

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Marcelo de Jesus André

**STRESSE TÉRMICO NO INTERIOR DOS  
EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS DURANTE UMA ONDA  
DE CALOR – INFLUÊNCIA DA EXISTÊNCIA DE  
UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO**

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, na especialidade de Energia e Ambiente, orientada pelo Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo.

Setembro de 2023



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

# **Stresse térmico no interior dos edifícios residenciais durante uma onda de calor – Influência da existência de um sistema de climatização**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

## **Thermal stress inside residential buildings during a heat wave – Influence of the existence of an air-conditioning system**

**Autor**

**Marcelo de Jesus André**

**Orientador**

**António Manuel Mendes Raimundo**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogal** Professor Doutor Avelino Virgílio Fernandes Monteiro  
Oliveira  
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Coimbra

**Coimbra, Setembro, 2023**







## Agradecimentos

Este trabalho representa o fim da vida académica em Coimbra e a conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Esta etapa só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao meu orientador Senhor Professor Doutor António Raimundo, agradeço pela disponibilidade, acompanhamento e partilha de conhecimento, sem os quais não seria possível concretizar este trabalho.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica, pela sua dedicação para transmitirem conhecimento de uma forma enriquecedora.

Aos meus pais, Licínio e Helena, pela forma como sempre me incentivaram a seguir os meus objetivos e pelo esforço que fizeram para que nunca me faltasse nada ao longo destes anos.

Aos meus dois amigos que considero família, Joel e Tiago, que sempre estiveram presentes para me apoiar em tudo.

Aos meus amigos, Luís, Leonardo e José Pedro, por terem sido os melhores companheiros que a vida académica me trouxe.

À Sara, que embora tenha surgido na minha vida depois de todos os mencionados, se tornou imprescindível na realização deste trabalho, estando sempre disponível para me ajudar e motivar a concluir esta etapa.

A todos,  
Muito obrigado!





## Resumo

As ondas de calor (OC) são um dos desastres naturais mais perigosos e, Portugal é especialmente suscetível à ocorrência das mesmas, devido às características do clima e da idade da população. Podendo estas, ter um impacto significativo na saúde humana, no meio envolvente e em diversos setores da sociedade. Contudo, estes acontecimentos têm sido negligenciados (apesar das evidências crescentes dos seus efeitos), uma vez que, os impactos não são imediatamente evidentes.

Estas, podem acontecer em qualquer estação do ano, porém, as que ocorrem durante o verão são particularmente perigosas devido às temperaturas extremamente elevadas que podem alcançar. A exposição a estas temperaturas afeta negativamente os indivíduos, resultando em situações de stresse térmico.

O presente trabalho tem foco na análise da ocorrência de OC, em território nacional, desde o ano de 2001 a 2018, onde foram registadas 60 OC. Contudo, é dado ênfase ao ano de 2003, uma vez que, Portugal enfrentou uma onda de calor extrema, resultando em milhares de mortos.

O controlo da temperatura corporal é fundamental, especialmente em situações de OC. Este estudo procura identificar as condições ambientais em edifícios residenciais que podem levar a níveis críticos de temperatura no hipotálamo das pessoas durante uma OC, desde o estado normal até mesmo poder conduzir à morte.

O objetivo principal deste trabalho passa por avaliar a influência da existência de um sistema de climatização ou, quando este não existe, utilizar como recurso técnicas de arrefecimento corporal alternativas, na amenização do stresse térmico sentido por uma pessoa durante uma OC, quando se encontra no interior de edifícios residenciais típicos. Para o efeito, recorreu-se a dois *softwares*: o *SEnergEd*, que realiza a simulação dinâmica monozona do comportamento térmico e energético de edifícios e o *HuTheReg* que é responsável por simular a resposta termofisiológica do corpo humano, compreendendo a troca de calor e vapor de água com o ambiente externo.

Com o aumento das temperaturas exteriores, é comum as pessoas procurarem refúgio dentro das suas habitações, tornando-se importante estudar o impacto do clima em

edifícios residenciais típicos de Portugal. Para o efeito, são analisados dois tipos de edifícios distintos: um apartamento e uma moradia. No que diz respeito ao apartamento, este é um T3 que se encontra inserido num edifício de cinco andares, onde habitam quatro pessoas. Este, aproveita o sombreamento dos seus vãos envidraçados através das varandas do andar acima. Quanto à moradia, trata-se igualmente de um T3, habitado por quatro pessoas e está localizado num terreno isolado, não possuindo sombreamento nos seus vãos envidraçados.

Os resultados obtidos reforçam a importância de um sistema de climatização, perante a presença de uma OC, pois esses sistemas são capazes de manter a temperatura no interior dos edifícios dentro de níveis aceitáveis. Além disso, demonstram que o recurso a técnicas de arrefecimento corporal alternativas são benéficas pois melhora o conforto térmico das pessoas perante ambientes adversos.

Estas ilações têm implicações importantes para a promoção do bem-estar e da saúde humana em ambientes de OC.

**Palavras-chave:** Onda de Calor, Stresse Térmico, Comportamento Térmico de Edifícios, Resposta Termofisiológica do Corpo Humano, Sistema de Climatização, Técnicas de Arrefecimento Corporal.

[Remover se necessário para garantir que o Abstract inicia numa página ímpar]



## Abstract

Heat waves (HW) are one of the most dangerous natural disasters, and Portugal is particularly susceptible to them due to the climate characteristics and the age of its population. These events can have a significant impact on human health, the environment, and various sectors of society. However, these occurrences have been neglected (despite increasing evidence of their effects) because the impacts are not immediately evident.

HW can occur in any season, but those that happen during the summer are particularly dangerous due to the extremely high temperatures they can reach. Exposure to these temperatures has a negative impact on individuals, resulting in situations of heat stress.

This study focuses on the analysis of HW occurrences in the national territory from 2001 to 2018, with a total of 60 heatwaves recorded. However, particular emphasis is given to the year 2003 when Portugal experienced an extreme HW that resulted in thousands of deaths.

Controlling body temperature is crucial, especially during HW. This study aims to identify the environmental conditions in residential buildings that can lead to critical levels of temperature in the hypothalamus of individuals during a HW, potentially even leading to death.

The main objective of this work is to evaluate the influence of the presence of an air conditioning system or, when it does not exist, the use of alternative body cooling techniques in alleviating the thermal stress experienced by individuals during a heatwave while inside typical residential buildings. For this purpose, two software tools were used: *SEnergEd*, which performs dynamic single-zone simulation of the thermal and energy behavior of buildings, and *HuTheReg*, which simulates the thermophysiological response of the human body, including heat and water vapor exchange with the external environment.

As outdoor temperatures rise, people commonly seek refuge inside their homes, making it important to study the impact of climate on typical residential buildings in Portugal. Two distinct types of buildings are analyzed: an apartment and a detached house. The apartment is a three-bedroom unit located in a five-story building with four occupants. It benefits from shading of its glazed openings through the balconies on the floor above. As

for the detached house, it is also a three-bedroom unit inhabited by four people and is located on an isolated plot, lacking shading in its glazed openings.

The results obtained reinforce the importance of an air-conditioning system in the presence of a HW, as these systems can maintain indoor temperatures at acceptable levels. Additionally, they demonstrate that the use of alternative body cooling techniques is beneficial as it improves the thermal comfort of individuals in adverse environments.

These findings have important implications for promoting well-being and human health during HW.

**Keywords** Heat Wave, Thermal Stress, Thermal Behavior of Buildings, Thermophysiological Response of the Human Body, Air-conditioning system, Body Cooling Techniques.

[Remover se necessário para garantir que o Índice inicia numa página ímpar]



## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xv
Simbologia e Siglas .....	xvii
Simbologia.....	xvii
Siglas .....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Revisão Bibliográfica .....	2
1.3. Objetivos.....	9
2. FERRAMENTAS DE CÁLCULO.....	10
2.1. Simulação do Comportamento Térmico de Edifícios.....	10
2.2. Simulação do Comportamento Termofisiológico do Corpo Humano .....	16
3. OBJETOS EM ESTUDO .....	21
3.1. Edifícios .....	21
3.1.1. Apartamento .....	21
3.1.2. Moradia.....	22
3.2. Elementos Construtivos Passivos .....	24
3.2.1. Soluções construtivas opacas.....	24
3.2.2. Vãos envidraçados .....	25
3.3. Sistemas Energéticos .....	26
3.4. Clima numa Situação de Onda de Calor .....	27
3.5. As Pessoas e a Onda de Calor.....	31
3.6. Situações Analisadas.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1. Comportamento Térmico dos Edifícios .....	37
4.1.1. Apartamento .....	39
4.1.2. Moradia.....	41
4.1.3. Discussão .....	44
4.2. Resposta Termofisiológica do Corpo Humano.....	45
4.2.1. Apartamento .....	46
4.2.2. Moradia.....	53
4.2.3. Discussão .....	54
5. CONCLUSÕES .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXO A – Plantas, perfis de ocupação e perfis de equipamentos não AVAC dos edifícios em estudo .....	64
ANEXO B – Soluções construtivas opacas (sem isolamento térmico).....	68

ANEXO C – Características do vestuário ..... 70



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Frequências absolutas das ondas de calor em Portugal Continental durante o período de 2001-2018, por ano (Oliveira et al., 2020). .....	4
Figura 1.2. Frequências absolutas das ondas de calor em Portugal Continental durante o período de 2001-2018, por mês (Oliveira et al., 2020). .....	5
Figura 1.3. Temperaturas máximas diárias registadas nas principais cidades dos 18 distritos de Portugal continental durante a OC de 2003 (Oliveira et al., 2020). .....	6
Figura 1.4. OC de Julho-Agosto de 2003: a) Duração; b) Número diário de óbitos em todo o país (Portugal Continental e ilhas dos Açores e Madeira) (Oliveira et al., 2020).7	
Figura 2.1. Esquema de princípio do método 5R1C (Raimundo, 2008). .....	11
Figura 2.2. Subdivisão do corpo humano em segmentos (Silva, 2021). .....	17
Figura 3.1. Planta do apartamento (Raimundo et al., 2011a). .....	22
Figura 3.2. Implantação da moradia (Raimundo et al., 2011b). .....	23
Figura 3.3. Distribuição geográfica das zonas climáticas de inverno em Portugal Continental (Despacho nº 15793-F/2013, 2013) .....	29
Figura 3.4. Distribuição geográfica das zonas climáticas de verão em Portugal Continental (Despacho nº 15793-F/2013, 2013).....	29
Figura 3.5. Localização geográfica do concelho de Ansião no mapa de Portugal (Google Imagens, 2023) .....	30
Figura 4.1. Temperatura do ar exterior, para o caso sem OC e para as situações com OC com diferença de temperatura de 5, 10 e 15°C. ....	38
Figura 4.2. Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo sem OC (simulação 1 a 4). .....	39
Figura 4.3. Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 5°C (simulação 5 e 6). .....	39
Figura 4.4. Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 10°C (simulação 7 e 8). .....	40
Figura 4.5. Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 15°C (simulação 9 a 12). .....	40
Figura 4.6. Temperaturas ao ar no interior do apartamento, nos casos extremos: sem OC e com OC uma diferença de temperatura de 15°C. ....	41
Figura 4.7. Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo sem OC (simulação 1 a 4). .....	41
Figura 4.8. Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 5°C (simulação 5 e 6). .....	42

Figura 4.9. Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 10°C (simulação 7 e 8).....	42
Figura 4.10. Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 15°C (simulação 9 a 12).....	43
Figura 4.11. Temperaturas ao ar no interior da moradia, nos casos extremos: sem OC e com OC com uma diferença de temperatura de 15°C .....	43
Figura 4.12. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: sem OC, com sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade. ....	47
Figura 4.13. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: sem OC, com sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade. ....	47
Figura 4.14. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: sem OC, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade. ....	48
Figura 4.15. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: sem OC, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade. ....	48
Figura 4.16. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade. ....	49
Figura 4.17. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade. ....	49
Figura 4.18. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, com banhos e para o 1º regime de atividade. ....	50
Figura 4.19. Resultados do <i>HuTheReg</i> para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, com banhos e para o 2º regime de atividade. ....	50
Figura 4.20. Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para avaliar a eficiência da técnica de arrefecimento corporal alternativa (banhos) para o apartamento. ....	51
Figura 4.21. Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para as situações extremas analisadas para o apartamento.....	52
Figura 4.22. Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para avaliar a eficiência da técnica de arrefecimento corporal alternativa (banhos) para a moradia. ....	53
Figura 4.23. Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para as situações extremas analisadas para a moradia. ....	54
Figura A.0.1. Planta do piso 2 do edifício a que pertence o apartamento (Raimundo et al., 2011a).....	64
Figura A.0.2. Perfil de ocupação e de equipamentos não AVAC no apartamento (Raimundo et al., 2011a).....	64
Figura A.0.3. Planta do piso 0 da moradia (Raimundo et al., 2011b).....	66

Figura A.0.4. Planta do piso 1 da moradia (Raimundo et al., 2011b). ..... 66  
Figura A.0.5. Planta do piso 2 da moradia (Raimundo et al., 2011b). ..... 67



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Estados prováveis dos indivíduos em função do valor de temperatura no hipotálamo. ....	3
Tabela 1.2. Número de mortes: observadas, esperadas, excesso e rácio entre observadas/esperadas, em Portugal Continental, no período de 30 de julho a 15 de agosto de 2003 (adaptado de Oliveira et al., 2020). ....	8
Tabela 3.1. Estrutura base (sem isolamento térmico) da envolvente opaca exterior (Saraiva, 2017). ....	24
Tabela 3.2. Características dos vãos envidraçados (Rebello, 2016). ....	26
Tabela 3.3. Eficiências sazonais europeias dos sistemas de ar condicionado da classe energética A+ (European Commission, 2011) ....	27
Tabela 3.4. Critérios para a determinação da zona climática da estação de aquecimento (inverno) (Despacho nº 15793-F/2013, 2013) ....	28
Tabela 3.5. Critérios para a determinação da zona climática da estação de arrefecimento (verão) (Despacho nº 15793-F/2013, 2013) ....	28
Tabela 3.6. Horários das simulações sem banhos (48 fases). ....	32
Tabela 3.7. Horários das simulações com banhos (60 fases). ....	33
Tabela 3.8. Situações analisadas com o <i>software SEnegEd</i> . ....	35
Tabela 3.9. Situações analisadas com o <i>software HuTheReg</i> . ....	36
Tabela B.0.1. Descrição dos elementos construtivos da envolvente opaca interior (Saraiva, 2017). ....	68
Tabela B.0.2. Descrição dos elementos de compartimentação interior (Saraiva, 2017). ....	68
Tabela B.0.3. Descrição dos elementos em contacto com o solo (Saraiva, 2017). ....	69
Tabela C.0.1. Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos noturnos dos dias 28 e 29 de julho (com e sem banhos). ....	70
Tabela C.0.2. Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos noturnos dos dias 30 de julho até 4 de agosto (com e sem banhos). ....	71
Tabela C.0.3. Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos diurnos do dia 28 de julho (com e sem banhos). ....	72
Tabela C.0.4. Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos diurnos dos dias 29 de julho até 4 de agosto (com e sem banhos). ....	73



## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$A_{cl}$  – Área útil do pavimento dos espaços climatizados [m<sup>2</sup>]

$B_i$  – Trocas entre o nodo  $i$  e o compartimento central do sangue [W]

$Cond_i$  – Perdas de calor com o exterior através da condução no nodo  $i$  [W]

$Conv_i$  – Perdas de calor por convecção para a envolvente no nodo  $i$  [W]

$MB_i$  – Metabolismo basal do nodo  $i$  [W]

$Persp_i$  – Perdas de calor devidas à perspiração no nodo  $i$  [W]

$Q_{j,i}$  – Calor transferido por condução do nodo  $j$  para o nodo  $i$  (no interior de cada segmento) [W]

$Rad1_i$  – Perdas por radiação infravermelha no nodo  $i$  [W]

$Rad2_i$  – Perdas por radiação incidente, proveniente do sol ou de uma fonte específica no nodo  $i$  [W]

$Resp_i$  – Perdas de calor por respiração no nodo  $i$  [W]

$Sh_i$  – Geração de calor por tremuras no nodo  $i$  [W]

$Sw_i$  – Perdas de calor devidas à transpiração no nodo  $i$  [W]

$T_{hip}$  – Temperatura no hipotálamo [°C]

$We_i$  – Trabalho externo no nodo  $i$  [W]

$Wi_i$  – Trabalho interno no nodo  $i$  [W]

$cp_b$  – Calor específico do sangue [kg]

$cp_i$  – Calor específico de cada nodo  $i$  [J/(kg.°C)]

$m_b$  – Massa específica do sangue [kg]

$m_i$  – Massa de cada nodo  $i$  [kg]

PMV – Voto médio previsto (*Predicted Mean Vote*)

PPD – Percentagem de pessoas insatisfeitas [%]

$C$  – Custos anuais [€/ano]

$CAE$  – Custo anual equivalente [€/(m<sup>2</sup>.ano)]

$CF$  – *Cash-flow* [€/ano]

$R$  – Rendimentos anuais [€/ano]

$ST$  – Poupanças fiscais [€/ano]

$VLA$  – Valor líquido atual [€]

$VR$  – Valor residual [€]

$i$  – Taxa de atualização [%]

$k$  – Índice representativo de cada ano do período em análise

$n$  – Número de anos do período em análise [anos]

$U_{wdn}$  – Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado [W/(m<sup>2</sup>.K)]

$g_{\perp vidro}$  – Fator solar dos vidros

$g_{\perp 100}$  – Fator solar dos vidros com proteção solar 100% ativa

$ESEER$  – Eficiência energética sazonal de um sistema de climatização em modo de arrefecimento

$ES COP$  – Eficiência energética sazonal de um sistema de climatização em modo de aquecimento

$M$  – Taxa metabólica [met]

## Siglas

5R1C – 5 Resistências e 1 Condensador

AQS – Águas quentes sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

DEM-FCTUC – Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

DGS – Direção-Geral de Saúde

HWDI – Índice de duração da onda de calor (*Heat Wave Duration Index*)

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISO – *International Organization for Standardization*

MiEM – Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica



OC – Onda de Calor

OMM – Organização Meteorológica Mundial

OMS – Organização Mundial de Saúde

RCCTE – Regulamento das Características e Comportamento Térmico dos Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

TRY – Ano de referência (*Test Reference Year*)

UTAs – Unidades de tratamento de ar

[Remover se necessário para garantir que o Primeiro Capítulo inicia numa página ímpar]



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

A Organização Mundial de Saúde (OMS) classifica as ondas de calor (OC) como um dos desastres naturais mais perigosos, destacando, ainda, que esses acontecimentos não têm a devida atenção, uma vez que, os impactos não são imediatamente evidentes.

De realçar que, as alterações climáticas e o aquecimento global têm provocado um aumento nas temperaturas médias no mundo, contribuindo, desta forma, para ocorrências mais frequentes de fenómenos climáticos extremos, incluindo ondas de calor. Podendo estas, ter um impacto significativo na saúde humana, no meio envolvente e em diversos setores da sociedade.

Até ao momento, ainda não foi estabelecida nenhuma definição universal para onda de calor, no entanto, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (WCDMP-No.47, WMO-TD No. 1071) (<https://public.wmo.int/en>), a definição de onda de calor está relacionada com o índice de duração da mesma (HWDI – *Heat Wave Duration Index*), ocorrendo “quando num período de pelo menos seis dias consecutivos, a temperatura máxima do ar é superior em 5°C ao valor médio das temperaturas máximas diárias no período de referência (1961-1990)” (IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera; [www.ipma.pt](http://www.ipma.pt)).

Temperaturas extremamente elevadas relacionadas com as OC podem provocar problemas de saúde, resultando em situações de stresse térmico para os indivíduos. E, segundo a OMS (1969), stresse térmico é classificado como sendo a quantidade de calor que o corpo humano necessita produzir ou dissipar, com a finalidade de manter o equilíbrio térmico. Isto é, ocorre para garantir que a temperatura do corpo permaneça dentro de uma faixa saudável e confortável. Importante, ainda, referir que, quando a temperatura profunda do corpo aumenta acima de 39°C, pode resultar em patologias graves e até mesmo a situações fatais (Raimundo e Figueiredo, 2009).

Estes eventos, tal como referido anteriormente, podem ter variados efeitos adversos no corpo humano devido à exposição prolongada a temperaturas elevadas, levando a aumentos da taxa de mortalidade na população. Isso, depende do tempo que duram as OC,

a sua intensidade e frequência, além do qual vulneráveis são certos grupos de pessoas de acordo com a sua idade, situação demográfica e económica. O golpe de calor é o principal tipo de morte diretamente relacionada com o calor extremo, contudo, outras das causas ligadas são: doenças circulatórias, respiratórias, cerebrovasculares, digestivas e diabetes.

Durante o período de 2001 a 2018, registou-se um total de 60 ondas de calor ocorridas, em Portugal Continental. No entanto, este trabalho, tem principal incidência no ano de 2003, tendo sido este o mais impactante, devido à mortalidade provocada. Durante 18 dias (de 29 de julho a 15 de agosto), foram registados 2004 óbitos (Oliveira et al., 2020). Sendo destes, 1341 do sexo feminino e 663 do sexo masculino. Como prevenção, é fundamental procurar permanecer em locais frescos. No entanto, apenas é possível em edifícios residenciais equipados com sistemas de climatização ou com recurso a algumas técnicas de arrefecimento corporal.

## **1.2. Revisão Bibliográfica**

Eventos climáticos extremos estão a ocorrer com frequência devido às mudanças climáticas, causando diversos efeitos prejudiciais tanto para a biodiversidade, como para a sociedade (Stott et al., 2013; Kong et al., 2020).

Neste contexto, surgem as OC que, de acordo com a literatura não existe uma definição universal, contudo, são fenómenos climatéricos esporádicos, porém ocorrem de forma repetitiva, e são caracterizados por longos períodos de calor intenso que podem durar vários dias. Estas, estão associadas a um aumento nas taxas de morbilidade e mortalidade, afetando sobretudo grupos de risco específicos e vulneráveis, principalmente idosos, pessoas com doenças crónicas e aqueles que estão socialmente isolados, segundo estudos epidemiológicos (Marto, 2005).

