas vitais.

Parsons (2003), divide a termorregulação humana em dois sistemas, o comportamental e o fisiológico: o comportamental consiste em fatores externos como vestir ou despir roupa, mudar a postura, movimentar, abrigar; o fisiológico consiste em processos celulares que regulam a temperatura corporal e mantêm o sistema da termorregulação humana em funcionamento. Estes dois sistemas interagem conjuntamente de forma a dar resposta às alterações ambientais, garantindo assim a sobrevivência humana e o seu conforto.

O sistema de termorregulação humano usualmente mantém uma temperatura interna de 37°C, de modo que as funções metabólicas não sejam deterioradas (Daniel & Sessler, 2014). Por vezes o corpo humano atinge extremos, sejam estes uma temperatura interna de 28°C que pode levar a uma arritmia cardíaca grave e por vezes morte, ou, por contraste, atingir uma temperatura de 46°C causando danos cerebrais irreversíveis. Assim, é crítico haver uma cuidada regulação da temperatura corporal de forma a manter uma vida saudável e confortável (ASHRAE, 2005).

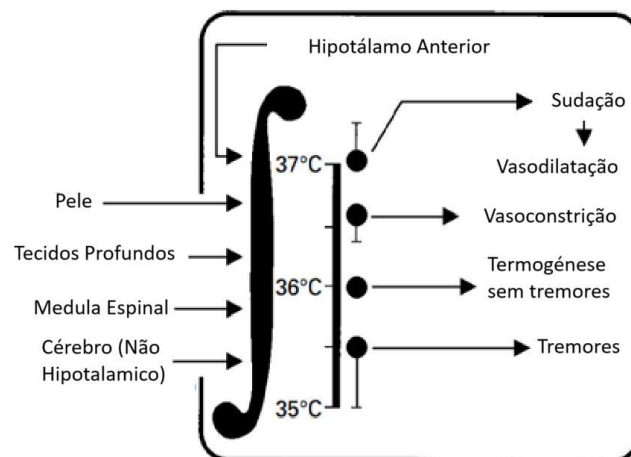
Quando falamos em termorregulação é importante percebermos que o centro primário da regulação da mesma é o hipotálamo (Parsons, 2003). O hipotálamo está dividido em duas partes que controlam a termorregulação do corpo humano, a parte anterior do hipotálamo e a região pré-ótica são responsáveis pelo controlo da perda de calor através da vasodilatação e a parte posterior do hipotálamo controla a vasoconstrição e os tremores, ou seja, conservação de calor (Parsons, 2003). O hipotálamo, localizado no cérebro, possui vários sensores térmicos de calor e de frio, denominados de termo-recetores. Estes estão localizados no centro de temperatura do cérebro, assim como ao longo dos vários recetores na superfície da pele (Figura n.º 1), e em outras partes do corpo (espinal-medula e músculos) (ASHRAE, 2005; Parsons, 2003).

As mudanças na temperatura interna são sentidas pelos termo-recetores (centrais e periféricos) que transmitem informação termo-aferente para o hipotálamo onde ocorre a integração termal. Esta integração termal resulta do envio de sinais eferentes via sistema nervoso, para o órgão apropriado (ex. músculo, glândulas sudoríparas, vasculatura da pele) que permite ativar reações fisiológicas necessárias, sejam elas para produzir/ conservar calor

ou dissipar calor, mantendo a temperatura interna do corpo num nível constante (Carvalhais, 2011; Kenny & Flouris, 2014).

A produção de calor no corpo é um processo contínuo que é feito pelo metabolismo, onde se dá a conversão de energia química em calor, e é a atividade vasomotora que representa a resposta primária do corpo a uma alteração desfavorável no que se refere ao seu equilíbrio térmico. Quando em ambientes térmicos elevados, a sudação é o principal mecanismo para intensificar a perda de calor para o meio ambiente, enquanto em ambientes frios há um desencadeamento de contrações musculares, que provocam um aumento progressivo da produção interna de calor. Em ambientes severamente mais frios estas contrações musculares desencadeiam arrepios que triplicam a energia produzida, em relação ao metabolismo basal. Porém o método mais eficaz para a produção de calor é a prática de exercício físico, que aumenta 10 vezes mais a produção de calor que o metabolismo basal (Carvalhais, 2011; Olesen, 1982).

**Figura n.º 1- Termorregulação feita pelo hipotálamo.**



**Fonte – Adaptado de Daniel e Sessler (2014, p.1731).**

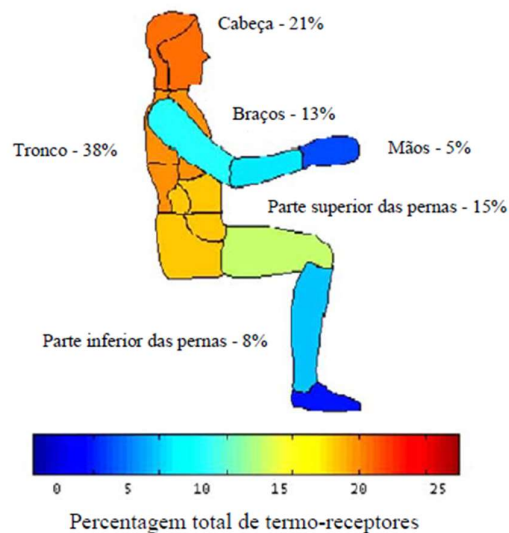
A temperatura corporal não é igual em toda a sua extensão, pelo que podemos dividi-lo em dois compartimentos: O compartimento interno, que contém os principais órgãos produtores de calor em repouso, como o cérebro, a cavidade abdominal e torácica; e a “camada” periférica que compreende a pele e a gordura subcutânea, principalmente nos membros, sendo mais fria e atua como meio isolante do compartimento interno, como mostra

a Figura n.º 2 (Kuht & Farmery, 2014). Sob condições termicamente confortáveis, a temperatura dos tecidos periféricos é cerca de 5º-6ºC mais baixa que a temperatura no compartimento interno (Campbell, 2008).

Por sua vez, o compartimento interno contém os órgãos mais suscetíveis a danos causados pelas alterações de temperatura, sendo de extrema importância protegê-los. De acordo com Kuht e Farmery (2014), a resposta a uma pequena variação de 1ºC na temperatura do meio interno é nove vezes superior a uma alteração de 1ºC na temperatura periférica.

A pele, devido à sua grande extensão, está mais exposta às grandes variações da temperatura ambiente, mudando conseqüentemente a sua temperatura (Downey & Lemons, 1994).

Carvalhais (2011) afirma que estas variações têm um papel crucial na alteração das trocas de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente.



**Figura n.º 2 - Distribuição e Percentagem de Termo-Recetores no Corpo Humano.**

Fonte – Retirado de Oliveira (2007, p.56).

De seguida vão ser enunciados os principais mecanismos fisiológicos da termorregulação utilizados pelo corpo humano para a dissipação de calor, em ambientes térmicos quentes.

### **1.2.1. Vasodilatação**

A vasodilatação consiste no processo de dilatação dos vasos sanguíneos através do relaxamento dos músculos lisos presentes na parede dos vasos (Ramanlal & Gupta, 2024).

Em situações onde se executam exercícios prolongados em ambientes quentes desencadeiam uma eficaz dilatação dos vasos cutâneos, permitindo a transferência de calor para longe do núcleo do corpo. O débito cardíaco<sup>3</sup>, nessas circunstâncias, enfrenta a exigência concorrente de fornecer oxigênio aos músculos ativos (Kenney, 1988).

Nestes ambientes, a temperatura elevada da pele resulta em um gradiente reduzido entre o núcleo do corpo e a superfície da pele, limitando a troca de calor por condução. Como resposta, a vasodilatação aumenta o fluxo sanguíneo para a superfície da pele, onde a troca de calor ocorre principalmente através do mecanismo de evaporação do suor (Oliveira, 2007).

### **1.2.2. Sudação**

De acordo com Carvalhais (2011, p. 19), a sudação corresponde à “atividade 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.”

Quando a temperatura corporal se eleva, o organismo exsuda suor por todo o corpo para proporcionar o arrefecimento por meio da evaporação. Se a atmosfera se encontrar seca, a evaporação revela-se eficaz, possibilitando elevadas taxas de transpiração sem humedecer consideravelmente a pele em redor da abertura da glândula sudorípara, conferindo assim uma percepção menos evidente da sudorese. Contudo, em ambientes mais húmidos, é necessário que a área coberta pelo suor à volta da glândula sudorípara aumente de forma a proporcionar a evaporação da quantidade de suor libertada pela glândula (Arens & Zhang, 2006), sendo esta influenciada pela humidade do ar, qualidade e quantidade de roupa e velocidade relativa do ar em relação à pessoa (Mondelo et al., 1999).

A quantidade de evaporação varia muito consoante a atividade envolvida, podendo ir dos 0 W/m<sup>2</sup> em repouso, até ao máximo fisiológico de 400 W/m<sup>2</sup> em atividade intensa, num ambiente quente e seco (Olesen, 1982).

Uma pessoa normal não aclimatizada raramente produz mais do que 1 litro de suor por hora, no entanto, a exposição prolongada de 1 a 6 semanas em ambientes quentes pode

---

<sup>3</sup> Corresponde ao volume de sangue que é bombeado pelo coração em 1 minuto (Vincent, 2008).

aumentar esta capacidade para cerca de 2 a 3 l/h. A evaporação desta quantidade de suor pode remover o calor corporal com uma velocidade 10 vezes superior à intensidade basal da produção de calor (Guyton & Hall, 2011), o que equivale a uma perda de calor de 675 W ( $375 \text{ W/m}^2$ ) e um total de 8505 kJ (Olesen, 1982).

A transpiração excessiva em ambientes quentes por períodos prolongados pode ser bastante prejudicial, uma vez que se dá a perda de água e sais, como o cloreto de sódio, cuja reposição é essencial para evitar danos significativos no organismo (Mondelo et al., 1999).

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

São vários os indicadores que quando estudados, individualmente e em conjunto, contribuem para o diagnóstico/previsão de tensão térmica. Ao prever através dos valores individuais dos militares qual o limiar para atingir esta condição, consegue-se promover o seu bem-estar e aumentar a probabilidade de tornar bem-sucedida a missão (Carvalhais, 2011). De seguida apresentam-se os indicadores utilizados neste estudo dos quais a temperatura interna, temperatura na pele e frequência cardíaca.

#### **1.3.1. Temperatura Interna**

A definição de temperatura interna dada pela Norma ISO 9886 (1992), refere-a como “a temperatura de todos os tecidos localizados a uma profundidade suficientemente afastada da superfície exterior do corpo para não serem afetados pelos gradientes de temperatura que se verificam nas camadas superficiais”.

O conceito de temperatura interna está normalmente associado a uma grande massa de tecido e a órgãos diferentes distribuídos pelo corpo humano, por exemplo, o coração e o cérebro, pelo que existe algumas variações na temperatura interna devido também aos diferentes metabolismos, à concentração de redes vasculares e a alterações locais do fluxo sanguíneo (ISO 9886, 1992). Posto isto, o conceito de temperatura interna não é então único, constante e uniforme, pelo que consoante o local de medição, podem-se dar diferentes valores da temperatura interna, dos quais inscrevem na Tabela n.º 2.

Tabela n.º 2 – Pontos de Medição da Temperatura Interna.

| Local de Medição | Designação                    | Símbolo  | Local de Medição          | Designação                  | Símbolo   |
|------------------|-------------------------------|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------|
| Tímpano          | Temperatura timpânica         | $t_{ti}$ | Sistema gastro-intestinal | Temperatura intra-abdominal | $t_{i-a}$ |
| Canal auditivo   | Temperatura do canal auditivo | $t_{ca}$ | Recto                     | Temperatura rectal          | $t_{re}$  |
| Boca             | Temperatura oral              | $t_{or}$ | Vagina                    | Temperatura da vagina       | $t_{va}$  |
| Esófago          | Temperatura esofágica         | $t_{ec}$ | -----                     | Temperatura da urina        | $t_{ur}$  |
| Subclávio        | Temperatura do subclávio      | $t_{sc}$ |                           |                             |           |

Fonte – Retirado de Oliveira (2007, p.58).

Em circunstâncias de atividade física mais leve, em ambientes termicamente equilibrados e na ausência de disfunções internas propensas a induzir estados febris, a temperatura interna tida como normativa do organismo humano é fixada em 37°C. No entanto, impera a necessidade de reconhecer desvios em relação a este padrão, notando-se as variações individuais consideráveis, abrangendo uma amplitude que se estende de 36°C a 38°C. Ainda assim, durante o dia a temperatura varia 1°C, aumentando gradualmente atingindo o máximo no final da tarde (Olesen, 1982). Existe ainda uma adaptação do sistema de termorregulação consoante a ciclo climático anual, uma vez que no Verão, a temperatura média corporal ronda 0,2°C mais elevada que no Inverno (Chamberlain et al., 1995). Sabe-se ainda que, as mulheres apresentam uma temperatura interna superior à dos homens, especialmente nas mulheres que menstruam, onde a sua temperatura aumenta cerca de 0.6°C durante a ovulação e permanece assim até ao início da menstruação (Dinarello & Gelfand, 2001). A temperatura interna mantém-se constante independentemente da grande variação das condições ambientais, no entanto, se a temperatura aumenta acima do limite que o corpo consegue regular, dá-se um aumento de acumulação de calor no corpo e conseqüentemente aumenta a temperatura interna (Olesen, 1982). Se a temperatura ambiente permanecer demasiado elevada a temperatura interna continuará a aumentar até aos 39,5°C, onde o corpo fica desabilitado, podendo chegar aos 42°C tornando-se fatal (Bridger, 2003).

Existem diversas técnicas para avaliar a temperatura interna do corpo (conforme apresentado na Tabela n.º2), diferindo na facilidade de implementação e na aceitação pelos indivíduos. A aplicação prática dessas técnicas exige formação qualificada. Cada método, de

entre os já referidos, possui princípios, técnicas de medição e interpretações distintas, resultando em valores característicos para cada temperatura interna (Oliveira, 2007).

Estudos onde existe a avaliação de ambientes térmicos (Niedermann et al., 2014) e (Richmond et al., 2013), são utilizadas com mais frequência as técnicas que envolvem a medição da temperatura retal e oral por serem mais práticas. Por sua vez, e dada a sua especificidade, a medição da temperatura esofágica, apenas é exequível em meio hospitalar, e em casos onde a sua execução constar de procedimentos relacionados com a investigação de índole médica (Carvalhais, 2011).

### **1.3.2. Métodos não invasivos**

Como já referido neste trabalho serão utilizados métodos não invasivos para predizer a temperatura interna. Isto é, métodos para os quais não é necessário a introdução de instrumentos medidores no corpo humano.

São apresentados de seguida alguns métodos como temperatura na pele e frequência cardíaca.

#### **1.3.2.1. Temperatura na Pele**

A temperatura na pele pode variar numa faixa muito mais ampla que a dos tecidos profundos do corpo (Bridger, 2003). Enquanto em ambientes quentes a temperatura da pele tende a ser uniforme ao longo do corpo, em ambientes frios as extremidades do corpo (mãos, pés, pernas, braços) tendem a ter uma temperatura mais baixa que o torso e a cabeça (Olesen, 1982).

A temperatura da pele é influenciada pelas trocas térmicas por condução, convecção, radiação e evaporação na superfície, da variação do fluxo sanguíneo e temperatura do sangue arterial que chega a uma zona particular do corpo (ISO 9886, 1992).

Devido à grande variação da temperatura na pele é necessário fazer uma distinção entre a temperatura local da pele, ( $t_{sk}$ ), medida num ponto específico da superfície do corpo, e a temperatura média da pele,  $\bar{t}_{sk}$ , que não é mensurável de forma fácil, mas pode ser estimada por ponderação das temperaturas medidas em vários locais do corpo (ISO 9886, 1992).

Carvalhais (2011) refere que em relação aos métodos de medição da temperatura, caso seja para medir um determinado ponto da superfície da pele à distância pode-se utilizar um termómetro de infravermelhos. Este método revela ser mais eficaz e menos invasivo,

fornecendo assim a temperatura média da área da pele que é intercetada pelo sensor. Por outro lado, a temperatura pode ainda ser medida através do contacto de sensores fixados na pele. Quando se trata da medição em vários pontos, é necessário calcular a temperatura média cutânea ponderando os valores relacionados com o coeficiente da área correspondente (Carvalhais, 2011).

Apesar dos vários métodos existentes para calcular a temperatura na pele, o princípio geral deriva sobretudo de métodos estatísticos de amostragem, onde em ambientes com maior variação de temperatura, são necessários mais pontos para ter uma amostra representativa (Parsons, 2003). Por sua vez, em ambientes quentes são precisos menos pontos de medição, uma vez que a temperatura da pele é homogénea, devido à vasodilatação, já em ambientes frios acontece o contrário, onde são precisos mais pontos de medição devido a temperatura da pele ser heterogénea, devido à vasoconstrição (Parsons, 2003). A temperatura da pele é calculada pela seguinte equação (2):

$$\bar{t}_{sk} = \sum_i k_i t_{sk,i} \quad (2)$$

onde  $t_{sk,i}$  e  $k_i$  representam, respetivamente, a temperatura da pele e o coeficiente de ponderação no local de medição  $i$ .

