



Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Melhorar o Desempenho Energético de um Edifício  
de Serviços (MDEES)***

**Ricardo José da Fonseca Ferreira**

Leiria, março de 2015





Dissertação

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Melhorar o Desempenho Energético de um Edifício  
de Serviços (MDEES)***

**Ricardo José da Fonseca Ferreira**

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Eliseu Ribeiro, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, março de 2015

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Agradecimentos

---

A realização desta dissertação contou com o apoio de vários intervenientes diretos ou indiretos, que sem os seus contributos não teria sido possível a sua realização. Deste modo, gostaria de exprimir algumas palavras de agradecimento:

Ao Professor Doutor Eliseu Ribeiro, orientador da dissertação, por toda a disponibilidade dispensada e pelo incontestável apoio prestado ao longo destes anos, bem como a partilha de conhecimentos e as valiosas contribuições para a realização da presente dissertação.

À Dona Fátima a gerente do Hotel Casa São Nuno, pela sua disponibilidade manifestada em fornecer informação relevante para a realização desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas de trabalhos, pela compreensão, pela troca de ideias e pelo apoio prestado ao longo destes anos.

Aos meus pais que estiveram sempre presentes nesta etapa da minha vida, por todo o incentivo e apoio manifestado ao longo destes anos.

Por último e não menos importante, dirijo um agradecimento especial à minha melhor amiga Sara Tereso, pelo apoio incondicional e por ter sido uma referência de coragem, perseverança e de motivação em momentos de desânimo, seu apoio foi relevante na superação de certos obstáculos que surgiram ao longo deste percurso. Por tudo, um enorme obrigado pela transmissão de confiança e por sempre acreditares em mim.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Resumo

---

Verifica-se que a crescente preocupação com os elevados consumos da energia por parte dos edifícios de serviços tem levado à adoção de medidas que contribuem para melhorar o desempenho energético, bem como as condições de conforto dos edifícios.

Neste âmbito, a diretiva 2010/31/EU relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios “EPBD”, transposta da diretiva de 2002/91/CE, tem vindo ao longo dos anos a estabelecer e a promover medidas a adotar por cada estado membro pertencente à União Europeia, pelo que, no caso Português, traduziu-se na transposição destas diretivas para os regulamentos SCE (Sistema Certificação Energética dos Edifícios), RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) e RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), bem como o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) e o RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) atualmente em vigor.

Assim, a execução deste estudo permitiu fazer uma abordagem do comportamento térmico de um edifício de serviços e permitiu analisar os parâmetros de conforto térmico de acordo com as recomendações da norma ISO 7730:2005, assim como permitiu verificar as poupanças energéticas que podiam advir da otimização das variáveis ambientais (setpoints), recorrendo-se para tal a um programa informático de simulação dinâmica, o ESP-r (Environment System Performance – Research).

Desta forma, com o modelo de simulação implementado no ESP-r, foi possível analisar os diversos resultados obtidos através de simulações anuais em termos de temperatura, necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como em termos dos índices de conforto térmico de cada zona, tendo para isso sido executadas várias simulações com diferentes setpoints de temperatura para os períodos de ocupação, desocupação e *standby* com o intuito de chegar à melhor solução a aplicar em cada zona. Estes setpoints foram posteriormente incluídos no Sistema de Gestão Técnica Centralizada existente no edifício, por forma a otimizar soluções energéticas.

**Palavras-chave:** Desempenho Energético, ESP-r, Simulação Dinâmica, Conforto Térmico.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Abstract

---

It appears that the growing concern over the high consumption of energy by buildings services has led to the adoption of measures to help improve the energy performance and the comfort conditions in buildings.

In this context, the Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings "EPBD", transposed the 2002/91/ EC directive, has over the years to establish and promote measures to be taken by each member state belonging to the European Union and therefore, in the Portuguese case, resulted in the implementation of these policies to the regulations SCE (System for the Energy Certification of Buildings), RSECE (Regulation for the Energy and Air-conditioning Systems of buildings) and RCCTE (Regulation Characteristics of Thermal Performance of Buildings) as well, the REH (Regulation of Energy Performance of Residential Buildings) and RECS (Regulation of Energy Performance of Buildings Trade and Services) currently in force.

Thus, the execution of this study allowed us to make an approach to the thermal behavior of a service building and allowed the parameters of thermal comfort in accordance with the recommendations of ISO 7730: 2005 and has shown energy savings that could result from the optimization of the environmental variables (setpoints) using up to such a computer program dynamic simulation, the ESP-r (Environment System Performance – Research).

So, with the simulation model implemented in ESP-r, we could analyze the different results obtained through annual simulations in terms of temperature, heating and cooling needs, as well as in terms of thermal comfort indexes of each area and taking for it was performed several simulations with different temperature setpoints for the periods of occupation, unoccupied and standby in order to arrive at the best solution to apply in each area. These setpoints were later included in the Build Management System Centralized existing in the building in order to optimize energy solutions.

**Keywords:** Energy Performance, ESP-r, Dynamic Simulation, Thermal Comfort.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de figuras

---

Figura 2.1 - Consumo de energia final por sector, EU-27, 2011 - Fonte: Eurostat (código de dados on-line: tsdpc320)[4]. .....	5
Figura 2.2 - Consumo de energia elétrica por subsector dos serviços (Mtep) [7]. ....	6
Figura 2.3 - Desagregação dos consumos de energia elétrica por uso final na UE2008 [8]. .....	7
Figura 2.4 - Desagregação dos consumos de energia elétrica por uso final no subsector dos hotéis e restaurantes [9].....	8
Figura 3.1 - Evolução legislativa em Portugal [11]. .....	11
Figura 4.1 - PPD em função de PMV [14]. .....	18
Figura 5.1 - ESP-r estrutura e funcionalidade [23]. .....	23
Figura 6.1 - Fachada Norte do Hotel Casa São Nuno.....	26
Figura 6.2 – O modelo do edifício visto do programa de simulação ESP-r.....	27
Figura 6.3 - Representação dos ganhos internos para uma das zonas, referência ESP-r.....	30
Figura 6.4 - Janela de visualização do menu de controlo aplicado para uma zona. 31	
Figura 6.5 - Setpoints de referência do SGTC para um dos quartos. ....	32
Figura 7.1 - Temperatura média anual por zona. ....	38
Figura 7.2 - Energia anual de Aquecimento para cada zona do Piso -2 e Piso 2. ...	40
Figura 7.3 - Energia anual de Arrefecimento para cada zona do Piso -2 e Piso 2...	40
Figura 7.4 - Valores médios anuais de PMV para cada zona do piso 2. ....	41
Figura 7.5 - Valores médios anuais de PPD para cada zona do piso 2.....	42
Figura 12.1 - Ganhos Internos referentes à zona 1, zona 3 e zona 6.....	59
Figura 12.2 - Ganhos Internos referentes à zona 2 e zona 5. ....	60
Figura 12.3 - Ganhos Internos referentes à zona 4.....	60
Figura 12.4 - Ganhos Internos referentes à zona 7.....	61
Figura 12.5 - Ganhos Internos referentes à zona comum. ....	61

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## Lista de tabelas

---

Tabela 4.1 - Escala de Sensação Térmica [14].....	16
Tabela 6.1 - Valores de referência para o cálculo dos ganhos internos. ....	29
Tabela 6.2 - Tabela das potências máximas de aquecimento e arrefecimento. ....	31
Tabela 8.1 - Potenciais de poupança energética. ....	44
Tabela 9.1 - Zonas que constituem o modelo e respetivas descrições. ....	51
Tabela 10.1 - Soluções construtivas para efeitos de simulação .....	56
Tabela 11.1 - Tabela de calor sensível e latente libertado pelo ser humano em função do tipo de atividade.....	58
Tabela 13.1 - Cenário 1, simulação setpoint 24 horas. ....	62
Tabela 13.2 - Cenário 1, setpoint Ocupado/Desocupado.....	63
Tabela 13.3 - Cenário 2, setpoint Ocupado/Desocupado.....	64
Tabela 13.4 - Cenário 1, setpoint Ocupado/Standby.....	65
Tabela 13.5 - Cenário 2, setpoint Ocupado/Standby.....	66