A longa exposição pode levar a consequências fisiológicas graves no sistema de termorregulação do ser humano, podendo levar a situações de stresse térmico que, em casos extremos, podem causar doenças graves e até mesmo levar à morte (Rodrigues et al., 2016).

Pode existir a necessidade de aplicação de técnicas de arrefecimento corporal e estratégias de recuperação como forma de diminuição do stresse térmico, tendo como fim, ajudar o indivíduo a recuperar fisicamente e a restaurar o equilíbrio do seu corpo no menor

tempo possível para garantir a saúde e segurança da pessoa. Para além de que, essa estratégia visa melhorar a capacidade do indivíduo na realização de tarefas futuras de forma eficiente (Anjo, 2015).

O controlo da temperatura no corpo humano é fundamental, existindo, assim, a necessidade de identificar as condições ambientais que numa situação de OC podem levar a que a temperatura do hipotálamo atinja valores críticos, nomeadamente, de pessoas no interior de edifícios residenciais para efeitos deste estudo. Raimundo e Figueiredo (2009) apresentaram, após análise de vários casos, estados que podem ocorrer nos indivíduos em função dos valores de temperatura do hipotálamo, como se pode observar na Tabela 1.1. De salientar que, o hipotálamo é uma pequena região localizada no cérebro que, desempenha um papel essencial no controlo de diversas funções, tais como, a regulação da temperatura corporal, controlo do apetite, entre outros.

**Tabela 1.1.** Estados prováveis dos indivíduos em função do valor de temperatura no hipotálamo.

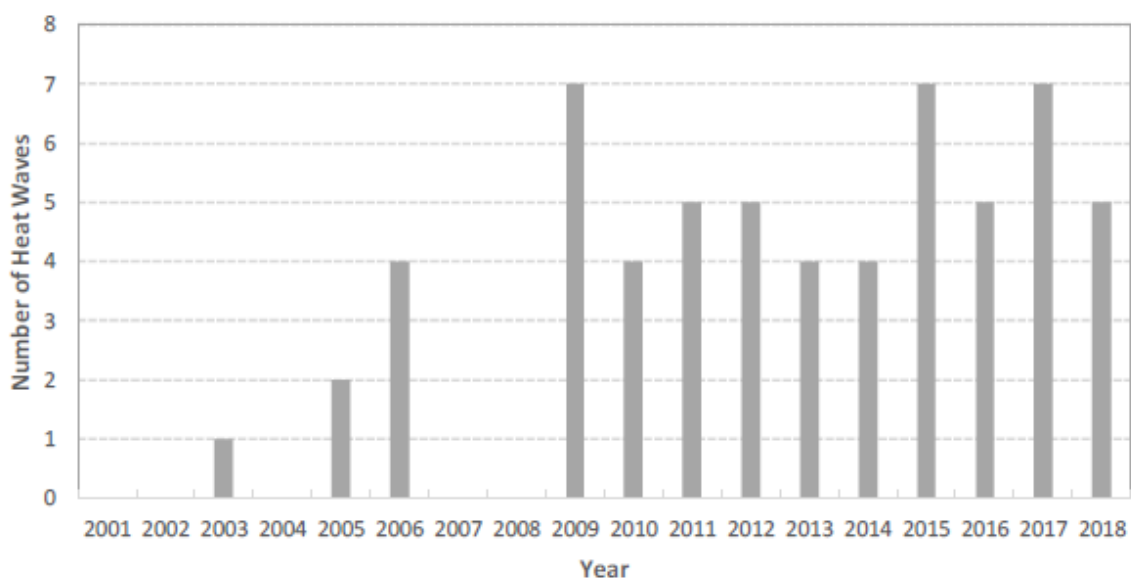
<b>Temperatura no hipotálamo</b>	<b>Estado provável</b>
$34 \leq T_{hip} < 39 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Normal
$39 \leq T_{hip} < 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Hipertermia moderada → Introversão
$41 \leq T_{hip} < 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Hipertermia intensa e descontrolo da termorregulação → Golpe de calor
$42 \leq T_{hip} < 44 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Danos cerebrais permanentes
$T_{hip} \geq 44 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Morte

Relativamente aos valores do hipotálamo, caso os valores da sua temperatura ( $T_{hip}$ ) sejam entre  $34^{\circ}\text{C}$  e  $39^{\circ}\text{C}$  a pessoa encontrar-se-ia num estado normal;  $T_{hip}$  acima de  $39^{\circ}\text{C}$  dar-se-ia a introversão e transpiração violenta;  $T_{hip}$  acima de  $41^{\circ}\text{C}$ , ocorreria o golpe de calor (com interrupção da transpiração do indivíduo e desmaio do mesmo); acima dos  $42^{\circ}\text{C}$  suceder-se-iam danos cerebrais irreversíveis; caso sejam atingidos os  $44^{\circ}\text{C}$  o indivíduo morreria (Raimundo e Figueiredo, 2009).

Como já referido anteriormente, o presente trabalho tem foco na análise da ocorrência de ondas de calor no verão em território nacional, desde o ano de 2001 a 2018 (durante o período do século XXI), onde foram registadas 60 OC. Contudo, é dada uma

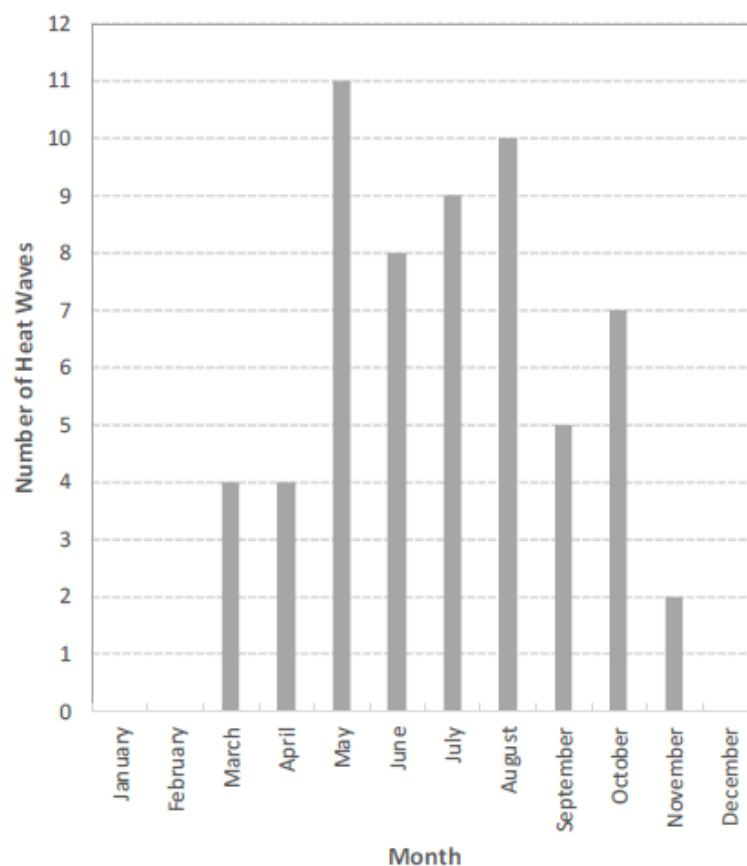
principal ênfase ao ano de 2003, visto que, Portugal (e vários países europeus) enfrentou uma onda de calor extrema, resultando em milhares de mortos.

A Figura 1.1, exibe a frequência absoluta das OC em Portugal Continental e, tal como se pode observar, não foram registadas quaisquer OC nos anos de 2001, 2002, 2004, 2007 e 2008. Por sua vez, nos anos de 2009, 2015 e 2017 sucederam-se sete OC, seguidos dos anos 2011, 2012, 2016 e 2018 com um total de cinco OC. Em suma, a partir de 2009, verificaram-se no mínimo quatro OC por ano (Oliveira et al., 2020).



**Figura 1.1.** Frequências absolutas das ondas de calor em Portugal Continental durante o período de 2001-2018, por ano (Oliveira et al., 2020).

É possível, conforme a Figura 1.2, verificar as 60 OC ocorridas mensalmente e, ainda que, maio representa o mês mais elevado, com um total de 11 OC. De acordo com Oliveira et al. (2020), embora as OC sejam contabilizadas como ocorridas em maio, algumas prologam-se até o mês de junho. Salvo algumas exceções, como o caso dos anos de 2009, 2010, 2011, 2012, 2015 e 2017 (ocorridas especificamente em maio). Sucedem-se, de seguida, os meses com maior número de ocorrências, sendo: agosto com dez, julho com nove, e junho com oito. Posto isto, e em concordância com a Figura 1.2, conclui-se que Portugal é deveras propenso a OC nos meses de maio a agosto.



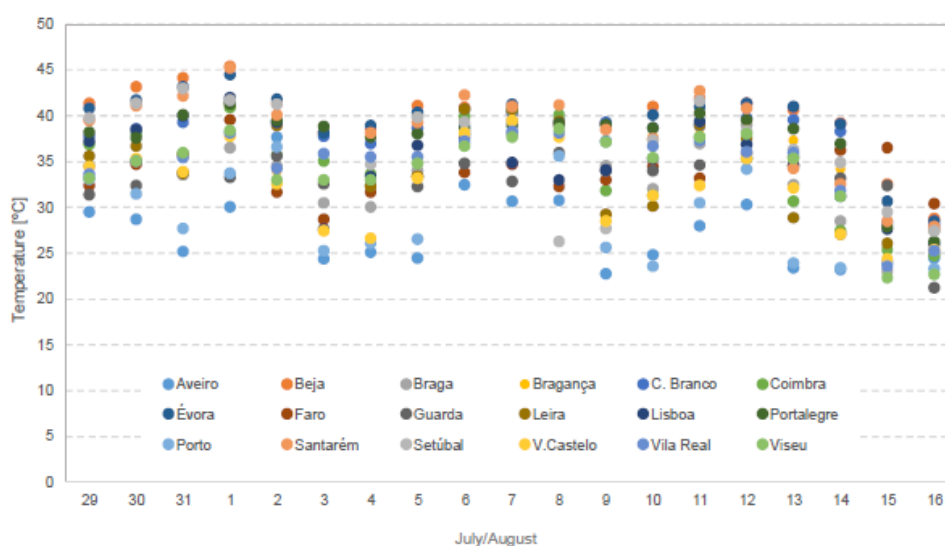
**Figura 1.2.** Frequências absolutas das ondas de calor em Portugal Continental durante o período de 2001-2018, por mês (Oliveira et al., 2020).

No verão de 2003, Portugal Continental, assim como, outros países europeus, enfrentaram uma onda de calor, com efeitos na mortalidade da população em apenas cerca de duas semanas, tornando-se uma verdadeira epidemia na Europa do século XXI (Marto, 2005). O excesso de óbitos relacionados com as OC foi calculado pela comparação do número de óbitos observados e o número de mortos esperados, caso as taxas médias de mortalidade dos anos 2000 e 2001 tivessem sido aplicadas à população (Calado et al., 2004). Neste caso, o período de óbitos observados refere-se ao período de 29 de julho a 15 de agosto. Neste contexto e segundo registos, destacam-se, então, duas mil e quatro mortes (2004) (Oliveira et al., 2020).

Na Figura 1.3, são apresentadas as temperaturas máximas diárias registadas nas estações meteorológicas localizadas nas principais cidades dos 18 distritos de Portugal continental durante a OC de 2003. Dos 339 valores disponibilizados, aproximadamente 21%, ou seja, 72 valores, são iguais ou superiores a 30°C e inferiores a 35°C, enquanto, cerca de

56%, ou seja, 190 valores são iguais ou superiores a 35°C. Durante o período desta OC, a temperatura mais elevada registada, numa capital de distrito de um distrito de Portugal Continental, foi 45,4°C (ocorrendo em Beja, no dia 1 de agosto). Contudo, o valor mais elevado ocorreu em Amareleja (freguesia que pertence ao distrito de Beja, também no dia 1 de agosto) atingindo 47,3°C, valor que continua a ser o mais elevado alguma vez registado em Portugal ([www.ipma.pt](http://www.ipma.pt)).

No que respeita a temperaturas mínimas mais elevadas, durante a OC de 2003, foi registada com 30,7°C e ocorreu, também, a 1 de agosto, em Portalegre. Esse valor representa a temperatura mínima mais alta que já foi registada naquela cidade. Em grande parte do país, as temperaturas mínimas, ficaram acima de 25°C e, em alguns locais, chegaram a ultrapassar os 30°C, como em Proença-a-Nova (Castelo Branco), Caramulo (Viseu) e Portalegre (WMO-WHO, 2015). Sete distritos, nomeadamente, Beja, Bragança, Castelo Branco, Évora, Guarda, Vila Real e Viseu registaram 16 dias consecutivos ou mais, com temperaturas máximas superiores a 32°C. Além disso, Beja, Évora, Santarém e Setúbal registaram 4 ou mais dias com temperaturas acima de 40°C (Calado et al., 2004).



**Figura 1.3.** Temperaturas máximas diárias registadas nas principais cidades dos 18 distritos de Portugal continental durante a OC de 2003 (Oliveira et al., 2020).

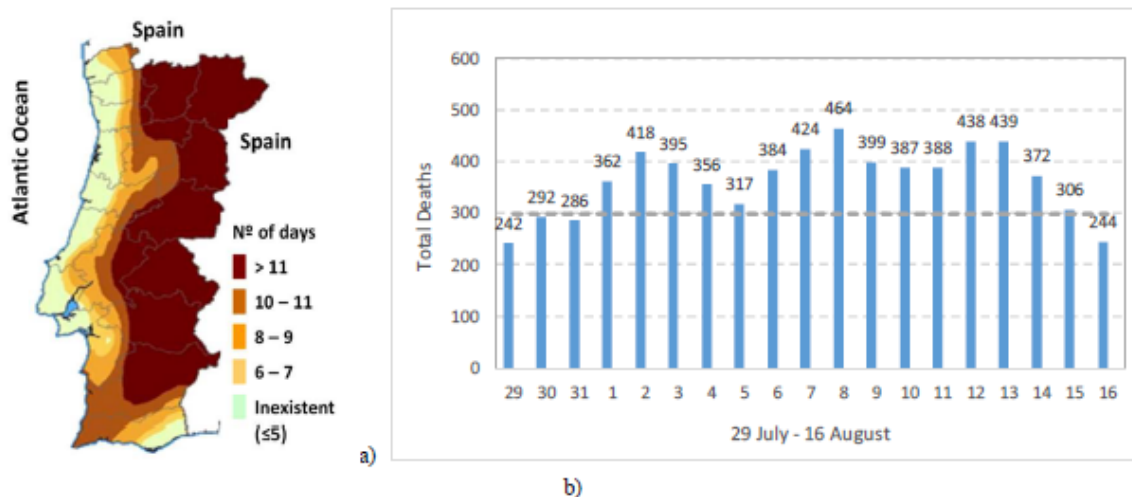
A exposição a temperaturas acima de 35°C durante um período prolongado pode estar relacionada a um aumento no número de mortes. No decorrer do ano de 2003, ocorreram um total de 108 795 mortes em Portugal (incluindo Portugal Continental e as ilhas



dos Açores e da Madeira). Dessas mortes, 6 669 ocorrem no período de 29 de julho a 15 de agosto (Oliveira et al., 2020). Assim sendo, cerca de 6,13% de todas as mortes ocorreram nesses 18 dias (4,93%) do ano.

A Figura 1.4a, mostra onde a OC ocorreu geograficamente, sendo perceptível que ocorreu mais dias, preferencialmente, no interior do país e a Figura 1.4b revela o número diário de óbitos em todo o país (Portugal Continental e ilhas dos Açores e Madeira) no decorrer da OC de 2003. A linha cinzenta do gráfico representa a média diária de mortes em 2003, que foi de 298,1. Essa média, apenas não foi superada nos primeiros três primeiros dias da OC. Os valores mais altos, foram 418 (2 de agosto), 424 (7 de agosto), 464 (8 de agosto), 438 (12 de agosto) e 439 (13 de agosto), obtidos no meio da OC.

Podemos, portanto, afirmar que houve um aumento significativo de mortes durante a OC de 2003, visto que, comparando com os dados de 2000 e 2001, a média diária de mortes era cerca de 300 óbitos por dia durante os meses de julho e agosto (Calado et al., 2004). Ou seja, pode dizer-se que, existe uma relação evidente entre as temperaturas extremamente elevadas que se fizeram sentir e o aumento da mortalidade.



**Figura 1.4.** OC de Julho-Agosto de 2003: a) Duração; b) Número diário de óbitos em todo o país (Portugal Continental e ilhas dos Açores e Madeira) (Oliveira et al., 2020).

Na Tabela 1.2 são apresentados os números de mortes observadas, mortes esperadas, excesso de mortes e rácio entre mortes observadas/esperadas em Portugal Continental durante o período de 30 de julho a 15 de agosto de 2003. O excesso de óbitos, como já foi referido, é calculado “pela comparação do número de óbitos observados entre

30 de julho e 15 de agosto de 2003 e o número de óbitos esperados se a população tivesse estado exposta às taxas de mortalidade médias do biénio 2000-2001 no respetivo período homólogo” (Calado et al., 2004). Um estudo realizado pela DGS (Direção-Geral de Saúde) e pelo Instituto Nacional de Saúde Doutor. Ricardo Jorge (INSA) considerou o período de 2000 e 2001 como o mais apropriado para essa comparação.

Durante os 17 dias, foram registados um total de 6452 óbitos observados (3490 mulheres, 2962 homens), 2004 excesso de mortes (1341 mulheres e 663 homens) que corresponde, a um aumento relativo de 45% em relação ao número esperado de óbitos durante esse período. Estes números evidenciam que, as mulheres são mais vulneráveis ao calor.

**Tabela 1.2.** Número de mortes: observadas, esperadas, excesso e rácio entre observadas/esperadas, em Portugal Continental, no período de 30 de julho a 15 de agosto de 2003 (adaptado de Oliveira et al., 2020).

Mortes observadas			Mortes esperadas			Excesso de mortes			Observadas / Esperadas		
M	H	Total	M	H	Total	M	H	Total	M	H	Total
3 490	2 962	6 452	2 149	2 299	4 442	1 341	663	<b>2 004</b>	1.62	1.29	1.45

De acordo com informação apresentada no estudo de Oliveira et al. (2020), os indivíduos com mais de 75 anos de idade são mais suscetíveis aos efeitos do calor extremo, apresentando as maiores proporções (mortes observadas/esperadas), tanto no sexo masculino, como feminino. Do total de mortes em excesso (2004), 86,68% ocorreram em pessoas com mais de 75 anos e 8,01% no grupo de 65 a 74 anos de idade. Podemos concluir que, pessoas com mais de 65 anos representam 94,69% do total de mortes em excesso. Segundo o INE (Instituto Nacional de Estatística), mais de 20% da população portuguesa tinha idade superior a 65 anos, no ano de 2018 (www.ine.pt). Posto isto, e considerando que, Portugal está entre os países com população mais envelhecida, é possível antecipar impactos significativos de futuros episódios de OC.

O estudo de Calado et al. (2004) revelou que, durante a OC de 2003, houve um aumento significativo na mortalidade e as causas associadas a esse excesso foram as doenças do aparelho circulatório responsáveis por mais de 758 óbitos, com destaque dentro destas para as doenças cerebrovasculares (mais 370,2 óbitos). Além disso, as doenças do aparelho

respiratório causaram mais 255 óbitos, e todas as neoplasias malignas somadas resultaram em mais 131,2 óbitos.

Em jeito de conclusão, os fatores que contribuíram para os elevados números de óbitos na OC de 2003, foram: a intensidade e duração da OC; as altas temperaturas mínimas que, impedem a recuperação do stresse térmico diurno, durante a noite); altos níveis de ozono; inadequada preparação dos serviços de saúde e assistência social; e, ausência de planos de intervenção voltadas para a comunidade (Marto, 2005).

### **1.3. Objetivos**

O objetivo primordial deste trabalho passa por: analisar de que forma a presença de um sistema de climatização pode influenciar na amenização do stresse térmico que um indivíduo sente durante uma onda de calor, quando esse mesmo indivíduo está no interior de edifícios residenciais típicos; avaliar o comportamento termofisiológico do corpo humano quando exposto às condições ambientais interiores dos edifícios residenciais resultantes de OC de diversas intensidades; quantificar o risco de introversão, hipertermia moderada, hipertermia intensa, danos cerebrais permanentes e morte; e, por fim, avaliar a eficácia de técnicas de arrefecimento alternativas no casos do edifício não possuir sistema de climatização.

Para o efeito, recorrer-se-á a dois softwares desenvolvidos no DEM-FCTUC denominados de *SEnergEd* e *HuTheReg*. O primeiro programa realiza a simulação dinâmica monozona do comportamento térmico e energético de edifícios. Por sua vez, o segundo programa, é responsável por simular a resposta termofisiológica do corpo humano, compreendendo a troca de calor e vapor de água com o ambiente externo.

## 2. FERRAMENTAS DE CÁLCULO

Este capítulo destina-se à apresentação e explicação dos *softwares* utilizados para efeitos do presente estudo. Nomeadamente, o *SEnergEd* para realizar a simulação do comportamento térmico de edifícios e o *HuTheReg* para simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano.

### 2.1. Simulação do Comportamento Térmico de Edifícios

A simulação do comportamento térmico de edifícios é feita com recurso à versão v4.1.1. do programa *SEnergEd* (Raimundo, 2017; Costa, 2018). Este *software* permite ao utilizador simular o comportamento térmico e energético do edifício em questão e, simultaneamente, fazer uma análise económica do seu ciclo de vida completo através do Custo Anual Equivalente (*CAE*). Estes cálculos são efetuados com base no modelo de simulação dinâmica horária monozona 5R1C, formulado na norma ISO 13790 (2006) e descrito, detalhadamente, por Raimundo (2008).