A Figura n.º 3 representa os diferentes pontos de medição, apresentando na Tabela n.º 3 os respetivos coeficientes de ponderação segundo Carvalhais (2011), propostas pela ISO 9886: 2004.

**Tabela n.º 3 – Locais de Medição e Respetivos Coeficientes de Ponderação.**

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

Fonte - Retirado de Carvalhais (2011, p.29), adaptado de ISO 9886: 2004.

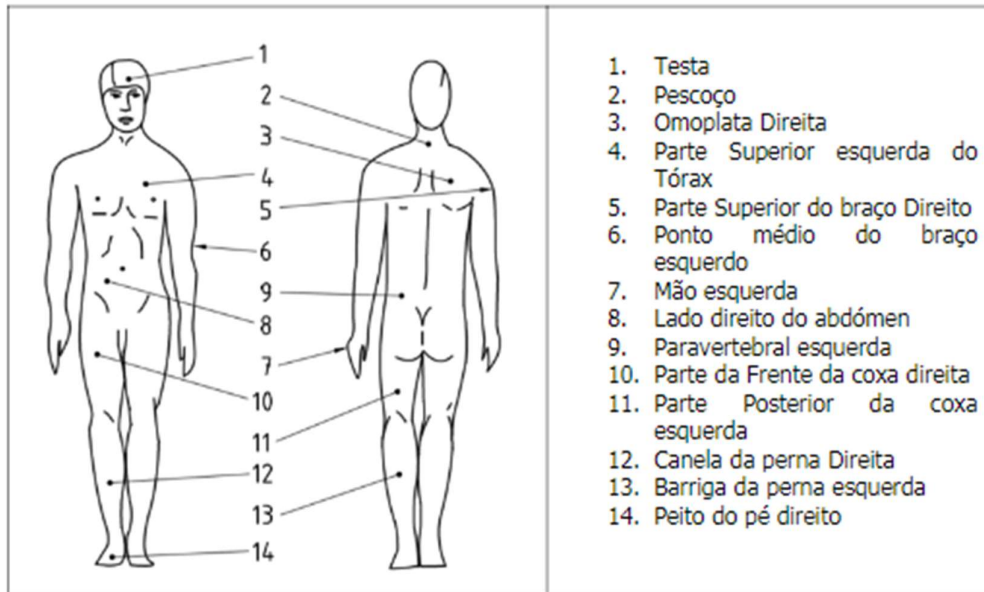


Figura n.º 3 - Localização dos Pontos para Estimativa da Temperatura Média da Pele.

Fonte – Retirado de Carvalhais (2011, p.29) adaptado de ISO 9886: 2004.

### 1.3.2.2. Frequência Cardíaca

A frequência cardíaca, corresponde à velocidade dos batimentos do coração, é expressa como o número de batimentos por minuto (bpm), sendo definida como equação (3):

$$HR = n/t \quad (3)$$

onde  $n$  é o número de batimentos cardíacos durante esse intervalo de tempo (ISO 9886, 1992). A origem dos batimentos cardíacos é o nódulo sino auricular (NSA), que gera impulsos elétricos rítmicos para controlar o ritmo cardíaco. Na ausência de influências neurais ou hormonais, a taxa de ritmo cardíaco do nódulo SA seria de aproximadamente 100 bpm (Lee, 2018). No entanto, a frequência cardíaca em repouso, comumente encontrada em indivíduos saudáveis, varia de cerca de 60 a 100bpm<sup>4</sup> (Nanchen, 2018), devido

<sup>4</sup> Valores inferiores a 60bpm são considerados bradicardias e valores acima dos 100bpm são considerados taquicardias (Nanchen, 2018).

principalmente à modulação exercida pelo sistema nervoso parassimpático sobre o nódulo SA durante o estado de repouso (Klabunde, 2012).

A frequência cardíaca é causada através da combinação do sistema nervoso simpático e parassimpático, no entanto, depende também do sistema endócrino, onde através de hormonas específicas (vasopressina, renina, angiotensina, aldosterona) contribuem para a reabsorção de água para a regulação da pressão no sangue (Gordan et al., 2015).

Devido a estes mecanismos fisiológicos, a frequência cardíaca está fortemente ligada à temperatura interna do corpo. A relação entre o aumento da frequência cardíaca e o aumento da temperatura interna é conhecida como resposta cardíaca à temperatura, medida em batimentos.min<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> (Carvalhais, 2011). Outro aspeto importante são as variações individuais que desempenham um papel crucial, onde no mesmo indivíduo, são influenciadas pelo tipo de esforço realizado, bem como pela origem do stress térmico, no caso fatores exógenos (condições climáticas) ou endógenos (metabolismo) (Carvalhais, 2011; Lee, 2018).

A frequência cardíaca pode ser medida de forma simples, como detetando a pulsação na artéria radial (pulso) e na artéria carótida (pescoço), ou através de métodos mais avançados, como sensores infravermelhos, elétricos ou de temperatura que monitoram o fluxo sanguíneo. Existem dispositivos portáteis, como relógios conectados a sensores de eletrodos no peito, sendo mais confiáveis e permitem armazenar dados para análise posterior. Recomenda-se comparar os métodos de medição de frequência cardíaca com traçados de eletrocardiograma (ECG) em diversas condições por forma a garantir um resultado com maior precisão (Parsons, 2003).

### **1.3.3. Métodos Invasivos**

Apesar de nesta investigação serem utilizados os métodos não invasivos anteriormente referidos, de forma a conseguir prever a temperatura interna, é, no entanto, necessário a utilização de um método invasivo através da ingestão de uma pilula, que permite não só monitorizar em tempo real a temperatura interna, como também funciona como um método de segurança e controlo durante a execução dos protocolos.

#### **1.3.3.1. Temperatura Intra Abdominal**

A temperatura na zona abdominal é representativa da temperatura central do tronco (Parsons, 2003). A medição desta temperatura é feita com recurso a um sensor com tamanho

reduzido, que após ser ingerido pelo indivíduo, percorre todo o sistema digestivo. Durante o seu percurso a temperatura varia consoante a localização em que se encontra dentro do corpo, sendo esta mais elevada nas zonas próximas de vasos sanguíneos e órgãos com metabolismo elevado e menor nas zonas de paredes abdominais (Oliveira, 2007). A interpretação dos valores medidos é contingente ao tempo decorrido desde a ingestão do sensor e à velocidade do tráfego gastrointestinal do sujeito, refletindo distintos padrões térmicos em diversas partes do sistema digestivo (Oliveira, 2007). Este método não é diretamente influenciado por condições ambientais externas, no entanto, a passagem de comida, líquidos, saliva, entre outros, irá afetar a temperatura recolhida pelo sensor, sobretudo junto à zona da boca (Parsons, 2003).

Os registos da temperatura são conseguidos através da ingestão de uma “pilula rádio” que através de um sinal de frequência modulada (FM) que transmite a temperatura à medida que progride pelo sistema digestivo. Este sistema tem sido usado na medição da temperatura interna de astronautas em missões espaciais (Parsons, 2003).

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

Tendo em conta que todos os indivíduos são distintos nos mais diversos aspetos, existem assim vários fatores que vão influenciar a maneira como cada um tolera e reage quando sujeitos a ambientes térmicos quentes. Alguns dos fatores abordados de seguida serão a idade, o sexo, a capacidade aeróbia, a aclimação, a adiposidade, a hidratação, o vestuário e a taxa metabólica basal.

##### **1.4.1. Idade**

A idade, enquanto variável, tem suscitado considerável controvérsia no que concerne à tolerância ao calor. Os primeiros estudos remontam a 1972 e estavam primeiramente relacionados com o trabalho laboral (Guedes et al., 2011). Alguns estudos, como os de Havenith, (2005) e Havenith et al. (1998), sugerem uma grande correlação entre a idade e a capacidade de adaptação ao calor. Porém, outros estudos argumentam que tais disparidades podem ser atribuídas a uma grande variedade de fatores para além do mero processo de envelhecimento, tais como a presença de condições patológicas crónicas, o aumento da adiposidade com a idade, bem com a diminuição da aptidão física (Pandolf, 1991, 1997).

Há evidências que mostram que a variação na tolerância ao calor em idades avançadas é menos acentuada na ausência de influências externas, tais como doenças crónicas,

adiposidade ou uma redução de performance física (Wenger, 2002). Não obstante, tanto a resposta termorreguladora quanto a tolerância a ambientes térmicos desfavoráveis sofrem alterações concomitantes ao processo de envelhecimento (Inoue & Shibasaki, 1996).

Em ambientes extremamente quentes, os indivíduos idosos enfrentam maiores dificuldades para dissipar carga térmica do que os jovens, aparentemente devido a uma resposta mais lenta da transpiração e a uma redução na capacidade de dissipação de calor, o que resulta em um acúmulo maior de calor durante a atividade e um aumento no tempo necessário para a recuperação (Mondelo et al., 1999).

Contrastando com estas observações, o estudo de Inoue et al. (1999), demonstrou que a aclimatação não ocorre da mesma maneira com o avanço da idade em relação à taxa de sudação. Por sua vez, Kenney (2001) concluiu que idosos saudáveis e em boa condição física, conseguem mesmo acima dos 65 anos apresentar a mesma temperatura interna corporal e a mesma resposta ao calor que um jovem de 30 anos, mesmo tendo uma circulação cutânea 30 a 50% inferior. A adaptação do organismo com a idade mostra que, na presença de ambientes térmicos quentes, a principal carência que a idade traz não está relacionado com a homeostase térmica, mas sim com a homeostase cardiovascular (Guedes et al., 2011).

#### **1.4.2. Sexo**

De acordo com os estudos de Cheung et al. (2000) e Mclellan (1998), as mulheres apresentam uma menor resistência ao calor. Um dos fatores evidenciados relaciona-se com a sua composição e tamanho corporal. Por um lado, as mulheres aparentam ser mais pequenas, o que representa uma menor massa corporal, por outro, apresentam um maior teor de gordura (Mclellan, 1998).

Apesar de um dos principais fatores de contraste entre os homens e as mulheres ser a fase menstrual, existem ainda outras variáveis que são precisas ter em conta que apresentam também algum impacto. As mulheres possuem um maior risco tanto relativo como absoluto de mortalidade durante eventos térmicos extremos, o que mostra que para além de variáveis fisiológicas, existe ainda a variável social, tal como Kovats e Hajat, (2008) afirmam. No entanto, em ambientes quentes, o homem aparenta ter um funcionamento mais eficaz das glândulas sudoríparas em relação às mulheres. Deste modo, para que a ativação destas seja máxima, é necessário um maior aumento da temperatura ou da intensidade da taxa metabólica no caso das mulheres. O facto de os homens iniciarem o processo de sudação mais cedo e de forma mais eficaz ajuda a dissipar o calor corporal mais rapidamente. Porém,

este processo pode levar a uma diminuição do volume sanguíneo, pelo que se não existir uma hidratação adequada, na presença de ambientes quentes pode se tornar desvantajoso (Ichinose-Kuwahara et al., 2010; Plowman & Smith, 2013).

Por outro lado, a fase folicular do ciclo menstrual influencia a resposta do corpo, diminuindo a sua tolerância ao calor (Cheung et al., 2000). Durante a exposição ao calor, a temperatura interna durante a fase lútea está relacionada com um limiar mais alto da temperatura corporal para a ativação dos mecanismos de regulação térmica, tais como a transpiração e a vasodilatação (Frascarolo et al., 1992; Stephenson & Kolka, 1985).

Contudo, a temperatura interna e o limiar da temperatura corporal para o início da vasodilatação cutânea ativa, variam com as diferentes hormonas reprodutoras específicas da mulher, estrogénio e progesterona, e com o uso de contraceptivos orais (Wong & Hollowed, 2017).

#### **1.4.3. Capacidade Aeróbia**

A capacidade aeróbia é a capacidade do corpo humano sustentar exercícios de moderada a alta intensidade por longos períodos de tempo através do metabolismo aeróbio. Está relacionada com a eficiência do corpo em utilizar reservas de energia (como gorduras e carboidratos) e oxigénio durante atividades de longa duração (Ranković et al., 2010).

A capacidade aeróbia é um dos fatores que apresenta ser uma vantagem na tolerância ao calor (Guedes et al., 2011). Uma alta capacidade aeróbia está tipicamente associada a mecanismos de perda de calor mais eficientes (maior taxa de suor, aumento do fluxo sanguíneo na pele). Quanto maior for a capacidade aeróbia, maior será a reserva circulatória (capacidade para um aumento adicional no débito cardíaco) ao realizar uma determinada tarefa (Havenith, 2005).

#### **1.4.4. Aclimação**

Um indivíduo que não tenha sido recentemente exposto a um ambiente quente, numa fase inicial, sente desconforto, mas após alguns dias irá haver um incremento significativo na sua tolerância. Este facto deve-se a mudanças comportamentais, como a redução de atividade e alterações no vestuário e dieta, mas também devido a alterações fisiológicas, como o aumento da produção de suor pelas glândulas sudoríparas (Parsons, 2003).

Segundo Wenger (2002), os sinais clássicos da aclimação ao calor incluem uma frequência cardíaca mais baixa, temperatura interna reduzida e um aumento da taxa de suor

durante o exercício em condições de calor. Outras mudanças compreendem ainda o aumento da capacidade de produção de suor durante o exercício prolongado, o aumento da água corporal, redistribuição da transpiração e alterações a nível metabólico e endócrino.

#### **1.4.5. Adiposidade**

A gordura subcutânea é tida como o isolante térmico principal no organismo humano, devido à sua baixa vascularização e condutividade térmica inferior em relação ao músculo (Parsons, 2003). Ao contrário do tecido magro, que tem capacidade para aquecer e arrefecer com maior facilidade, a gordura subcutânea tem um efeito inverso, afetando a capacidade do corpo humano na produção e retenção de calor (Selkirk & Mclellan, 2001). Devido à capacidade térmica específica do tecido adiposo ser aproximadamente metade da massa magra, um aumento substancial na temperatura interna é provocado em indivíduos com maior adiposidade, devido ao aumento no armazenamento de calor (Limbaugh et al., 2013).

Indivíduos com maior volume corporal encontram-se em desvantagem em ambientes quentes, mas em vantagem em ambientes frios, devido essencialmente, ao facto de a produção de calor do corpo humano ser proporcional ao seu volume e da dissipação do mesmo ser proporcional à sua superfície (Mondelo et al., 1999).

#### **1.4.6. Hidratação**

Segundo Sawka et al. (2001), o equilíbrio de água e eletrólitos é crucial para a termorregulação e desempenho em condições de calor durante o exercício. As perdas, maioritariamente pelo suor, variam com o vestuário, clima e intensidade da atividade.

De acordo com a European Food Safety Authority (EFSA) (2010), o consumo diário adequado de água para um adulto ronda nas mulheres 2,0 L/dia (P 95<sup>5</sup> 3,5L) e nos homens 2,5L/dia (P 95 4,0L). Já a National Strength and Conditioning Association (NSCA) (2016) indica que nas mulheres o valor diário é de 2,7L/dia e nos homens 3,7L/dia. Por sua vez, em climas muito quentes pode aumentar para 8 a 16 litros por dia (Sawka et al., 2001). Ainda assim cada individuo pode saber a quantidade de água média diária que deve ingerir consumindo 45ml água por quilograma de massa corporal (Maley et al., 2020).

Uma deficiência hídrica durante o exercício prejudica a dissipação de calor corporal, afetando o desempenho aeróbio. No entanto, uma alta ingestão de água que não possa ser

---

<sup>5</sup> Sendo que os valores médios rondam entre os 2,0 L/dia e os 2,5L/dia, o P 95 indica o valor máximo a 95% que se pode ingerir por dia.

compensada pela excreção de urina muito diluída resulta numa sobrecarga nos rins, levando a uma intoxicação por água hiponatremia e hipos-molar com edema cerebral (EFSA, 2010).

#### **1.4.7. Taxa Metabólica Basal**

A taxa metabólica basal é a taxa de metabolismo energético diário necessário para preservar funções vitais em repouso. Deve ser medido em condições que evitem influências externas, como temperatura, movimento e alimentação. Em indivíduos sem restrições, a energia providenciada pela sua dieta deve suprir a taxa metabólica basal e a atividade física associada às necessidades essenciais do corpo, como também as atividades relacionadas como trabalho, interações sociais e lazer (Henry, 2005).

### **1.5. Definição e Caracterização de Patologias Fisiológicas**

Diferentes mecanismos podem provocar uma elevação anormal da temperatura. A hipertermia, os golpes de calor e o stress térmico são consideradas patologias fisiológicas pois resultam maioritariamente de altas temperaturas ambientais ou esforços, ao contrário da febre (Poer et al., 2017).

#### **1.5.1. Hipertermia**

Hipertermia pode definir-se como o aumento da temperatura corporal por esgotamento dos mecanismos de dissipação de calor (sendo diferenciada da febre, onde há esgotamento da regulação hipotalâmica). Pode ser determinada como a temperatura corporal central superior a 40°C seguida de modificações na condição mental, bem como o comprometimento de múltiplos órgãos, no entanto o aumento da temperatura central acima do ponto de ajuste hipotalâmico 37 °C já pode gerar sinais de desconforto (Nero, 2019).

A hipertermia é o sintoma mais grave de síndromes motivados pelo calor. Existem dois tipos de hipertermia: a hipertermia clássica (HC) que remete para uma exposição prolongada a ambientes em temperaturas elevadas, nomeadamente em crianças e idosos, que se distingue pela falha dos mecanismos acusada pela regulação térmica (Nero, 2019).