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de siglas

---

- AQS – Produção de água quente sanitária
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
- CAD – Computer Aided Design
- DGEG – Direcção-Geral de Energia e Geologia
- EPBD – Energy Performance of Buildings Directive
- ESP-r – Environment System Performance – Research
- ETP – Energy Technology Perspectives
- EUROSTAT – Serviço de Estatística das Comunidades Europeias
- PMV – Predicted Mean Vote
- PNAEE – Plano Nacional de Ação para as Eficiência Energética
- PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
- PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied
- RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
- REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
- RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
- SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios
- SGTC – Sistema de Gestão Técnica Centralizada
- UE – União Europeia
- URE – Utilização Racional de Energia
- UTA – Unidade de Tratamento de Ar
- VC – Ventiloinvector
- VEX – Ventiladores de Extração

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1.	Contexto e motivação	1
1.2.	Objetivos	2
1.3.	Organização da dissertação	3
<b>2.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA EUROPEIA E NACIONAL</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>CONTEXTO REGULAMENTAR E LEGISLATIVO DA EUROPA E NACIONAL</b>	<b>9</b>
3.1.	Políticas energéticas europeias	9
3.2.	Políticas energéticas nacionais	10
3.2.1.	Regulamentação e legislação em vigor	10
3.2.2.	Enquadramento regulamentar e legislativo	12
<b>4.</b>	<b>CONFORTO TÉRMICO</b>	<b>15</b>
4.1.	Conceito de conforto térmico	15
4.2.	Índices de conforto térmico segundo a norma ISO 7730:2005	16
<b>5.</b>	<b>SIMULAÇÃO DINÂMICA</b>	<b>21</b>
5.1.	Condições gerais	21
5.2.	ESP-r	22
<b>6.</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>25</b>
6.1.	Localização e caracterização do edifício em estudo	25
6.2.	Estruturação do modelo	26
6.2.1.	Descrição do modelo	26
6.2.2.	Base de dados	27
6.2.3.	Materiais e soluções construtivas	28
6.2.4.	Ganhos internos de energia	29
		XV

6.2.5.	Condições de controlo	30
6.2.6.	Simulação	32
<b>7.</b>	<b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b>	<b>37</b>
<b>7.1.</b>	<b>Resultado e análise da simulação</b>	<b>37</b>
7.1.1.	Temperaturas interiores anuais	37
7.1.2.	Energia de aquecimento e arrefecimento	39
7.1.3.	Índices de conforto térmico (PMV e PPD)	41
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO</b>	<b>43</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXO I</b>	<b>51</b>
9.1.	Zonas que constituem o modelo e respetivas descrições	51
<b>10.</b>	<b>ANEXO II</b>	<b>56</b>
10.1.	Soluções construtivas para efeitos de simulação	56
<b>11.</b>	<b>ANEXO III</b>	<b>58</b>
11.1.	Tabela de calor sensível e latente libertado pelo ser humano em função do tipo de atividade	58
<b>12.</b>	<b>ANEXO IV</b>	<b>59</b>
12.1.	Ganhos Internos	59
<b>13.</b>	<b>ANEXO V</b>	<b>62</b>
13.1.	Resumo dos parâmetros simulados	62

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



# 1. Introdução

---

## 1.1. Contexto e motivação

---

A energia elétrica é muito importante nos dias que correm, pois a sua utilização está a crescer de forma proporcional à atividade económica, sendo impulsionada por uma forte procura, a partir dos vários sectores. Desta forma, será de esperar um aumento do consumo da energia, daí a necessidade da União Europeia intervir estabelecendo e reformulando medidas mais rigorosas relativas ao clima e à energia para todos os seus estados membros, de forma a ajudar no cumprimento das suas obrigações para com o Protocolo de Quioto. Uma vez que, muitas dessas medidas recaíram sobre o sector dos edifícios, que engloba o sector residencial e o sector dos serviços, por ser considerado o sector que representa o maior consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> na UE, sendo responsável por cerca de 40% do consumo final de energia e das emissões de CO<sub>2</sub> [1].

Assim, verifica-se que as alterações climáticas e os elevados consumos de energia são alguns dos principais motivos de discussão da atualidade. Nesse sentido, o Conselho Europeu de Março de 2007 sublinhou a necessidade de aumentar a eficiência energética na União Europeia a fim de alcançar o objetivo de redução de 20% do consumo de energia e de emissões globais de gases com efeito de estufa até 2020 [1].

Porém, o sector dos edifícios representa um grande potencial ainda inexplorado para realizar poupanças de energia economicamente rentáveis caso sejam concretizadas significa que em 2020 a UE consumiria menos 11% de energia final. Daí decorrem, por sua vez, numerosos benefícios, como a redução das necessidades de energia, a dependência das importações e do impacto no clima, a diminuição das faturas energéticas, o aumento do emprego e a promoção do desenvolvimento local [2].

O facto de nos últimos anos ter-se assistido a uma profunda alteração de hábitos de consumo energéticos devido a um crescente aumento do poder económico e à melhoria da qualidade de vida das pessoas, o que desencadeou um aumento de certas exigências e necessidades por parte das pessoas, ao nível do sector da construção, nomeadamente no que diz respeito ao conforto e bem-estar, tendo como consequência um aumento significativo dos consumos e custos energéticos. Desta forma, o aumento de consumo energético está diretamente associado ao crescente número de utilização de sistemas de climatização disponíveis nas habitações, assim como a um aumento populacional, às alterações climáticas e às construções menos cuidadas.

Note-se que a forte dependência energética aliada à crescente procura de energia tem levado a grandes desenvolvimentos em termos políticos e tecnológicos. Para além das importantes medidas políticas que a União Europeia tem tomado para travar o aumento da dependência energética, as tecnologias também desempenham um papel fundamental na regulação de consumos energéticos e na transformação do sistema energético.

Segundo a Energy Technology Perspectives (ETP) [3], na qual demonstra claramente que apesar das tendências atuais, uma transformação tecnológica do sistema energético ainda é possível. A utilização integrada de importantes tecnologias existentes permitiria reduzir a dependência em relação aos combustíveis fósseis importados ou aos recursos domésticos limitados, assim como, descarbonizar a eletricidade, aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões nos sectores da indústria, do transporte e da construção. Desta forma, torna-se possível travar o aumento da procura de energia, bem como reduzir as importações, reforçando as economias domésticas ao longo do tempo e baixando consideravelmente as emissões de gases com efeito de estufa.

## 1.2. Objetivos

---

Perante as normativas referentes aos índices de conforto térmico ISO 7730 e as diretivas nacionais nomeadamente, o RSECE e o RCCTE pretende-se enquadrá-las no modelo elaborado, cujo programa informático é o ESP-r, por forma a alcançar a melhor solução em termos de eficiência energética e comportamento térmico do edifício em estudo.

O presente estudo tem como objetivo melhorar o desempenho energético de um edifício de serviços existente, nomeadamente a Casa São Nuno, otimizando-se as variáveis ambientais (setpoints) com recurso à simulação energética através do ESP-r, sendo posteriormente parametrizadas no SGTC implementado no edifício.

Importa referir que para ser possível proceder à realização do modelo a implementar no programa informático de simulação dinâmica ESP-r foi necessário realizar um levantamento de vários dados, nomeadamente, materiais, soluções construtivas, iluminação, sistema de climatização, equipamentos, ocupação e utilização do edifício. Assim, com os dados recolhidos será possível proceder à realização do modelo tridimensional, tendo em conta a legislação, bem como introduzir os valores calculados para as cargas térmicas de cada zona em função dos perfis de ocupação controlo de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

## 1.3. Organização da dissertação

---

No capítulo 1 introduziu-se o contexto e a motivação, bem como os objetivos e a organização da presente dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se uma breve caracterização energética europeia e nacional por sector, assim como é apresentado a desagregação dos consumos de energia para os vários subsectores dos serviços e em particular para o subsector dos hotéis e restaurantes.