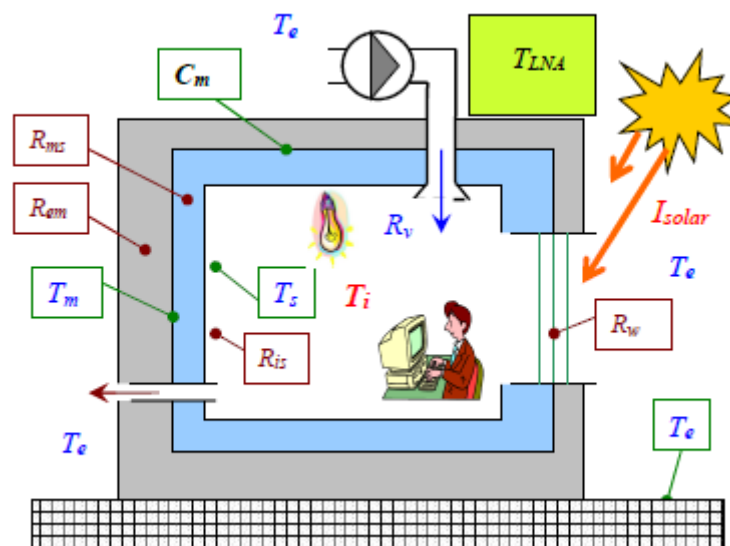
O programa *SEnergEd* foi validado por Claro (2015), através da comparação entre os consumos energéticos anuais reais da Escola Secundária de Avelar Brotero e os consumos energéticos previstos pelo *software*. Desta comparação, resultou uma diferença de apenas 0,75%.

O *software SEnergEd* já foi utilizado em Dissertações de MiEM, nomeadamente por Rebelo (2016) e Saraiva (2017) que analisaram o ponto ótimo de rentabilidade económica dos envidraçados e das soluções construtivas opacas, respetivamente, de edifícios localizados em Portugal. Na sua conceção original, o programa apenas permitia o controlo do funcionamento dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) por *set-points* de temperatura interior, sendo que Costa (2018) implementou o controlo destes sistemas de climatização por *set-points* do Voto Médio Previsto (*Predicted Mean Vote*, PMV) conforme a norma ISO 7730 (2005). Passando, assim, a ser possível definir um nível de conforto térmico, em função da atividade metabólica e do isolamento do vestuário previstos para o espaço, climatizando o espaço em função deste valor.

Para que a simulação dos diferentes casos seja correta, é necessário fornecer ao programa informação relacionada com a utilização do edifício, os seus elementos construtivos e o tipo de equipamentos (AVAC ou não) que possui. Por se tratar de um trabalho de continuidade, os parâmetros utilizados no *SEnergEd* são os determinados e devidamente justificados por Rebelo (2016) e Saraiva (2017).

Os dados mensais resultam da estimativa de meses considerados representativos, ou seja, aqueles que compartilham padrões climáticos semelhantes aos observados noutros anos. Desta forma, os dados climáticos de um ano são compreendidos por informações mensais recolhidas de diversos anos, constituindo um ano de referência (*Test Reference Year, TRY*).

O modelo é conhecido como 5R1C por se basear num circuito de analogia reo-elétrica com cinco resistências e uma capacitância (Raimundo, 2008). Este método assenta numa metodologia de simulação horária anual (8 760 horas) de um espaço monozona representado esquematicamente na Figura 2.1. Esquema de princípio do método 5R1C (Raimundo, 2008). Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Esquema de princípio do método 5R1C (Raimundo, 2008).

É efetuada a distinção entre a temperatura do ar no interior da zona útil ( $T_i$ ), a temperatura média das superfícies da envolvente em contato com o ar interior ( $T_s$ ) e a temperatura média da massa térmica ( $T_m$ ).

Em termos de resistências, tem-se:

$R_{ms}$  – Resistência térmica entre a massa térmica e as superfícies interiores dos elementos opacos [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

$R_{em}$  – Resistência térmica entre o exterior e a massa térmica dos elementos opacos [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

$R_{is}$  – Resistência térmica entre as superfícies interiores e o ar interior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

$R_v$  – Resistência térmica associada ao caudal de ar novo introduzido no espaço [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

$R_w$  – Resistência térmica dos vãos envidraçados entre o exterior e o ar interior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ].

Em termos de capacitância, tem-se:

$C_m$  – Massa de inércia, suposta concentrada no interior dos elementos opacos da envolvente [ $J/^\circ C$ ].

A radiação solar incidente é representada por ( $I_{solar}$ ), a temperatura dos locais não climatizados por ( $T_{LNA}$ ) e a temperatura do ar exterior por ( $T_e$ ).

De acordo com Raimundo (2008), para que o modelo implementado seja válido, é necessário cumprir os seguintes critérios: todos os espaços úteis têm os mesmos *set-points* (temperatura ou PMV) para o ar interior; só pode existir um sistema (ou nenhum) para aquecimento de todos os espaços da zona útil, sendo que se aplica o mesmo critério para o arrefecimento; caso exista um sistema de ventilação mecânica, é preciso assegurar que, no mínimo, 96% do caudal de ar novo ( $Q_{AN}$ ) é injetado na zona útil (ou seja, 4% do caudal de ar novo pode ser fornecido aos espaços não úteis ou outros). Caso um ou mais destes critérios não seja aplicável, torna-se necessário proceder à simulação dinâmica multizona.

Tal como referido anteriormente, o programa *SEnergEd* possui a capacidade de efetuar uma análise económica do ciclo de vida completo de um edifício através do Custo Anual Equivalente (*CAE*). A abordagem adotada para calcular este parâmetro é explicada em Raimundo et al. (2020). Para calcular o valor do *CAE*, é necessário ter o valor do *cash-flow* ( $CF_k$ ) em cada ano através da relação entre rendimentos ( $R_k$ ), poupanças fiscais ( $ST_k$ ) e custos económicos ( $C_k$ ).

$$CF_k = R_k + ST_k - C_k \quad (2.1)$$

Em que, os rendimentos, podem estar associados à venda de energia ou arrendamento de espaços, e as poupanças fiscais à redução do valor de impostos a pagar pela atividade profissional do proprietário do edifício devida aos gastos relacionados com o mesmo.

A determinação dos custos económicos é feita através de:

$$C_k = CT_k + CR_k + CM_k + CW_k + CE_k + CO_k \quad (2.2)$$

incluindo impostos que advêm da propriedade do edifício ( $CT_k$ ), investimentos relacionados com a substituição de equipamentos ( $CR_k$ ), gastos de manutenção das construções e dos sistemas ( $CM_k$ ), despesas com águas, esgoto e coleta de resíduos ( $CW_k$ ), custo da energia consumida ( $CE_k$ ), e outros gastos ( $CO_k$ ), como por exemplo quotas de condomínio (para o apartamento).

À rentabilidade global de um determinado projeto de investimento é atribuída a designação de Valor Líquido Atual ( $VLA$ ) e obtém-se através do somatório dos valores atualizados para o instante inicial dos investimentos ( $I_k$ ), dos *cash-flows* ( $CF_k$ ) e do valor residual ( $VR$ ), o que origina:

$$VLA = \frac{VR}{(1+i)^n} - \sum_{k=0}^n \frac{I_k - CF_k}{(1+i)^k} \quad (2.3)$$

onde  $k$  é um índice representativo de cada ano dos  $n$  anos do período em análise,  $i$  é a taxa de atualização e  $VR$  é o valor residual do edifício, referindo-se à diferença entre o valor do terreno e os custos de fim de vida, no final do período em análise.

Com a obtenção dos valores acima mencionados, é possível determinar o valor do  $CAE$  do edifício por área climatizada com recurso à seguinte equação:

$$CAE = -\frac{VLA}{A_{cl}} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.4)$$

sendo que ( $A_{cl}$ ) é a área útil do pavimento dos espaços climatizados do edifício.

De acordo com Raimundo (2008), para realizar uma simulação, é necessário proceder à introdução da seguinte informação no *software*, para que seja possível aplicar o modelo 5R1C (*Inputs*):

- “- Localização, posição e orientação do edifício;
- Base de dados climatológicos horários para o local de implantação do edifício;
- Layout de implantação do edifício (para efeitos de radiação solar e sombreamentos);
- Características geométricas e propriedades termofísicas e solares da envolvente exterior opaca;
- Características geométricas e propriedades termofísicas e solares dos vãos envidraçados;

- Caracterização dos espaços vizinhos considerados como não úteis (coeficiente  $\tau$ , definido no RCCTE);
- Características geométricas e propriedades termofísicas da envolvente interior com requisitos térmicos;
- Características geométricas e propriedades termofísicas da envolvente interior sem requisitos térmicos;
- Características geométricas e propriedades termofísicas dos elementos internos ao espaço útil, para efeitos de massa térmica (inércia);
- Ganhos (ou perdas) de calor por fontes internas (ocupantes, iluminação, equipamentos, etc.);
- Eficiência dos sistemas de recuperação de energia e suas características de funcionamento;
- Características de funcionamento dos sistemas do tipo *freecooling*;
- Taxas de renovação de ar (caudal de ar novo);
- Perfis de utilização (pessoas, equipamentos, iluminação, etc.);
- Características e perfis de funcionamento dos sistemas AVAC;
- Potência máxima de aquecimento permitida pelos equipamentos instalados ( $P_{h,max}$ );
- Potência máxima de arrefecimento permitida pelos equipamentos instalados ( $P_{c,max}$ );
- *Set-point* para a temperatura mínima do ar interior ( $T_{min}$ );
- *Set-point* para a temperatura máxima do ar interior ( $T_{max}$ );
- *Set-point* para a humidade relativa mínima do ar interior ( $RH_{min}$ );
- *Set-point* para a humidade relativa máxima do ar interior ( $RH_{max}$ ).”

Depois do contributo de Costa (2018), com a implementação de algumas melhorias, é também necessário introduzir os seguintes dados no software para aplicação do modelo:

- Dados relacionados com os ocupantes (intensidade da sua atividade, vestuário e sua variabilidade ao longo de cada hora do ano);
- Velocidade média do ar interior;
- *Set-point* para o PMV mínimo;
- *Set-point* para o PMV máximo.



---

Após a introdução dos dados anteriormente referidos, o *SEnergEd* simula o comportamento térmico, energético e económico do edifício por meio de iterações, resultando em diversos resultados (*Outputs*), tais como:

- Necessidade e o consumo anual de energia global do edifício, que são constituídos pela energia para aquecimento/arrefecimento, para ventilação e bombagem, para equipamentos (não-AVAC), para preparação de AQS, para iluminação, para os espaços complementares e para outros consumidores de energia do edifício;
- Potência térmica necessária fornecida (ou retirada) pelos sistemas de aquecimento/arrefecimento;
- Componentes sensível e latente da necessidade e do consumo do sistema de climatização;
- Horas de funcionamento do sistema de climatização;
- Peso ponderal de cada consumo face ao consumo global do edifício;
- Valor do gasto associado ao consumo de energia, por tipo de consumo;
- Peso ponderal de cada gasto em consumo, em relação ao gasto total;
- Custo Anual Equivalente (e todos os valores associados a este);
- Evolução horária da potência térmica útil necessária;
- Evolução horária da temperatura média do ar no interior do espaço útil e no exterior;
- Evolução horária do PMV;
- Evolução horária da percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD).

O valor da percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD), pode ser estimado através do PMV. Face ao referido na norma ISO 7730 (2005), caso pelo menos 10% dos ocupantes de um determinado espaço declarem insatisfação com o mesmo, este espaço não apresenta condições ideais de conforto térmico.

O *output* mais importante para efeitos do presente estudo é a evolução horária da temperatura média do ar no interior do espaço útil uma vez que, posteriormente, estes valores são necessários para realizar a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano no *software* que será apresentado na secção seguinte.

## 2.2. Simulação do Comportamento Termofisiológico do Corpo Humano

A simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano é feita com recurso ao programa *HuTheReg* (*Human Thermal Regulation*), que tem vindo a ser desenvolvido e aperfeiçoado no decorrer dos últimos anos no DEM-FCTUC (Raimundo, 2016; Raimundo e Figueiredo, 2009; Raimundo et al., 2008, 2012, 2015, 2018).

Este *software* tem por base o modelo de termorregulação do corpo humano proposto, nos anos 70, por Stolwijk para a NASA, que tinha como objetivo prever o comportamento termofisiológico dos astronautas (Stolwijk, 1971). A primeira versão do *HuTheReg* (v01, de 2008) adotou a abordagem metodológica proposta por Tanabe et al. (2002), a qual demonstrou um progresso significativo em relação ao modelo de Stolwijk em 1971. Por sua vez, a versão mais recente deste programa (v37, de 2021) apresenta inúmeras melhorias em relação à original, as quais foram incorporadas considerando os avanços presentes na literatura científica acerca da modelação do sistema de regulação térmica do corpo humano. No presente, o *software HuTheReg* é uma ferramenta extremamente versátil, permitindo a sua aplicação em contextos com temperaturas baixas, elevadas ou neutras, e desempenhando um papel de grande relevância na avaliação e previsão de situações com potencial risco para a saúde humana.

O programa assume a subdivisão do corpo humano em 22 segmentos, conforme é demonstrado na Figura 2.2: face, escalpe, pescoço, peito, abdómen, parte superior das costas, parte inferior das costas, pélvis, ombro direito, ombro esquerdo, braço direito, braço esquerdo, antebraço direito, antebraço esquerdo, mão direita, mão esquerda, coxa direita, coxa esquerda, perna direita, perna esquerda, pé direito e pé esquerdo. Em cada um dos segmentos referidos, são consideradas cinco camadas – núcleo (cérebro, vísceras e ossos), músculos, gordura, pele e vestuário – perfazendo 110 nodos. O 111º nodo é o compartimento sanguíneo central. Os dados contidos em cada um dos nodos são transmitidos, por meio da circulação sanguínea e de impulsos nervosos, ao hipotálamo, o qual subsequentemente traduz essa informação em comandos que provocam respostas no organismo humano.

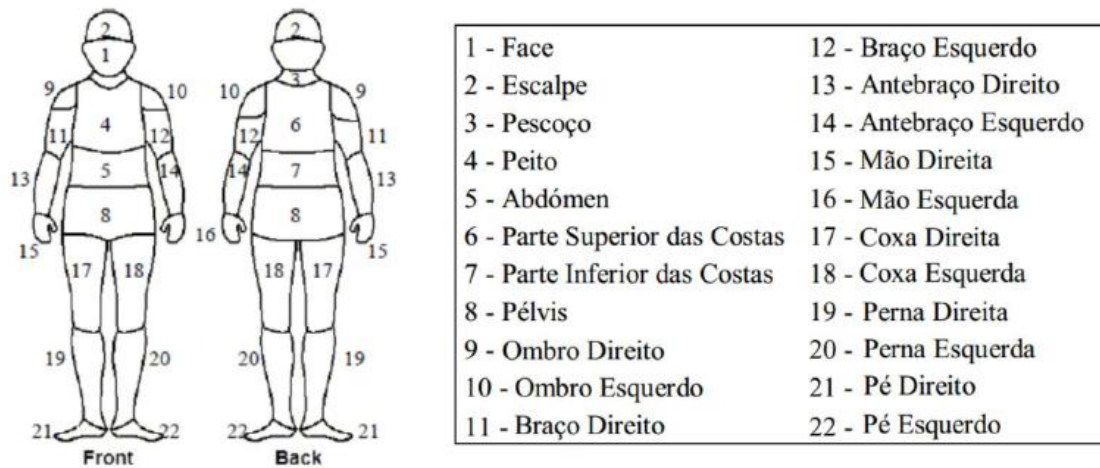


Figura 2.2. Subdivisão do corpo humano em segmentos (Silva, 2021).

O *HuTheReg* possui sete módulos para realizar o cálculo de: (i) resposta termofisiológica do corpo humano; (ii) transporte de calor e humidade através do vestuário; (iii) função respiratória e cardiovascular; (iv) transferência de calor por condução, convecção e radiação e troca de massa entre a superfície exterior da roupa (ou pele) e o ambiente; (v) quantificação e análise do conforto térmico sentido pela pessoa ou estimativa do stresse térmico (hipertérmico ou hipotérmico); (vi) início e evolução de lesões cutâneas (dor e queimadura); (vii) deteção de situações específicas no interior do corpo humano (introversão, golpe de calor, danos cerebrais permanentes e morte).

Conforme o modelo proposto por Stolwijk em 1971, a resposta termofisiológica do organismo humano resulta da interação de dois sistemas distintos. O primeiro sistema, chamado de sistema passivo, engloba a produção de calor metabólico, as trocas de calor que ocorrem internamente entre diferentes áreas do corpo e as trocas de calor entre o corpo e o ambiente externo. O segundo sistema, conhecido como sistema ativo ou sistema de termorregulação, é controlado pelo hipotálamo e age por meio de mecanismos como vasodilatação, transpiração, vasoconstrição e tremores musculares.

Com exceção do nodo que representa o fluxo sanguíneo, que é o nodo 111, a variação da temperatura ( $T$ ) ao longo do tempo ( $t$ ) num nodo específico ( $i$ ) é descrita pela seguinte equação (Raimundo e Figueiredo, 2009):

$$m_i \cdot cp_i \cdot \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^{110} Q_{j,i} + MB_i + Wi_i + We_i + Sh_i - B_i - Resp_i - Persp_i - Sw_i - Cond_i - Conv_i - Rad1_i - Rad2_i \quad (2.5)$$

em que  $m_i$  é a massa e  $cp_i$  o calor específico de cada nodo.  $Q_{j,i}$  é o calor transferido por condução do nodo  $j$  para o nodo  $i$  (no interior de cada segmento). A quantidade de calor gerada é determinada pela soma do metabolismo basal ( $MB_i$ ), do trabalho interno realizado pelo corpo ( $Wi_i$ ), do trabalho externo ou movimento ( $We_i$ ), e dos tremores ( $Sh_i$ ), sendo que esta última contribuição ocorre exclusivamente na camada muscular. A troca de calor entre todas as camadas locais e o compartimento sanguíneo central, através da circulação sanguínea, é considerada por  $B_i$ . A perda de calor por respiração ( $Resp_i$ ) é composta por uma parte sensível e uma parte latente, e a sua distribuição tem por base os coeficientes propostos por Fiala et al. (1999), onde são atribuídos 20% ao nodo do núcleo da face, 25% ao nodo do músculo da face, 25% ao nodo do músculo do pescoço e 30% ao nodo do núcleo do peito (pulmões). A perda de calor devido à evaporação envolve duas partes: a perspiração ( $Persp_i$ ) e a transpiração ( $Sw_i$ ), ambas dependem da temperatura corporal, das características do vestuário e da pressão parcial de vapor de água na superfície da pele e no ar circundante. As transferências de calor com o exterior através da condução ( $Cond_i$ ) acontecem quando há contato com superfícies externas e ocorrem exclusivamente na camada mais externa de cada um dos 22 segmentos nos quais o corpo humano é dividido, correspondendo a um nodo de vestuário (segmentos vestidos) ou de pele (segmentos nus). Em vez da condução de calor, nessas áreas externas, ocorrem trocas de calor com o ar ambiente por meio da convecção ( $Conv_i$ ), da radiação infravermelha ( $Rad1_i$ ) e da radiação incidente ( $Rad2_i$ ) proveniente do sol, de uma fonte específica ou de ambas.

A equação a ser empregue para calcular o balanço térmico no compartimento sanguíneo central é a seguinte (Raimundo e Figueiredo, 2009):

$$m_b \cdot cp_b \cdot \frac{\partial T_b}{\partial t} = \sum_{i=1}^{110} B_i \quad (2.6)$$

em que  $m_b$  é a massa e  $cp_b$  o calor específico do sangue.

A capacidade térmica de cada nodo é determinada com base no calor específico do tecido presente em cada nodo. Supõe-se que a quantidade de sangue no compartimento sanguíneo central seja de 2,5 litros. De acordo com Tanabe et al. (2002), para um indivíduo

---

com características de referência, os valores do calor específico assumidos para cada tipo de tecido são os seguintes: 0,580 Wh/(kg.°C) para os ossos, 0,696 Wh/(kg.°C) para a gordura corporal e 1,044 Wh/(kg.°C) para outros tecidos.

O programa *HuTheReg*, simula o comportamento termofisiológico de acordo com cenários sucessivos, cada um dos cenários é chamado de “fase”. Na sua versão mais recente (v37, de 2021), o programa está habilitado para que cada simulação possa conter até 60 fases (ao contrário da versão anterior, na qual o número máximo de fases por simulação era 20). Cada fase é definida por um ambiente com uma temperatura específica e particularidades com a atividade da pessoa, o vestuário que está a usar, à comida/bebida que consome e à forma como efetua trocas de calor com o meio envolvente. Se algum dos elementos anteriores for modificado, é requerida a criação de uma nova fase.

As informações relacionadas com cada fase devem ser inseridas em ficheiros individuais com um formato específico, que pode ser acedido por meio de um editor de texto simples, como o *Notepad* ou *Wordpad*, por exemplo. Cada ficheiro de dados deve ter o nome da situação a ser simulada, utilizando no máximo 8 caracteres. A fase correspondente em cada ficheiro é identificada pela extensão correspondente, por exemplo, "Exemplo.p01," "Exemplo.p02," ..., "Exemplo.p60". Além disso, é necessário criar um ficheiro para os dados globais, que deve ter o mesmo nome dos restantes, mas com a extensão "p00," por exemplo, "Exemplo.p00." Todos os arquivos de dados têm a mesma estrutura, exceto o arquivo de dados globais (o \*.p00), que possui uma estrutura diferente.

No ficheiro de dados globais, são estabelecidos os seguintes elementos: o total de fases a serem simuladas, os parâmetros que controlam a simulação, as características físicas da pessoa (como altura, peso e percentagem de gordura corporal), os valores de referência para os parâmetros cardíacos em repouso (frequência cardíaca e pressão arterial), o nível de condicionamento físico da pessoa e a sua condição térmica inicial.