Hipertermia induzida por esforço (HIE) afeta sujeitos fisicamente ativos. Devido ao aumento na temperatura interna pela atividade demorada da musculatura, juntamente com a temperatura ambiente e a humidades elevadas. Nos dois casos os sinais mais comuns são: ansiedade, confusão mental, mudanças no comportamento, perda de coordenação,

alucinações, agitação, apreensão e por vezes coma. Juntamente com estes sinais, aumenta-se a probabilidade de haver alterações a nível dos órgãos como a insuficiência renal aguda, insuficiência hepática, lesão cerebral, insuficiência respiratória, isquemia mesentérica intestinal, pancreatite, hemorragia gastrointestinal, trombocitopenia e coagulação intravascular disseminada (Bouchama & Knochel, 2002; Nero, 2019).

### **1.5.2. Golpes de Calor**

Os humanos sendo seres homeotérmicos conseguem regular a sua temperatura corporal interna, em descanso e em condições normais, a temperatura interna ronda os  $\sim 37^{\circ}\text{C}$ . O aumento da temperatura interna devido a fatores exógenos e/ou endógenos solicita uma resposta térmica do próprio corpo (vasodilatação e suor), onde em indivíduos saudáveis é suficiente para manter a homeostase da temperatura interna (Périard et al., 2022).

No entanto, isto não acontece quando as condições térmicas do clima ou a roupa usada não permite a dissipação de calor suficiente pela pele de modo a poder contrariar o aumento da temperatura interna gerada. Esta falha causa um aumento inesperado da temperatura interna. Sendo um aumento de  $1^{\circ}\text{--}2^{\circ}\text{C}$  na temperatura interna tolerável por uma grande maioria das pessoas, um aumento de  $4^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$  tem tendência a ser destrutivo para a saúde humana (Leon & Bouchama, 2015).

O golpe de calor pode ser classificado em clássico ou de esforço, dependendo da origem da condição. O clássico é observado em indivíduos doentes ou imunologicamente comprometidos (crianças e idosos) com morbidade e mortalidades altas durante os períodos de verão com ondas de calor (Leon & Bouchama, 2015). Os indivíduos normalmente apresentam sintomas de pele seca, quente e corada, no momento do colapso (Armstrong et al., 2007).

Por sua vez o golpe de calor de esforço é definido por hipertermia associado com distúrbios no sistema nervoso central e a falência de vários órgãos. Ocorre quando o calor metabólico produzido pelos músculos durante atividade física ultrapassa a capacidade de transferência de calor do corpo para o exterior. Ao contrário do clássico, os indivíduos apresentam a pele suada e pálida no momento do colapso (Armstrong et al., 2007).

### **1.5.3. Stress Térmico**

Segundo Lamberts et al. (2014, p.64), “o stress térmico pode ser considerado como o estado psicofisiológico a que está submetida uma pessoa, quando exposta a situações ambientais extremas de frio ou calor”.

O indivíduo, ao desempenhar as suas atividades, quando exposto a condições de stress térmico, manifesta, entre outros sintomas, a diminuição do estado geral de saúde, mudanças nas reações psicossensoriais e a redução da capacidade de produção (Lamberts et al., 2014). Desta forma, podemos aferir que o stress térmico se refere às condições que aumentam a temperatura corporal. O stress térmico é normalmente referido como stress térmico compensável (STC) ou stress térmico incompensável (STI). O STC e o STI são afetados por fatores biofísicos (ambiente e roupa) como também biológicos (hidratação e aclimatização). O STC ocorre quando a perda de calor está em equilíbrio com a produção de calor de maneira que uma temperatura interna estável consiga ser mantida durante a atividade física (Leon & Bouchama, 2015).

O STI ocorre quando as capacidades de arrefecimento de um indivíduo ficam inibidas devido a condições ambientais, entre outras. Um indivíduo que use equipamento de proteção pesado durante um exercício num ambiente quente, húmido, é expectável que sinta STI (Leon & Bouchama, 2015).

## CAPÍTULO 2. METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS

Este capítulo tem como propósito descrever e enquadrar todos os procedimentos metodológicos inerentes a esta investigação.

De modo a poder realizar esta investigação, esta teve como modelo guia a NEP 522/1.<sup>a</sup>/AM, Normas para a Redação de Trabalhos de Investigação no que consta a sua formatação e estruturação. Para as citações e referências bibliográficas foram utilizadas as normas APA 7<sup>a</sup> Edição. Esta investigação teve início no ano letivo 22/23 na unidade curricular de Metodologia de Investigação Aplicada ao TIA onde foi formulada a Pergunta de Partida (PP) como também as Perguntas Derivadas (PD) e os Objetivos Específicos (OE).

Para tal, este capítulo divide-se no tipo de abordagem a adotar, a PP e as PD, como os respetivos OE, caracterização, composição e justificação da amostra e os métodos estatísticos e instrumentos de medição utilizados como também, os protocolos utilizados para a realização do trabalho de campo desta investigação.

### 2.1. Tipo de Abordagem

No início de uma investigação é essencial delimitar e definir qual o método a utilizar, uma vez que, “o método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros -, traçando o caminho a ser seguido, detetando erros e auxiliando as decisões do cientista” (Marconi & Lakatos, 2003, p.83).

Por sua vez, este trabalho de investigação quanto ao seu tipo de abordagem, corresponde a um estudo quantitativo, que segundo o Instituto Universitário Militar (IUM, 2019), caracteriza-se como um procedimento sistemático de recolha de dados quantificáveis e que sejam observáveis sem a dependência do investigador.

A estratégia quantitativa é então a que melhor se enquadra nesta investigação uma vez que existe a necessidade de recolher e analisar estatisticamente os dados no terreno através de protocolos estipulados. O tratamento e análise estatística dos dados irá ser auxiliado pelos *softwares IBM SPSS Statistics 28 e Microsoft Excel*.

Por outro lado, quanto ao método utilizado nesta investigação, trata-se do método indutivo, a partir do qual ocorre uma generalização do conhecimento. Conhecimento este que tem como “ponto de partida a observação de factos particulares através da sua associação, estabelecer generalizações que permitam formular uma lei ou teoria” (IUM,

2019). Desta forma o método indutivo assenta no raciocínio indutivo, através do qual, as observações e conhecimento adquiridos no particular, permitem tecer considerações para atingir o conhecimento geral (IUM, 2019).

Este trabalho de investigação teve como base uma revisão de literatura, na qual se abordam conceitos e definições essenciais para a compreensão da restante investigação, tendo-se privilegiado a obtenção de artigos e documentos em fontes primárias de autores com valor científico para o tema em questão.

Por fim, de forma a facilitar a redação e estruturação como também a elaboração de citações e referências bibliográficas durante toda a investigação, foram utilizados os *softwares Microsoft Office Word* e o *Mendeley Reference Manager*, respetivamente.

## **2.2. Definição do Objetivo Geral e Objetivos Específicos**

Esta investigação tem como Objetivo Geral “Predição da temperatura interna em militares que utilizem Equipamentos de Proteção Individual (EPI) NRBQ”. Sabendo que a elaboração de objetivos específicos implica analisar detalhadamente os objetivos gerais da pesquisa em elementos mais específicos e básicos, convertendo-os em ações e tarefas concretas que possam ser observadas e medidas (IUM, 2019), formularam-se os seguintes OE:

**OE1** – Avaliar a existência de diferenças nas alterações dos fatores fisiológicos consoante o sexo;

**OE2** – Caracterizar os fatores fisiológicos que melhor predizem a temperatura interna;

**OE3** – Determinar um algoritmo que prediz a temperatura interna em função dos fatores fisiológicos em análise.

## **2.3. Pergunta de Partida e Perguntas Derivadas**

De acordo com Quivy e Campenhoudt (1998), a pergunta de partida deve possuir algumas qualidades como a clareza, exequibilidade, e pertinência, uma vez que será o “primeiro fio condutor da investigação”. Como tal, de forma a responder ao OG anteriormente referido, foi formulada a seguinte PP, “Será possível predizer a temperatura interna através de métodos não invasivos nos militares que utilizam EPI NRBQ?”. Foram ainda constituídas três PD de forma complementar e dar uma resposta mais elaborada à PP:

**PD1** – Quais são as alterações existentes nos fatores fisiológicos consoante o sexo?

**PD2** – Quais são os fatores fisiológicos que melhor caracterizam a predição da temperatura interna?

**PD3** – Qual é o algoritmo que prediz a temperatura interna em função dos fatores fisiológicos em análise?

#### **2.4. Amostra: Composição e Justificação**

Primeiramente, é necessário distinguir os termos população e amostra. De acordo com Fortin (1999, p.202), “uma população é uma coleção de elementos ou de sujeitos que partilham características comuns, definidas por um conjunto de critérios”. Já a amostra “é um subconjunto de um grupo de sujeitos que fazem parte de uma mesma população”.

Nesta investigação, considera-se os militares que constituem as equipas NRBQ como a população em causa, por consequente, para a amostra foram considerados 9 elementos (5 sexo masculinos e 4 sexo feminino), que pertencem à Academia Militar. Esta amostra foi escolhida tendo em consideração que todos os elementos se deram como voluntários para a participação neste estudo, sendo estes militares saudáveis. Teve também em conta a disponibilidade dos mesmos e também pelo facto de os militares envolvidos não terem nenhum tipo de aclimação ou preparação prévia aos testes, com o intuito deste estudo poder ser aplicado a qualquer militar que tente integrar as equipas NRBQ.

A amostra, quanto à sua caracterização sociodemográfica, apresenta uma média de idades de  $24 \pm 2,41$  anos nos elementos masculinos e  $21,75 \pm 2,06$  anos nos elementos femininos (tendo em conta que o segundo valor apresentado corresponde ao desvio padrão), quanto à sua estatura média de  $175 \pm 5,31$  cm nos masculinos e  $164 \pm 3,46$  cm nos femininos, e com um peso médio de  $77 \pm 7,14$  kg nos masculinos e  $57 \pm 4,49$  kg nos femininos. Podemos ainda referir quanto ao índice de massa corporal (IMC), as médias foram de  $25 \pm 1,39$  kg/m<sup>2</sup> nos masculinos e  $21 \pm 1,10$  kg/m<sup>2</sup> nos femininos; no índice de massa magra (IMM), as médias foram de  $63 \pm 7,83$  kg nos masculinos e  $42 \pm 2,37$  kg nos femininos e no índice de massa gorda (IMG), as médias foram de  $14 \pm 3,97$  % nos masculinos e  $21 \pm 2,44$  % nos femininos.

No Apêndice A está uma tabela resumo com as estatísticas sumário da amostra que participou neste estudo. Estes dados tiveram por base a média dos valores medidos em ambos os protocolos à temperatura ambiente ( $18,48 \pm 0,75$  °C) e temperatura elevada ( $26,92 \pm 0,69$  °C).

Os elementos desta amostra utilizaram para a realização dos protocolos à temperatura ambiente e à temperatura elevada os fatos NRBQ, conforme explicado no Apêndice B.

## 2.5. Métodos Estatísticos Usados

Esta investigação teve por base uma análise estatística dos dados recolhidos em laboratório. A análise estatística foi feita com recurso a técnicas de estatística descritiva que essencialmente é utilizada como método para calcular, descrever e sumarizar os dados recolhidos de forma lógica, significativa e eficiente (Vetter, 2017). Ainda dentro da estatística descritiva e análise exploratória de dados, foram utilizadas medidas de localização e dispersão. Relativamente às medidas de localização central utilizadas, considera-se relevante o cálculo de médias e medianas, já nas medidas de localização relativa, realçar os valores máximos, mínimos e os quartis. Por sua vez, quanto às medidas de dispersão, foram utilizadas a amplitude amostral, amplitude interquartil e o desvio padrão (Pinheiro et al., 2009). Em relação a apresentação gráfica dos resultados, foram utilizados diagramas de extremos e quartis (*box-plot*), de forma a sintetizar numa mesma figura várias informações relativamente à distribuição de uma variável quantitativa (Pinheiro et al., 2009) e gráficos de dispersão, que correspondem à representação para dados bivariados quantitativos, permitindo realçar o tipo de associação entre os dados (M. Martins, 2014).

Foi ainda utilizada a estatística descritiva bivariada, onde cada individuo contribui com duas observações no conjunto de dados, através de métodos de análise como a regressão linear múltipla e o coeficiente de correlação de *Spearman*. A regressão linear múltipla, permite estabelecer relações matemáticas que possuam uma relação de causa e efeito (Uyanık & Güler, 2013). Neste estudo foram estabelecidas uma variável resposta (temperatura interna) e duas variáveis explicativas (temperatura na pele e frequência cardíaca), pelo que, este método torna-se mais eficiente, onde numa única execução permite analisar não só a variância, como também permite obter estimativas do tamanho dos efeitos dos tratamentos (Slinker & Glantz, 1988). É ainda possível calcular o coeficiente de determinação, que dá a proporção da variabilidade do valor estimado  $\hat{Y}$  (variável resposta) que é explicada pela reta da regressão (Martins, 2005).

O coeficiente de correlação de *Spearman* foi escolhido para este estudo em detrimento da correlação de *Pearson*, que descreve o grau de relação entre variáveis através de uma de uma função linear. No entanto, as variáveis estudadas relacionam-se, mas não de forma linear, sendo então necessário utilizar a correlação de *Spearman*, que permite avaliar a relação de duas variáveis através de uma função monótona (Rebekić et al., 2015), uma vez que estamos a analisar variáveis que apesar de mudarem juntas, não implica, necessariamente, que seja a uma frequência constante (Hauke & Kossowski, 2011). O

coeficiente de correlação de *Spearman* varia entre  $-1 \leq R \leq 1$ , sendo que  $R > 0$  indica uma relação positiva,  $R < 0$  indica uma relação negativa e  $R = 0$  indica que não existe relação, ou que as variáveis são independentes uma da outra e que não existe relação entre elas (Rebekić et al., 2015).

Com recurso a técnicas de inferência estatística, que permitem tirar algumas conclusões acerca de uma população, baseando-se numa pequena amostra (M. Martins, 2005), através da implementação de um teste de hipóteses não paramétrico nos diferentes cenários. Os testes não paramétricos têm a vantagem de necessitar de poucos pressupostos relativamente à população utilizada, são de fácil implementação e permitem aferir resultados tão exatos como os testes paramétricos (Firmino, 2015).

Os testes de hipóteses, permitem determinar uma hipótese ou conjectura que se observa acerca de uma população é plausível, com base numa amostra que se retira dessa população (Firmino, 2015). Num teste estatístico existem duas hipóteses em alternativa, designada de hipótese nula ( $H_0$ ) e hipótese alternativa ( $H_1$ ), sobre um parâmetro desconhecido da população. A hipótese nula é a hipótese que reflete a situação em que não existe mudança, pelo que consiste na hipótese mais conservadora. O teste de hipóteses, verifica se existem razões para rejeitar ou não a hipótese nula (Martins, 2005). Quando se realiza um teste de hipóteses, em primeira instância pode não ser especificado um nível de significância, sendo assim, atribuímos uma probabilidade  $P$  (menor valor para o nível de significância  $\alpha$  que levaria a rejeição da hipótese nula se  $P \leq \alpha$ ). A  $P$  designamos de *p-value* (Martins, 2005). O *p-value* é definido como a probabilidade de se observarem valores da estatística de teste tão ou mais desfavoráveis a  $H_0$  que o valor observado da estatística de teste, sob a validade da hipótese nula. O valor considerado nesta investigação para rejeitar a hipótese nula é 0,05 (Ferreira & Patino, 2015).

## **2.6. Procedimentos Formais e Éticos**

Segundo Fortin (1999, p.114), “a ética, no seu sentido mais amplo, é a ciência da moral e a arte de dirigir a conduta”. Deste modo, a ética na investigação não se resume a regras limitadoras, mas sim a um conjunto de valores que visa escolher o melhor para o individuo em estudo (Martins, 2008). De acordo com o Código de Nuremberg (1996), toda a investigação que envolva testes em humanos deve seguir os aspetos nele apresentados. Desta forma, e cumprindo todos os parâmetros suprarreferidos, a participação dos 9 elementos da amostra para este estudo foi voluntária, tendo os mesmos consultado e assinado

o documento referente ao consentimento informado (Apêndice B). Neste documento está explanada uma breve descrição do estudo como também a cronologia dos protocolos a serem executados pelos sujeitos. Concluindo, no decorrer da investigação, é imperativo preservar integralmente a privacidade dos indivíduos garantindo que os dados coletados sejam manuseados de maneira a preservar o anonimato dos participantes. O comprometimento com a confidencialidade dos dados e uma responsabilidade essencial que deve ser constantemente observada pelo investigador ao longo de todo o processo investigativo (Martins, 2008).

## **2.7. Métodos de Medição Utilizados**

Neste subcapítulo será enunciado os tipos de instrumentos de medição utilizados na realização dos protocolos às diferentes temperaturas como também a respetiva explicação dos mesmos.

### **2.7.1. Instrumentos de Medição**

Ao longo deste TIA foi necessário recorrer a uma grande variedade de equipamentos e instrumentos de medição de forma a recolher todos os dados necessários durante o trabalho de campo, para posterior análise, pelo que é de grande importância referi-los.