No capítulo 3 apresenta-se as políticas energéticas europeias, que os Estados-Membros têm vindo a promover com o intuito de impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto nos edifícios. Neste capítulo faz-se ainda uma contextualização regulamentar e legislativa Nacional.

No capítulo 4 procedeu-se a uma breve análise do conceito de conforto térmico, bem como aborda-se a norma que determina analiticamente e interpreta o conceito de conforto térmico, usando para isso o cálculo dos índices de conforto térmico o PMV e o PPD.

No capítulo 5 pretende-se introduzir o conceito de simulação dinâmica, bem como apresentar o programa informático de simulação dinâmica usado na elaboração do modelo referente ao presente estudo de caso.

No capítulo 6 será apresentado o estudo de caso, relativo ao edifício de serviços localizado em Fátima o Hotel Casa São Nuno. Neste capítulo faz-se uma estruturação do modelo de simulação realizado no programa de simulação dinâmica o ESP-r.

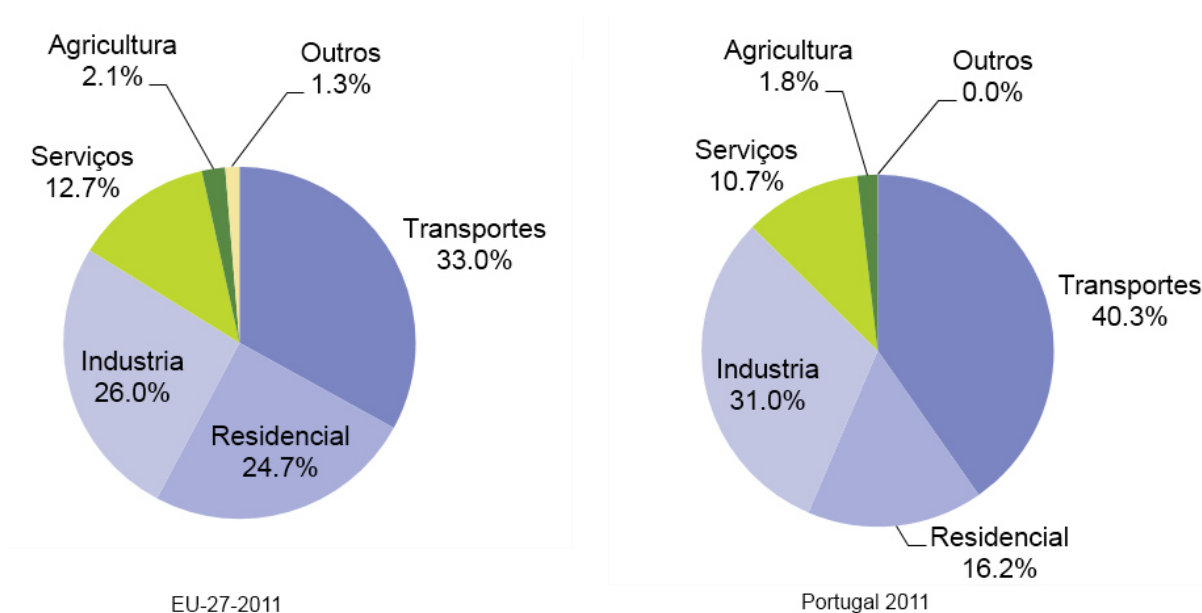
No capítulo 7 procede-se à realização da análise de resultados das simulações.

Finalmente no capítulo 8 formula-se as conclusões relativas ao presente estudo de caso.



## 2. Caracterização energética europeia e nacional

A nível Europeu no ano 2011, o sector dos edifícios que engloba o sector dos serviços e residencial, é considerado como o sector que absorve maior percentagem de energia final com cerca de 37% do consumo final de energia (Figura 2.1) e por conseguinte, o sector dos transportes e indústria com 33% e 26% respetivamente. No entanto, a nível nacional o sector dos edifícios não é considerado o sector com maior consumo de energia final, sendo responsável por 26,9% do consumo final no ano 2011, ou seja, 10,7% para os edifícios de serviços e 16,2% para os edifícios residenciais, valores relativamente baixos quando comparados com o sector dos transportes, no qual, representa um consumo de 40,3% da energia total final seguido do sector da indústria com 31% dos recursos energéticos consumidos.



**Figura 2.1 - Consumo de energia final por sector, EU-27, 2011 - Fonte: Eurostat (código de dados on-line: tsdpc320)[4].**

De referir que, para Portugal os sectores dos serviços e dos transportes foram, nos últimos anos, os que mais contribuíram para o aumento dos consumos, destacando-se especialmente o sector dos serviços que, nas últimas duas décadas, apresentou uma taxa de crescimento média anual de 8% [5].

Porém, no sector dos serviços existe uma enorme variedade de edifícios, que vai desde a pequena loja até uma grande superfície, assim como, dentro da mesma categoria, existem unidades eficientes e outras grandes consumidoras de energia. Tendo em conta esta diferenciação é necessário realçar que o sector dos serviços engloba vários subsectores que podem ser públicos ou privados, sendo os mais significativos em termos de consumos específicos os restaurantes, hotéis, hipermercados, supermercados, piscinas, hospitais e escritórios [6].

A desagregação dos consumos de energia para os vários subsectores dos serviços é ilustrada na Figura 2.2, apresentado uma distribuição bastante homogênea dos consumos de energia em Mega Toneladas Equivalentes de Petróleo (Mtep) para os diversos subsectores dos serviços existentes nos Estados-Membros da União Europeia referentes ao ano 2013. No entanto, para Portugal os três maiores subsectores em termos de consumo de energia elétrica são os escritórios com aproximadamente 39%, o comércio com 28% e por sua vez os hotéis e restaurantes com cerca de 14% do consumo de energia elétrica.

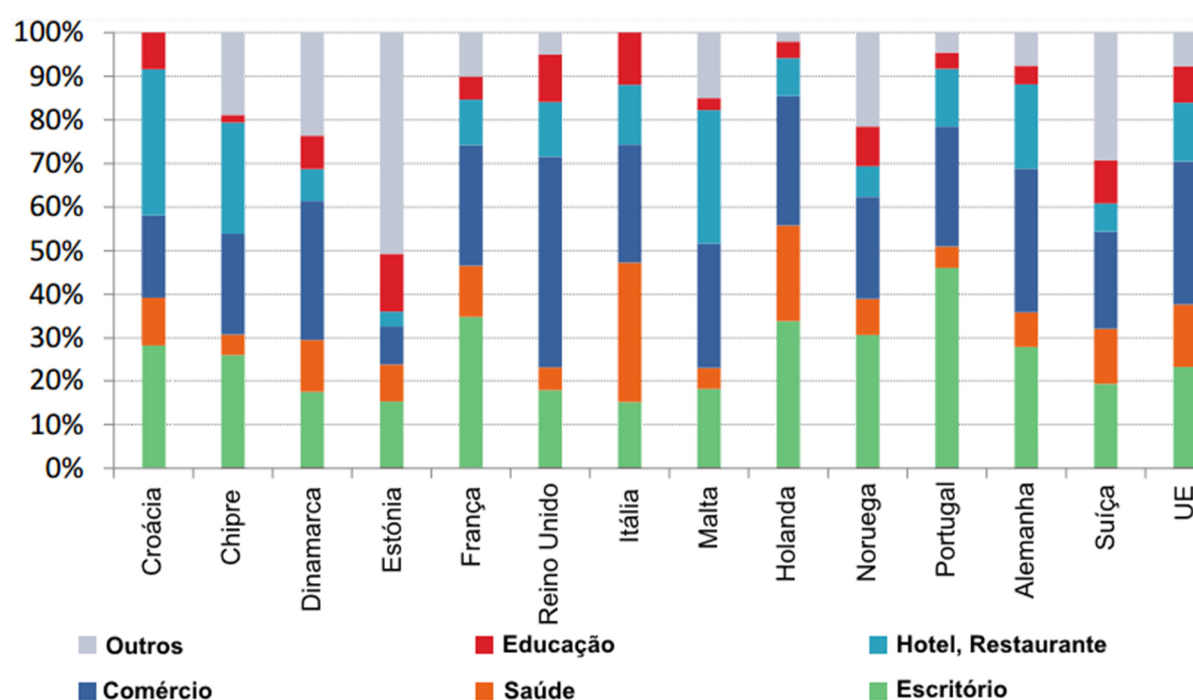
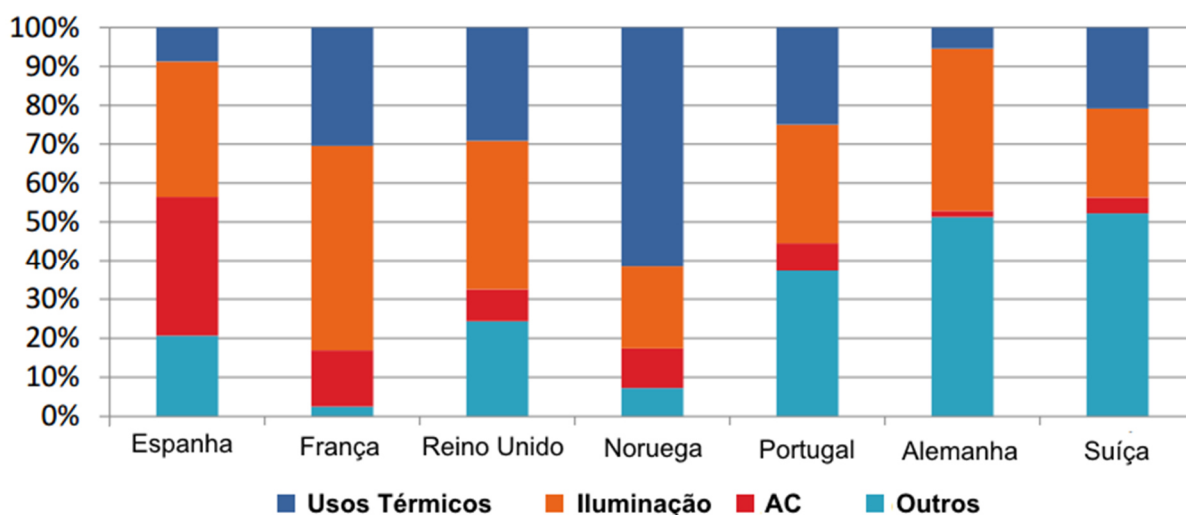