No ficheiro dedicado a cada fase, são definidos valores globais e específicos para os 22 segmentos em que o corpo humano é dividido. Os valores gerais a serem especificados incluem: o nome da fase; sua duração; o intervalo de tempo entre os resultados impressões de resultados; o nível de atividade física da pessoa; sua postura (de pé, sentada, deitada de barriga para cima, deitada de barriga para baixo); sua orientação (norte, sul, este, oeste); a metodologia usada para calcular os coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação; os fluxos de radiação incidente nas várias direções; e as características da comida

e bebida ingerida. Os valores a serem especificados para cada um dos 22 segmentos incluem: o tipo de ambiente envolvente (ar ou água); as propriedades termofísicas do vestuário (resistência térmica, permeabilidade ao vapor, emissividade radiativa, massa e calor específico); as características do ambiente externo (temperatura, humidade relativa e velocidade); e a temperatura média radiante (Silva, 2021).

Após inserir os dados e configurar o número de fases, basta executar o programa, fornecendo o nome base dos ficheiros. Após a simulação, o software produzirá os resultados em forma de quatro ficheiros separados, todos com o mesmo nome base dos ficheiros de dados, mas com as extensões ".res", ".tsk", ".grl" e ".flx".

O ficheiro com a extensão ".res" fornece um resumo da evolução da simulação em intervalos de tempo pré-definidos. Este arquivo tende a ser bastante extenso, pois regista todos os cálculos realizados, pode ser aberto usando um editor de texto.

A previsão, ao longo do tempo, das temperaturas em cada um dos 111 nodos e dos fluxos de calor envolvidos surge nos ficheiros com as extensões ".tsk," ".grl," e ".flx". Para analisar e representar graficamente esses dados, é necessário abrir esses ficheiros no *Excel*. O ficheiro com a extensão ".tsk" contém informações sobre as temperaturas da pele nos 22 segmentos, bem como as temperaturas máxima, média e mínima da pele. O ficheiro com a extensão ".grl" contém informações sobre as temperaturas das camadas internas de regiões específicas, além de apresentar as temperaturas globais para o corpo. Por último, o arquivo com a extensão ".flx" apresenta os valores globais para os fluxos de calor sensível e latente, independentemente de terem sido gerados, perdidos ou acumulados pelo corpo (Silva, 2021).

### 3. OBJETOS EM ESTUDO

Este capítulo serve para expor quais os objetos em estudo. Isto é, definir os edifícios em estudo (são dois tipos de edifícios residenciais, um apartamento e uma moradia), os elementos construtivos passivos (com a apresentação das soluções construtivas opacas e dos vãos envidraçados) e os sistemas energéticos.

Para além disso, são aqui apresentados os dados a utilizar quer com o *SEnergEd* (para efetuar a simulação do comportamento térmico dos edifícios em causa), quer com o *HuTheReg* (para realizar a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano) e as situações analisadas.

#### 3.1. Edifícios

A presente secção tem como finalidade apresentar informações detalhadas relativamente aos edifícios usados nas simulações, mais concretamente, edifícios residenciais (um apartamento e uma moradia).

##### 3.1.1. Apartamento

O apartamento em estudo foi considerado, pela primeira vez, por Raimundo et al., (2011a) e é nesse documento que surge toda a informação de forma detalhada. Este, está inserido num edifício de cinco andares, sendo composto por uma garagem compartilhada no piso -1; dois espaços comerciais no piso 0; e, por fim, dois apartamentos, um com três quartos (T3) e outro com quatro quartos (T4), em cada um dos restantes pisos de habitação (piso 1, 2 e 3). Desta forma, totalizam-se oito unidades autónomas do edifício, sendo seis delas para fins residenciais e duas para fins comerciais. O edifício tem, em áreas de circulação comum, elevadores e uma escada de serviço sem acesso direto para o exterior. A entrada principal do edifício está localizada na fachada voltada para sul.

O apartamento é um T3, localizado no piso 2 do edifício e possui uma área útil de pavimento de 109,40 m<sup>2</sup>, um pé-direito de 2,6 m e um fator de forma de 0,28 m<sup>-1</sup>. É composto por uma sala, uma cozinha, duas instalações sanitárias, uma área de circulação

comum, um espaço de arrumo interno e três varandas exteriores. No que respeita aos vãos envidraçados, tem uma área total de 21,32m<sup>2</sup> subdividida em oito vãos, que são sombreados pelas varandas do andar de cima. Na Figura 3.1, encontra-se a planta do apartamento. Para este estudo, é assumido que habitam quatro pessoas no apartamento e que o seu perfil de funcionamento é 100% ao longo do período em análise. No Anexo A é possível observar alguns detalhes do mesmo, nomeadamente, a planta do piso 2, perfil de ocupação e perfil de equipamentos não AVAC.



Figura 3.1. Planta do apartamento (Raimundo et al., 2011a).

Quanto ao aquecimento de águas sanitárias, é assegurado por meio de um sistema que consiste num conjunto de painéis solares térmicos com uma área total de 4,7 m<sup>2</sup>, que estão instalados no telhado com uma orientação voltada para sul e uma inclinação de 40°. Além disso, o sistema conta com o suporte de uma caldeira a gás natural.

### 3.1.2. Moradia

A moradia em estudo foi considerada, pela primeira vez, por Raimundo et al., (2011b) e é nesse documento que pode ser consultada toda a informação de forma detalhada. Trata-se de uma moradia unifamiliar isolada do tipo T3, constituída por três pisos, com área útil de pavimento de 167,13 m<sup>2</sup>, pé-direito médio ponderado de 2,62 m (foi calculado com recurso à média ponderada, pois existem espaços com valores de pé-direito distintos, como



é o caso da sala de estar na qual certas regiões têm pé-direito duplo, ocupando os pisos 1 e 2) e um fator de forma de  $0,79 \text{ m}^{-1}$ .

De salientar ainda que, a moradia está situada num terreno de  $1200 \text{ m}^2$ . Esta, é composta por duas partes: uma diz respeito a uma renovação de um edifício existente e outra a uma parte nova, tendo estas, sido construídas de acordo com as imposições do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE). No que respeita aos vãos envidraçados, os que estão voltados para o exterior têm uma superfície total de  $49,68 \text{ m}^2$  que não possuem nenhum elemento construtivo que promova o seu sombreamento significativo. A parte externa da residência está pintada com tons claros.

Os vários pisos são destinados a diferentes propósitos. No piso 0 (cave), existem espaços fechados usados para arrumos e afins (que não são climatizados) e uma zona coberta que serve de parque de estacionamento (sem paredes laterais). Relativamente ao piso 1 (no qual todos os espaços são considerados como úteis), é composto por um hall de entrada, uma circulação interior, uma cozinha, uma sala (dividida em sala de jantar e de estar), um escritório, dois quartos e duas instalações sanitárias. E por fim, no que respeita o piso 2 (sótão), este resulta do aproveitamento do desvão da cobertura e é constituído por uma zona em mezanino aberto para a sala, uma instalação sanitária e um espaço para arrumos.

Na Figura 3.2, encontra-se a implantação da moradia, as plantas de cada piso são exibidas no Anexo A. Para este estudo, como se trata de um edifício do tipo T3, tal como para o caso do apartamento, é assumido que habitam quatro pessoas no apartamento e que o seu perfil de funcionamento é 100% ao longo do período em análise. Os perfis de ocupação e de equipamentos não AVAC, consideram-se os mesmos dos utilizados para o apartamento e estão expostos no Anexo A.



**Figura 3.2.** Implantação da moradia (Raimundo et al., 2011b).

Quanto ao aquecimento de águas sanitárias, é assegurado por meio de um sistema que consiste num conjunto de painéis solares térmicos com uma área total de 4,0 m<sup>2</sup>, que estão instalados no telhado com uma orientação voltada para sul e uma inclinação de 42°. Além disso, o sistema conta com o suporte de uma caldeira a gás natural.

## 3.2. Elementos Construtivos Passivos

Esta secção é composta por duas subsecções, uma com as características dos elementos construtivos opacos e outra diz respeito aos vãos envidraçados.

### 3.2.1. Soluções construtivas opacas

No presente estudo, é necessário utilizar a mesma estrutura de base para as soluções construtivas opacas (sem incorporação de isolamento térmico) no apartamento e na moradia, para que a análise comparativa seja válida, como é possível observar na Tabela 3.1, ao qual é adicionado à posteriori o isolamento térmico. Foi, portanto, estabelecido um padrão para os elementos da envolvente opaca exterior e interior, assim como os elementos de compartimentação interior (tendo estes, permanecido constantes ao longo das simulações, sem qualquer isolamento) e de seguida, para os elementos em contacto com o solo. No Anexo B, é possível verificar as soluções construtivas opacas respeitantes à envolvente interior, à compartimentação interior e elementos em contacto com o solo.

**Tabela 3.1.** Estrutura base (sem isolamento térmico) da envolvente opaca exterior (Saraiva, 2017).

<u>Envolvente opaca exterior</u>		
Elemento construtivo	Espessura (cm)	Descrição (do exterior para o interior)
Parede	38	Reboco tradicional com 2 cm; Tijolo furado normal de 22 cm; Espaço de ar fracamente ventilado com 1 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2cm.
Pilar + Viga	38	Reboco tradicional com 2 cm; Betão armado (volume de ferro < 1%) de inertes com 22 cm; Espaço de ar fracamente ventilado com 1 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2 cm.

<b>Caixa de estore</b>	35	Reboco tradicional com 2 cm; Caixa de estore com 31 cm de Poliestireno expandido moldado (EPS); Reboco tradicional com 2 cm.
<b>Pavimento sobre o exterior</b>	55	Reboco tradicional com 2cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 38 cm; Betão isolante só com areia leve com 7,5 cm; Betonilha (argamassa) com 5,5 cm; Madeira de carvalho com 2cm.
<b>Cobertura plana sob o exterior</b>	33,3	Seixo (inerte) calcário com 4 cm; Feltro betuminoso com 0,3 cm; Betonilha (argamassa) com 4 cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 23 cm (cerâmico 1 furo de 20 cm + 3 cm de betão); Reboco tradicional com 2cm.

Nas situações em que se considera isolamento térmico, é tido em conta o estudo elaborado por Saraiva (2017). Este, refere que a opção mais económica para isolar termicamente edifícios na região de Ansião (que será o concelho a analisar) é o uso de poliestireno expandido (EPS), como material isolante térmico e deve ser posicionado no meio (dentro da caixa de ar) do elemento construtivo opaco. Tendo concluído que, a espessura ideal para o caso do apartamento é 8 cm e para a moradia 10 cm.

### 3.2.2. Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados considerados neste trabalho, foram mencionados anteriormente por Rebelo (2016). Estes vãos, consistem em janelas protegidas pelo exterior por estore elétrico de réguas metálicas horizontais, com isolamento no interior dessas réguas.

O autor classificou essas janelas, em termos de eficiência energética em diferentes classes, utilizando uma escala que varia de A+ (indicando as janelas mais eficientes energeticamente) a D- (indicando as menos eficientes). Não esquecendo que, a escala é constituída por: A+, A-, B+, B-, C+, C-, D+ e D-. O objetivo passa por identificar qual o ponto ótimo de rentabilidade económica dos edifícios em Portugal.

Do ponto de vista económico, Rebelo (2016) considerou as janelas da categoria C-, as mais rentáveis. Portanto, será este tipo de janela as consideradas neste trabalho. E, estas, são compostas por caixilho de alumínio com corte térmico e vidro duplo incolor (6mm de vidro incolor + 11 mm de caixa de ar + 4 mm de vidro incolor). Na Tabela 3.2, são apresentadas as características do vão envidraçado usado neste estudo e necessárias para realizar a simulação do comportamento térmico do apartamento e da moradia, utilizando o *software SEnergEd*.

**Tabela 3.2.** Características dos vãos envidraçados (Rebello, 2016).

Subclasse energética	$U_{wdn}$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$g_{\perp\text{vidro}}$	$g_{\perp 100}$
C-	2,465	0,786	0,05

Em que o valor  $U_{wdn}$  representa o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado,  $g_{\perp\text{vidro}}$  é o fator solar dos vidros e  $g_{\perp 100}$  é o fator solar dos vidros com proteção solar 100% ativa.

### 3.3. Sistemas Energéticos

Os sistemas energéticos, em edifícios, podem ser divididos em dois tipos principais: tipo A – para climas quentes, moderados e frios; tipo B – para climas muito frios e extremamente frios (Sousa, 2022). Portanto, neste estudo são utilizados os sistemas energéticos tipo A, dado que se trata de um clima quente.

Os sistemas energéticos instalados são baseados num sistema do tipo *Chiller*-Bomba de Calor que opera por meio de um processo de compressão-expansão. No estudo realizado por Pina (2021), foi realizada uma comparação entre o custo do conforto térmico usando sistemas energéticos de classe A+ e sistemas energéticos de classe A+++ . Sendo que, a classe A+ é utilizada para descrever o equipamento energético instalado e a classe A+++ é atribuída aos dispositivos mais eficientes em termos de consumo de energia que estão disponíveis no mercado. Com este estudo, foi possível perceber que o sistema energético de classe A+ é a opção mais vantajosa, por norma, para os edifícios localizados em climas quentes, moderados e frios (tipo A). Ou seja, no que respeita a este trabalho, o foco está na classe energética A+ pois, tal como referido anteriormente, é mais vantajoso para os edifícios presentes no tipo de clima em análise.

Existem dois parâmetros que são fundamentais para determinar a classe energética de um sistema de ar condicionado: o *ESEER* (responsável por avaliar a eficiência energética sazonal de um sistema de climatização em modo de arrefecimento) e o *ES COP* (avalia o desempenho sazonal em modo de aquecimento). Na Tabela 3.3, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio para a eficiência de arrefecimento e de aquecimento.

Os valores médios são os utilizados no *SEnergEd* para definir os sistemas de ar condicionado nos edifícios em análise, tendo em conta, os requisitos estabelecidos pelos regulamentos e diretrizes da União Europeia que se aplicam para os sistemas de ar condicionado (European Commission, 2011).

**Tabela 3.3.** Eficiências sazonais europeias dos sistemas de ar condicionado da classe energética A+ (European Commission, 2011)

	Classe	A+
Eficiência de Arrefecimento	ESEER <sub>min</sub>	5,60
	ESEER <sub>max</sub>	6,10
	ESEER <sub>média</sub>	5,85
Eficiência de Aquecimento	ESOP <sub>min</sub>	4,00
	ESOP <sub>max</sub>	4,60
	ESOP <sub>média</sub>	4,30

De encontro com o que é referido por Saraiva (2017), a ventilação dos edifícios é efetuada por meio de unidades de tratamento de ar (UTAs), que incluem ventiladores com uma eficiência de 70%. É importante observar que no sistema de ventilação, que será forçada, não ocorre a recuperação de calor do ar que é extraído ou rejeitado. No que diz respeito à climatização (aquecimento e arrefecimento), foram definidos valores de referência para a temperatura do ar dentro do intervalo de 21°C a 24°C. Todos os sistemas AVAC estão ativos sempre que o edifício estiver em uso. Para garantir uma comparação justa dos resultados, foi assumido que nenhum dos edifícios possui sistemas de *freecooling*.

### 3.4. Clima numa Situação de Onda de Calor

Tendo em conta, diversos estudos realizados, as mudanças climáticas estão a causar um aumento na frequência e intensidade de fenómenos climáticos extremos, incluindo ondas de calor (Cambão et al., 2018).

Como foi possível perceber e verificar anteriormente neste trabalho, uma onda de calor é caracterizada por um período de pelo menos seis dias consecutivos em que a

temperatura máxima diária é 5°C superior ao valor médio das temperaturas máximas do período de referência.

Já o clima, é o resultado de uma complexa interação de vários fenómenos naturais que ocorrem ao longo do tempo e em diferentes regiões geográficas. Esses fenómenos combinam para criar padrões climáticos específicos, que podem ser quantificados em termos de extensão e duração (Ribeiro, 1993), ou seja, por outras palavras e de forma mais simples, o clima é o conjunto de estados do tempo meteorológico que caracterizam as condições atmosféricas de uma determinada região ao longo do ano.

Em Portugal Continental, o Despacho nº 15793-F/2013 (2013) estabelece três zonas distintas tanto para a estação de arrefecimento, o verão (V1, V2 e V3), quanto para a estação de aquecimento, o inverno (I1, I2 e I3). Essas zonas climáticas são determinadas com base no número de graus-dias de aquecimento ( $GD$ ) e na temperatura média externa ( $\theta_{ext,v}$ ) durante a estação de arrefecimento, conforme apresentado na Tabela 3.4 e na Tabela 3.5, respetivamente.

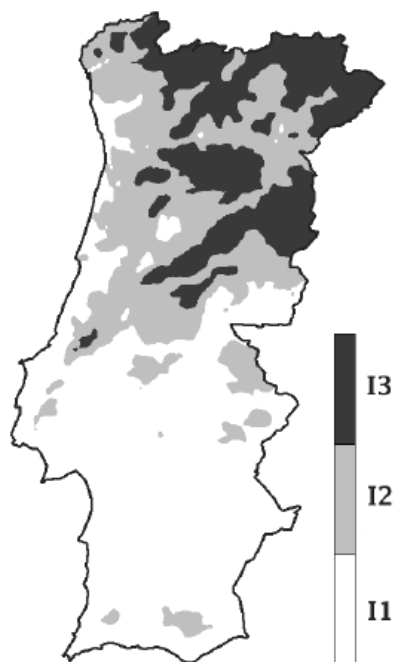
**Tabela 3.4.** Critérios para a determinação da zona climática da estação de aquecimento (inverno)  
(Despacho nº 15793-F/2013, 2013)

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

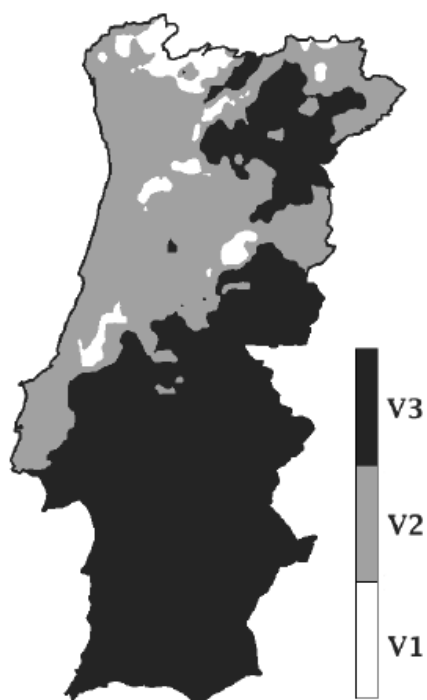
**Tabela 3.5.** Critérios para a determinação da zona climática da estação de arrefecimento (verão)  
(Despacho nº 15793-F/2013, 2013)

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As diferenças climáticas entre essas zonas refletem os diferentes tipos de clima em cada concelho, onde V1 e I1 indicam um clima mais ameno, enquanto V3 e I3 representam um clima mais rigoroso. Na Figura 3.3 é possível observar a distribuição geográfica das zonas climáticas de inverno em Portugal Continental, enquanto na Figura 3.4 surge a distribuição para as zonas climáticas de verão.



**Figura 3.3.** Distribuição geográfica das zonas climáticas de inverno em Portugal Continental (Despacho nº 15793-F/2013, 2013)



**Figura 3.4.** Distribuição geográfica das zonas climáticas de verão em Portugal Continental (Despacho nº 15793-F/2013, 2013)

O concelho escolhido, para realizar as simulações do comportamento térmico do apartamento e da moradia com o *SEnergEd*, por apresentar um clima intermédio para ambas as estações (isto é, I2-V2) é Ansião, cuja localização no mapa de Portugal é exibida na Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Localização geográfica do concelho de Ansião no mapa de Portugal (Google Imagens, 2023)

No presente estudo, para além das simulações sem a presença de onda de calor, nas quais é utilizado o ficheiro de dados climáticos de referência para esta região, são efetuadas três simulações de OC com intensidades distintas, provocadas por variações de temperatura face ao período de referência: de 5, 10 e 15°C, através da incrementação destes valores no ficheiro de dados climáticos de referência.



### 3.5. As Pessoas e a Onda de Calor

Esta secção é destinada à apresentação dos dados a utilizar para realizar a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano com o programa *HuTheReg*. Cada simulação abrange 8 dias (o dia anterior à OC – 28 de julho, e os 7 primeiros dias da OC – ocorrendo até 4 de agosto), por limitação do número de fases do programa.

No que respeita à descrição das características corporais da pessoa, o modelo é aplicado a um indivíduo do sexo masculino de compleição física média: com uma altura de 1,72 metros, peso de 72,43 quilogramas e uma composição corporal de 14% de gordura (1,869 m<sup>2</sup> de pele). Supõe-se um nível de treino de 50%, frequência cardíaca em repouso de 65 batidas/minuto e uma pressão sistólica em repouso de 120 mmHg (Tanabe et al., 2002; Raimundo e Figueiredo, 2009).

São considerados os seguintes valores para a taxa metabólica ( $M$ ), de acordo com dois regimes de atividade distintos (ISO 8996, 1990):

- 1º regime de atividade:
  - $M = 0,8 \text{ met}$ , quando a pessoa está a dormir (das 0h às 8h)
  - $M = 1,2 \text{ met}$ , quando a pessoa está acordada (tempo restante)
- 2º regime de atividade:
  - $M = 0,8 \text{ met}$ , quando a pessoa está a dormir (das 0h às 8h)
  - $M = 2,0 \text{ met}$ , quando a pessoa está de pé a realizar trabalho moderado (das 8h às 16h)
  - $M = 1,6 \text{ met}$ , quando a pessoa está de pé a realizar trabalho suave (das 16h às 20h)
  - $M = 1,2 \text{ met}$ , quando a pessoa está sentada a realizar trabalho suave (das 20h às 24h)

Para conseguir testar o efeito de uma técnica de arrefecimento para recuperação do equilíbrio por parte da pessoa face ao stresse térmico provocado pelas temperaturas elevadas, durante os dias de OC, realizam-se algumas simulações. Nas quais existem dois períodos por dia, com duração de 30 minutos (das 15h30m às 16h e das 20h às 20h30m), em que se considera que a pessoa está a tomar banho dentro de uma banheira com água a 25°C, com uma velocidade de 0,1 m/s, onde apenas o pescoço e a cabeça estão expostos ao ar envolvente (valor da temperatura retirado, em cada fase, dos resultados obtidos com o *SEnergEd*, velocidade do fluído assume-se 0,2 m/s e humidade de 50%). Nas fases com

banhos, é atribuído o valor de  $M = 1,0 \text{ met}$  para o nível de atividade (homem sentado, em repouso).