Começando pelo analisador metabólico da *PNOE*, que consiste num “analisador portátil recém-desenvolvido que foi projetado para medir as trocas gasosas em laboratório e no terreno” (Tsekouras et al., 2019). Este analisador, é alimentado por uma bateria de lítio com um peso cerca de 800g, que é posteriormente colocado num arnês colocado às costas do indivíduo. Para utilizar este aparelho é necessário numa primeira fase, fazer uma calibração com o ar ambiente recorrendo à aplicação *PNOE Grow* instalada num tablet.

Este aparelho necessita que o indivíduo utilize uma máscara devidamente ajustada, uma vez que opera num modo “*breath-by-breath*”, que mede continuamente o volume e a concentração de gases expirados. O aparelho contém um analisador eletroquímico de oxigénio e um analisador de infravermelhos de dióxido de carbono, e os dados dos batimentos cardíacos e de gases são transmitidos telemetricamente para a aplicação suprarreferida (Tsekouras et al., 2019). Foram também utilizados os sensores de frequência cardíaca H10 e H9. Para a análise da temperatura interna foram utilizadas as cápsulas *e-Celsius* da *BodyCap*, onde cada indivíduo ingere a cápsula previamente ativada, a qual irá transmitir os dados da temperatura interna, batimentos cardíacos, e a frequência cardíaca

para o *eViewer Performance monitor*. Este sistema permite monitorizar três cápsulas ativas ao mesmo tempo.

Para a medição da temperatura na pele foi utilizado um sensor de temperatura da *PLUX Biosignals*, que permite uma leitura de forma precisa e contínua da temperatura na pele em tempo real, uma vez que pode ser aplicado diretamente na pele, sem qualquer risco.

Quanto ao equipamento de proteção utilizado pelos indivíduos durante os protocolos às diferentes temperaturas, era composto por um fato de proteção química e biológica, *Tychem F DupontTM*, resistente a salpicos de líquidos pesados, não hermético ao gás; luvas de butilo, *Alphatec 38-514* da *Ansel®*; botas de borracha totalmente apertadas com biqueira de aço.

Outros equipamentos utilizados foram um medidor de tensão arterial, uma balança para medir a composição corporal *Tanita InnerScan V BC-601*, que permite recolher de forma rápida e precisa o peso corporal, o IMC, IMM, IMG e ainda a percentagem de água.

Durante os protocolos às diferentes temperaturas foram utilizadas escalas visuais analógicas para quantificar o conforto térmico, sensação térmica e a humidade da pele (Garson, 2016), como também a escala da perceção subjetiva do esforço (PSE), elaborada com base na escala de Borg (1982).

Todos os equipamentos utilizados estão referenciados no Apêndice C.

### **2.7.2. Protocolo para o Estudo da Variação da Temperatura Interna e Temperatura na Pele**

Este protocolo consiste num teste de 30 minutos dividido em dois exercícios (Apêndice D):

- 1º. Com um metrónomo à velocidade de 6 bpm, o sujeito executa o levantamento de um saco de areia de 5 Kg até à altura de 1 metro, ao bip faz um deslocamento de 5,7 metros em linha reta até ao segundo saco de areia e repete este circuito durante 4 minutos;

- 2º. Com um metrónomo à velocidade de 15 bpm executa um *step*, ao bip executa novamente durante 4 minutos;

- No início do teste e no final de cada exercício o sujeito tem 1 minuto para trocar de exercício e responder a 4 escalas (conforto térmico, sensação térmica, PSE e humidade na pele) conforme o Apêndice E.

Este protocolo é executado tanto à temperatura ambiente ( $18,48 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$ ) com uma percentagem de humidade de  $57,39\% \pm 9,44$ , como à temperatura elevada ( $26,92 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$ ) com uma percentagem de humidade de  $49,56\% \pm 4,61$ , com o EPI anteriormente referido.

Para a execução deste protocolo os indivíduos foram informados para não consumirem álcool, tabaco, cafeína e praticarem desporto intenso, como também foram informados que necessitavam de consumir 45 ml de água por Kg de peso corporal nas 24 horas anteriores à execução do teste (Apêndice B) (Maley et al., 2020). No dia em que executam o teste, numa fase inicial é medido a pressão arterial e a bio impedância, e onde o sujeito ingere a cápsula por forma a poder observar as variações da temperatura interna. O sujeito é então equipado com o EPI, juntamente com o sensor de temperatura na pele da *PLUX* junto à zona do peito. O sujeito é selado de forma a garantir que não há trocas de fluidos ou gases de dentro do EPI para o exterior como ao contrário também. Ao longo do teste o sujeito é monitorizado continuamente ao nível da sua temperatura interna, temperatura na pele, frequência cardíaca e respiratória, onde todos os sensores estão calibrados para recolher os dados a uma frequência de 10 Hz (equivale a recolher 10 dados por segundo). No final do teste o sujeito permanece sentado em repouso durante 5 minutos. O teste termina quando acabarem os 30 minutos do protocolo, ou caso o sujeito desista por vontade própria, a sua temperatura interna ultrapasse os  $39^{\circ}\text{C}$ , atinja a frequência cardíaca máxima ou a sua frequência respiratória seja anormal. No final do teste o indivíduo é novamente pesado de forma ver quais as alterações ao nível do seu peso, IMC, IMM, IMG e percentagem de água.

### **2.7.3. Vestuário**

O vestuário utilizado pelo ser humano, por norma interfere com a capacidade do organismo perder calor para o exterior, formando uma fronteira de transição entre ambos, que ameniza ou aumenta os efeitos do ambiente térmico sobre o indivíduo (Mondelo et al., 1999). Entidades como as forças de segurança (Yokota et al., 2014), serviços de emergência (*ES*) (Richmond et al., 2013), serviços de emergência médica (*EMS*) (Pryor et al., 2012), equipas de eliminação de munições explosivas (*EOD*) e militares que pertencem às equipas *NRBQ*, todos necessitam de utilizar equipamento de proteção individual (EPI). Quando em contacto com matérias *NRBQ*, este EPI necessita de uma camada reforçada impermeável, pelo que potencia a criação de um ambiente de stress térmico incompensável (STI), que ocorre quando a perda de calor necessária para manter o equilíbrio excede a capacidade

máxima de evaporação do vestuário (Richmond et al., 2013). A roupa restringe a capacidade evaporativa para a perda de calor, o que impede que os indivíduos dissipem o calor metabólico, impossibilitando um equilíbrio térmico e um contínuo aumento na temperatura interna até à exaustão (Givoni & Goldman, 1972).

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS

### 3.1. Resultados em Laboratório

Neste subcapítulo vão ser analisadas através da estatística, as variáveis anteriormente referidas nos protocolos a ambas as temperaturas. Em primeira instância, através da estatística descritiva univariada, vamos analisar as variáveis. De seguida através da estatística bivariada, estabelecer correlações entre variáveis e os modelos de predição da temperatura interna através da regressão linear múltipla. Por fim analisar as diferenças nas variáveis analisadas entre os sexos e através do teste de hipóteses não paramétrico.

Todos os gráficos apresentados referem-se apenas aos dados obtidos nos protocolos nos momentos em que os indivíduos se encontram em exercício, rejeitando o tempo em que estavam em descanso.

#### 3.1.1. Análise das Variáveis em Estudo

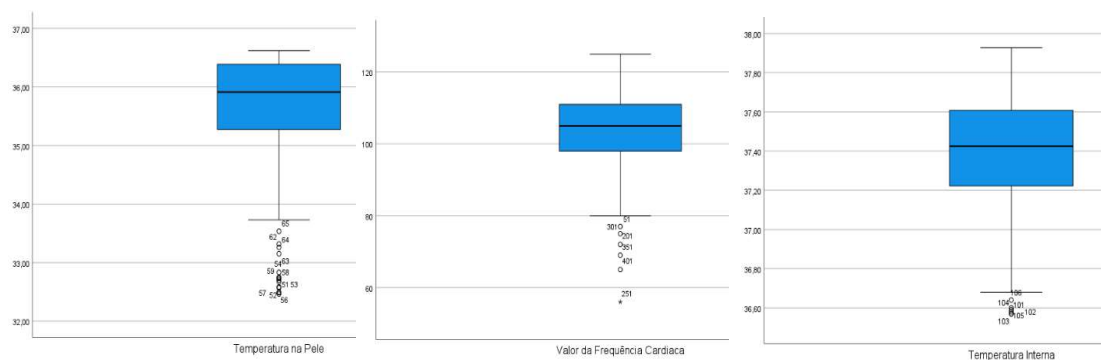


Figura n.º 4 – *Box-plots* das Variáveis à Temperatura Ambiente: Temperatura na Pele (Esquerda), Frequência Cardíaca (Centro) e Temperatura Interna (Direita).

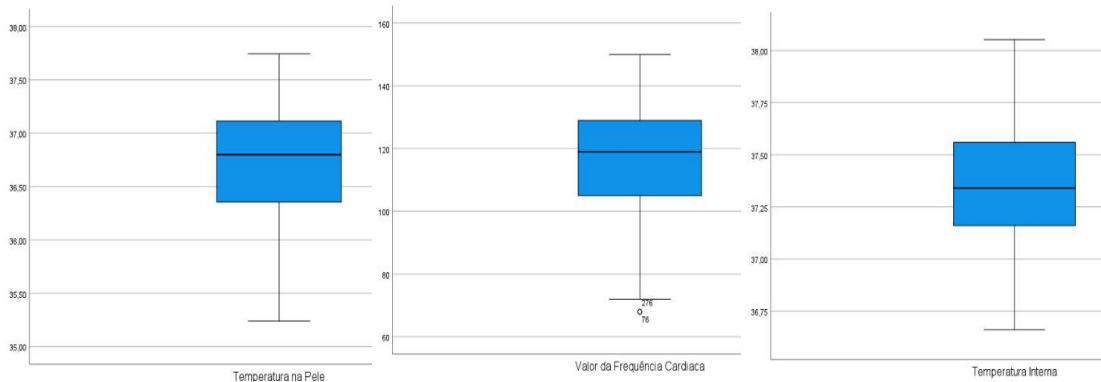
Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura n.º 4 estão representados *box-plots* das variáveis em estudo realizados no protocolo a uma temperatura ambiente controlada de  $18,48 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$ , onde os participantes o concluíram sem nenhum incidente.

Em relação à temperatura na pele, o valor máximo obtido foi de  $36,62^{\circ}\text{C}$ , o mínimo foi de  $32,47^{\circ}\text{C}$  e a mediana foi de  $35,91 \pm 1,08^{\circ}\text{C}$ .

Na frequência cardíaca o seu valor máximo foi de 125bpm, o mínimo 56bpm e a mediana foi  $105 \pm 10,73\text{bpm}$ .

Na temperatura interna o máximo foi de 37,93°C, o mínimo de 36,57°C e a mediana foi de  $37,43 \pm 0,27^\circ\text{C}$ .



**Figura n.º 5 – Box-plots das Variáveis à Temperatura Elevada: Temperatura na Pele (Esquerda), Frequência Cardíaca (Centro) e Temperatura Interna (Direita).**

**Fonte: Elaboração Própria.**

Por sua vez, na Figura n.º 5 estão representados *box-plots* das variáveis em estudo no protocolo concretizado a uma temperatura elevada controlada de  $26,92 \pm 0,69^\circ\text{C}$ , onde à semelhança da temperatura ambiente todos os participantes o concluíram sem nenhum incidente.

Em relação à temperatura na pele à temperatura elevada o valor máximo obtido foi de  $37,74^\circ\text{C}$ , o mínimo de  $35,24^\circ\text{C}$  e a mediana de  $36,80 \pm 0,52^\circ\text{C}$ .

Na frequência cardíaca o seu valor máximo foi de 150bpm, o mínimo 68bpm e mediana foi de  $119,00 \pm 16,01\text{bpm}$ .

Na temperatura interna o máximo foi de  $38,05^\circ\text{C}$ , o mínimo de  $36,66^\circ\text{C}$  e a mediana foi de  $37,34 \pm 0,30^\circ\text{C}$ .

Comprando agora as duas análises obtemos que, ao nível da temperatura interna, a mediana dos valores tanto à temperatura ambiente como elevada foram bastante semelhantes,  $37,43 \pm 0,27^\circ\text{C}$  e  $37,34 \pm 0,30^\circ\text{C}$ , respetivamente, tendo até sido superior à temperatura ambiente. Apesar dos valores das medianas serem semelhantes, a temperatura máxima foi de  $37,93^\circ\text{C}$  à temperatura ambiente comparando com os  $38,05^\circ\text{C}$  à temperatura elevada. Os valores mínimos foram de  $36,57^\circ\text{C}$  à temperatura ambiente e  $36,66^\circ\text{C}$  à temperatura elevada.

Em relação à temperatura na pele, existem diferenças mais significativas no que consta os valores das medianas, sendo eles  $35,56 \pm 1,08^{\circ}\text{C}$  à temperatura ambiente e  $36,70 \pm 0,52^{\circ}\text{C}$  à temperatura elevada. Os máximos foram de  $36,62^{\circ}\text{C}$  à temperatura ambiente e  $37,74^{\circ}\text{C}$  à temperatura elevada. Em relação aos valores mínimos é onde existe maior diferença tendo à temperatura ambiente sido  $32,47^{\circ}\text{C}$  e à temperatura elevada de  $35,24^{\circ}\text{C}$ .

Na frequência cardíaca, em relação aos valores das medianas, observa-se que existe uma diferença considerável entre os valores obtidos, onde à temperatura ambiente o valor foi de  $103,80 \pm 10,73\text{bpm}$  e à temperatura elevada foi de  $117,25 \pm 16,01\text{bpm}$ .

Quanto ao valor máximo este foi obtido à temperatura elevada com  $150\text{bpm}$  em relação aos  $125\text{bpm}$  à temperatura ambiente.

Já o valor mínimo foi de  $56\text{bpm}$  à temperatura ambiente e  $68\text{bpm}$  à temperatura elevada.

### 3.1.2. Análise Estatística Bivariada

#### 3.1.2.1. Análise da Temperatura Interna Vs Temperatura na Pele

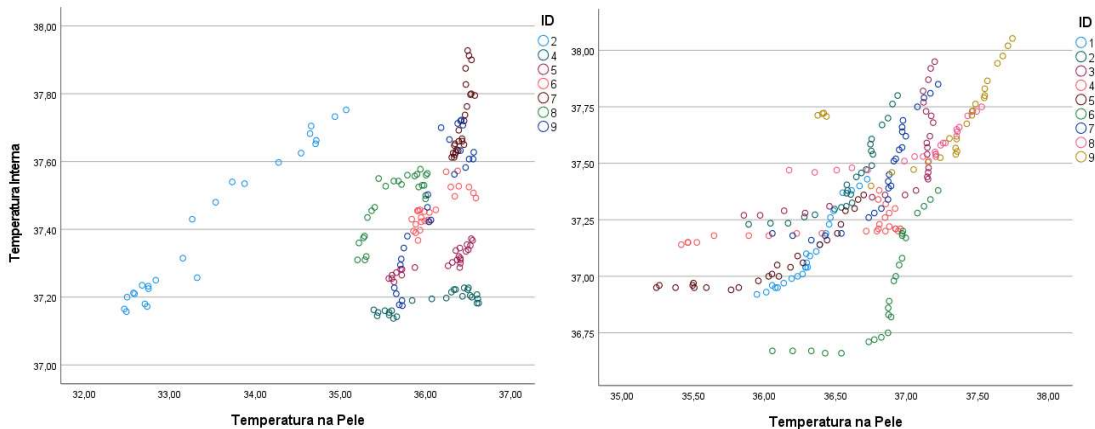


Figura n.º 6 – Representação da Variável Explicativa (Temperatura na Pele) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).

Fonte: Elaboração Própria.

A Figura n.º 6 corresponde à representação das variáveis (temperatura na pele e temperatura interna) através de um diagrama de dispersão. No protocolo realizado à temperatura ambiente, devido a um erro de leitura dos dados da temperatura na pele nos indivíduos 1 e 3, estes não foram considerados para análise.

À temperatura ambiente o valor apresentado na correlação da temperatura interna com a temperatura na pele foi de  $R = 0,383$ , pelo que apresenta uma correlação positiva baixa entre a relação linear da temperatura na pele com a temperatura interna. Este valor representa que quanto maior a temperatura na pele maior a temperatura interna, no entanto, existe um *outlier* caracterizado pelo individuo 2, que influencia o valor da correlação.

À temperatura elevada a correlação da temperatura interna com a temperatura na pele foi de  $R = 0,729$ , pelo que apresenta uma correlação positiva forte entre a temperatura na pele e a temperatura interna. Este valor significa que quanto maior a temperatura na pele maior será a temperatura interna. Por sua vez, este valor é bastante superior ao resultante na temperatura ambiente, o que implica que, a uma temperatura mais elevada existe uma maior relação causa-efeito.