Figura 2.2 - Consumo de energia elétrica por subsector dos serviços (Mtep) [7].

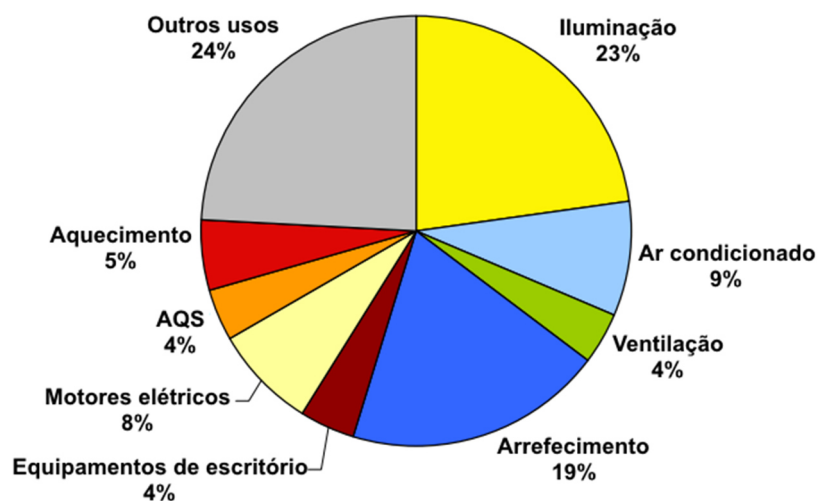
De forma, a tornar-se possível a avaliação do potencial de redução do consumo energético nos edifícios a uma escala global, torna-se então importante conhecer os diferentes tipos de utilizações finais de energia, de acordo com a respetiva categoria do edifício. Assim, as figuras seguintes mostram o tipo de utilização final de energia nos vários

Estados-Membros da União Europeia. Analisando a Figura 2.3, constata-se que, para os Estados-Membros da União Europeia, os consumos de energia elétrica para usos finais, em edifícios de serviços, não apresentam um cenário uniforme, devendo-se de certa forma a influências de vários fatores, tais como locais, climatéricos e culturais, entre outros. Em relação ao panorama nacional, verifica-se que a maior fração de consumos energéticos deve-se a outros consumos de eletricidade, seguindo-se a iluminação e a climatização.



**Figura 2.3 - Desagregação dos consumos de energia elétrica por uso final na UE2008 [8].**

De salientar que, dentro do consumo energético atribuído aos subsectores dos hotéis e restaurantes Figura 2.4, na União Europeia, a maior percentagem desse consumo é atribuída à climatização dos espaços (aquecimento, arrefecimento, ventilação e ar condicionado) com 37% e a segunda maior parcela deve-se a outros usos com 24%, seguindo-se a iluminação com 23%. Normalmente, a forma de energia utilizada para estes fins é a eletricidade, que adiciona todo um conjunto de inconvenientes inerentes à utilização desta forma de energia, como preços elevados, efeitos ambientais negativos e a dependência de um monopólio natural, entre outros.



**Figura 2.4 - Desagregação dos consumos de energia elétrica por uso final no subsector dos hotéis e restaurantes [9].**

Em suma, o sector dos edifícios é aquele que apresenta um maior potencial de poupança possível de alcançar através de algumas pequenas intervenções nos edifícios, conseguindo-se poupar até 30-35% de energia, mantendo as mesmas condições de conforto [5].

## 3. Contexto regulamentar e legislativo da europa e nacional

---

### 3.1. Políticas energéticas europeias

---

No contexto internacional torna-se consensual a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e o seu desempenho energético, assim como, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa que potenciam o fenómeno de aquecimento global.

Nesse sentido os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com intuito de impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, estabelecendo regulamentos e normas, tais como a diretiva 2010/31/EU, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios “EPBD”, transposta da diretiva de 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, em que o principal objetivo da presente diretiva consiste em manter os objetivos e os princípios da anterior, bem como reforçar as medidas para melhorar o desempenho energético geral dos edifícios em condições de rentabilidade económica no que diz respeito:

- Utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios sendo uma medida importante e necessária para reduzir a dependência energética da União Europeia e das emissões de gases com efeito de estufa;
- Métodos de cálculo de desempenho energético integrados nos edifícios nacionais ou regionais;
- Aplicação de requisitos mínimos de desempenho energético para edifícios novos ou para grandes edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação;
- Planos nacionais para aumentar o número de "edifícios com necessidades quase nulas de energia";
- Certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- Manutenção e inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

Assim, a EPBD é o principal instrumento que prevê uma abordagem holística tendo em vista a utilização eficiente da energia no sector dos edifícios. Uma vez que, esta diretiva não define níveis à escala da UE mas exige que os Estados-Membros estabeleçam requisitos concretos, bem como os mecanismos para a sua aplicação, tendo plenamente em conta, na sua abordagem condições específicas nacionais ou regionais, como o clima exterior e as várias tradições de construção [2].

Deste modo, a correta implementação e execução das disposições da diretiva vai dar um contributo importante para a melhoria do desempenho energético dos edifícios, estimando-se que a plena aplicação das suas disposições resultaria em economias de energia de 60-80 Mtep em 2020, o que seria equivalente a uma redução do consumo total de energia da UE até 5-6% [10].

Como tal, cabe aos Estados-Membros tomarem os procedimentos necessários para que estas medidas sejam postas em prática e reguladas, aproximando-se à realidade do seu mercado, uma vez que estas medidas podem ir além dos requisitos mínimos estabelecidos na diretiva e fixar metas mais ambiciosas para melhorar o desempenho energético nos edifícios, proporcionando uma melhoria significativa na qualidade dos edifícios e contribuindo, assim, para uma solução a longo prazo para resolver os problemas das faturas energéticas elevadas e melhoria da qualidade de vida das populações.