A Tabela 3.6 exhibe os horários das simulações em que não são considerados banhos, com um total de 48 fases.

**Tabela 3.6.** Horários das simulações sem banhos (48 fases).

SEM BANHOS:					
Dia	Nº Fase	Hora	Dia	Nº Fase	Hora
28/jul	1	0 -- 4	01/ago	25	0 -- 4
28/jul	2	4 -- 8	01/ago	26	4 -- 8
28/jul	3	8 --12	01/ago	27	8 --12
28/jul	4	12 -- 16	01/ago	28	12 -- 16
28/jul	5	16 -- 20	01/ago	29	16 -- 20
28/jul	6	20 -- 24	01/ago	30	20 -- 24
29/jul	7	0 -- 4	02/ago	31	0 -- 4
29/jul	8	4 -- 8	02/ago	32	4 -- 8
29/jul	9	8 --12	02/ago	33	8 --12
29/jul	10	12 -- 16	02/ago	34	12 -- 16
29/jul	11	16 -- 20	02/ago	35	16 -- 20
29/jul	12	20 -- 24	02/ago	36	20 -- 24
30/jul	13	0 -- 4	03/ago	37	0 -- 4
30/jul	14	4 -- 8	03/ago	38	4 -- 8
30/jul	15	8 --12	03/ago	39	8 --12
30/jul	16	12 -- 16	03/ago	40	12 -- 16
30/jul	17	16 -- 20	03/ago	41	16 -- 20
30/jul	18	20 -- 24	03/ago	42	20 -- 24
31/jul	19	0 -- 4	04/ago	43	0 -- 4
31/jul	20	4 -- 8	04/ago	44	4 -- 8
31/jul	21	8 --12	04/ago	45	8 --12
31/jul	22	12 -- 16	04/ago	46	12 -- 16
31/jul	23	16 -- 20	04/ago	47	16 -- 20
31/jul	24	20 -- 24	04/ago	48	20 -- 24

Enquanto a Tabela 3.7 possui os horários das simulações com banhos, sendo que estes só iniciam a partir do 2º dia de OC (30 de julho), perfazendo 60 fases (limite do *software*).

**Tabela 3.7.** Horários das simulações com banhos (60 fases).

COM BANHOS:					
Dia	Nº Fase	Hora	Dia	Nº Fase	Hora
28/jul	1	0 -- 4	01/ago	31	8 --12
28/jul	2	4 -- 8	01/ago	32	12 - 15:30
28/jul	3	8 --12	01/ago	33	15:30 - 16
28/jul	4	12 -- 16	01/ago	34	16 -- 20
28/jul	5	16 -- 20	01/ago	35	20 - 20:30
28/jul	6	20 -- 24	01/ago	36	20:30 - 24
29/jul	7	0 -- 4	02/ago	37	0 -- 4
29/jul	8	4 -- 8	02/ago	38	4 -- 8
29/jul	9	8 --12	02/ago	39	8 --12
29/jul	10	12 -- 16	02/ago	40	12 - 15:30
29/jul	11	16 -- 20	02/ago	41	15:30 - 16
29/jul	12	20 -- 24	02/ago	42	16 -- 20
30/jul	13	0 -- 4	02/ago	43	20 - 20:30
30/jul	14	4 -- 8	02/ago	44	20:30 - 24
30/jul	15	8 --12	03/ago	45	0 -- 4
30/jul	16	12 - 15:30	03/ago	46	4 -- 8
30/jul	17	15:30 - 16	03/ago	47	8 --12
30/jul	18	16 -- 20	03/ago	48	12 - 15:30
30/jul	19	20 - 20:30	03/ago	49	15:30 - 16
30/jul	20	20:30 - 24	03/ago	50	16 -- 20
31/jul	21	0 -- 4	03/ago	51	20 - 20:30
31/jul	22	4 -- 8	03/ago	52	20:30 - 24
31/jul	23	8 --12	04/ago	53	0 -- 4
31/jul	24	12 - 15:30	04/ago	54	4 -- 8
31/jul	25	15:30 - 16	04/ago	55	8 --12
31/jul	26	16 -- 20	04/ago	56	12 - 15:30
31/jul	27	20 - 20:30	04/ago	57	15:30 - 16
31/jul	28	20:30 - 24	04/ago	58	16 -- 20
01/ago	29	0 -- 4	04/ago	59	20 - 20:30
01/ago	30	4 -- 8	04/ago	60	20:30 - 24

Posto isto, é importante definir as características do vestuário usado pela pessoa nas diferentes simulações. Para uma perceção mais simples, esta tarefa é realizada sob a forma de tabelas informativas para cada caso, que podem ser consultadas no Anexo C. Cada uma tem valores de: isolamento da roupa (em: clo), a permeabilidade ao vapor, a emissividade da superfície (da pele ou da superfície exterior da roupa) e a massa (em: kg), em cada segmento do corpo humano. Estes valores foram obtidos recorrendo à norma ISO 9920 (1995).

A Tabela C.0.1 contém informação do vestuário nos períodos noturnos no dia anterior e no 1º dia da onda de calor (noites dos dias 28 e 29 de julho), tanto para as simulações com e sem banhos. Nas quais é considerado que a pessoa está com roupa interior e com um pijama composto por uma t-shirt e uns calções leves.

À semelhança da tabela anterior, a Tabela C.0.2 dispõe de dados do vestuário nos períodos noturnos, todavia esta refere-se do 2º dia da OC até ao final (noites do dia 30 até 4 agosto), tanto para as simulações com e sem banhos. Aqui, é tido em conta que a pessoa está apenas com roupa interior.

De seguida são exibidos os valores para os períodos diurnos. A Tabela C.0.3, diz respeito ao dia anterior à OC (28 de julho), para as simulações com e sem banhos. Sendo que a pessoa, para além da roupa interior, está de t-shirt, calças e sapatos.

E, por fim, os dados para os períodos diurnos das datas em que existe OC (de 29 de julho a 4 de agosto), constam na Tabela C.0.4. Nestes dias, a pessoa está com roupa interior, t-shirt e calções finos e sandálias.

Nos períodos de 30 minutos, em que a pessoa está a tomar banho, não tem qualquer tipo de vestuário, pelo que o valor do isolamento da roupa é 0 clo, a permeabilidade ao vapor é 1 e a emissividade da superfície é 0,93 em todos os segmentos do corpo.

É acrescentada, às simulações, a ingestão de 0,33 kg de água a uma temperatura de 20°C em todos os períodos diurnos (ou seja: 8h-12h, 12h-16h, 16h-20h e 20h-24h nos casos sem banhos, e 8h-12h, 12h-15h30m, 16h-20h, 20h30m-24h quando existem banhos).

### 3.6. Situações Analisadas

Na presente secção, são evidenciadas as situações analisadas, cujos resultados podem ser observados no capítulo seguinte.

As várias combinações entre utilização de isolamento EPS (ou não), existência de sistema de climatização (ou não) e intensidade da OC (ou não ocorrência desta), resultam nas diversas simulações realizadas para perceber o comportamento térmico do apartamento e da moradia com o *SEnergEd*, e apresentam-se na Tabela 3.8. Sendo que, para OC com uma diferença de temperatura superior em 5 e 10°C, face ao período de referência, apenas se analisam as hipóteses sem sistema de climatização.

**Tabela 3.8.** Situações analisadas com o software *SEnergEd*.

<b>Apartamento e Moradia</b>			
<b>Simulação</b>	<b>EPS</b>	<b>Sistema de Climatização</b>	<b>Onda de Calor</b>
1	Não	Não	Não
2	Não	Sim	Não
3	Sim	Não	Não
4	Sim	Sim	Não
5	Não	Não	5 °C
6	Sim	Não	5 °C
7	Não	Não	10 °C
8	Sim	Não	10 °C
9	Não	Não	15 °C
10	Não	Sim	15 °C
11	Sim	Não	15 °C
12	Sim	Sim	15 °C

<b>Legenda:</b>			
EPS	>>	Possui isolamento?	
Sistema de Climatização	>>	Climatização ativada?	
Onda de Calor	>>	Existe onda de calor? Caso exista, qual a diferença de temperatura?	

Na Tabela 3.9 são expostas as situações analisadas com o *HuTheReg*, para efetuar a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano. Para realizar as simulações com este programa é necessário utilizar os valores de temperatura no interior do edifício em estudo, que advêm dos resultados obtidos com o *SEnergEd*. Recorrendo-se às simulações número 1, 2 e 9 da Tabela 3.8, isto é, sempre sem isolamento EPS, sem e com sistema de climatização (para o estudo sem OC) e sem sistema de climatização (no caso de

uma OC com diferença de temperatura 15°C em relação ao período de referência). As restantes variáveis que completam o leque de diferentes combinações a estudar são: a presença de banhos e o regime de atividade considerado.

**Tabela 3.9.** Situações analisadas com o *software HuTheReg*.

<b>Apartamento e Moradia</b>					
<b>Simulação</b>	<b>EPS</b>	<b>Sistema de Climatização</b>	<b>Onda de Calor</b>	<b>Banhos</b>	<b>Regime de Atividade</b>
1	Não	Não	Não	Sem	1º
2	Não	Não	Não	Sem	2º
3	Não	Sim	Não	Sem	1º
4	Não	Sim	Não	Sem	2º
5	Não	Não	15	Sem	1º
6	Não	Não	15	Com	1º
7	Não	Não	15	Sem	2º
8	Não	Não	15	Com	2º

<b>Legenda:</b>	
EPS	>> Possui isolamento?
Sistema de Climatização	>> Climatização ativada?
Onda de Calor	>> Existe onda de calor? Caso exista, qual a diferença de temperatura?
Banhos	>> Situação analisada, com ou sem banho?
Regime de Atividade	>> Qual o regime de atividade considerado?

Posteriormente, no próximo capítulo, tal como mencionado acima, é feita a exibição e discussão dos resultados das diferentes situações analisadas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo encontram-se os resultados e é feita a sua análise, com base nos pressupostos tidos em conta, e explicados, nos capítulos anteriores.

Primeiramente, surgem os resultados obtidos das simulações com o programa *SEnergEd*, que possibilita conhecer o comportamento térmico de edifícios. Para efeitos deste estudo, analisam-se edifícios residenciais típicos de Portugal – um apartamento e uma moradia unifamiliar.

De seguida, aparecem os resultados das simulações com o *software HuTheReg*, para perceber a resposta termofisiológica do corpo humano. O qual necessita dos valores de temperatura, que se faz sentir em cada instante no interior do edifício, oriundos do *SEnergEd*.

### 4.1. Comportamento Térmico dos Edifícios

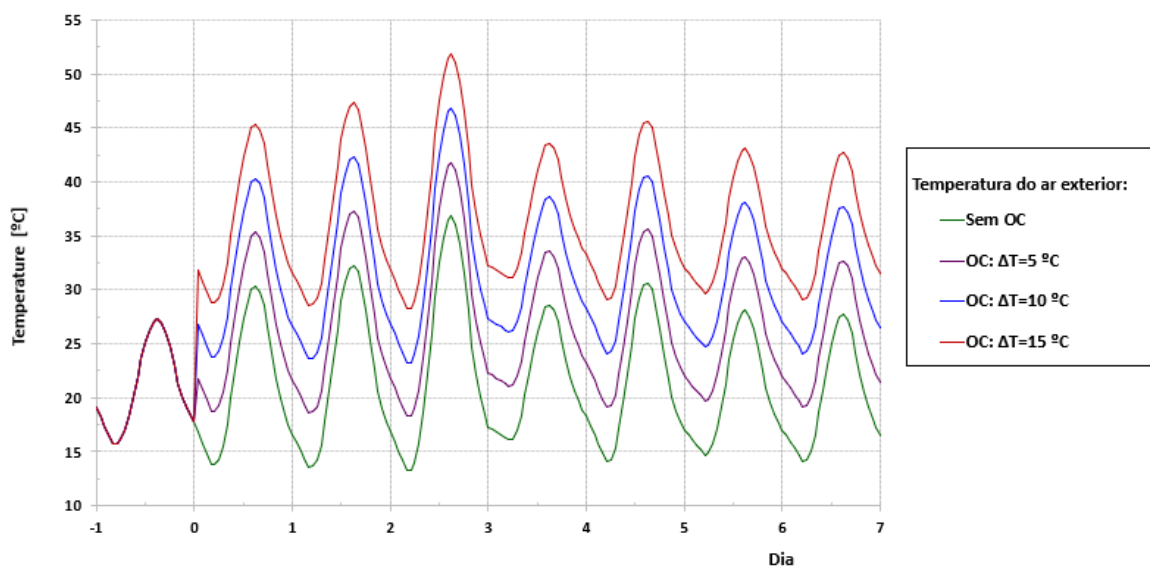
O comportamento térmico de edifícios refere-se à forma como os edifícios interagem com o ambiente térmico exterior, incluindo a regulação da temperatura interna, a eficiência energética e o conforto térmico dos ocupantes.

No decorrer do verão, quando as temperaturas externas estão muito elevadas devido a uma OC, as pessoas costumam refugiar-se no interior dos edifícios, para sua segurança. E, por isso, é benéfico compreender de que forma os edifícios residenciais se comportam termicamente durante OC.

Como referido anteriormente, analisam-se edifícios residenciais típicos de Portugal (um apartamento e uma moradia), assumindo-se que os mesmos se localizam numa região climática com clima intermédio, quer no inverno, quer no verão. Pelo que, se opta pelo concelho de Ansião, que, de acordo com o mencionado no SCE, se trata de uma zona climática do tipo I2-V2.

São realizadas simulações sem a existência de OC, com recurso ao ficheiro de dados climáticos de referência da região em estudo. E, também, com presença de OC de três intensidades distintas (com diferença positiva de temperatura de 5, 10 e 15°C, em relação ao período de referência). Os valores das temperaturas exteriores no dia anterior e nos primeiros

sete dias de OC, para estes casos, são apresentados na Figura 4.1. Para melhor interpretação: a linha verde retrata os valores das temperaturas exteriores quando não ocorre OC; a linha roxa representa uma OC com diferença de 5°C, podendo-se considerar uma OC de intensidade média/baixa; a linha azul traduz uma OC com diferença de 10°C, sendo, esta, classificada como intensidade alta (idêntica à ocorrida no verão de 2003); e, por fim, a linha vermelha simboliza uma OC de intensidade muito alta (equivalente ao que se fez sentir nos distritos mais afetados pela OC de 2003: Beja, Évora, Santarém e Setúbal, conforme observado na Figura 1.3), com diferença de 15°C.



**Figura 4.1.** Temperatura do ar exterior, para o caso sem OC e para as situações com OC com diferença de temperatura de 5, 10 e 15°C.

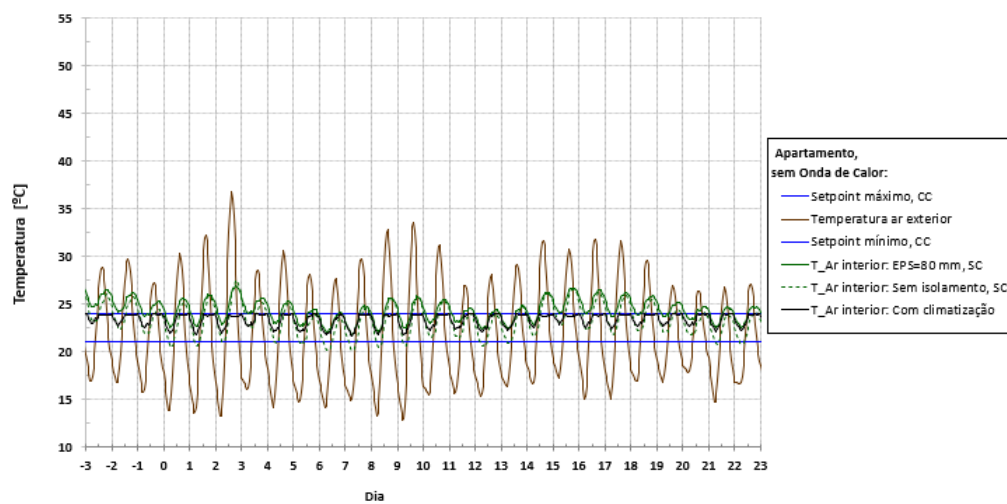
Nas próximas subsecções (4.1.1e 4.1.2), são expostos os gráficos relativos aos resultados obtidos, na simulação do comportamento térmico dos edifícios em concreto (apartamento e moradia, respetivamente). Estes gráficos mostram os 18 dias (de 29 de julho a 15 de agosto) em que ocorre a OC, bem como, os 3 dias anteriores e os 5 dias após a mesma. São divulgadas na subsecção 4.1.3, a análise comparativa e aspetos gerais e particulares destes dados.



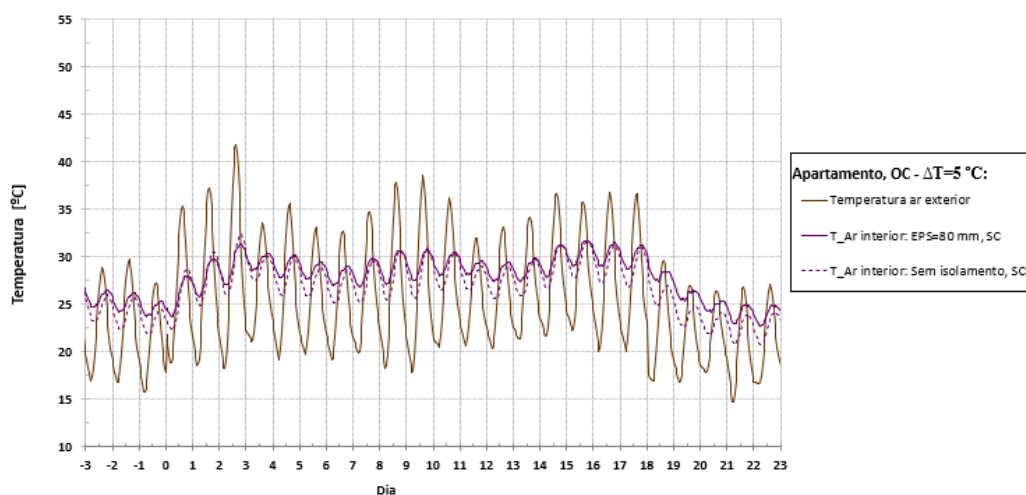
#### 4.1.1. Apartamento

O apartamento é um T3, localizado no 2º piso de um edifício, onde habitam quatro pessoas. As características do apartamento, são mencionadas na subsecção 3.1.1.

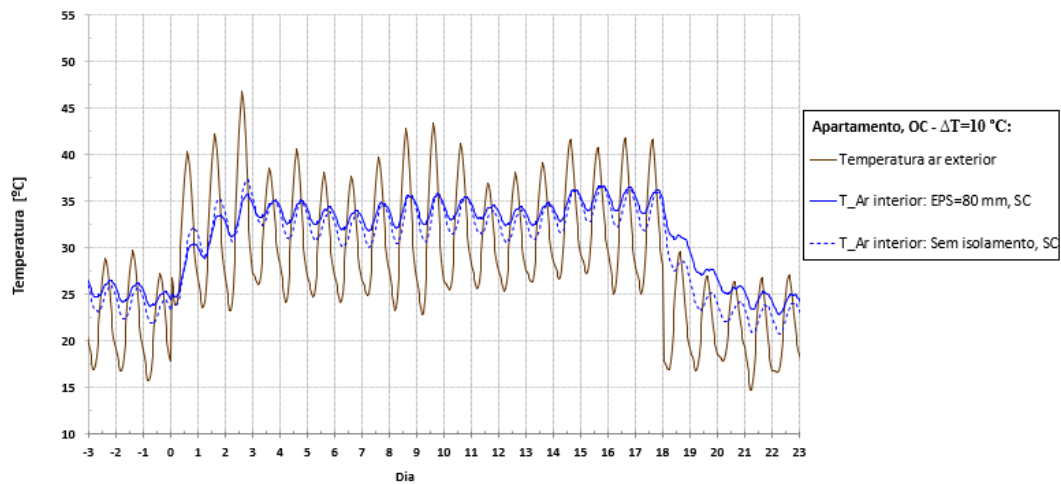
De encontro à informação tida na Tabela 3.8, são, seguidamente, exibidos os gráficos para as situações: sem OC (simulação 1 a 4 – Figura 4.2); OC com diferença de temperatura de 5°C face ao período de referência (simulação 5 e 6 – Figura 4.3); OC com diferença de 10°C (simulação 7 e 8 – Figura 4.4); e, finalmente, OC com diferença de 15°C (simulação 9 a 12 – Figura 4.5).



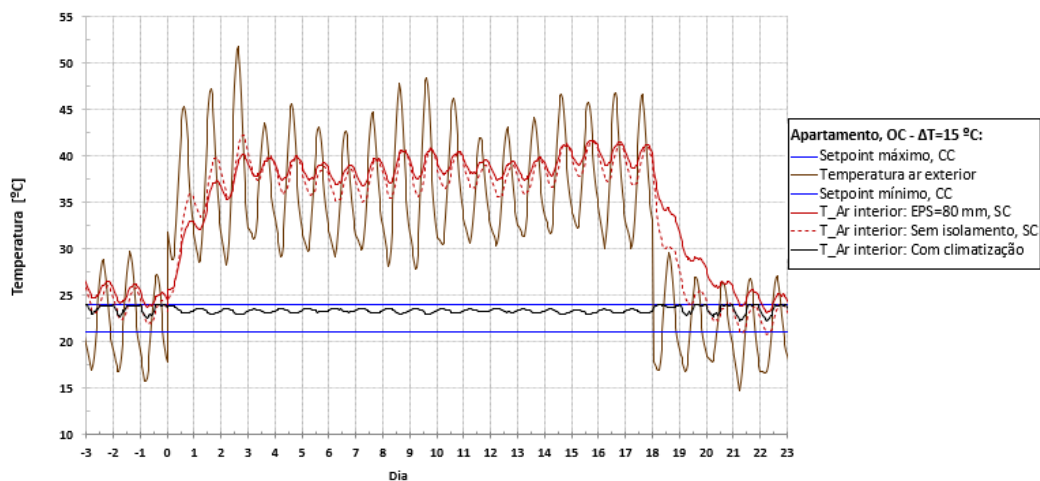
**Figura 4.2.** Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo sem OC (simulação 1 a 4).