### 3.1.2.2. Análise da Temperatura Interna Vs Frequência Cardíaca

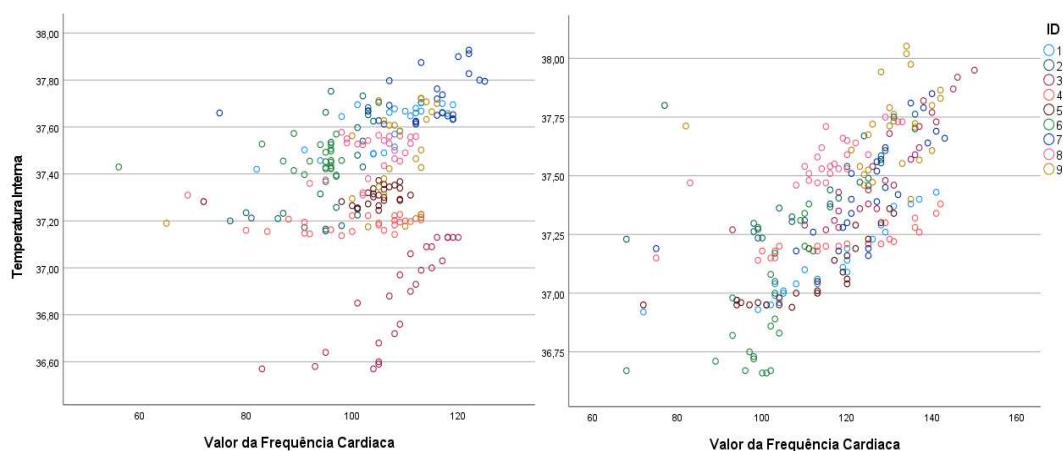


Figura n.º 7 – Representação da Variável Explicativa (Frequência Cardíaca) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).

Fonte: Elaboração Própria.

A Figura n.º 7 corresponde à representação das variáveis (frequência cardíaca e temperatura interna) através de um diagrama de dispersão.

À temperatura ambiente a correlação da temperatura interna com a frequência cardíaca foi de  $R = 0,258$ , sendo também uma correlação positiva baixa. Este valor significa que quanto maior o aumento da frequência cardíaca, maior será também a temperatura interna. Porém, como podemos observar no gráfico, existe uma grande dispersão nos valores, daí o valor da correlação ser baixo.

À temperatura elevada a correlação da temperatura interna com a frequência cardíaca foi de  $R = 0,713$ , sendo também uma correlação positiva forte. Este valor significa que quanto maior for a frequência cardíaca maior será a temperatura interna. Por sua vez, este valor é bastante superior ao resultante na temperatura ambiente, o que implica que, a uma temperatura mais elevada existe uma maior relação causa-efeito.

### 3.1.2.3. Algoritmo de Predição da Temperatura Interna

De forma a prever a temperatura interna num indivíduo através das variáveis já anteriormente estudadas, consegue-se chegar a dois modelos (5) e (6), um para cada um dos cenários considerados no trabalho, através da utilização da regressão linear múltipla.

Sendo a variável resposta, temperatura interna ( $\hat{Y}$ - valor estimado) e as variáveis explicativas a temperatura na pele ( $x_1$ ) e frequência cardíaca ( $x_2$ ) surge a seguinte equação (4) (a, b e c são contantes):

$$\hat{Y} = a + bx_1 + cx_2 \quad (4)$$

Feita a análise da regressão linear múltipla, os valores das contantes para a temperatura ambiente são os seguintes:  $a = 33,517$ ;  $b = 0,097$ ;  $c = 0,004$ ;

Surge então o algoritmo para a predição da temperatura interna à temperatura ambiente, com uma correlação entre variáveis de  $R = 0,468$  (correlação linear positiva moderada, com um coeficiente de determinação de  $r^2 = 0,211$ , pelo que podemos afirmar que a reta de regressão ajustada aos pontos explica 21% da variabilidade existente em  $\hat{Y}$ ) consoante a análise presente no Apêndice F:

$$\hat{Y} = 33.517 + 0.097x_1 + 0.004x_2 \quad (5)$$

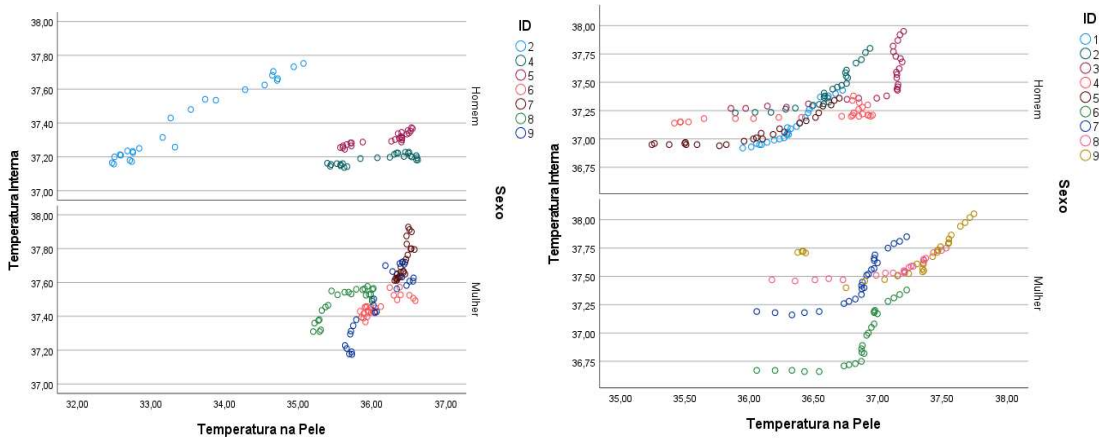
Para a temperatura elevada, foi executada a mesma análise, pelo que os valores das contantes foram os seguintes:  $a = 27,373$ ;  $b = 0,247$ ;  $c = 0,008$ ;

Pelo que surge o algoritmo para a temperatura à temperatura elevada, com uma correlação entre variáveis de  $R = 0,751$  (correlação linear positiva forte com um coeficiente de determinação de  $r^2 = 0,564$ , pelo que podemos afirmar que a reta de regressão ajustada aos pontos explica 56% da variabilidade existente em  $\hat{Y}$ ), consoante a análise presente no Apêndice G:

$$\hat{Y} = 27,373 + 0,247x_1 + 0,008x_2 \quad (6)$$

### 3.1.3. Análise das Variáveis entre Sexos

Na Figura n.º 8, podemos observar as diferenças entre sexos em termos da relação da temperatura na pele com a temperatura interna. Os indivíduos do 2 ao 5 representam os homens e do 6 ao 9 as mulheres. À temperatura ambiente nos indivíduos 1 e 3 ocorreu um erro de leitura na temperatura da pele, não tendo sido considerados para análise.



**Figura n.º 8 – Representação entre Sexos da Variável Exploratória (Temperatura na Pele) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).**

**Fonte: Elaboração Própria.**

À temperatura ambiente o que realça em primeira instância é a dispersão dos valores nos homens comparando com as mulheres. Nos homens a variação da temperatura da pele é bastante superior às mulheres. As temperaturas internas iniciais são semelhantes, no entanto, as mulheres atingem valores superiores. Já a temperatura na pele nas mulheres é bastante semelhante também, ao contrário dos homens, neste caso, observamos que o indivíduo 2 apresenta uma maior variação tanto na temperatura interna como na temperatura da pele em relação aos restantes.

À temperatura elevada, acontece o contrário, a temperatura interna inicial nas mulheres apresenta uma maior variação enquanto nos homens é menor. Podemos observar juntamente com a Tabela n.º 4 que tanto à temperatura ambiente como elevada as mulheres têm valores médios e máximos de temperatura interna superiores aos homens.

Por sua vez, a média da temperatura da pele em ambos os protocolos é também superior nas mulheres, no entanto, à temperatura ambiente são os homens que apresentam valores extremos (máximo e mínimo) de temperatura na pele.

Os homens tanto à temperatura ambiente como elevada apresentam o mesmo valor médio de temperatura interna.

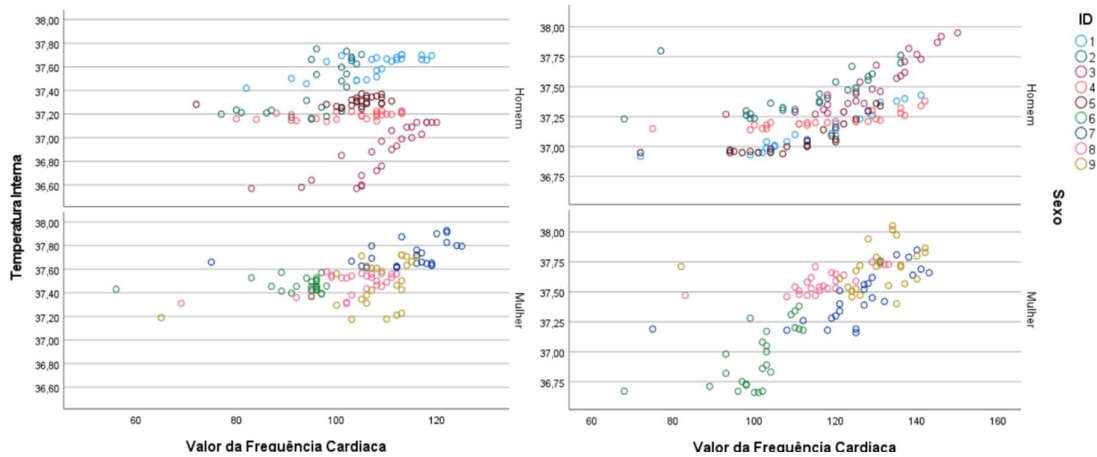


Figura n.º 9 – Relação entre Sexos da Variável Exploratória (Frequência Cardíaca) com a Variável Resposta (Temperatura Interna) à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).

Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura n.º 9 está representado a relação da temperatura interna com a frequência cardíaca em ambos os sexos, à semelhança da figura anterior os indivíduos 1 a 5 são homens e 6 ao 9 são mulheres.

Podemos observar que à medida que a frequência cardíaca aumenta a temperatura interna também aumenta em ambos os protocolos.

Com base na Tabela n.º 4, à temperatura ambiente, em termos de frequência cardíaca as mulheres apresentam a média mais elevada, porém não difere muito dos homens à semelhança do seu valor máximo, no entanto, o valor mínimo nas mulheres é menor.

À temperatura elevada não existem grandes diferenças nos valores apresentados da frequência cardíaca tanto nas mulheres como nos homens, pelo que os valores da temperatura interna são também bastante semelhantes.

Tabela n.º4 -Tabela com as Estatísticas Descritivas Sumário das Variáveis por Sexo nos Protocolos.

|                           | Temperatura Ambiente |        |        |                |        |        | Temperatura Elevada |        |        |                |        |        |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
|                           | Homens               |        |        | Mulheres       |        |        | Homens              |        |        | Mulheres       |        |        |
|                           | Média                | Máximo | Mínimo | Média          | Máximo | Mínimo | Média               | Máximo | Mínimo | Média          | Máximo | Mínimo |
| Temperatura Interna (°C)  | 37,28 ± 0,28         | 37,25  | 36,57  | 37,54 ± 0,16   | 37,93  | 37,18  | 37,28 ± 0,24        | 37,95  | 36,92  | 37,43 ± 0,35   | 38,05  | 36,66  |
| Temperatura na Pele (°C)  | 35,04 ± 1,30         | 36,62  | 32,47  | 36,06 ± 0,38   | 36,59  | 35,2   | 36,46 ± 0,50        | 37,2   | 35,24  | 37,00 ± 0,39   | 37,74  | 36,06  |
| Frequência Cardíaca (bpm) | 103,51 ± 9,58        | 120    | 72     | 104,16 ± 12,05 | 125    | 56     | 116,56 ± 16,31      | 150    | 68     | 118,12 ± 15,68 | 143    | 68     |

Fonte: Elaboração Própria.

### 3.1.3.1. Teste de Hipóteses para as Diferenças nos Sexos

De forma a estudar se existem diferenças na temperatura interna nos dois sexos, foi realizado um teste de hipóteses, onde hipótese nula  $H_0$ : As medianas de Temperatura Interna são iguais nas categorias de Sexo e hipótese alternativa  $H_1$ : As medianas de Temperatura Interna não são iguais nas categorias de Sexo.

Com o intuito de dar significância à hipótese nula, estabeleceu-se: rejeitar  $H_0$  se  $p\text{-value} < \alpha = 0,05$  ou não rejeitar  $H_0$  se  $p\text{-value} > \alpha = 0,05$ .

Com base na Figura n.º 10, podemos verificar que em ambos os casos, temperatura ambiente e temperatura elevada, os valores da mediana da temperatura interna apresentam disparidades em ambos os sexos. Para confirmar esta disparidade, as hipóteses vão ser alvo de um teste estatístico, apresentado no Apêndice G.

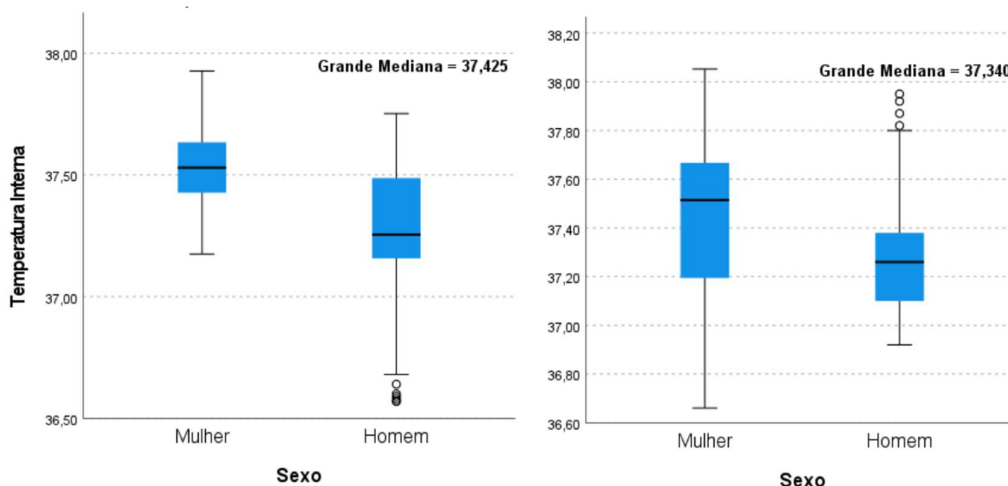


Figura n.º 10 – Representação Gráfica por Meio de Box-plot da Variável Temperatura Interna por Sexo à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).

Fonte: Elaboração Própria.

Dada a hipótese nula  $H_0$ , à temperatura ambiente, sabendo que  $\alpha = 0,05$ , o valor calculado do  $p\text{-value} = 0,001$ , pelo que  $p\text{-value} = 0,001 < 0,05$ , logo rejeita  $H_0$ , pelo que podemos concluir que na temperatura interna à temperatura ambiente existem diferenças entre sexos.

Para a temperatura elevada, dada a hipótese nula  $H_0$ , o valor calculado do  $p\text{-value} = 0,001$ , pelo que  $p\text{-value} = 0,001 < 0,05$ , logo também rejeita  $H_0$ , pelo que podemos aferir que na temperatura interna à temperatura elevada também existem diferenças entre sexos.

De forma a estudar se existem diferenças na temperatura na pele nos dois sexos, foi realizado um teste de hipóteses, onde hipótese nula  $H_0$ : As medianas de Temperatura na Pele são iguais nas categorias de Sexo e hipótese alternativa  $H_1$ : As medianas de Temperatura na Pele não são iguais nas categorias de Sexo.

Com base na Figura n.º 11, podemos verificar que em ambos os casos, temperatura ambiente e temperatura elevada, os valores da mediana da temperatura na pele apresentam disparidades em ambos os sexos. Para confirmar esta disparidade, as hipóteses vão ser alvos de um teste estatístico, apresentado no Apêndice H.

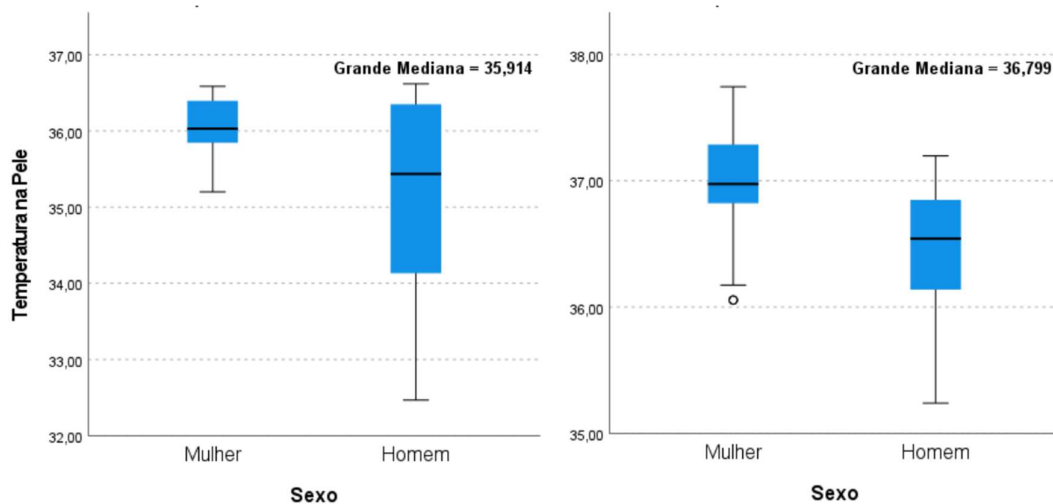


Figura n.º 11 – Representação Gráfica por Meio de Box-plot da Variável Temperatura na Pele por Sexo à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).

Fonte: Elaboração Própria.