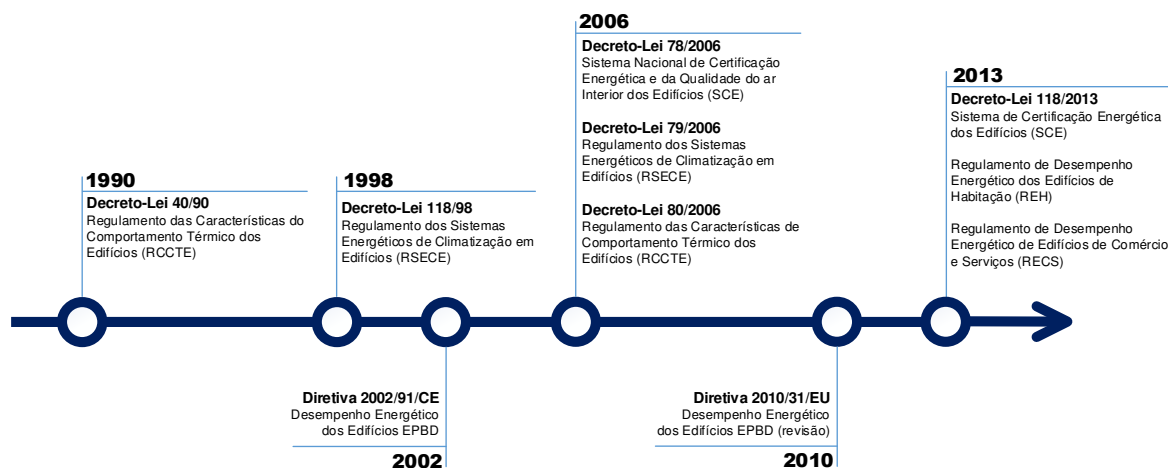
## **3.2. Políticas energéticas nacionais**

---

### **3.2.1. Regulamentação e legislação em vigor**

---

Tradicionalmente em Portugal não se tem dado muita importância ao comportamento térmico dos edifícios, nomeadamente aquando da execução do seu projeto, motivo pelo qual torna normalmente os edifícios desconfortáveis ou exige grandes quantidades de energia para manter o conforto térmico no seu interior, bem como uma qualidade do ar aceitável e uma boa ventilação. Contudo, nos últimos anos tem-se notado uma evolução crescente a nível legislativo e em termos de exigências (ver Figura 3.1) tanto no sector residencial, como no sector dos serviços, nos quais o conforto se traduz num aumento de produtividade ou qualidade dos serviços prestados. Consequentemente e associado a este facto têm-se verificado um aumento significativo dos consumos energéticos e da instalação de equipamentos de climatização nos edifícios.



**Figura 3.1 - Evolução legislativa da Europa e de Portugal [11].**

Porém, com a entrada em vigor do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) em 1990 deu-se o primeiro passo no sentido de atuação para a redução das necessidades energéticas nos edifícios. No entanto, faltou regulamentar as condições em que se definem as dimensões e se devem processar a instalação e a utilização de equipamentos e sistemas nos edifícios com sistemas energéticos de aquecimento e ou arrefecimento, sem ou com desumidificação, por forma a assegurar a qualidade das respetivas prestações, com respeito pela utilização racional de energia, pelo meio ambiente e pela segurança das instalações o que veio a acontecer com a aprovação do RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) em 1998 [12].

Dado o tendencial crescimento na procura de sistemas de climatização no sector dos edifícios verificado nas últimas décadas, constatou-se um aumento dos consumos energéticos, principalmente no subsector dos serviços, traduzindo-se em valores médios na ordem dos 12% por ano. Por sua vez, a não existência de requisitos e exigências quanto a valores mínimos de renovação do ar, bem como o pouco controlo e a falta de manutenção dos sistemas durante o seu funcionamento normal têm levado ao aparecimento de problemas de qualidade do ar interior, alguns dos quais com impacte significativo ao nível da saúde pública [13].

Neste contexto, em 2006 surgem três Decretos-Lei que transpõem para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º2002/91/CE relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios:

- **Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril**, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- **Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril**, atualização do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- **Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril**, atualização do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Atualmente com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, a 19 de maio de 2010, transposta para a ordem jurídica nacional, através do Decreto-Lei n.º118/2013, no qual, o seu objeto visa a assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Não obstante, promove-se a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando o primeiro a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e o segundo sobre os edifícios de comércio e serviços, proporcionando desta forma a individualização no tratamento dos diferentes tipos de edifício, realçando o que é mais relevante na caracterização e melhoria do desempenho energético individual para cada um.

No entanto, para o presente estudo de caso, irá ser abordado de forma mais detalhada o RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril), uma vez que, está diretamente relacionado com os objetivos traçados para o presente estudo de caso.

### **3.2.2. Enquadramento regulamentar e legislativo**

---

Tal como, mencionado anteriormente o presente estudo de caso baseia-se fundamentalmente no estudo do RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril), que sucedeu ao Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio.

O RSECE visa sobretudo estabelecer um conjunto de requisitos a observar no projeto de novos sistemas de climatização em termos de conforto térmico, qualidade do ar interior, taxas de renovação e tratamento do ar interior, abrangendo, ainda os limites máximos de consumo de energia nos edifícios e de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nos edifícios, bem como as condições de manutenção dos sistemas de

climatização e a obrigatoriedade de monitorização/auditoria em termos de consumos de energia e de qualidade do ar interior no edifício.

Deste modo, o âmbito de aplicação do RSECE incide maioritariamente sobre os grandes edifícios de serviços, ou seja, edifícios ou frações autónomas de serviços existentes com área útil superior a 1000m<sup>2</sup>, exceto para edifícios existentes do tipo centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, cujo valor limite é reduzido para 500m<sup>2</sup>. Está abrangido igualmente por este regulamento todos os edifícios novos (edifícios de serviços grandes ou pequenos e os edifícios ou frações autónomas residenciais) com uma potência instalada superior a 25 kW para climatização, bem como os edifícios de serviços que requerem grandes intervenções de reabilitação relacionadas com a envolvente e as instalações mecânicas de climatização ou os demais sistemas energéticos.

Importa referir que, para os sistemas de climatização a partir de um limiar de potência térmica deverão obrigatoriamente possuir um sistema automático de regulação e controlo, podendo ser autónomo ou integrado num sistema de gestão de energia (vulgo Sistemas de Gestão Técnica Centralizada – SGTC), desde que, o seu controlo garanta a limitação das temperaturas de conforto máxima e mínima, bem como a regulação das potências de aquecimento e arrefecimento e a possibilidade de desligar o sistema, ou reduzir-lho em espaços em período de não ocupação.

Assim, de acordo com o nº6 do artigo 27 do RSECE os sistemas de climatização com uma potência instalada superior ou igual a 100kW devem ser dotados de sistemas de monitorização. Por outro lado, para sistemas de climatização com uma potência instalada igual ou superior a 200kW devem ser dotados de sistemas de gestão de energia, constituído por sensores, atuadores, módulos programáveis/configuráveis e programas informáticos adaptados para a gestão dos sistemas de climatização. No caso dos sistemas de gestão de energia, nomeadamente nos sistemas de climatização acima dos 250kW o respetivo sistema de gestão de energia deve permitir a otimização centralizada da parametrização do sistema de climatização.

Relativamente à aplicação do RSECE, para o estudo de caso o edifício em questão pode ser considerado como um grande edifício de serviço com uma potência instalada superior a 25kW para climatização. Além disso, dadas as imposições regulamentares o edifício beneficia de um SGTC, ou seja, um sistema de supervisão e controlo essencial na coordenação e gestão de forma conjunta de todos os principais equipamentos consumidores de energia, tais como, Unidades de Tratamento de Ar (UTAs),

Ventiloconvectores (VCs), Ventiladores de Extração (VEX), bem como os Chillers e os equipamentos de produção de Água Quente Sanitária (AQS).

## 4. Conforto térmico

---

### 4.1. Conceito de conforto térmico

---

O conforto térmico resulta das condições de troca de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente. Deste modo, a principal condição para se obter o bem-estar e o conforto é mantendo o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente. No entanto, existem diversas variáveis que podem influenciar o equilíbrio térmico, estando elas agrupadas em dois tipos de fatores, nomeadamente, os fatores individuais, como, a atividade física e o tipo de vestuário, bem como os fatores ambientais, tais como, a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar e a humidade do ar.