**Figura 4.3.** Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 5°C (simulação 5 e 6).

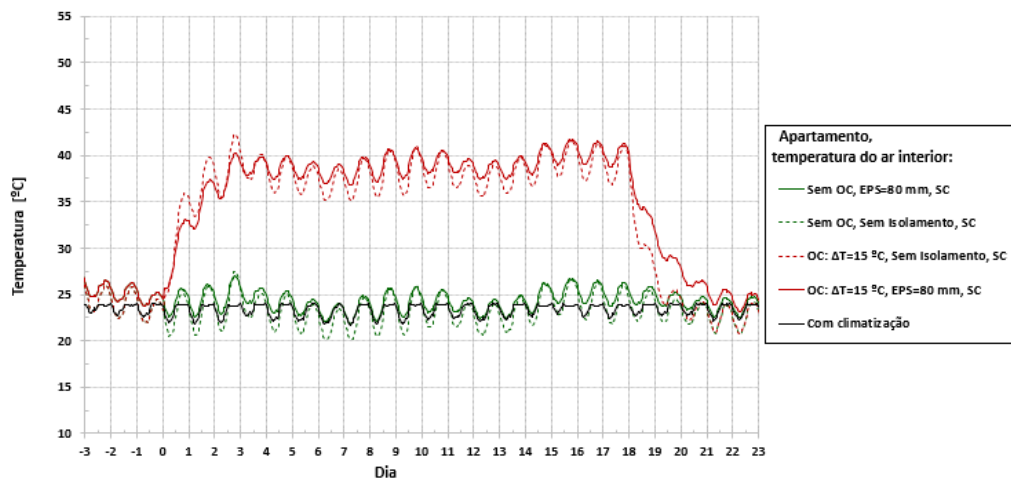


**Figura 4.4.** Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 10°C (simulação 7 e 8).



**Figura 4.5.** Temperaturas ao ar no interior do apartamento, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 15°C (simulação 9 a 12).

Na Figura 4.6, são apresentados os valores da temperatura do ar interior para os casos extremos, isto é, sem OC e com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, com e sem isolamento térmico (EPS). E, também, os valores quando existe sistema de climatização.

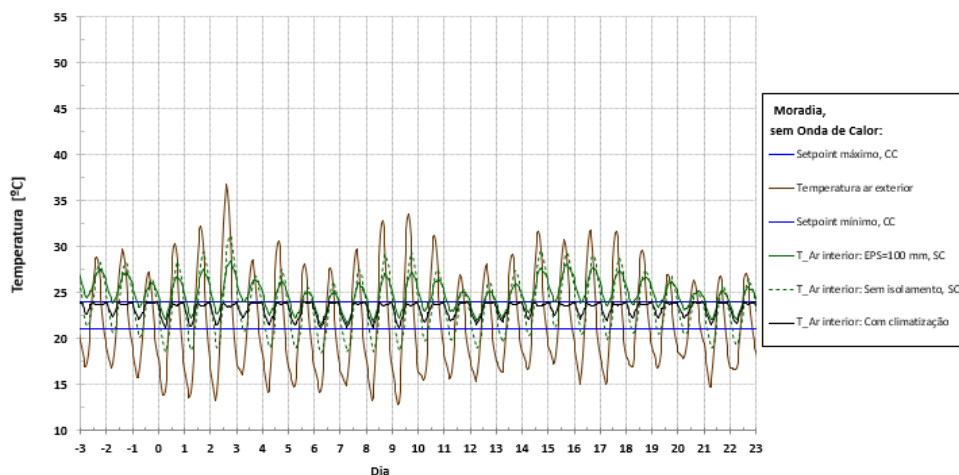


**Figura 4.6.** Temperaturas ao ar no interior do apartamento, nos casos extremos: sem OC e com OC uma diferença de temperatura de 15°C.

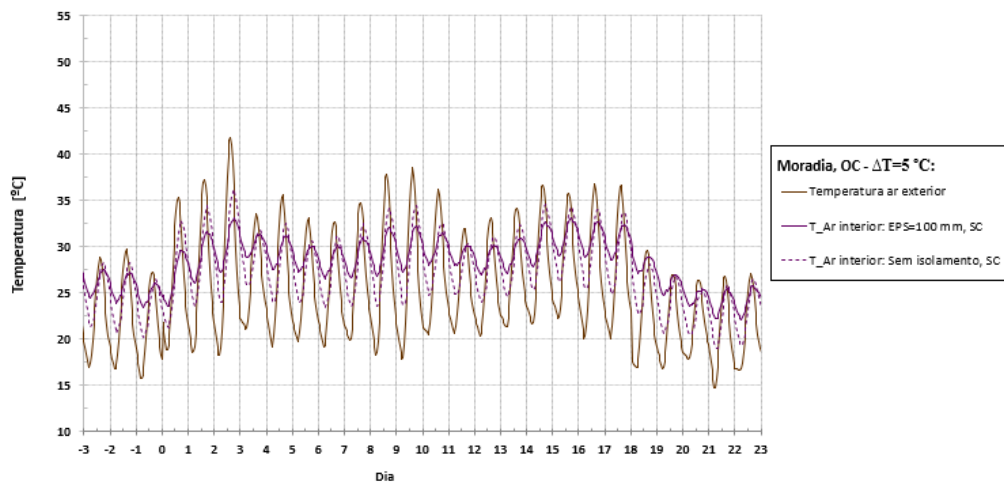
#### 4.1.2. Moradia

A moradia é, também ela, um T3, tratando-se de um edifício isolado, onde habitam quatro pessoas. As características da moradia, são mencionadas na subsecção 3.1.2.

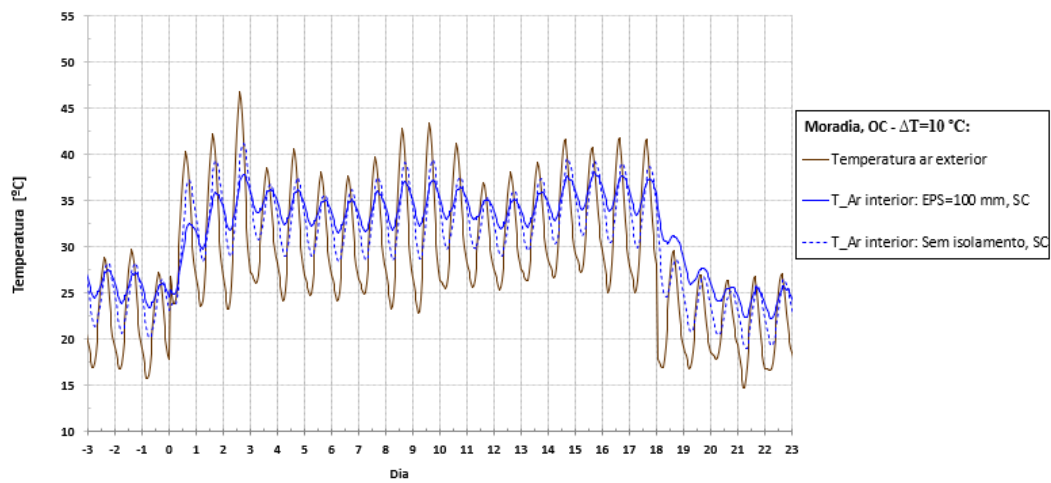
Aqui, são consideradas as mesmas simulações que na subsecção anterior (4.1.1), aplicadas à moradia, ou seja: sem OC (simulação 1 a 4 – Figura 4.7); OC com diferença de temperatura de 5°C face ao período de referência (simulação 5 e 6 – Figura 4.8); OC com diferença de 10°C (simulação 7 e 8 – Figura 4.9); e, finalmente, OC com diferença de 15°C (simulação 9 a 12 – Figura 4.10).



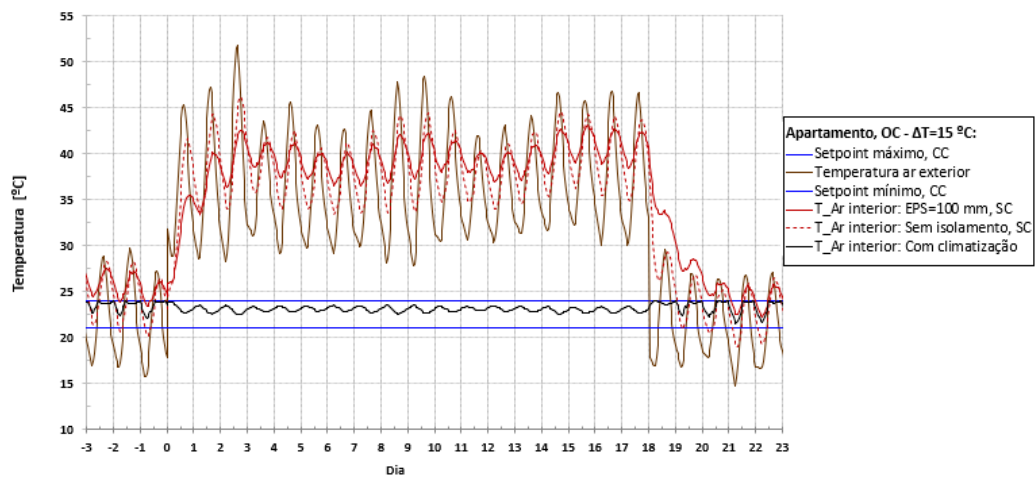
**Figura 4.7.** Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo sem OC (simulação 1 a 4).



**Figura 4.8.** Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  (simulação 5 e 6).

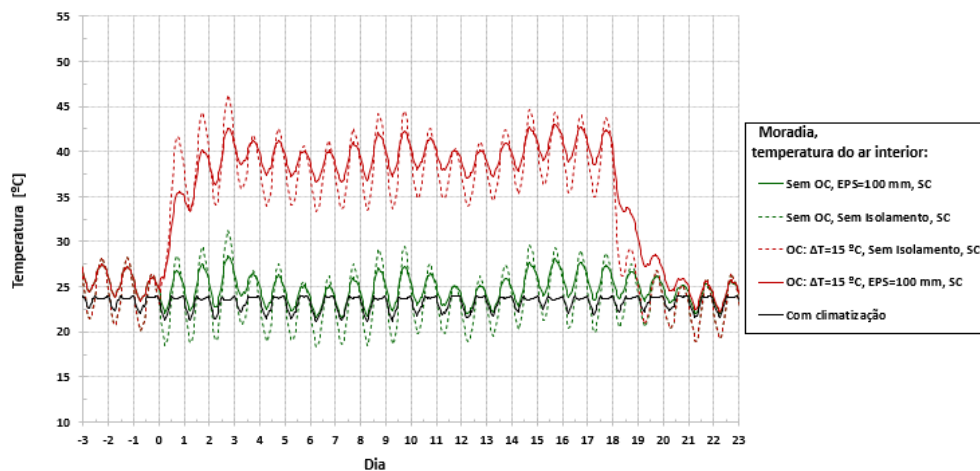


**Figura 4.9.** Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  (simulação 7 e 8).



**Figura 4.10.** Temperaturas ao ar no interior da moradia, no caso do estudo com OC com uma diferença de temperatura de 15°C (simulação 9 a 12).

Na Figura 4.11, são apresentados os valores da temperatura do ar interior para os casos extremos, isto é, sem OC e com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, com e sem isolamento térmico (EPS). E, também, os valores quando existe sistema de climatização.



**Figura 4.11.** Temperaturas ao ar no interior da moradia, nos casos extremos: sem OC e com OC com uma diferença de temperatura de 15°C

### 4.1.3. Discussão

De acordo com os gráficos apresentados nas subsecções anteriores (4.1.1 e 4.1.2), é, de seguida, realizada a análise de algumas particularidades dos edifícios residenciais em estudo e desenvolvida uma comparação entre ambos.

Quanto ao apartamento, não ocorrendo uma OC, a temperatura do ar no interior do mesmo poucas vezes excede os 26°C. Por outro lado, quando ocorre OC, a temperatura interna do edifício mantém-se consistentemente alta. Esta informação é comprovada pelo facto desta alcançar os 42°C, no caso em que a OC é de maior intensidade. Relativamente à utilização de isolamento térmico nos elementos opacos, não tem um efeito considerável, em ambos os casos (com e sem existência de OC), resultando apenas numa leve redução da amplitude térmica diária.

No que concerne à moradia, sem OC, a temperatura do ar dentro da mesma, frequentemente está relativamente acima de 26°C. Com OC, a sua temperatura interna é constantemente muito alta, atingindo os 46°C (quando não existe EPS nas soluções construtivas opacas) na simulação de OC com diferença de temperatura de 15°C.

Contrariamente ao apartamento, a aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos na moradia tem um efeito relevante, pois reduz de forma notável a variação diária da temperatura.

Tendo em consideração os dois edifícios, é perceptível que os valores da temperatura interior são díspares, sendo mais elevados na moradia, exibindo, também, uma variação térmica diária muito mais intensa. Estas diferenças são provocadas por duas razões: o valor do fator de forma ser superior para a moradia; e, para além disso, a ausência de proteções que ofereçam sombreamento aos vãos envidraçados. A eficiência em termos de comportamento térmico da moradia é significativamente menor que a do apartamento.

Além do mais, é evidente que a existência de um sistema de climatização é extremamente benéfica. No sentido em que, permite a manutenção dos valores da temperatura no interior dos edifícios, dentro da gama de *setpoints* definidos (entre 21 e 24°C).

## 4.2. Resposta Termofisiológica do Corpo Humano

A resposta termofisiológica do corpo humano refere-se às adaptações que o organismo faz para regular a sua temperatura interna e, assim, manter o equilíbrio térmico adequado face às alterações nas condições ambientais. É de demasiada importância analisá-la em situações de OC, devido às temperaturas do ar envolvente extremamente altas que as pessoas têm de enfrentar. Para tal, recorre-se ao programa *HuTheReg*, que permite simular e obter valores de temperatura do corpo humano que permitem perceber o estado de stress térmico em que a pessoa se encontra, conforme se observa na Tabela 1.1.

Nas próximas subsecções (4.2.1 e 4.2.2), são demonstrados os gráficos relativos aos resultados obtidos, na simulação da resposta termofisiológica do corpo humano para os dois edifícios típicos de Portugal (apartamento e moradia, respetivamente), de acordo com as simulações mencionadas na Tabela 3.9.

Estes gráficos mostram os valores da temperatura operativa e das diferentes temperaturas do corpo humano (temperatura da pele, corporal, do hipotálamo e rectal) nos primeiros 7 dias (de 29 de julho a 4 de agosto) em que ocorre a OC e o dia anterior à mesma (28 de julho). Possuem, também, retas que, caso o valor da temperatura do hipotálamo ultrapasse os seus valores de 39 e 41°C, ocorre introversão e golpe de calor, respetivamente. Por fim, na subsecção 4.2.3, é feita a análise comparativa e aspetos gerais e particulares destes dados.

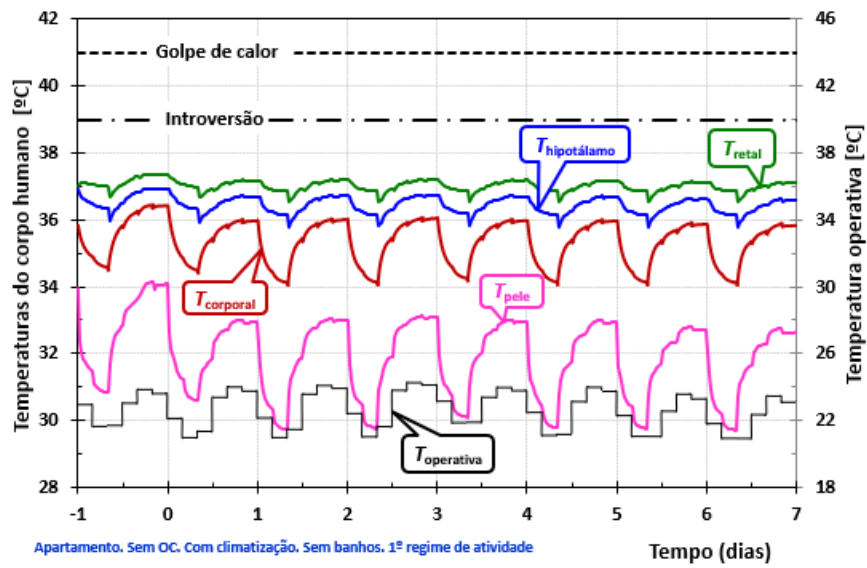
Conforme concluído da subsecção 4.1.3, o uso de isolamento térmico no apartamento é praticamente irrelevante, em contrapartida, na moradia é importante pois reduz de forma notável a variação diária da temperatura no interior desta. Apesar de distintas, estas conclusões, também de forma que o relatório não se torne demasiadamente extenso, originam a aplicação do estudo da resposta termofisiológica do corpo humano apenas para o caso em que não é utilizado isolamento térmico, por ser a mais prejudicial para a pessoa e, portanto, a mais interessante para efeitos do presente estudo. Pelos mesmos motivos, unicamente são assumidas as situações: sem OC e com OC com diferença de temperatura superior em 15°C em relação ao período de referência.

#### **4.2.1. Apartamento**

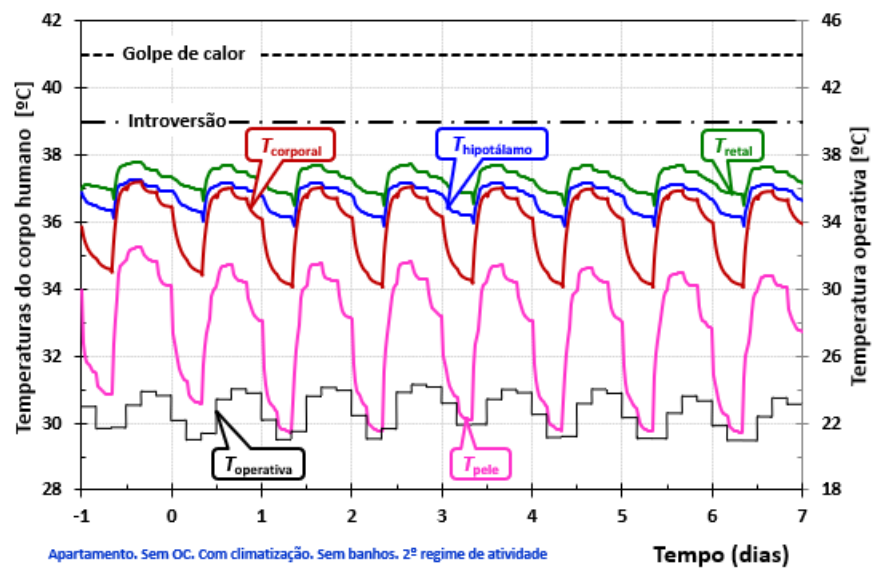
Os resultados da resposta termofisiológica de uma pessoa que está dentro do apartamento, para as simulações contidas na Tabela 3.9, são, seguidamente, exibidos de forma gráfica para as situações:

- Sem OC, com sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade (descrito na secção 3.5) – Figura 4.12. Servindo de referência para o 1º regime de atividade, dado que é a situação em que a temperatura no interior do apartamento está mais estável.
- Sem OC, com sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade (descrito na secção 3.5) – Figura 4.13. Servindo de referência para o 2º regime de atividade, pelo motivo explicado no ponto anterior.
- Sem OC, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade – Figura 4.14.
- Sem OC, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade – Figura 4.15.
- Com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade – Figura 4.16.
- Com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade – Figura 4.17.
- Com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, com banhos e para o 1º regime de atividade – Figura 4.18.
- Com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, com banhos e para o 2º regime de atividade – Figura 4.19.





**Figura 4.12.** Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: sem OC, com sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade.



**Figura 4.13.** Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: sem OC, com sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade.

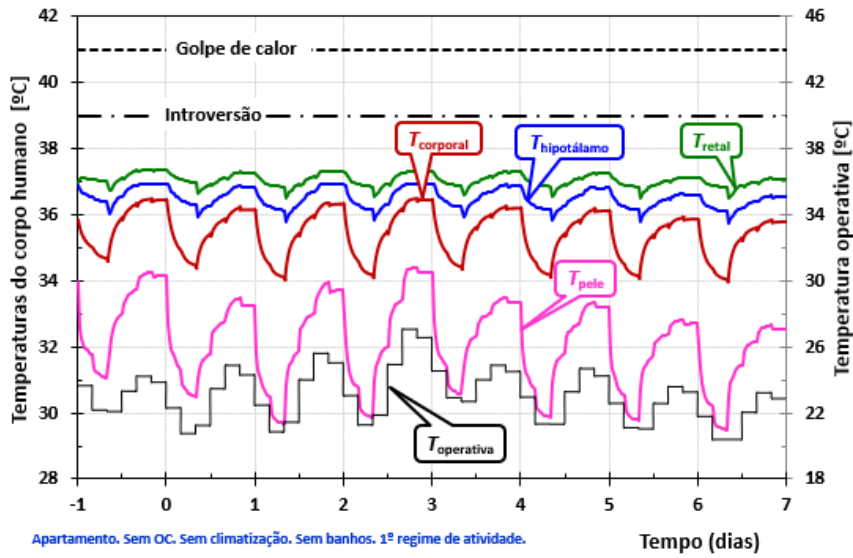


Figura 4.14. Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: sem OC, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade.