Dada a hipótese nula  $H_0$ , à temperatura ambiente, o valor calculado do  $p\text{-value} = 0,001$ , pelo que  $p\text{-value} = 0,001 < 0,05$ , logo rejeita  $H_0$ , pelo que podemos concluir que na temperatura na pele à temperatura ambiente existem diferenças entre sexos.

Para a temperatura elevada, dada a hipótese nula  $H_0$ , o valor calculado do  $p\text{-value} = 0,001$ , pelo que  $p\text{-value} = 0,001 < 0,05$ , logo também rejeita  $H_0$ , pelo que podemos aferir que na temperatura na pele à temperatura elevada também existem diferenças entre sexos.

De forma a estudar se existem diferenças na frequência cardíaca nos dois sexos, foi realizado um teste de hipóteses, onde hipótese nula  $H_0$ : As medianas de Valor da Frequência Cardíaca são iguais nas categorias de Sexo e hipótese alternativa  $H_1$ : As medianas de Valor da Frequência Cardíaca não são iguais nas categorias de Sexo.

Com base na Figura n.º 12, podemos verificar que em ambos os casos, temperatura ambiente e temperatura elevada, os valores da mediana da temperatura interna apresentam valores semelhantes em ambos os sexos. Para confirmar se existe alguma disparidade entre os sexos, as hipóteses vão ser alvos de um teste estatístico, apresentado no Apêndice H.

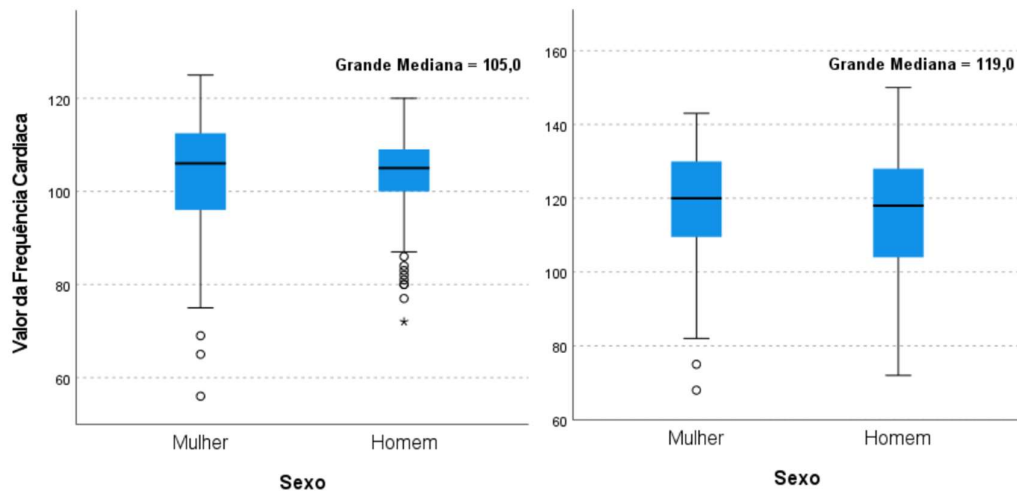


Figura n.º 12 – Representação Gráfica por Meio de Box-plot da Frequência Cardíaca por Sexo à Temperatura Ambiente (Esquerda) e Temperatura Elevada (Direita).

Fonte: Elaboração Própria.

Dada a hipótese nula  $H_0$ , à temperatura ambiente, o valor calculado do  $p\text{-value} = 0,332$ , pelo que  $p\text{-value} = 0,332 > 0,05$ , logo não rejeita  $H_0$ , pelo que podemos concluir que à temperatura ambiente não existem diferenças entre sexos.

Para a temperatura elevada, dada a hipótese nula  $H_0$ , o valor calculado do *p-value* = 0,465, pelo que *p-value* = 0,465 > 0,05, logo também não rejeita  $H_0$ , pelo que podemos aferir que à temperatura elevada também não existem diferenças entre sexos.

## CAPÍTULO 4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Esta investigação permitiu, através de testes laboratoriais, analisar a relação de diferentes variáveis como a temperatura na pele e frequência cardíaca, com o intuito de prever a temperatura interna a diferentes temperaturas ambiente.

Os dados recolhidos mostram que quando comparamos os valores obtidos nos diferentes protocolos, concluímos que à temperatura elevada os valores das variáveis tendem a ser superiores, à exceção da temperatura interna. À temperatura ambiente os valores da mediana na temperatura interna ( $37,43 \pm 0,27^{\circ}\text{C}$ ) são ligeiramente superiores em relação aos valores obtidos à temperatura elevada ( $37,34 \pm 0,30^{\circ}\text{C}$ ), não existindo uma diferença considerável. Isto acontece porque a temperatura interna mantém-se constante independentemente de grandes variações das condições ambientais, mantendo-se nos  $37^{\circ}\text{C}$ , podendo sofrer algumas alterações consoante o indivíduo, podendo variar entre os  $36^{\circ}\text{C}$  e os  $38^{\circ}\text{C}$  (Olesen, 1982). Para se dar um maior aumento na temperatura interna, é necessário que o indivíduo permaneça durante um longo período exposto a uma temperatura demasiado elevada. Ou seja, de forma a observar uma maior variação na temperatura interna, os protocolos executados teriam de ter uma maior duração, teria de ser executado a uma temperatura superior à utilizada ( $26,92 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$ ), ou ter uma maior intensidade.

Já os valores da temperatura na pele são mais elevados à temperatura elevada do que à temperatura ambiente,  $36,80 \pm 0,52^{\circ}\text{C}$  e  $35,91 \pm 1,08^{\circ}\text{C}$ , respetivamente. A temperatura da pele tem tendência a ter uma maior variação (Bridger, 2003), uma vez que está em contacto direto com o meio exterior. É normal observar-se um valor mais elevado à temperatura elevada, especialmente porque a temperatura na pele é influenciada pelas trocas térmicas, como convecção, condução e evaporação (ISO 9886, 1992), e uma vez que os indivíduos utilizavam um fato que não permite que houvesse trocas do interior do fato para o exterior, este processo fica comprometido, pelo que se dá um aumento da temperatura na pele.

Quanto à frequência cardíaca, que à semelhança do que acontece com a temperatura na pele, a uma temperatura mais elevada, a frequência cardíaca é também superior. Dado que a frequência cardíaca é influenciada não só por fatores individuais como o esforço realizado, mas também por fatores exógenos como as condições climáticas (Carvalhais, 2011; Lee, 2018), é normal observarmos que a uma temperatura mais elevada, os valores observados sejam também superiores.

Quando analisamos a temperatura interna vs a temperatura na pele nos dois protocolos (Figura n.º6), podemos concluir que existe uma maior correlação na temperatura elevada ( $R = 0,729$ ) em contraste com a temperatura ambiente ( $R = 0,383$ ). A temperatura na pele e a temperatura interna estão intimamente ligadas através de um complexo sistema de feedback que envolve não só os termo-recetores, como também o sistema nervoso central e os mecanismos de termorregulação do corpo. Estes processos garantem que a temperatura interna se mantenha estável, apesar de existirem grandes variações de temperatura no exterior (Arens & Zhang, 2006).

Quando analisamos a temperatura interna vs a frequência cardíaca nos dois protocolos (Figura n.º 7), podemos concluir que existe uma maior correlação na temperatura elevada ( $R = 0,713$ ) em contraste com a temperatura ambiente ( $R = 0,258$ ). Isto acontece porque a frequência cardíaca está fortemente ligada à temperatura interna, através de mecanismos fisiológicos, denominados de resposta cardíaca à temperatura (Gordan et al., 2015). Se executarmos os exercícios do protocolo a uma maior intensidade ou a uma temperatura mais elevada, iríamos observar um maior aumento da temperatura interna, e consequentemente, um aumento da frequência cardíaca, que por sua vez contribuiria para uma correlação ainda mais forte do que a apresentada.

Foram produzidos dois modelos/ algoritmos que predizem a temperatura interna a uma temperatura ambiente e a uma temperatura elevada. Vários estudos já foram desenvolvidos nos quais se formulam algoritmos para a predição da temperatura interna como presente nas investigações de Buller et al. (2020); Looney et al. (2018); Niedermann et al. (2014); Welles et al. (2018); Xu et al. (2013) e (Richmond et al., 2013), nos quais todos têm em comum, tal como nesta investigação, o uso tanto da frequência cardíaca como a temperatura na pele como variáveis para a predição da temperatura interna.

O algoritmo obtido à temperatura ambiente, apresenta uma correlação linear positiva moderada de  $R = 0,468$  com um coeficiente de determinação de  $r^2 = 0,211$ , já à temperatura elevada apresenta uma correlação linear positiva forte de  $R = 0,751$  com um coeficiente de determinação de  $r^2 = 0,564$ . Estes valores são bastante influenciados devido à reduzida amostra utilizada neste estudo. No entanto, à temperatura elevada o modelo apresentado mostra que existe uma relação causa-efeito forte entre as variáveis explicativas e a variável resposta, pelo que o algoritmo produzido mostra ser eficaz para a predição da temperatura interna em ambientes com uma temperatura mais elevada. Como já foi referido anteriormente e dado que os valores das variáveis explicativas têm também correlações

fortes com a variável resposta, é expectável que se realizarmos este protocolo a uma temperatura superior à utilizada neste estudo, iremos obter uma correlação ainda maior.

Em relação às diferenças entre sexos, as mulheres ao nível das três variáveis apresentam sempre valores médios mais elevados tanto à temperatura ambiente como à temperatura elevada, atingindo o seu limiar mais rápido, devido essencialmente à sua composição corporal, tal como Cheung et al. (2000) e Mclellan (1998) afirmam.

Um dos principais fatores que diferenciam os homens das mulheres, assim como a variação das suas temperaturas internas, é o facto das mulheres possuírem ciclo menstrual. Ao analisar os resultados dos testes realizados, Figura n.º 8, podemos comprovar esta afirmação, pelo facto de os indivíduos do sexo feminino, apresentarem uma temperatura interna superiores aos homens, tanto à temperatura ambiente como elevada.

As diferenças a nível hormonal contribuem também para as diferenças da temperatura interna, uma vez que as hormonas reprodutoras específicas de cada sexo influenciam o momento em que se inicia o processo de vasodilatação e consequentemente sudação, que por sua vez, nos homens é mais precoce, tal como Wong e Hollowed (2017) referem. Assim, ao ocorrer mais rápido e eficazmente o processo de sudação leva a que a temperatura interna nos homens seja mais baixa quando comparada com a das mulheres, como se verifica nos gráficos apresentados.

A sudação influencia também os valores da temperatura na pele, sendo uma das principais formas de dissipação de calor corporal. Sendo que para as mulheres é necessário um maior aumento da temperatura exterior e intensidade do exercício, o processo de sudação torna-se mais tardio, o que leva a que a sua temperatura na pele seja superior à dos homens, como estudado por Ichinose-Kuwahara et al. (2010) e Plowman & Smith (2013). No entanto, como os protocolos foram realizados com fato de proteção, apesar das mulheres numa fase inicial tenderem a ter um aumento mais rápido da temperatura na pele em comparação com os homens, na fase final dos protocolos a temperatura na pele tende a estabilizar em ambos os sexos, tal como se observa na Figura n.º 8. Isto deve-se à fraca capacidade de evaporação dos fatos, que não permitem realizar as trocas com o meio, não dissipando o calor.

Como já referido as mulheres representadas neste estudo apresentam uma temperatura interna superior aos homens, e consequentemente, o mesmo se observa com a frequência cardíaca, no entanto, a discrepância dos valores apresentados entre os sexos não é tão acentuada como nas variáveis anteriores.

Quanto às diferenças existentes nos sexos, dada a amostra utilizada, concluímos que dados os resultados dos testes de hipóteses, em relação à variável da temperatura interna, em

ambas as temperaturas dos protocolos, existem diferenças significativas entre os dois sexos, pelo que nas duas situações a hipótese nula: “As medianas de Temperatura Interna são iguais nas categorias de Sexo”, foi rejeitada para o nível de significância  $\alpha = 0,05$ , onde o *p-value* =  $0,001 < 0,05$ .

Em relação à temperatura na pele, o mesmo acontece, onde em ambos os protocolos, dada a hipótese nula: “As medianas de Temperatura na Pele são iguais nas categorias de Sexo”, foi rejeitada para o nível significância  $\alpha = 0,05$ , onde o *p-value* =  $0,001 < 0,05$ .

Por sua vez na frequência cardíaca, dada a hipótese nula: “As medianas de Valor da Frequência Cardíaca são iguais nas categorias de Sexo”, em ambas a temperatura não se rejeitou, segundo o valor de significância  $\alpha = 0,05$ , onde à temperatura ambiente *p-value* =  $0,332 > 0,05$ , e à temperatura elevada *p-value* =  $0,465 > 0,05$ .

## CONCLUSÃO

A predição da temperatura interna é um tema ainda pouco estudado em Portugal, especialmente na vertente do NRBQ, no entanto, revela-se cada vez mais importante perceber como é que os militares que integram estas equipas reagem com a utilização de fatos de proteção em condições ambientais quentes. O despontar da ameaça NRBQ está cada vez mais presente nos dias de hoje, e uma vez que para atuar em ambientes contaminados é necessário a utilização de fatos de proteção, torna-se cada vez mais evidente estudar também quais são as alterações fisiológicas que os indivíduos que os utilizam sofrem. Deste modo, é fulcral predizer estas alterações com o intuito de preservar a integridade física do indivíduo de modo a cumprir com a missão.

Assim, o presente trabalho enquadra-se no âmbito do estudo das alterações ao nível da temperatura interna em condições ambientais distintas, relacionando-a com as alterações ao nível da temperatura na pele e frequência cardíaca como também verificar se existem diferenças significativas nos diferentes sexos, dado que nestas equipas podem pertencer indivíduos dos dois sexos. Neste contexto, foram definidos como amostra para este estudo, cinco militares do sexo masculino e quatro do sexo feminino da Academia Militar, que contribuíram para o objetivo desta investigação “Predição da temperatura interna em militares que utilizem Equipamentos de Proteção Individual (EPI) NRBQ”. Para atingir o objetivo deste estudo, numa primeira fase foi realizada uma pesquisa bibliográfica seguida de vários testes em laboratório que serviram de base para a implementação dos protocolos.

Deste modo, quanto à PD n.º 1, “**Quais são as alterações existentes nos fatores fisiológicos consoante o sexo?**”, podemos afirmar que as mulheres tanto para a temperatura ambiente como para a temperatura elevada, mostram valores superiores aos homens em todas as variáveis analisadas, o que significa que as mulheres apresentam uma menor predisposição para ambientes quentes devido essencialmente à sua fisionomia e regulação hormonal. Estas diferenças foram analisadas e calculadas através do teste de hipóteses não paramétrico, através do qual foi possível concluir que para a temperatura interna e temperatura na pele existem diferenças significativas em ambos os protocolos. Já ao nível da frequência cardíaca o mesmo não se verifica, o que implica que não existem diferenças com significância quando comparamos os dois sexos nas duas situações. Com isto podemos afirmar que as mulheres uma vez que apresentam valores de temperatura interna, temperatura na pele e frequência cardíaca superiores aos homens, incorrem no risco de

chegar mais rápido aos limites de resistência que o corpo humano aguenta, tendo maior tendência para sofrerem patologias fisiológicas associadas ao calor como a hipertermia, golpes de calor e stress térmico.

No que diz respeito à PD n.º 2, **“Quais são os fatores fisiológicos que melhor caracterizam a predição da temperatura interna?”**, analisando os resultados obtidos através das correlações estabelecidas entre a variável resposta e as variáveis explicativas, conclui-se que a temperatura na pele e a frequência cardíaca são bons indicadores para a predição da temperatura interna, aquando na presença em ambientes quentes, apresentando correlações fortes de  $R = 0,729$  e  $R = 0,713$ , respetivamente. Por sua vez, as correlações à temperatura ambiente não são significativas o suficiente para poder afirmar que são bons indicadores, apresentando correlações baixas de  $R = 0,383$  para a temperatura na pele e  $R = 0,258$  para a frequência cardíaca. Pelo que seria de interesse, comparar outras variáveis por forma a avaliar as suas correlações a uma temperatura mais baixa.

Quanto à PD n.º 3, **“Qual é o algoritmo que prediz a temperatura interna em função dos fatores fisiológicos em análise?”**, foram elaborados dois algoritmos, um para a temperatura ambiente e outro para a temperatura elevada, não sendo possível generalizar o algoritmo, uma vez que os dados recolhidos foram específicos das temperaturas estudadas ( $18,48 \pm 0,75^{\circ}\text{C}$  e  $26,92 \pm 0,69^{\circ}\text{C}$ ). O algoritmo calculado para a temperatura ambiente apresenta uma correlação linear positiva moderada de  $R = 0,468$  com um  $r^2 = 0,211$ , pelo que não tem grande significância. Já o algoritmo calculado à temperatura elevada, equação (6),

$$\hat{Y} = 27,373 + 0,247x_1 + 0,008x_2 \quad (6)$$

pelo contrário, apresenta uma correlação linear positiva forte de  $R = 0,751$  com um  $r^2 = 0,564$ , pelo que, para temperaturas elevadas este algoritmo apresenta uma significância relevante, podendo ser considerado como um bom partido para o cálculo da temperatura interna em ambientes quentes.