Assim, segundo a norma ISO 7730:2005 [14] o conforto térmico pode ser definido como "a condição da mente que expressa satisfação quando sujeito a um determinado ambiente térmico". Porém, devido às diferenças individuais, torna-se impossível determinar um ambiente térmico interior que satisfaça todos os ocupantes. Nesse sentido, o conceito de conforto térmico considera-se bastante subjetivo, uma vez que, depende de pessoa para pessoa, ou seja, um ambiente confortável para uma pessoa pode ser desconfortável para outra.

No entanto, as condições de conforto térmico proporcionadas por um edifício dependem de uma série de fatores que incluem as características de construção do edifício e dos sistemas de climatização [15]. Assim, esses fatores estão igualmente relacionados de uma forma direta com os custos de operação do edifício. Portanto, torna-se essencial estabelecer condições interiores de referência a aplicar num edifício sem comprometer o conforto térmico dos seus ocupantes e sem causar um consumo excessivo de energia, como tal, o RCCTE estipulou uma temperatura do ar de 20°C, para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento.

Assim, a conceção e o desenvolvimento dos projetos de edifícios e de sistemas de climatização por parte dos projetistas têm como objetivo centralizar-se em atingir o conforto térmico nos edifícios, por forma a proporcionar condições ambientais que satisfaçam o maior número de ocupantes no interior de um edifício.

Deste modo, a avaliação do conforto térmico pode ser considerada como uma ferramenta importante a ser usada conjuntamente com os programas informáticos de

simulação de desempenho térmico, contribuindo, assim, para melhor adequar os projetos dos edifícios ao ambiente interior e ao nível de atividade física.

## 4.2. Índices de conforto térmico segundo a norma ISO 7730:2005

A necessidade de se conhecer a sensação térmica experimentada pelas pessoas quando expostas a determinadas combinações das variáveis individuais e ambientais levou ao desenvolvimento dos índices de conforto térmico [16].

Nesse sentido, a norma ISO 7730:2005 apresenta métodos para prever a sensação térmica e o grau de desconforto (insatisfação térmica) das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados, através da determinação e interpretação do conforto térmico, usando para isso, o cálculo dos índices de conforto térmico, nomeadamente o PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

O índice PMV (Predicted Mean Vote) é um índice baseado na previsão do valor médio dos votos de um grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, expressando as respetivas sensações térmicas de acordo com uma escala de sete níveis, conforme apresentado na Tabela 4.1. No entanto, o equilíbrio térmico é conseguido por um indivíduo quando a produção interna de calor do corpo é igual à perda de calor para o ambiente envolvente, ou seja, num ambiente moderado, o sistema termorregulador humano tentará automaticamente regular a temperatura da pele e o nível de sudoreção, de forma a manter o equilíbrio térmico [14].

**Tabela 4.1 - Escala de Sensação Térmica [14].**

Escala	Sensação Térmica
3	Muito Quente
2	Quente
1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

No entanto, para que os resultados obtidos de PMV sejam compatíveis com as sensações térmicas relatadas pelas pessoas em ambientes reais, a norma ISO 7730:2005 recomenda a utilização do índice PMV apenas para valores de sensação térmica compreendido entre -2 e +2, bem como quando os valores dos seguintes parâmetros encontram-se dentro da gama de valores indicada:

- Metabolismo (M) entre 46 W/m<sup>2</sup> e os 232 W/m<sup>2</sup> (0,8 met e 4 met);
- Isolamento do vestuário ( $I_{cl}$ ) entre 0 m<sup>2</sup>.K/W e os 0,310 m<sup>2</sup>.K/W (0 clo e 4 clo);
- Temperatura do ar ( $t_a$ ) entre os 10°C e os 30°C;
- Temperatura média radiante ( $t_r$ ) entre os 10°C e os 40°C;
- Velocidade do ar ( $v_{ar}$ ) entre os 0 m/s e 1m/s;
- Pressão parcial de vapor ( $P_a$ ) entre os 0 Pa e os 2700 Pa.

A determinação do índice de PMV pode ser feita com base num dos seguintes processos, nomeadamente, através da aplicação da equação (1) com o auxílio de um programa informático, ou diretamente a partir das tabelas de valores de PMV, constantes no anexo E da norma ISO 7730:2005. De referir que, para o presente estudo de caso recorreu-se ao programa informático ESP-r para calcular os valores de PMV. Assim, com os valores de PMV calculados consegue-se verificar, se um determinado ambiente térmico está em conformidade com os critérios de conforto, bem como estabelecer os requisitos para diferentes níveis de aceitabilidade.

$$PMV = [0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \cdot \Delta Q \quad (1)$$

Onde:

PMV = voto médio previsível

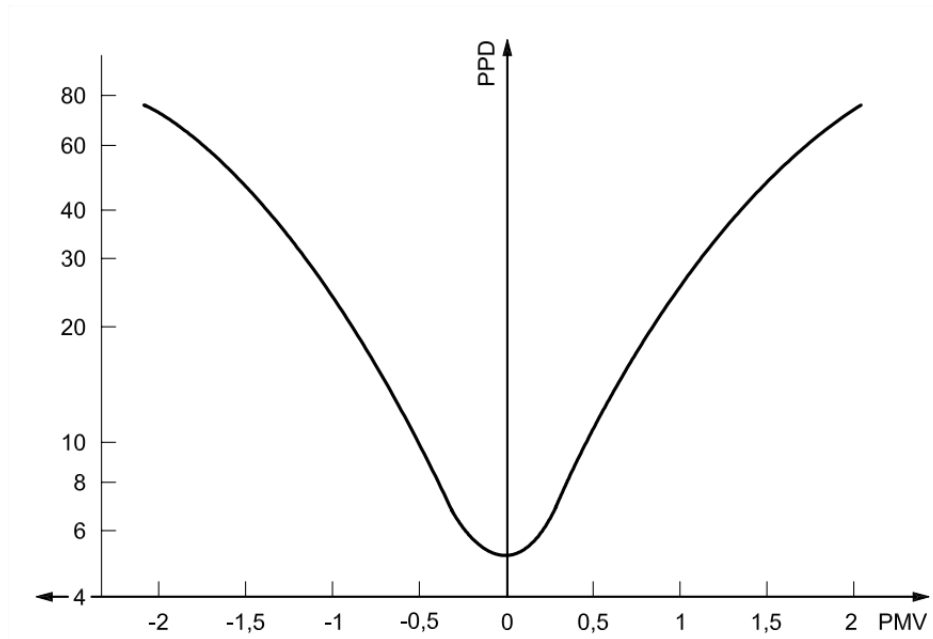
M = metabolismo ou atividade desempenhada pelo indivíduo

$\Delta Q$  = cargas térmicas atuantes sobre o corpo

Conhecendo o índice de PMV, é possível determinar a percentagem de pessoas que se consideram desconfortáveis (PPD) com as condições térmicas, ou seja, consiste na percentagem de pessoas insatisfeitas que escolheriam os valores na escala de +3, +2, -2 e -3 da Tabela 4.1 para descrever a sua sensação térmica.

O PPD é determinado em função do PMV, ou seja, com os valores de PMV calculados é possível determinar o PPD a partir da equação (2) ou através da curva simétrica da Figura 4.1, na qual, relaciona os índices de PPD e PMV.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (2)$$



**Figura 4.1 - PPD em função de PMV [14].**

Em virtude da simetria da curva de variação da Figura 4.1 em relação ao ponto de neutralidade térmica ( $PMV=0$ ), as sensações de calor e de frio vão ser equivalentes, correspondendo a igual percentagem de pessoas insatisfeitas com o frio ou com o calor. Por outro lado, constata-se que, mesmo perante um ambiente com neutralidade térmica ( $PMV=0$ ), em que a condição de conforto térmico estaria assegurada, existe pelo menos uma percentagem de 5% ( $PPD=5\%$ ) de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas oferecidas, reforçando deste modo a impossibilidade de garantir um ambiente térmico que satisfaça todos os ocupantes do edifício.