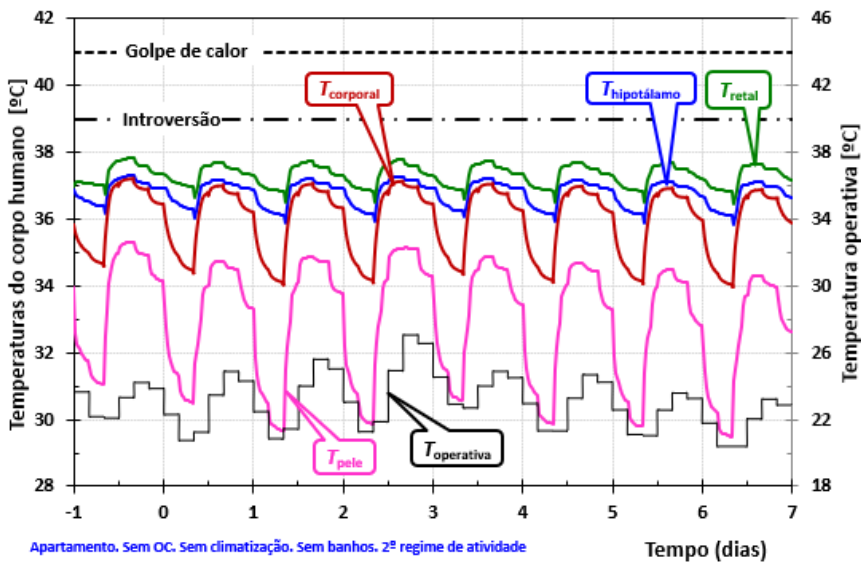
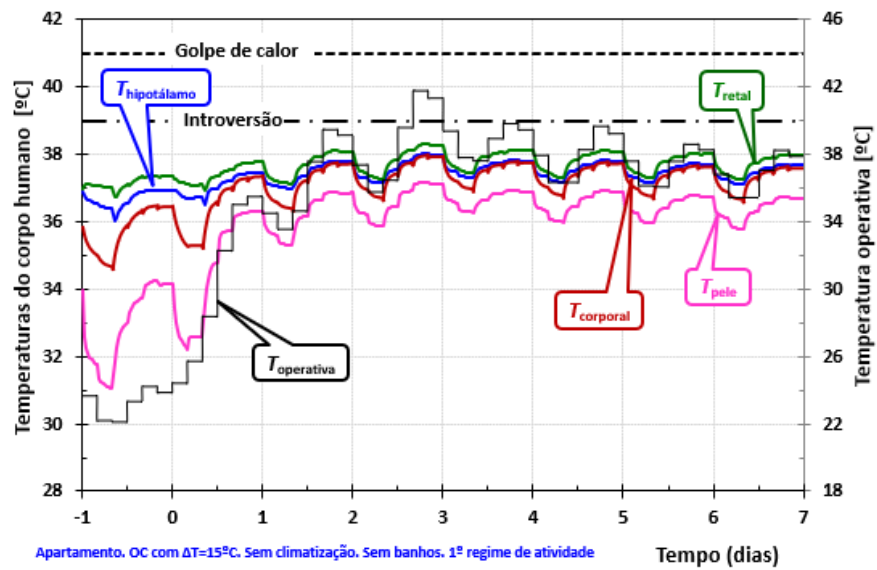
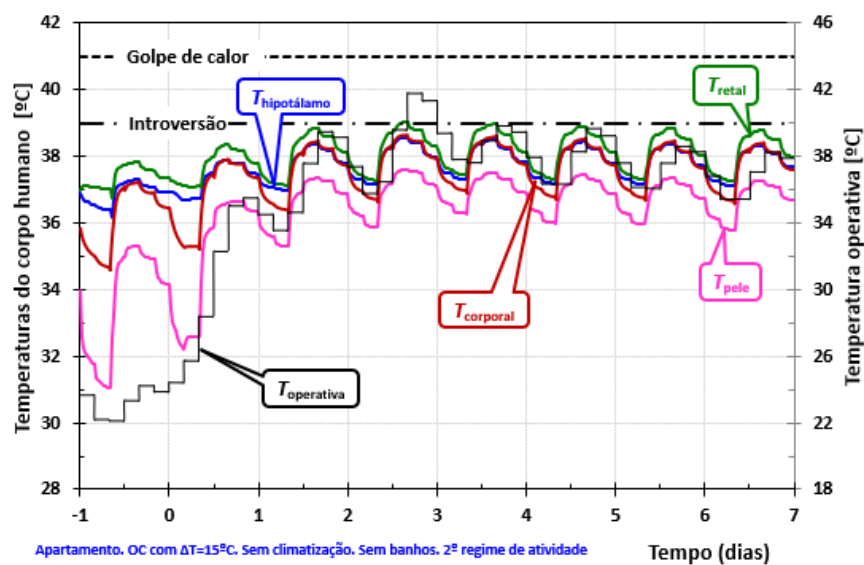


Figura 4.15. Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: sem OC, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade.



**Figura 4.16.** Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 1º regime de atividade.



**Figura 4.17.** Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade.

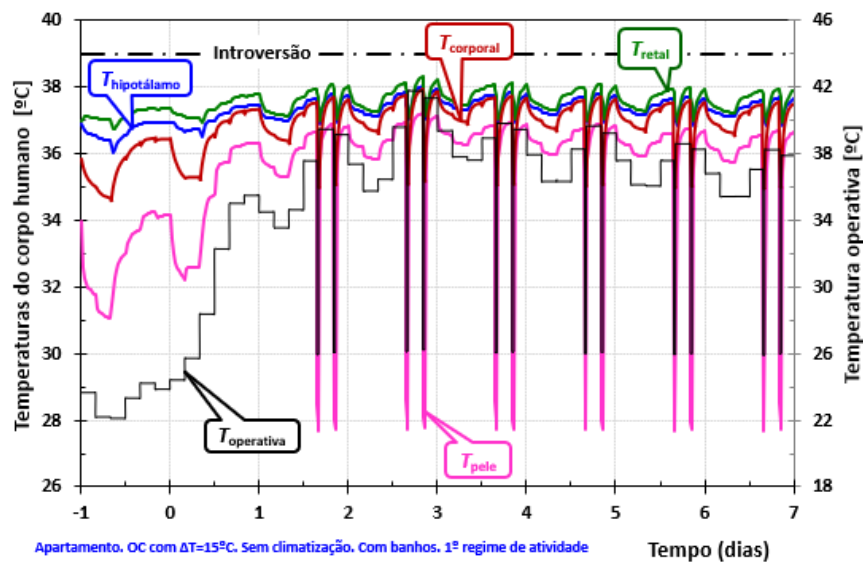


Figura 4.18. Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$ , sem sistema de climatização, com banhos e para o 1º regime de atividade.

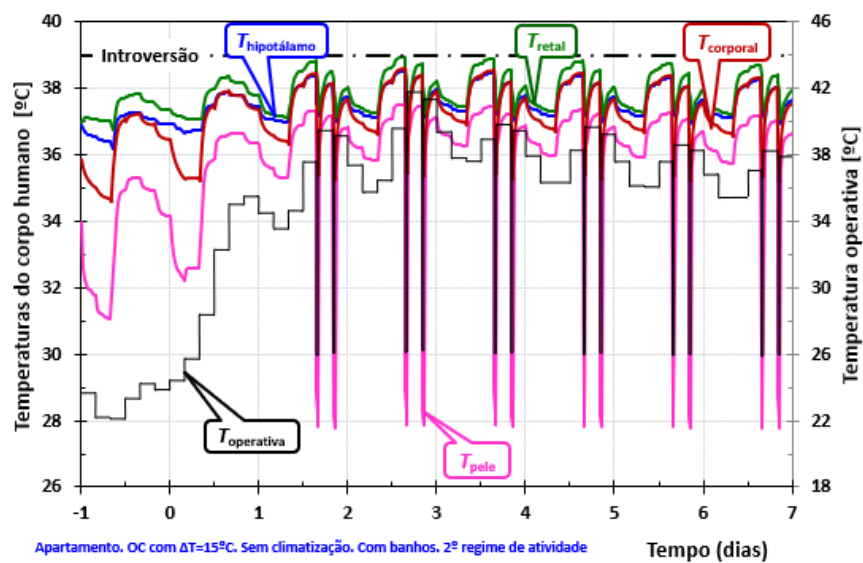
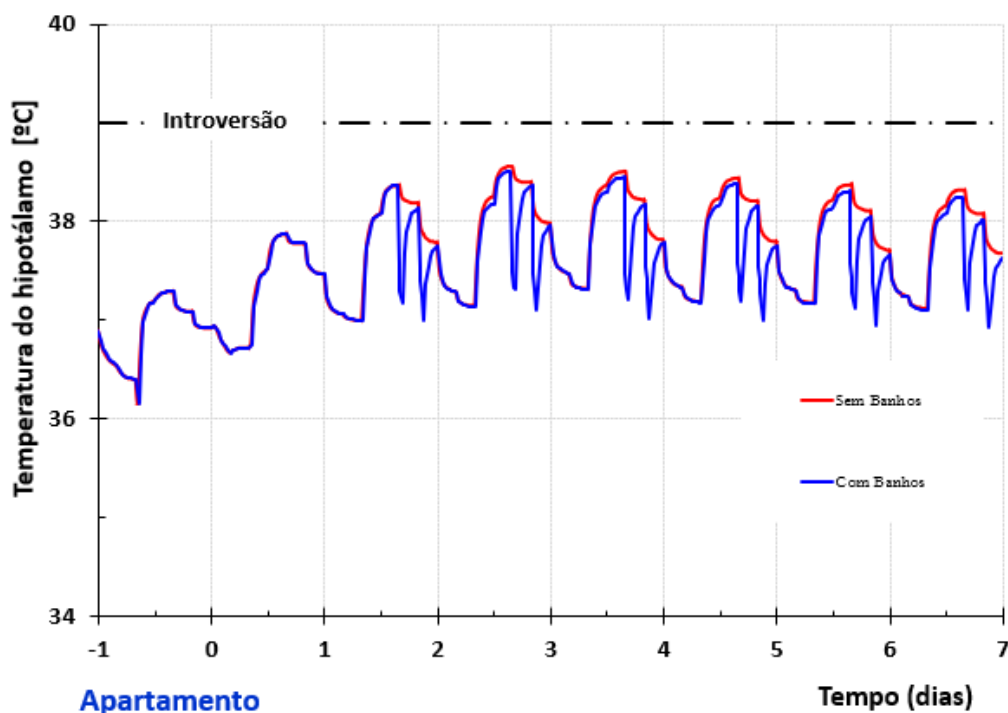


Figura 4.19. Resultados do *HuTheReg* para o apartamento, para a situação: com OC com uma diferença de temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$ , sem sistema de climatização, com banhos e para o 2º regime de atividade.

A Figura 4.20, serve para avaliar a eficiência da técnica de arrefecimento corporal alternativa utilizada (através da evolução da temperatura do hipotálamo ao longo do tempo), isto é, dois períodos de 30 minutos cada (banho em água a  $25^{\circ}\text{C}$ ). Para isso, recorre-se: à situação mais crítica, em que se recorre aos banhos – OC com uma diferença

de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, com banhos e para o 2º regime de atividade (no qual a taxa metabólica do indivíduo é mais alta produzindo, assim, mais calor interno); e, para que seja uma análise coerente, para a situação com as mesmas características mas sem banhos, isto é – OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem sistema de climatização, sem banhos e para o 2º regime de atividade.



**Figura 4.20.** Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para avaliar a eficiência da técnica de arrefecimento corporal alternativa (banhos) para o apartamento.

Para ter melhor percepção do efeito das temperaturas elevadas, que se fazem sentir durante uma OC no interior dos edifícios (através da evolução da temperatura do hipotálamo ao longo do tempo), são apresentadas, na Figura 4.21, duas situações consideradas extremas: a mais suave – sem OC, com climatização e com o 1º regime de atividade; e a mais rigorosa – com OC com uma diferença de temperatura de 15°C, sem climatização, sem banhos (para estes não ajudarem o arrefecimento da pessoa) e com o 2º regime de atividade.

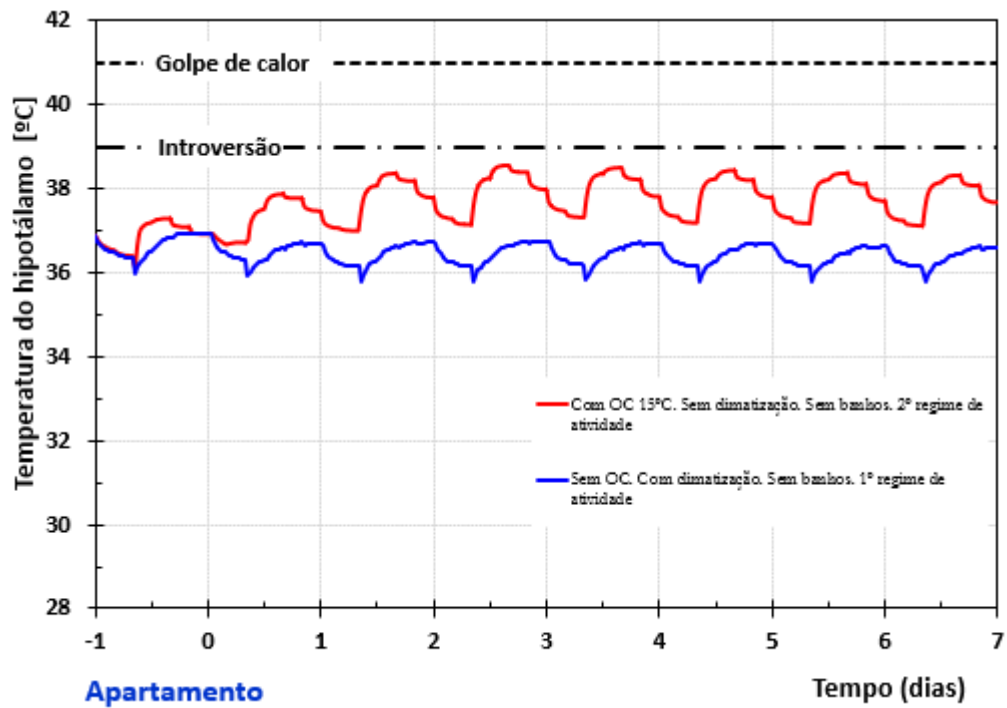
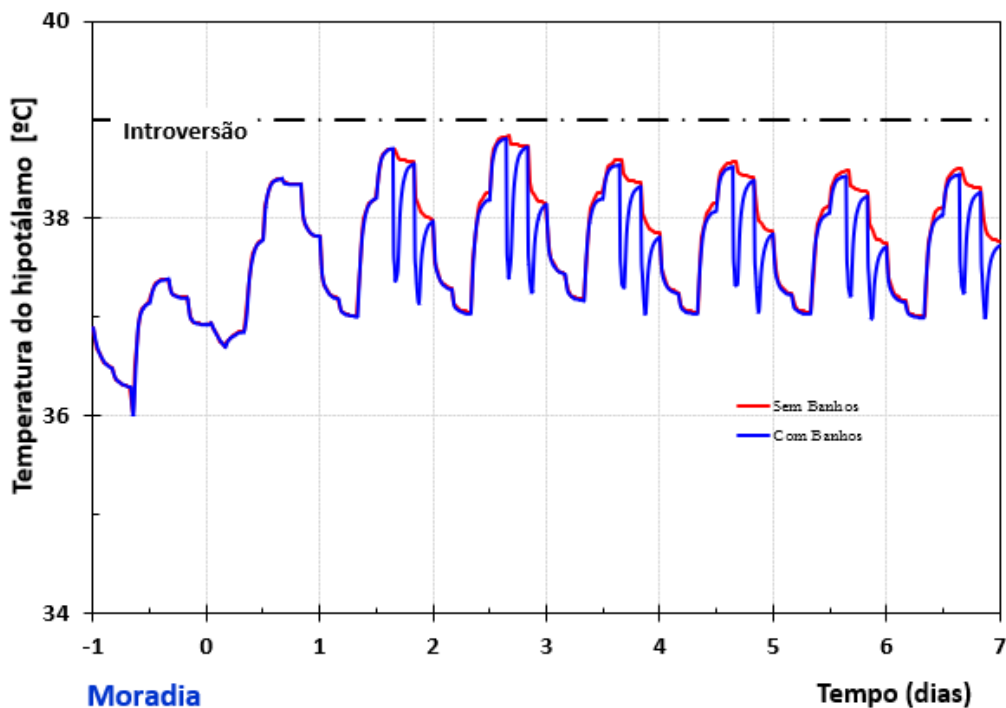


Figura 4.21. Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para as situações extremas analisadas para o apartamento.

#### 4.2.2. Moradia

Nesta subsecção, apenas são apresentados os dois gráficos (com a evolução da temperatura do hipotálamo durante o período em simulação) que permitem fazer uma análise e comparação mais detalhadas dos pontos de interesse, em estudo na elaboração do presente trabalho, à semelhança da Figura 4.20 e Figura 4.21 da subsecção anterior, mas aplicados à moradia.

Isto é, o gráfico da Figura 4.22, que permite avaliar a eficiência da técnica de arrefecimento corporal alternativa utilizada.



**Figura 4.22.** Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para avaliar a eficiência da técnica de arrefecimento corporal alternativa (banhos) para a moradia.

E, o gráfico da Figura 4.23, no qual surgem os resultados para as situações extremas analisadas.

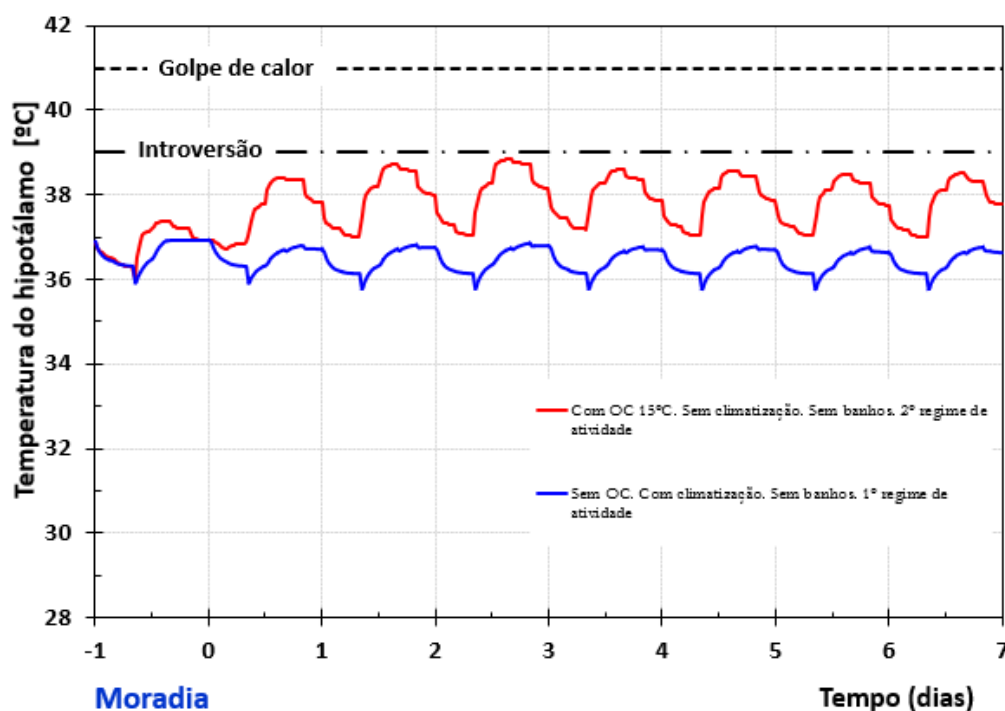


Figura 4.23. Valores de temperatura do hipotálamo [°C], para as situações extremas analisadas para a moradia.

### 4.2.3. Discussão

As simulações da resposta termofisiológica do corpo humano, com recurso ao *software HuTheReg*, corroboram as informações relatadas no decorrer deste trabalho, na medida em que é perceptível – através da Figura 4.21 e da Figura 4.23 – tanto para o apartamento, como para a moradia, que a temperatura do hipotálamo sofre um aumento considerável perante a OC, em relação à sua temperatura quando não existe OC.

Também, através dessas figuras, se pode concluir, como era espectável tendo em conta os resultados obtidos com o *SEnergEd* (nos quais os valores de temperatura no interior da moradia são sempre superiores aos sentidos dentro do apartamento), que a temperatura do hipotálamo é superior quando a pessoa está no interior da moradia.

Quando analisada a questão da técnica de arrefecimento corporal alternativa, conforme representado na Figura 4.20 e na Figura 4.22, fica evidente que esta técnica é eficaz, tanto para o apartamento como para a moradia. Pela verificação destas figuras, é



possível observar que a temperatura do hipotálamo diminui consideravelmente nos períodos em que a técnica é aplicada. Especificamente, durante os banhos, a temperatura da pele apresenta uma acentuada redução, atingindo aproximadamente 28°C. Causando uma agradável sensação de conforto térmico à pessoa, em ambos os edifícios.

[Remover se necessário para garantir que o próximo Capítulo inicia numa página ímpar]



## 5. CONCLUSÕES

Ao longo deste estudo foi explorado o impacto das ondas de calor nos indivíduos, evidenciando a sua relação intrínseca com o stresse térmico. Ficou evidente que, as OC não são apenas um fenómeno meteorológico, mas também uma ameaça séria para a saúde humana, no meio envolvente e em diversos setores da sociedade.

A incapacidade do corpo humano em regular adequadamente a sua temperatura interna pode levar a uma série de problemas de saúde, com impactos graves, principalmente entre os grupos mais vulneráveis. Portugal, dadas as suas condições climáticas, é particularmente propenso a episódios de OC. Além disso, no decorrer deste trabalho, foi perceptível que, as OC afetam as pessoas de forma desigual, sendo alguns grupos particularmente suscetíveis aos efeitos adversos do calor extremo, devido a uma série de fatores que incluem a idade, condições de saúde, poder socioeconómico e isolamento social. Estas limitações económicas podem impedir a instalação de sistemas de climatização nas suas residências ou tornar o acesso a estes sistemas mais difícil, enfrentando desta forma, dificuldades em protegerem-se adequadamente durante as OC.

O presente trabalho proporcionou uma visão mais aprofundada da temática. Através de uma análise rigorosa de dados, revisão bibliográfica e estudo de casos, é possível destacar uma série de conclusões importantes.