Respondidas todas as PD, estão agora reunidas as condições para se poder responder à PP da investigação, **“Será possível prever a temperatura interna através de métodos não invasivos nos militares que utilizam EPI NBQR?”**. No âmbito desta investigação, podemos afirmar que, os métodos não invasivos utilizados nos protocolos são bons indicadores para a predição da temperatura interna, nomeadamente, através da utilização de um sensor térmico na pele e bandas de frequência cardíaca. Os resultados obtidos através da

combinação destes métodos, evidenciam que as relações entre as variáveis apresentam relações causa-efeito significativas, sendo possível produzir um modelo com significância para a predição de um valor para a temperatura interna em ambientes quentes.

Dos principais contributos deste trabalho destacam-se a identificação dos principais métodos não invasivos de predição da temperatura interna, bem como o reconhecimento deste estudo como um pilar base inicial para estudos futuros no âmbito da predição da temperatura interna em Portugal, com visão a poder ser aplicado no estudo da predição da temperatura interna tanto em ambiente controlado, como no exterior com equipamento de proteção.

As limitações inerentes a esta investigação prendem-se principalmente com o reduzido tamanho da amostra, influenciando a veracidade aos resultados obtidos, como aos vários inconvenientes deparados ao longo do trabalho de campo laboratorial, desde a avaria de algumas máquinas, à mudança do espaço para a elaboração dos protocolos, a falta de dados em algumas leituras devido a incongruências dos leitores e à adaptação consoante a disponibilidade dos participantes neste estudo.

Futuramente, recomenda-se um estudo semelhante, mas que abranja uma maior amostra, que estude estas variáveis a temperaturas elevadas superiores à utilizada nesta investigação ou que aumente a intensidade dos exercícios nos protocolos, de forma poder obter correlações superiores entre as variáveis. Por sua vez, implementar também um protocolo para a predição da temperatura interna em ambientes frios.

Outro contributo seria incorporar uma terceira variável no algoritmo, por forma a produzir um algoritmo com a temperatura do ambiente em que o indivíduo se encontra, ou seja, incorporar no modelo a temperatura exterior como variável explicativa, para predizer a temperatura interna. Para tal será necessário desenvolver uma análise que permita incorporar a temperatura ambiente, sendo esta uma variável qualitativa, no algoritmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, C., & Barbosa, F. (2021). *A emergência NRBQ em Portugal-A resposta da Unidade de Emergência de Proteção e Socorro (UEPS) da GNR*. <http://hdl.handle.net/10400.26/42572>
- Arens, E., & Zhang, H. (2006). *The skin's role in human thermoregulation and comfort*. <https://escholarship.org/uc/item/3f4599hx>
- Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. (2007). Exertional heat illness during training and competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 556–572. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31802fa199>
- ASHRAE. (2005). *Thermal Comfort*.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Bouchama, A., & Knochel, J. (2002). Heat Stroke. *The New England Journal of Medicine*, 346(25). <https://doi.org/10.1056/NEJMra011089>
- Bridger, R. (2003). *Ergonomics for beginners : a quick reference guide* (2nd Edition). Taylor & Francis. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b12640>
- Buller, M. J., Davey, T., Fallowfield, J. L., Montain, S. J., Hoyt, R. W., & Delves, S. K. (2020). Estimated and measured core temperature responses to high-intensity warm weather military training: Implications for exertional heat illness risk assessment. *Physiological Measurement*, 41(6). <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab934b>
- Campbell, I. (2008). *Body temperature and its regulation*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2008.04.009>
- Carvalhais, C. (2011). *Contribuição para o Estudo da Tolerância Humana a Ambientes Térmicos Extremos: Ensaio de Validação de Câmara Climática*.
- Chamberlain, J. M., Terndrup, T. E., Alexander, D. T., Silverstone, F. A., Wolf-Klein, G., O'donnell, R., & Grandner, J. (1995). *Determination of Normal Ear Temperature with an Infrared Emission Detection Thermometer*. [https://doi.org/10.1016/s0196-0644\(95\)70349-7](https://doi.org/10.1016/s0196-0644(95)70349-7)
- Cheung, S. S., Mclellan, T. M., & Tenaglia, S. (2000). The Thermophysiology of Uncompensable Heat Stress Physiological Manipulations and Individual

- Characteristics. *Sports Med*, 29(5), 329–359. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029050-00004>
- Código de Nuremberg. (1996). The Nuremberg Code (1947). *British Medical Journal*, 313(7070), 1448.
- Daniel, I., & Sessler, M. D. (2014). Mild Perioperative Hypothermia. *The New England Journal of Medicine*. <https://doi.org/10.1056/NEJM199706123362407>
- Dinarello, C., & Gelfand, J. (2001). *Harrison's Principles Of Internal Medicine* (15.<sup>a</sup> ed.). Medical Publishing Division.
- Downey, J., & Lemons, D. (1994). Human Thermoregulation. Em *The Physiological Basis of Rehabilitation Medicine* (pp. 351–363). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4831-7818-9.50019-8>
- EFSA. (2010). EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA); Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA Journal*, 8(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1459>
- Estado Maior do Exército [EME]. (2019). *MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL*.
- Ferreira, J. C., & Patino, C. M. (2015). What does the p value really mean? Em *Jornal Brasileiro de Pneumologia* (Vol. 41, Número 5, p. 485). Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000000215>
- Firmino, M. (2015). *Testes de hipóteses: uma abordagem não paramétrica* [Universidade de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10451/18146>
- Fortin, M. (1999). O Processo de Investigação Da Concepção à Realização. *Lusociencia*.
- Frascarolo, P., Schutz, Y., & Jéquier, E. (1992). Influence of the menstrual cycle on the sweating response measured by direct calorimetry in women exposed to warm environmental conditions. Em *Applied Journal of Physiology and Occupational Physiology* (Vol. 64). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/BF00625066>
- Garson, C. N. (2016). *Thermoregulation in the Encapsulated Environment Reducing Thermoregulatory Strain Experienced by Warfighters when Wearing Fully Encapsulating Protective Clothing with Additional Investigations of Thermoregulatory Control*. University of Portsmouth.
- Givoni, B., & Goldman, R. F. (1972). Predicting rectal temperature response to work, environment, and clothing. <https://doi.org/10.1152/jappl.1972.32.6.812>
- Gordan, R., Gwathmey, J. K., & Xie, L.-H. (2015). Autonomic and endocrine control of cardiovascular function. *World Journal of Cardiology*, 7(4), 204. <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i4.204>

- Guedes, J. C., Baptista, J. dos S., & Diogo, M. T. (2011). Fatores Condicionantes da Tolerância ao Calor. Em P. Arezes, J. S. Baptista, M. P. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, & G. P. Perestrelo (Eds.), *Segurança e Higiene Ocupacionais - SHO2011* (350 Cópias, pp. 304–308). Portuguese Society of Occupational Safety and Hygiene (SPOSHO).
- Guyton, A., & Hall, J. (2011). *Tratado de Fisiologia Médica* (12.<sup>a</sup> ed.). Elsevier.
- Hamatani, T., Uchiyama, A., & Higashino, T. (2015). Estimating core body temperature based on human thermal model using wearable sensors. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing, 13-17-April-2015*, 521–526. <https://doi.org/10.1145/2695664.2695765>
- Hauke, J., & Kossowski, T. (2011). Comparison of values of pearson's and spearman's correlation coefficients on the same sets of data. *Quaestiones Geographicae*, 30(2), 87–93. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>
- Havenith, G. (2005). Temperature regulation, Heat balance and climatic stress. Em *Extreme Weather Events and Public Health Responses* (pp. 69–80). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7\\_7](https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7_7)
- 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*. <https://doi.org/10.1007/s004210050327>
- Henry, C. (2005). Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition*, 8(7a), 1133–1152. <https://doi.org/10.1079/phn2005801>
- Horovitz, L., & Wachs, L. (2022). *Russia's nuclear threats in the war against Ukraine: consequences for the international order, NATO and Germany*. <https://doi.org/10.18449/2022C29>
- Ichinose-Kuwahara, T., Inoue, Y., 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(10), 1026–1032. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.053710>
- Inoue, Y., Havenith, G., Kenney, W., Loomis, J., & Buskirk, E. (1999). Exercise- and methylcholine-induced sweating responses in older and younger men: effect of heat acclimation and aerobic fitness. *Int J Biometeorol*, 42, 210–216. <https://doi.org/10.1007/s004840050107>

- Inoue, Y., & Shibasaki, M. (1996). Regional differences in age-related decrements of the cutaneous vascular and sweating responses to passive heating. Em *Eur J Appl Physiol* (Vol. 74). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/BF00376498>
- ISO 7266: 1998. (1998). *Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/99f92eea-d1b3-48b4-8a3c->
- ISO 9886. (1992). *Evaluatuiou os thermal strain by physilogical measurements*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cc4a7e2-89ef-4720-a655->
- IUM. (2019). *Orientações Metodológicas para a Orientação de trabalhos de Investigação*.
- Kenney, W. L. (1988). Control of heat-induced cutaneous vasodilatation in relation to age. Em *European Journal of Applied Hnysiology and Occupational Physiology* (Vol. 57). <https://doi.org/10.1007/BF00691250>
- Kenney, W. L. (2001). Decreased cutaneous vasodilation in aged skin: mechanisms, consequences and interventions. Em *Journal of Thermal Biology* (Vol. 26).
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014). The human thermoregulatory system and its response to thermal stress. Em *Protective Clothing: Managing Thermal Stress* (pp. 319–365). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9781782420408.3.319>
- Klabunde, R. (2012). *Cardiovascular Physiology Concepts* (2.<sup>a</sup> ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 29, 41–55. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843>
- Kuht, J., & Farmery, A. D. (2014). Body temperature and its regulation. Em *Anaesthesia and Intensive Care Medicine* (Vol. 15, Número 6, pp. 273–278). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2014.03.013>
- Lamberts, R., Xavier, A., Goulart, S., & Vecchi, R. (2014). *Conforto e Stress Térmico*. [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)
- Lee, J.-Y. (2018). *Prediction of Heat Strain by Heart Rate for Firefighters in Protective Clothing* [Seoul National University]. <https://hdl.handle.net/10371/143235>
- Leon, L. R., & Bouchama, A. (2015). Heat stroke. *Comprehensive Physiology*, 5(2), 611–647. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140017>
- Lim, C. L. (2020). Fundamental concepts of human thermoregulation and adaptation to heat: A review in the context of global warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–33. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217795>

- Looney, D. P., Buller, M. J., Gribok, A. V., Leger, J. L., Potter, A. W., Rumpler, W. V., Tharion, W. J., Welles, A. P., Friedl, K. E., & Hoyt, R. W. (2018). Estimating Resting Core Temperature Using Heart Rate. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour*, 1(2), 79–86. <https://doi.org/10.1123/jmpb.2017-0003>
- Maley, M. J., Minett, G. M., Bach, A. J. E., Stewart, K. L., & Stewart, I. B. (2020). Extending work tolerance time in the heat in protective ensembles with pre- and per-cooling methods. *Applied Ergonomics*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103064>
- Marconi, M., & Lakatos, E. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica* (5ª). Atlas. [www.atlasnet.com.br](http://www.atlasnet.com.br)
- Martins, J. (2008). *Investigação em enfermagem: Alguns apontamentos sobre a dimensão ética* (2.ª ed., Vol. 12). Pensar Enfermagem. <http://hdl.handle.net/10400.26/23998>
- Martins, M. (2005). *Introdução à Probabilidade e à Estatística Com complementos de Excel*.
- Martins, M. (2014). Diagrama ou gráfico de dispersão. *Revista de Ciência Elementar*, 2(3). <https://doi.org/10.24927/rce2014.214>
- McLellan, T. M. (1998). Sex-related differences in thermoregulatory responses while wearing protective clothing. *Eur J Appl Physiol*, 78, 28–37. <https://doi.org/10.1007/s004210050383>
- McLellan, T., Pope, J., Cain, J., & Cheung, S. (1996). Effects of metabolic rate and ambient vapour pressure on heat strain in protective clothing. Em *Eur J Appl Physiol* (Vol. 74). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/BF02376767>
- Mondelo, P., Torada, E., Uriz, S., Vilella, E., & Lacambra, E. (1999). *Ergonomía 2 Confort y estrés térmico* (3.ª ed.). Alfaomega. [www.mundoindustrial.net](http://www.mundoindustrial.net)
- Nanchen, D. (2018). Resting heart rate: What is normal? Em *Heart* (Vol. 104, Número 13, pp. 1048–1049). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-312731>
- Nero, D. (2019). *Aptidão Física e Saúde*. Pimenta Cultural. <https://doi.org/10.31560/pimentacultural/2019.799>
- Niedermann, R., Wyss, E., Annaheim, S., Psikuta, A., Davey, S., & Rossi, R. M. (2014). Prediction of human core body temperature using non-invasive measurement methods. *International Journal of Biometeorology*, 58(1), 7–15. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0687-2>
- Nishi, Y. (1981). *Measurement of Thermal Balance of Man* (pp. 29–39). [https://doi.org/10.1016/S0166-1116\(08\)71079-3](https://doi.org/10.1016/S0166-1116(08)71079-3)
- NSA. (2012). *Operational Requirements, technical Specifications and Evaluation Criteria for CBRN Protective Clothing*.

- NSCA. (2016). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (G. Haff & N. Triplett, Eds.; Fourth Edition). Human Kinetics.
- Olesen, B. W. (1982). Thermal Comfort. *Bruel & Kjaer*, 2.
- Oliveira, A. (2007). *Estudo de ambientes térmicos frios : desenvolvimentos experimentais e avaliação de condições de trabalho*. <https://hdl.handle.net/10316/1691>
- Pandolf, K. B. (1991). Aging and Heat Tolerance at Rest or During Work. *Experimental Aging Research*, 17(3), 189–204. <https://doi.org/10.1080/03610739108253897>
- Pandolf, K. B. (1997). Aging and human heat tolerance. *Experimental Aging Research*, 23(1), 69–105. <https://doi.org/10.1080/03610739708254027>
- Pappas, P., & Depuy, V. (2004). *An Overview of Non-parametric Tests in SAS ® : When, Why, and How*. SouthEast SAS Users Group Conference (SESUG 2004): Paper TU04. TU04.
- Parsons, K. (2003). *Human Thermal Environments - The effects os hot, moderate and cold enviroments on human health, comfort and performance*. (2.<sup>a</sup> ed.). Taylor & Francis.
- Périard, J. D., DeGroot, D., & Jay, O. (2022). Exertional heat stroke in sport and the military: epidemiology and mitigation. Em *Experimental Physiology* (Vol. 107, Número 10, pp. 1111–1121). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1113/EP090686>
- Pinheiro, J., Gomes, G., Cunha, S., & Carvajal, S. (2009). *Estatística básica : a arte de trabalhar com dados*. Elsevier Editora Ltda.
- Pires, J. (2017). *O Emprego Conjunto e Combinado das diversas Valências de Engenharia por parte dos Ramos das Forças Armadas Portuguesas* [IUM]. <http://hdl.handle.net/10400.26/24546>
- Plowman, S., & Smith, D. (2013). *Exercise Physiology For Health, Fitness, and Performance* (4.<sup>a</sup> ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Poer, P. A., Stockert, P. A., Perry, A. G., Hall, A. M., & Ostendorf, W. R. (2017). *Fundamentos de Enfermagem* (9<sup>o</sup> edição). Elsevier.
- Pryor, R. R., Seitz, J. R., Morley, J., Suyama, J., Guyette, F. X., Reis, S. E., & Hostler, D. (2012). Estimating core temperature with external devices after exertional heat stress in thermal protective clothing. *Prehospital Emergency Care*, 16(1), 136–141. <https://doi.org/10.3109/10903127.2011.614047>
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. (1998). *Manual de Investigação em Ciências Sociais* (2.<sup>a</sup> ed.). Gradiva.
- Ramanlal, R., & Gupta, V. (2024). *Physiology, Vasodilation*. StatPearls.