Note-se que, para o presente estudo consideraram-se aceitáveis as condições de conforto, de tal modo que a percentagem de pessoas insatisfeitas seja inferior a 25% ( $PPD < 25\%$ ), o que corresponde a uma gama de valores de PMV compreendida entre -1 (ligeiramente frio) e +1 (ligeiramente quente).

De referir que, segundo a norma ISO 7730:2005 os índices de PMV e PPD expressam o desconforto causado pelo frio ou pelo calor sentidos no corpo humano como um todo. Porém, a sensação de desconforto térmico sentida por um indivíduo também pode ser originada por um arrefecimento ou aquecimento indesejado de uma parte em particular do corpo, designando-se por desconforto local. Assim, a principal causa que contribui para o desconforto local, deve-se à corrente de ar (*draught*), o arrefecimento ou aquecimento

de uma parte do corpo em específico, originado pela velocidade do ar demasiado elevada e/ou temperaturas inadequadas. O desconforto térmico local também pode ser provocado pela existência de uma diferença vertical de temperatura do ar entre a cabeça e os tornozelos, assim como devido à existência de pavimentos quentes e frios, provocando uma sensação térmica nos pés devido ao piso estar quente ou frio. Note-se que se pode ainda referir o desconforto térmico local originado pela assimetria de temperatura radiante devido às superfícies como tetos, paredes ou janelas demasiado quentes ou frias.



---

## 5. Simulação dinâmica

---

### 5.1. Condições gerais

---

A evolução tecnológica, as questões ambientais e económicas, assim como, questões relacionadas com a saúde pública associadas à qualidade do ar interior e ao conforto térmico, levaram a uma crescente preocupação com o consumo energético e há definição de um conjunto de legislação a nível comunitário no sentido de minimizar o consumo energético no sector dos edifícios.

Assim, nos últimos 50 anos tem-se desenvolvido e aperfeiçoado vários programas informáticos de simulação por parte dos fabricantes de sistemas AVAC ou até mesmo de instituições públicas, com o intuito de apoiar os projetistas e os auditores energéticos na avaliação do comportamento dos edifícios, por forma a cumprir com os regulamentos em vigor. No entanto, o objetivo principal do uso de tais ferramentas consiste em melhorar o desempenho energético do edifício, fornecendo ao utilizador indicadores chave da performance do edifício, tais como, energia necessária, temperatura, humidade e custos [17]. Assim, com a ajuda dos programas informáticos é possível reproduzir as interações complexas e dinâmicas do edifício com o ambiente interior, produzindo previsões do seu desempenho com base no modelo de construção real [18].

Na sua essência, a simulação dinâmica consiste num método computacional de análise do desempenho energético, pelo que, permite avaliar, de uma forma quantitativa, os consumos potenciais de energia do edifício e dos seus sistemas para determinadas condições de utilização e funcionamento dos mesmos [19]. Desta forma, com uso da simulação dinâmica consegue-se determinar aspetos como as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício, bem como determinar as cargas térmicas exteriores e interiores provenientes das condições climatéricas e das condições de funcionamento do edifício resultantes do metabolismo das pessoas, da transmissão de calor da iluminação e do funcionamento de equipamentos nos locais climatizados. Além disso, a simulação dinâmica permite determinar os consumos de energia de um dado sistema, servindo um dado edifício e conseqüentemente possibilita determinar o consumo global do edifício.

Portanto, o uso de métodos dinâmicos para determinação das cargas térmicas presentes num determinado edifício, nomeadamente pelo emprego de programas informáticos, apresenta-se como uma metodologia que tem vindo a ganhar força, dado

tratarem-se de ferramentas de verificação, que permitem sobre muitos aspetos a simulação de situações reais e a obtenção dos respetivos dados de estudo com grande aproximação [20].

Deste modo, a simulação dinâmica pode ser considerada como uma ferramenta significativa na análise de funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos, permitindo o estudo de diferentes soluções, bem como potenciais alternativas de melhoria quer na parte construtiva quer na parte de utilização do edifício quer no tipo de sistema de climatização a instalar, contribuindo para minimizar a potência e o consumo previsível da instalação e do edifício na sua globalidade.

No âmbito do RSECE, a simulação serve principalmente para determinar o IEE (Indicador de Eficiência Energética) e para dimensionamento dos sistemas de climatização [19]. Segundo o regulamento os grandes edifícios com uma área superior a 1000m<sup>2</sup> ou com sistemas de climatização superior a 25kW, necessitam efetuar uma simulação dinâmica do comportamento térmico do edifício utilizando programas de simulação dinâmica que sejam acreditados pela norma ASHRAE 140-2004.

Atualmente, estão abrangidos pela norma ASHRAE 140-2004 vários programas informáticos dos quais se destacam, o RCCTE-STE, o ENERGYPLUS, o TRNSYS, o DOE2.1e, o TRACE700, o CARRIER\_HAP e o ESP-r, porém, optou-se pelo ESP-r para fazer a simulação dinâmica do edifício em estudo.

## **5.2. ESP-r**

---

O ESP-r (Environment System Performance – Research) foi concebido por Joe Clarke entre 1974 e 1977, sendo atualmente desenvolvido pela Unidade de Pesquisa de Sistemas de Energia (ESRU) da Universidade de Strathclyde em Glasgow, consistindo em um programa de simulação de energia transiente capaz de modelar a energia e o fluxo de ar no interior de um edifício contendo sistemas energéticos auxiliares [21], de modo a permitir, uma avaliação aprofundada dos fatores que influenciam o desempenho energético e ambiental dos edifícios [22].

Assim, o ESP-r ao abordar todas as variáveis simultaneamente, permite ao utilizador analisar as complexas relações entre arquitetura, características construtivas, fluxo de ar, fluxo de energia, bem como os sistemas de controlo existentes no edifício. Desta forma, o método de análise do ESP-r baseia-se no método dos volumes finitos, ou seja, uma abordagem de conservação em que um problema especificado em termos de geometria,

de construção, de operação, de distribuição de fugas é transformado num conjunto de equações de conservação de energia, massa, momento que são então integradas nos sucessivos intervalos de tempo, tendo por base as características climáticas da localização pré-definida, os perfis de ocupação e as influências dos sistemas de controlo [22].

O programa incorpora vários módulos/subprogramas, regidos por um interface principal, o *Project Manager*, a partir do qual o utilizador tem acesso às bases de dados de apoio, ao simulador, às ferramentas de avaliação de desempenho, às ferramentas de CAD (Computer Aided Design), assim como, á possibilidade de exportar os relatórios. Deste modo, a Figura 5.1 expõe a forma como os módulos estão estruturados, bem como a descrição das principais funcionalidades.

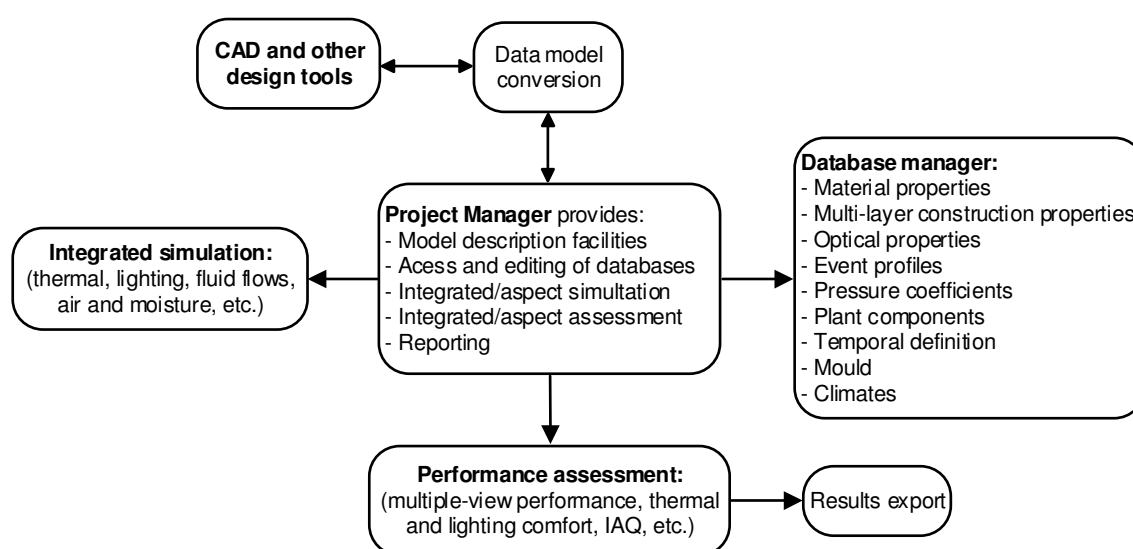


Figura 5.1 - ESP-r estrutura e funcionalidade [23].