Foi analisado o comportamento térmico de dois edifícios (apartamento e moradia) e, de acordo com o estudo realizado, ao comparar os dois edifícios, foi possível observar as notáveis diferenças nos níveis de temperatura interna. A moradia apresenta valores consistentemente mais altos e mostra uma amplitude térmica diária mais intensa, resultando num desempenho consideravelmente inferior quando comparado ao apartamento. Para além de que, ao contrário do que acontece no apartamento, aqui, a aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos produz um impacto significativo, pois reduz de forma notável a variação diária da temperatura.

Torna-se evidentemente claro que a presença de um sistema de climatização é de extrema importância. Estes sistemas, desempenham um papel essencial na manutenção dos valores da temperatura interna dentro dos *setpoints* definidos. Como foi claro, ao longo deste trabalho, as variações extremas de temperatura podem ter um impacto significativo na

saúde das pessoas e no desempenho térmico dos edifícios. Portanto, o uso eficaz de sistemas de climatização desempenha um papel fundamental na busca por ambientes internos mais estáveis e agradáveis, contribuindo para o conforto e qualidade de vida das pessoas que habitam e utilizam esses espaços.

Por fim, as simulações do comportamento termofisiológico do corpo humano realizadas com o *software HuTheReg*, fortaleceram as conclusões obtidas ao longo deste estudo. Confirmando que a temperatura do hipotálamo é afetada pelas condições de sobreaquecimento e que a técnica de arrefecimento corporal alternativa, representada pelos banhos, é eficaz ao promover a redução da temperatura da pele e, por consequência, melhorar o conforto térmico das pessoas em ambientes diversos. Estas ilações têm implicações importantes para a promoção do bem-estar e da saúde humana em ambientes sujeitos a altas temperaturas.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anjo, T. (2015). Técnicas de Arrefecimento do Corpo Humano Validação de um Modelo Termofisiológico. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, fevereiro de 2015.
- Calado, R., Nogueira, P. J., Catarino, J., Paixão, E. J., Botelho, J., Carreira, M., & Falcão, J. M. (2004). A onda de calor de Agosto de 2003 e os seus efeitos sobre a mortalidade da população Portuguesa. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 22(2), 7-20.
- Cambão, A., Catarino, A. S., & Manteigas, V. (2018). Fenómenos climáticos extremos em Portugal Continental: análise dos dias associados a ondas de calor dos últimos 30 anos.
- Claro, J. A. (2015). Viabilidade da instalação em escolas secundárias de sistemas de geração em regime de produção para autoconsumo. Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, julho de 2015.
- Costa, L. (2018). Custo do conforto térmico em edifícios localizados em Portugal. Tese de MiEM (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Setembro de 2018.
- Despacho (extrato) nº 15793-F/2013. (2013). Ministério da Economia e do Emprego. *Diário Da República*, 2ª Série-N.º 234, 35088-(26)-35088-(31).
- European Commission. (2011). Consolidated text of Commission Delegated Regulation (EU) 626/2011 of 4 May 2011 supplementing Directive 2010/30/EU with regard to energy labelling of air conditioners, *Offic. J. European Union* L178 (2011) 1-72. Obtido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02011R0626-20200809>
- Fiala, D., Lomas, K. J., & Stohrer, M. (1999). A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions - The passive system. *Journal of Applied Physiology*, 87, 1957-1972.
- IPMA. (s.d). O que é a onda de calor. Obtido em 10 de Agosto de 2023, de <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/clima/index.html?page=onda.calor.xml>

- ISO 13790. (2006). Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. International Standard Organization.
- ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices. International Standard Organization.
- ISO 8996. (1990). Ergonomics—determination of metabolic heat production. International Standard Organization, Geneva.
- ISO 9920. (1995). Ergonomics of the thermal environment—estimation of thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. International Standard Organization, Geneva.
- Kong, Q., Guerreiro, S. B., Blenkinsop, S., Li, X. F., & Fowler, H. J. (2020). Increases in summertime concurrent drought and heatwave in Eastern China. Em *Weather and Climate Extremes* (Vol. 28).
- Marto, N. (2005). Ondas de calor. Impacto sobre a saúde. *Acta Médica Portuguesa*, 18(6), 467-474.
- Oliveira, A. V. M., Gaspar, A. R., Raimundo, A. M., & Quintela, D. A. (2015). Assessment of thermal environments: working conditions in the Portuguese ceramic industry in 1994 and 2012. *Work*, 51(3), 457-470. doi:10.3233/WOR-141938
- Oliveira, A. V. M., Nunes, T. S., Raimundo, A. M., Gaspar, A. R., & Quintela, D. A. (2020). Heat waves in Portugal mainland during the 2001-2018 period: a meta-analysis.
- OMS. (1969). Health factors involved in working under conditions of heat stress, World Health Organization, Technical Report Series, N° 412. Genève.
- Pina, J. (2021). Influência do tipo de clima no custo do conforto térmico no interior dos edifícios. Tese de MiEM (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, junho de 2021.
- Raimundo, A. M. (2008). Cálculo do comportamento térmico de edifícios através do modelo dinâmico horário monozona 5R1C. II Conferência Nacional de Métodos Numéricos Em Mecânica de Fluidos e Termodinâmica,. Universidade de Aveiro, 8-9 de maio de 2008.
- Raimundo, A. M. (2016). Huthereg - Software de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano, DEM, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

- Raimundo, A. M. (2017). SEnergEd– software de simulação dinâmica monozone e de cálculo do custo anual equivalente do ciclo de vida de edifícios, Departamento de Engenharia Mecânica, FCTUC, Universidade de Coimbra.
- Raimundo, A. M., & Figueiredo, A. R. (2009). Personal protective clothing and safety of firefighters near a high intensity fire front. *Fire Safety Journal*, 44, 514-521. doi:10.1016/j.firesaf.2008.10.007
- Raimundo, A. M., Gaspar, A. R., & Lamas, F. B. (2011a). Projeto RCCTE de um apartamento (caso prático). Cursos de Formação Sobre o SCE, DEM-FCTUC, Universidade de Coimbra.
- Raimundo, A. M., Gaspar, A. R., & Lamas, F. B. (2011b). Projeto RCCTE de uma moradia (caso prático), Cursos de formação sobre o SCE, DEM-FCTUC, Universidade de Coimbra.
- Raimundo, A. M., Oliveira, A. V. M., & Quintela, D. A. (2018). Assessment of a human body thermoregulation software to predict the thermophysiological response of firefighters. *Advances in Forest Fire Research 2018*, D. X. Viegas (Ed.) Chapter 3 – Fire management.
- Raimundo, A. M., Pereira, C. D., Quintela, D. A., & Oliveira A. V. M. (2015). Human body thermoregulation - test and validation of a computer program. SHO-2015: International Symposium on Occupational Safety and Hygiene. Guimarães, Portugal, 12-13 February 2015, Paper #25.
- Raimundo, A. M., Quintela, D. A., Gaspar, A. R., & Oliveira A. V. M. (2008). Thermophysiological response of human beings working in cold thermal environments. 7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting. Coimbra, Portugal, 3-5 September.
- Raimundo, A. M., Quintela, D. A., Gaspar, A. R., & Oliveira A. V. M. (2012). Development and validation of a computer program for simulation of the human body thermophysiological response. Portuguese chapter of IEEE-EMBS, ISBN:978-1-4673-4524-8.
- Raimundo, A. M., Saraiva, N. B., & Oliveira A. V. M. . (2020). Thermal insulation cost optimality of opaque constructive solutions of buildings under Portuguese temperate climate. *Building and Environment*, 182 (2020). doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107107

- Rebelo, A. C. (2016). Ponto ótimo de rentabilidade económica dos envidraçados aplicados em edificios localizados em Portugal. Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, fevereiro de 2016.
- Ribeiro, A. G. (1993). As escalas do clima. *Boletim de Geografia Teórica*, 23(45-46), 288-294.
- Rodrigues J. M. P., Oliveira A. V. M., Gaspar, A. R., Raimundo, A. M., & Quintela, D. A. (s.d.). Working conditions in the ceramic industry: assessment of the heat exposure with the predicted heat strain (PHS) index . *Occupational Safety and Hygiene IV - Selected, Extended and Revised Contributions from the International Symposium Occupational Safety and Hygiene*.
- Saraiva, N. (2017). Ponto ótimo de rentabilidade económica das soluções construtivas opacas de edificios localizados em Portugal. Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, julho de 2017.
- Silva, A. (2021). Comportamento termofisiológico do corpo humano em postos de trabalho em ambientes frios. Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, setembro de 2021.
- Sousa, A. M. (2022). Análise económica, energética e ambiental da aplicação de isolamento térmico aos edifícios do continente europeu. Tese de MiEM (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, setembro de 2022.
- Stolwijk J. A. J. (1971). A mathematical model of physiological temperature regulation in man. NASA Contractor Report CR-1855, NASA, Washington, DC.
- Stott, P. A., Allen, M., Christidis, N., Dole, R. M., Hoerling, M., Huntingford, C., & Stone, D. (2013). Attribution of weather and climate-related events. Em *Climate science for serving society: research, modeling and prediction priorities* (pp. 307-337).
- Tanabe, S., Kobayashi, K., Nakano, J., Ozeki, Y., & Konishi, M. (2002). Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD). *Energy and Buildings*, 34, 637-646.
- WMO-WHO. (2015). Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization and World Health Organization, G.R. McGregor, lead editor P. Bessemoulin, K. Ebi and B. Menne, editors, WMO report n° 1142, Geneva.





## ANEXO A – PLANTAS, PERFIS DE OCUPAÇÃO E PERFIS DE EQUIPAMENTOS NÃO AVAC DOS EDIFÍCIOS EM ESTUDO

### Apartamento:



Figura A.0.1. Planta do piso 2 do edifício a que pertence o apartamento (Raimundo et al., 2011a).

Perfil de ocupação						Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC)					
Para o edifício a funcionar a 100%						Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos		2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Utilização		Utilização		Utilização		Utilização		Utilização		Utilização	
Hora	(%)	Hora	(%)	Hora	(%)	Hora	(%)	Hora	(%)	Hora	(%)
0-1	100	0-1	100	0-1	100	0-1	20	0-1	20	0-1	20
1-2	100	1-2	100	1-2	100	1-2	10	1-2	10	1-2	10
2-3	100	2-3	100	2-3	100	2-3	5	2-3	5	2-3	5
3-4	100	3-4	100	3-4	100	3-4	5	3-4	5	3-4	5
4-5	100	4-5	100	4-5	100	4-5	5	4-5	5	4-5	5
5-6	100	5-6	100	5-6	100	5-6	5	5-6	5	5-6	5
6-7	100	6-7	100	6-7	100	6-7	20	6-7	20	6-7	20
7-8	60	7-8	100	7-8	100	7-8	20	7-8	20	7-8	20
8-9	40	8-9	100	8-9	100	8-9	20	8-9	20	8-9	20
9-10	0	9-10	75	9-10	50	9-10	5	9-10	30	9-10	30
10-11	0	10-11	75	10-11	50	10-11	5	10-11	30	10-11	30
11-12	0	11-12	100	11-12	100	11-12	5	11-12	30	11-12	30
12-13	30	12-13	100	12-13	100	12-13	25	12-13	30	12-13	30
13-14	30	13-14	100	13-14	100	13-14	25	13-14	30	13-14	30
14-15	0	14-15	50	14-15	25	14-15	5	14-15	30	14-15	30
15-16	0	15-16	50	15-16	25	15-16	5	15-16	30	15-16	30
16-17	0	16-17	50	16-17	25	16-17	5	16-17	30	16-17	30
17-18	50	17-18	50	17-18	25	17-18	40	17-18	40	17-18	40
18-19	100	18-19	50	18-19	25	18-19	50	18-19	50	18-19	50
19-20	100	19-20	100	19-20	100	19-20	60	19-20	60	19-20	60
20-21	100	20-21	100	20-21	100	20-21	60	20-21	60	20-21	60
21-22	100	21-22	100	21-22	100	21-22	60	21-22	60	21-22	60
22-23	100	22-23	100	22-23	100	22-23	60	22-23	60	22-23	60
23-24	100	23-24	100	23-24	100	23-24	40	23-24	40	23-24	40

Figura A.0.2. Perfil de ocupação e de equipamentos não AVAC no apartamento (Raimundo et al., 2011a).



**Moradia:**



**Figura A.0.3.** Planta do piso 0 da moradia (Raimundo et al., 2011b).



**Figura A.0.4.** Planta do piso 1 da moradia (Raimundo et al., 2011b).



Figura A.0.5. Planta do piso 2 da moradia (Raimundo et al., 2011b).

## ANEXO B – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS OPACAS (SEM ISOLAMENTO TÉRMICO)

### Envolvente opaca interior:

Tabela B.0.1. Descrição dos elementos construtivos da envolvente opaca interior (Saraiva, 2017).

<u>Envolvente opaca interior</u>		
Elemento construtivo	Espessura (cm)	Descrição (do exterior para o interior)
Parede em contacto com outros espaços interiores	27	Reboco tradicional com 2 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Espaço de ar fracamente ventilado com 1 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2 cm.
Pilar + Viga em contacto com espaços interiores	38	Reboco tradicional com 2 cm; Betão armado (volume de ferro < 1%) de inertes com 22 cm; Espaço de ar fracamente ventilado com 1 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2 cm.
Pavimento sobre o interior	55	Reboco tradicional com 2 cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 38 cm; Betão isolante só com areia leve com 7,5 cm; Betonilha (argamassa) com 5,5 cm; Madeira de carvalho com 2 cm.
Cobertura sob interior	55	Madeira de carvalho com 2 cm; Betonilha (argamassa) com 5,5 cm; Betão isolante só com areia leve com 7,5 cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 38 cm (betão leve 1 furo, 35cm + betão 3cm, base 16-30cm); Reboco tradicional com 2 cm.

### Elementos de compartimentação interior:

Tabela B.0.2. Descrição dos elementos de compartimentação interior (Saraiva, 2017).

<u>Elementos da compartimentação interior</u>		
Elemento construtivo	Espessura (cm)	Descrição (do exterior para o interior)
Parede fina	15	Reboco tradicional com 2 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2 cm.

<b>Parede grossa</b>	27	Reboco tradicional com 2 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Espaço de ar fracamente ventilado com 1 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2 cm.
<b>Pilar + Viga exterior</b>	38	Reboco tradicional com 2 cm; Betão armado (volume de ferro < 1%) de inertes com 22 cm; Espaço de ar fracamente ventilado com 1 cm; Tijolo furado normal de 11 cm; Reboco tradicional com 2 cm.
<b>Pavimento de compartimentação</b>	55	Reboco tradicional com 2 cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 38 cm; Betão isolante só com areia leve com 7,5 cm; Betonilha (argamassa) com 5,5 cm; Madeira de carvalho com 2 cm.
<b>Cobertura de compartimentação</b>	55	Madeira de carvalho com 2 cm; Betonilha (argamassa) com 5,5 cm; Betão isolante só com areia leve com 7,5 cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 38 cm (betão leve 1 furo, 35cm + betão 3cm, base 16-30cm); Reboco tradicional com 2 cm.

### **Elementos em contacto com o solo:**

**Tabela B.0.3.** Descrição dos elementos em contacto com o solo (Saraiva, 2017).

<b><u>Elementos em contacto com o solo</u></b>		
<b>Elemento construtivo</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Descrição (do exterior para o interior)</b>
<b>Pavimento sobre o exterior</b>	55	Reboco tradicional com 2 cm; Laje aligeirada a 1 vigota com 38 cm; Betão isolante só com areia leve com 7,5 cm; Betonilha (argamassa) com 5,5 cm; Madeira de carvalho com 2 cm.

## ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DO VESTUÁRIO

**Tabela C.0.1.** Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos noturnos dos dias 28 e 29 de julho (com e sem banhos).

<b>Períodos noturnos: 0h - 4h / 4h - 8h</b>				
<b>Dia anterior e 1º dia da OC (28 e 29 de julho)</b>				<b>com e sem banhos</b>
<b>Segmento do corpo</b>	<b>Isolamento [clo]</b>	<b>Permeabilidade ao vapor</b>	<b>Emissividade da superfície</b>	<b>Massa da roupa [kg]</b>
Face	0	1	0,93	0
Escalpe	0	1	0,93	0
Pescoço	0	1	0,93	0
Peito	0,6	0,5	0,9	0,08
Abdómen	0,6	0,5	0,9	0,08
Parte superior das costas	0,6	0,5	0,9	0,08
Parte inferior das costas	0,6	0,5	0,9	0,08
Pélvis	0,8	0,4	0,9	0,2
Ombro esquerdo	0,6	0,5	0,9	0,02
Ombro direito	0,6	0,5	0,9	0,02
Braço esquerdo	0,6	0,5	0,91	0,04
Braço direito	0,6	0,5	0,91	0,04
Antebraço esquerdo	0	1	0,93	0
Antebraço direito	0	1	0,93	0
Mão esquerda	0	1	0,93	0
Mão direita	0	1	0,93	0
Coxa esquerda	0,6	0,5	0,9	0,12
Coxa direita	0,6	0,5	0,9	0,12
Perna esquerda	0	1	0,93	0
Perna direita	0	1	0,93	0
Pé esquerdo	0	1	0,93	0
Pé direito	0	1	0,93	0



**Tabela C.0.2.** Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos noturnos dos dias 30 de julho até 4 de agosto (com e sem banhos).

<b>Períodos noturnos: 0h - 4h / 4h - 8h</b>				
<b>Desde 2º dia de OC até ao final (30 de julho a 4 de agosto)</b>				
<b>com e sem banhos</b>				
<b>Segmento do corpo</b>	<b>Isolamento [clo]</b>	<b>Permeabilidade ao vapor</b>	<b>Emissividade da superfície</b>	<b>Massa da roupa [kg]</b>
Face	0	1	0,93	0
Escalpe	0	1	0,93	0
Pescoço	0	1	0,93	0
Peito	0	1	0,93	0
Abdómen	0	1	0,93	0
Parte superior das costas	0	1	0,93	0
Parte inferior das costas	0	1	0,93	0
Pélvis	0,4	0,6	0,9	0,15
Ombro esquerdo	0	1	0,93	0
Ombro direito	0	1	0,93	0
Braço esquerdo	0	1	0,9	0
Braço direito	0	1	0,9	0
Antebraço esquerdo	0	1	0,93	0
Antebraço direito	0	1	0,93	0
Mão esquerda	0	1	0,93	0
Mão direita	0	1	0,93	0
Coxa esquerda	0,4	0,6	0,9	0,1
Coxa direita	0,4	0,6	0,9	0,1
Perna esquerda	0	1	0,93	0
Perna direita	0	1	0,93	0
Pé esquerdo	0	1	0,93	0
Pé direito	0	1	0,93	0

**Tabela C.0.3.** Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos diurnos do dia 28 de julho (com e sem banhos).

<b>Períodos diurnos: 8h - 12h / 12h - 16h / 16h - 20h / 20h - 24h</b>				
<b>Dia anterior da OC (28 de julho)</b>		<b>com e sem banhos</b>		
<b>Segmento do corpo</b>	<b>Isolamento [clo]</b>	<b>Permeabilidade ao vapor</b>	<b>Emissividade da superfície</b>	<b>Massa da roupa [kg]</b>
Face	0	1	0,93	0
Escalpe	0	1	0,93	0
Pescoço	0	1	0,93	0
Peito	0,7	0,4	0,9	0,08
Abdómen	0,7	0,4	0,9	0,08
Parte superior das costas	0,7	0,4	0,9	0,08
Parte inferior das costas	0,7	0,4	0,9	0,08
Pélvis	1	0,36	0,9	0,2
Ombro esquerdo	0,7	0,4	0,9	0,03
Ombro direito	0,7	0,4	0,9	0,03
Braço esquerdo	0,7	0,4	0,91	0,05
Braço direito	0,7	0,4	0,91	0,05
Antebraço esquerdo	0	1	0,93	0
Antebraço direito	0	1	0,93	0
Mão esquerda	0	1	0,93	0
Mão direita	0	1	0,93	0
Coxa esquerda	0,8	0,4	0,9	0,16
Coxa direita	0,8	0,4	0,9	0,16
Perna esquerda	0,8	0,4	0,9	0,12
Perna direita	0,8	0,4	0,9	0,12
Pé esquerdo	1	0,2	0,9	0,3
Pé direito	1	0,2	0,9	0,3

**Tabela C.0.4.** Características do vestuário, em cada segmento do corpo, nos períodos diurnos dos dias 29 de julho até 4 de agosto (com e sem banhos).

<b>Períodos diurnos (dias sem banhos): 8h - 12h / 12h - 16h / 16h - 20h / 20h - 24h</b>				
<b>Períodos diurnos (dias com banhos): 8h - 12h / 12h - 15h30m / 16h - 20h / 20h30m - 24h</b>				
<b>Dias da OC (29 de julho - 4 de agosto)</b>				
<b>Segmento do corpo</b>	<b>Isolamento [clo]</b>	<b>Permeabilidade ao vapor</b>	<b>Emissividade da superfície</b>	<b>Massa da roupa [kg]</b>
Face	0	1	0,93	0
Escalpe	0	1	0,93	0
Pescoço	0	1	0,93	0
Peito	0,5	0,5	0,9	0,08
Abdómen	0,5	0,5	0,9	0,08
Parte superior das costas	0,5	0,5	0,9	0,08
Parte inferior das costas	0,5	0,5	0,9	0,08
Pélvis	0,7	0,4	0,9	0,2
Ombro esquerdo	0,5	0,5	0,9	0,02
Ombro direito	0,5	0,5	0,9	0,02
Braço esquerdo	0,5	0,5	0,91	0,04
Braço direito	0,5	0,5	0,91	0,04
Antebraço esquerdo	0	1	0,93	0
Antebraço direito	0	1	0,93	0
Mão esquerda	0	1	0,93	0
Mão direita	0	1	0,93	0
Coxa esquerda	0,5	0,5	0,9	0,12
Coxa direita	0,5	0,5	0,9	0,12
Perna esquerda	0	1	0,93	0
Perna direita	0	1	0,93	0
Pé esquerdo	0,5	0,5	0,92	0,1
Pé direito	0,5	0,5	0,92	0,1