- Ranković, G., Mutavdžić, V., Toskić, D., Preljević, A., Kocić, M., Nedin-Ranković, G., & Damjanović, N. (2010). Aerobic Capacity As An Indicator In Different Kinds Of Sports. *Bosnian Journal Of Basic Medical Sciences*, *10*(1), 45–48. <https://doi.org/10.17305/bjbms.2010.2734>
- Rebekić, A., Lončarić, Z., Petrović, S., & Marić, S. (2015). Pearson's or spearman's correlation coefficient - which one to use? *Agriculture*, *21*(2), 47–54. <https://doi.org/10.18047/poljo.21.2.8>
- Richmond, V. L., Wilkinson, D. M., Blacker, S. D., Horner, F. E., Carter, J., Havenith, G., & Rayson, M. P. (2013a). Insulated skin temperature as a measure of core body temperature for individuals wearing CBRN protective clothing. *Physiological Measurement*, *34*(11), 1531–1543. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/11/1531>
- Sawka, M. N., Montain, S. J., & Latzka, W. A. (2001). Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Em Comparative Biochemistry and Physiology Part A* (Vol. 128). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00274-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00274-4)
- Slinker, B. K., & Glantz, S. A. (1988). Multiple linear regression is a useful alternative to traditional analyses of variance. *Em Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* (Vol. 255, pp. 353–367). American Physiology Society. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/ajpregu.1988.255.3.R353>
- Stephenson, L., & Kolka, M. (1985). Menstrual cycle phase and time of day alter reference signal controlling arm blood flow and sweating. *American Physiological Society*, 186–191. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1985.249.2.R186>
- Tsekouras, Y. E., Tambalis, K. D., Sarras, S. E., Antoniou, A. K., Kokkinos, P., & Sidossis, L. S. (2019). Validity and Reliability of the New Portable Metabolic Analyzer PNOE. *Frontiers in Sports and Active Living*, *1*. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00024>
- Uyanık, G. K., & Güler, N. (2013). A Study on Multiple Linear Regression Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *106*, 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.027>
- Vetter, T. R. (2017). Descriptive Statistics: Reporting the Answers to the 5 Basic Questions of Who, What, Why, When, Where, and a Sixth, so What? *Anesthesia and Analgesia*, *125*(5), 1797–1802. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002471>
- Vincent, J. L. (2008). Understanding cardiac output. *Critical Care*, *12*(4). <https://doi.org/10.1186/cc6975>

- Welles, A. P., Xu, X., Santee, W. R., Looney, D. P., Buller, M. J., Potter, A. W., & Hoyt, R. W. (2018). Estimation of core body temperature from skin temperature, heat flux, and heart rate using a Kalman filter. *Computers in Biology and Medicine*, *99*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.05.021>
- Wenger, B. (2002). Medical Aspects of Harsh Environments Human Adaptation to Hot Environments. Em *Department of Defense, Office of The Surgeon General, US Army, Borden Institute* (Vol. 1).
- Wong, B. J., & Hollowed, C. G. (2017). Current concepts of active vasodilation in human skin. Em *Temperature* (Vol. 4, Número 1, pp. 41–59). Routledge. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1200203>
- Xu, X., Karis, A. J., Buller, M. J., & Santee, W. R. (2013). Relationship between core temperature, skin temperature, and heat flux during exercise in heat. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(9), 2381–2389. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2674-z>
- Yokota, M., Karis, A. J., & Tharion, W. J. (2014). Thermal-work strain in law enforcement personnel during chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) training. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, *20*(2), 126–133. <https://doi.org/10.1179/2049396714Y.0000000056>

## APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Tabela n.º 5 - Caracterização da Amostra.

| INDIVÍDUO | SEXO | IDADE | PESO (Kg) | ALTURA (cm) | IMC (Kg/m <sup>2</sup> ) | IMM (Kg) | IMG (%) |
|-----------|------|-------|-----------|-------------|--------------------------|----------|---------|
| C1        | M    | 23    | 80,2      | 175         | 26,15                    | 64       | 15,95   |
| C2        | M    | 22    | 79,05     | 175         | 25,8                     | 63,1     | 16,05   |
| C3        | M    | 27    | 64,25     | 168         | 22,75                    | 50,65    | 16,9    |
| C4        | M    | 23    | 81,95     | 183         | 24,5                     | 71,85    | 7,9     |
| C5        | M    | 27    | 78,65     | 175         | 25,7                     | 66,7     | 10,75   |
| C6        | F    | 24    | 56,8      | 167         | 20,35                    | 43,25    | 19,4    |
| C7        | F    | 20    | 53,2      | 161         | 20,5                     | 39,55    | 21,7    |
| C8        | F    | 23    | 63,45     | 167         | 22,75                    | 45,15    | 24,85   |
| C9        | F    | 20    | 54,9      | 161         | 21,15                    | 41,7     | 20      |

Fonte: Elaboração Própria.

## APÊNDICE B – CIRCUITO DO PROTOCOLO ÀS DIFERENTES TEMPERATURAS



Figura n.º 13 – Circuito do Protocolo às Diferentes Temperaturas.

Fonte: Elaboração Própria.

## APÊNDICE C – CONSENTIMENTO INFORMADO

### DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

**Título do Estudo:** Predição da temperatura interna a partir de métodos não invasivos nos militares que integram equipas nuclear radiológico biológico químico

**Investigador responsável:** Aspirante de Infantaria Rafael Riscado

**E-mail:** riscado.rae@exercito.pt

**Orientador:** Tenente Coronel de Cavalaria Rui Lucena

Eu, abaixo-assinado declaro que:

- a) Fui informado de que o presente estudo visa a realização de um Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) no âmbito do treino físico militar sendo necessária a recolha de dados físicos e fisiológicos com base em testes em laboratório;
- b) Para tal esta prevista a realização das seguintes tarefas pela respetiva ordem:
  - a. Protocolo à Temperatura Ambiente com EPI (18°C-20°C);
  - b. Protocolo à Temperatura Elevada com EPI (25°C-27°C);
- c) É esperado que todos os indivíduos realizem os testes nas mesmas condições de modo que os resultados sejam o mais coerentes e corretos possível;
- d) Fui informado que, no sentido de garantir uma boa performance deveria:
  - a. Todos os participantes devem evitar o consumo de álcool, tabaco, cafeina e prática de desporto intenso e devem ingerir nas 24h anteriores a ambos os testes (temperatura ambiente e temperatura elevada) 45 ml de água por quilograma de peso. Assim sendo, para todos os elementos devem proceder ao cálculo deste valor para todos os intervenientes ou seja: 45 ml x peso do indivíduo. Ex: peso do indivíduo: 65kg:  $65 \times 45 = 2925$  ml de água (sensivelmente 3l);
- e) No que diz respeito à confidencialidade dos meus dados, a identificação dos participantes neste estudo será mantida em anonimato;
- f) Sei que a qualquer momento me posso recusar a participar ou a interromper a participação no presente estudo, sem nenhum tipo de penalização ou repercussão;
- g) Compreendi a informação suprarreferida e tive oportunidade de esclarecer todas as minhas dúvidas.

**Depois de devidamente informado(a) autorizo a participação neste estudo.**



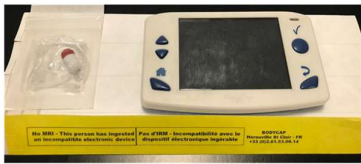



Data: \_\_/\_\_/2024






Assinatura do Participante \_\_\_\_\_

Assinatura do Investigador \_\_\_\_\_

## APÊNDICE D – LISTA DE MATERIAL

**Tabela n.º 6 – Lista de Material.**

| Designação do Material   | Representação  |
|--|--|
| Analizador metabólico PNOE   |    |
| Sensores de Frequência Cardíaca H10 e H9   |    |
| Cápsula e-Celsius + eViewer Performance Monitor                                    |   |
| Sensor temperatura PLUX Biosignals + HUB   |  |
| Fato Tychem F Dupont™ + Luvas Alphatec 38-514 Ansel® + botas de borracha + Mascara |  |
| Medidor de tensão arterial   |  |

| Designação do Material                  | Representação  |
|---|--|
| Balança Tanita V BC-601                 |    |
| Passadeira BH Fitness®<br>Movemia TR800 |    |
| Termómetro digital                      |    |
| SandBags                                |   |
| Steps                                   |  |

Fonte: Elaboração Própria.

## APÊNDICE E – ESCALAS

### HUMIDADE NA PELE

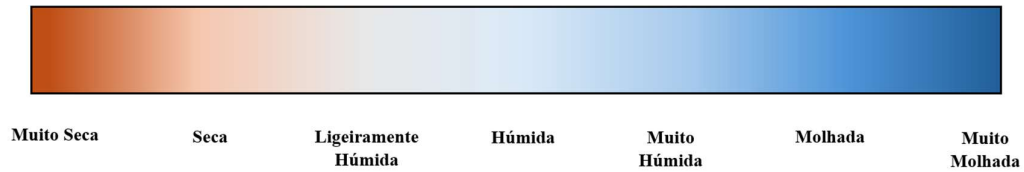


Figura n.º14 – Escala da Humidade na Pele.

Fonte: Elaboração Própria Adaptado de Garson (2016).

### SENSAÇÃO TÉRMICA

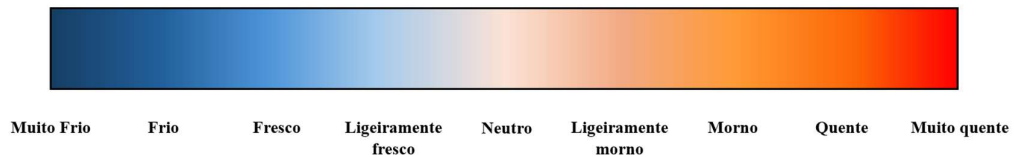


Figura n.º 15– Escala da Sensação Térmica.

Fonte: Elaboração Própria Adaptado de Garson (2016).

### CONFORTO TÉRMICO

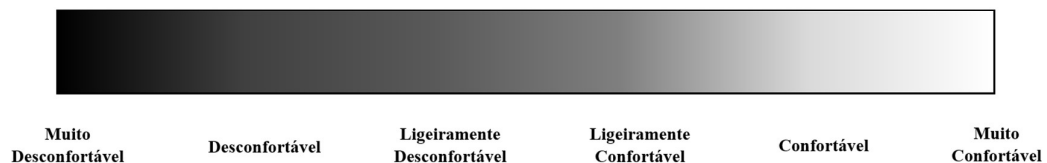


Figura n.º 16– Escala do Conforto Térmico.

Fonte: Elaboração Própria Adaptado de Garson (2016).

## PERCEÇÃO SUBJETIVA DO ESFORÇO



Figura n.º 17 – Escala da Percepção Subjetiva do Esforço.

Fonte: Elaboração Própria Adaptado de Borg (1982).

## APÊNDICE F – ANÁLISE RESULTANTE DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Tabela n.º 7 – Análise Estatística Resultante da Regressão Linear Múltipla à Temperatura Ambiente.

|                                     | R                          | R quadrado       | R quadrado ajustado                    | Erro padrão da estimativa |             |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------|--|---------------------------|-------------|
| <b>Modelo</b>                       | 0,468                      | 0,219            | 0,211                                  | 0,23935                   |             |
|                                     | <b>Soma dos Quadrados</b>  | <b>df</b>        | <b>Quadrado Médio</b>                  | <b>Z</b>                  | <b>Sig.</b> |
| <b>Regressão</b>                    | 3,106                      | 2                | 1,553                                  | 27,107                    | < 0,001     |
| <b>Resíduo</b>                      | 11,056                     | 193              | 0,057                                  |                           |             |
| <b>Total</b>                        | 14,162                     | 195              |  |                           |             |
|                                     | <b>Coefficientes não B</b> | <b>Erro Erro</b> | <b>Coefficientes padronizados Beta</b> | <b>t</b>                  | <b>Sig.</b> |
| <b>(Constante)</b>                  | 33,517                     | 0,566            |  | 59,187                    | < 0,001     |
| <b>Temperatura na Pele</b>          | 0,097                      | 0,017            | 0,387                                  | 5,57                      | < 0,001     |
| <b>Valor da Frequência Cardíaca</b> | 0,004                      | 0,002            | 0,164                                  | 2,441                     | 0,016       |

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela n.º 8 – Análise Estatística Resultante da Regressão Linear Múltipla à Temperatura Elevada.

|                                     | R                          | R quadrado       | R quadrado ajustado                    | Erro padrão da estimativa |             |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------|--|---------------------------|-------------|
| <b>Modelo</b>                       | 0,751                      | 0,564            | 0,56                                   | 0,19916                   |             |
|                                     | <b>Soma dos Quadrados</b>  | <b>df</b>        | <b>Quadrado Médio</b>                  | <b>Z</b>                  | <b>Sig.</b> |
| <b>Regressão</b>                    | 11,402                     | 2                | 5,701                                  | 143,734                   | < 0,001     |
| <b>Resíduo</b>                      | 8,805                      | 222              | 0,04                                   |                           |             |
| <b>Total</b>                        | 20,207                     | 224              |  |                           |             |
|                                     | <b>Coefficientes não B</b> | <b>Erro Erro</b> | <b>Coefficientes padronizados Beta</b> | <b>t</b>                  | <b>Sig.</b> |
| <b>(Constante)</b>                  | 27,373                     | 1,114            |  | 24,568                    | < 0,001     |
| <b>Temperatura na Pele</b>          | 0,247                      | 0,032            | 0,432                                  | 7,656                     | < 0,001     |
| <b>Valor da Frequência Cardíaca</b> | 0,008                      | 0,001            | 0,403                                  | 7,158                     | < 0,001     |

Fonte: Elaboração Própria.

## APÊNDICE G – ANÁLISE DOS TESTES DE HIPÓTESES

**Tabela n.º 9 – Análise Estatística Resultante dos Testes de Hipóteses à Temperatura Ambiente.**

| Sumarização de Teste de Hipótese |  |   |                     |                           |
|----------------------------------|--|---|---------------------|---------------------------|
|                                  | Hipótese nula  | Teste                                     | Sig. <sup>a,b</sup> | Decisão                   |
| 1                                | As medianas de Temperatura Interna são iguais nas categorias de Sexo.          | Amostras Independentes de Teste de Median | <,001 <sup>c</sup>  | Rejeitar a hipótese nula. |
| 2                                | As medianas de Valor da Frequência Cardíaca são iguais nas categorias de Sexo. | Amostras Independentes de Teste de Median | ,332 <sup>c</sup>   | Reeter a hipótese nula.   |
| 3                                | As medianas de Temperatura na Pele são iguais nas categorias de Sexo.          | Amostras Independentes de Teste de Median | <,001 <sup>c</sup>  | Rejeitar a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

b. A significância assintótica é exibida.

c. Sig. Assintótica Corrigida pela Continuidade de Yates

**Fonte: Elaboração Própria.**

**Tabela n.º 10 – Análise Estatística Resultante dos Testes de Hipóteses à Temperatura Elevada.**

| Sumarização de Teste de Hipótese |  |   |                     |                           |
|----------------------------------|--|---|---------------------|---------------------------|
|                                  | Hipótese nula  | Teste                                     | Sig. <sup>a,b</sup> | Decisão                   |
| 1                                | As medianas de Temperatura Interna são iguais nas categorias de Sexo.          | Amostras Independentes de Teste de Median | <,001 <sup>c</sup>  | Rejeitar a hipótese nula. |
| 2                                | As medianas de Valor da Frequência Cardíaca são iguais nas categorias de Sexo. | Amostras Independentes de Teste de Median | ,465 <sup>c</sup>   | Reeter a hipótese nula.   |
| 3                                | As medianas de Temperatura na Pele são iguais nas categorias de Sexo.          | Amostras Independentes de Teste de Median | <,001 <sup>c</sup>  | Rejeitar a hipótese nula. |

a. O nível de significância é ,050.

b. A significância assintótica é exibida.

c. Sig. Assintótica Corrigida pela Continuidade de Yates

**Fonte: Elaboração Própria.**

# APÊNDICE H – FOLHAS DE REGISTO LABORATORIAL

Tabela n.º 11 – Folha de Registo do Protocolo à Temperatura Ambiente.

| INDIVÍDUO                 |      | PROTOCOLO AMBIENTE |          |               |                  |                  |     |                  |                   | GDH      |               | PILULA         |  | OBSERVAÇÕES |
|---------------------------|------|--------------------|----------|---------------|------------------|------------------|-----|------------------|-------------------|----------|---------------|----------------|--|-------------|
| CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA |      |                    |          |               | ESCALAS          |                  |     |                  | FC / TEMP INTERNA |          | MINUTOS       | DESCANSO       |  |             |
| IDADE                     | SEXO | ALTURA (cm)        | Pá.resp. | FC.resp.(lpm) | CONFORTO TÉRMICO | SENSAÇÃO TÉRMICA | PSE | HUMIDADE NA PELE | FC                | Temp.int |               |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  |                   |          | PRÉ PROTOCOLO |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC                | Temp.int |               |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 4 MIN         | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 5 MIN         |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 9 MIN         | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 10 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 14 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 15 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 19 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 20 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 24 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 25 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 29 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 30 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                    |          |               |                  |                  |     |                  | FC                | Temp.int |               | 34 MIN         |  |             |
|                           |      |                    |          |               | Reposo           |                  |     |                  |                   |          |               |                |  |             |

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela n.º 12 – Folha de Registo do Protocolo à Temperatura Elevada.

| INDIVÍDUO                 |      | PROTOCOLO CALOR |          |               |                  |                  |     |                  |                   | GDH      |               | PILULA         |  | OBSERVAÇÕES |
|---------------------------|------|-----------------|----------|---------------|------------------|------------------|-----|------------------|-------------------|----------|---------------|----------------|--|-------------|
| CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA |      |                 |          |               | ESCALAS          |                  |     |                  | FC / TEMP INTERNA |          | MINUTOS       | DESCANSO       |  |             |
| IDADE                     | SEXO | ALTURA (cm)     | Pá.resp. | FC.resp.(lpm) | CONFORTO TÉRMICO | SENSAÇÃO TÉRMICA | PSE | HUMIDADE NA PELE | FC                | Temp.int |               |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  |                   |          | PRÉ PROTOCOLO |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC                | Temp.int |               |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 4 MIN         | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 5 MIN         |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 9 MIN         | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 10 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 14 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 15 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 19 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 20 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 24 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 25 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC I              | TEMP INT | 29 MIN        | 1 MIN DESCANSO |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC F              | TEMP INT | 30 MIN        |                |  |             |
|                           |      |                 |          |               |                  |                  |     |                  | FC                | Temp.int |               | 34 MIN         |  |             |
|                           |      |                 |          |               | Reposo           |                  |     |                  |                   |          |               |                |  |             |

Fonte: Elaboração Própria.