Note-se que, o ESP-r pode integrar três etapas distintas, nomeadamente:

- **Implementação do modelo**, que consiste em criar ou editar um modelo de simulação válido com uma ou mais zonas agrupadas de modo a compor o edifício, sendo cada zona definida em termos dos dados geométricos, em termos da caracterização termofísica dos seus elementos construtivos, bem como, dos perfis de utilização, dos ganhos internos e renovação de ar. Além disso, o programa possibilita aquando da execução do modelo a sua complementação com aspetos como o sombreamento temporal, os padrões de insolação, a radiação, e os módulos fotovoltaicos. Deste modo, torna-se assim, possível o estudo de diversas configurações, desde modelos de unizonas até estruturas de multizonas, com ou sem sistemas energéticos integrados;

- **Simulação**, o programa recorre ao modelo criado pelo utilizador para simular o seu desempenho;
- **Análise de Resultados**, ou seja, a possibilidade de visualizar e analisar os resultados da simulação, podendo ser exportados para outras plataformas de análise e de elaboração de gráficos.

O ESP-r é considerado uma das ferramentas de simulação térmica mais potentes, por forma a que os resultados reflitam com precisão o ambiente de construção real, tendo-se em conta a definição e introdução correta dos dados de entrada.

Segundo Aldomar Pedrini [18], o uso de ferramentas de simulação na prática exige uma garantia de que os resultados estão em conformidade com a realidade, e isso só é possível através de uma avaliação global e de uma análise de sensibilidade generalizada. No entanto, as atuais ferramentas de simulação energética são aceitáveis em termos de precisão dos seus algoritmos, uma vez que, elas foram submetidas a exaustivos estudos de validação. A validação pode ser feita comparando resultados de ferramentas de energia com cálculos analíticos, ou com uma ferramenta validada ou através da experimentação, que consiste numa medida de resposta de edifícios reais.

---

## 6. Estudo de caso

---

### 6.1. Localização e caracterização do edifício em estudo

---

O presente estudo incidiu sobre o edifício Casa São Nuno, tratando-se de um grande edifício de serviços com uma utilização do tipo unidade Hoteleira. O edifício encontra-se localizado no concelho de Fátima, na avenida Beato Nuno, junto ao Santuário de Fátima, sendo as suas coordenadas geográficas de latitude N39°38'7.54" e longitude W8°40'13.56".

Recentemente as suas instalações sofreram grandes remodelações e adaptações para responder às novas exigências legais, passando a ser classificado como um Hotel de três estrelas.

Assim, o edifício em estudo é considerado uma unidade hoteleira, com uma ocupação de Segunda a Domingo, tendo ao dispor dos seus clientes diversos espaços e serviços que visam a satisfação das suas necessidades e exigências. Desta forma, o edifício apresenta na sua constituição espaços destinados ao desenvolvimento da sua atividade, sendo composto maioritariamente por quartos, mais precisamente por cerca de 135 quartos, que permitem alojar um limite máximo de 250 pessoas. Para além disso, o edifício apresenta outros serviços disponíveis, nomeadamente, o de restauração, uma capela, e um anfiteatro.

O edifício em causa conta com uma área de construção de 2358,3m<sup>2</sup> e uma área útil superior a 1000m<sup>2</sup>, estando distribuído por duas grandes alas, a ala nascente e a ala poente, tal como mostra a Figura 6.1. No entanto, dada a sua dimensão o estudo focou-se especificamente sobre a ala nascente por ser considerada a ala que apresenta uma maior percentagem de ocupação em todo o edifício. Deste modo, a ala nascente encontra-se dividida em 6 pisos acessíveis a clientes com pé direito médio de 2,7 metros, no qual, cada piso é composto maioritariamente por quartos de repouso, circulações, zonas comuns e copas de serviço.

De referir que, cada quarto é climatizado, possuindo um sistema de climatização, nomeadamente o VC controlado pelo controlador que está interligado ao SGTC existente no edifício. Desta forma, o controlo de temperatura interior por cada espaço será efetuado através da sonda de temperatura de montagem mural, ligada ao controlador, que por sua

vez, vai fazer a modelação da válvula da bateria de água do VC em função das condições interiores e dos setpoints<sup>1</sup> de temperatura estabelecidos.

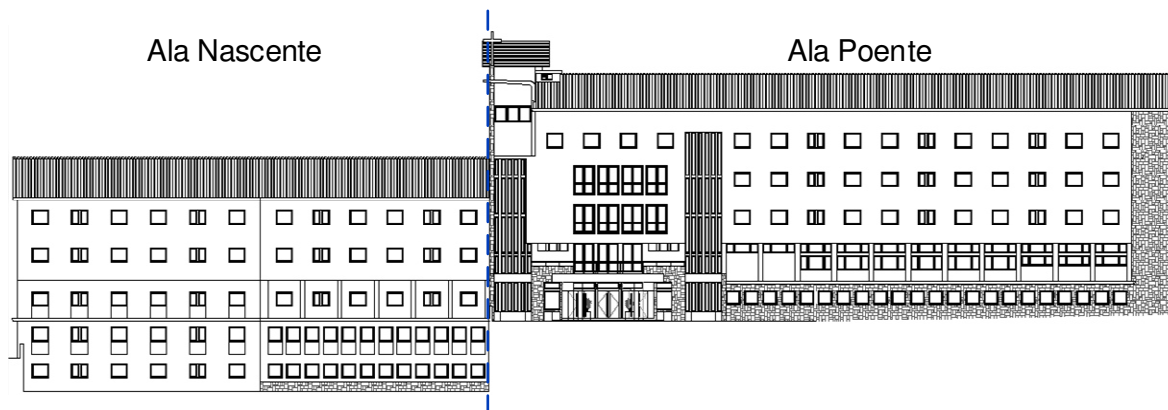


Figura 6.1 - Fachada Norte do Hotel Casa São Nuno.

## 6.2. Estruturação do modelo

### 6.2.1. Descrição do modelo

Previamente há implementação do modelo foi efetuado um levantamento das áreas através das plantas e alçados disponíveis em suporte informático com o auxílio de um programa de CAD, permitindo a construção e a implementação de dados referentes ao modelo do edifício no programa informático de simulação dinâmica, o ESP-r.

No entanto, ao implementar o modelo no ESP-r optou-se por agrupar diversas divisões numa única zona, estando sujeitas a condições da envolvente exterior semelhantes. Além disso, a versão do ESP-r limita o número de zonas, permitindo unicamente o processamento em simultâneo de um limite máximo de 50 zonas de construção, bem como um limite máximo de 100 sistemas elétricos, obrigando a uma análise mais criteriosa no agrupamento das divisões.

<sup>1</sup> Setpoint é considerado como valor-alvo que um sistema de controlo tende a alcançar, por exemplo a temperatura [26].

Apresenta-se no ANEXO I a tabela com as 46 zonas consideradas na implementação do modelo, encontrando-se a descrição de cada zona e as respectivas áreas úteis.

Assim, na Figura 6.2 está representado o modelo como é observado no ESP-r, bem como a representação da sua orientação real. A orientação do modelo por zonas, nomeadamente as zonas 1, 2 e 3 de cada piso apresentam a sua fachada exterior orientada para norte, e conseqüentemente, as zonas 4, 5, 6 e 7 de cada piso permanecem com a sua fachada exterior orientadas para sul.

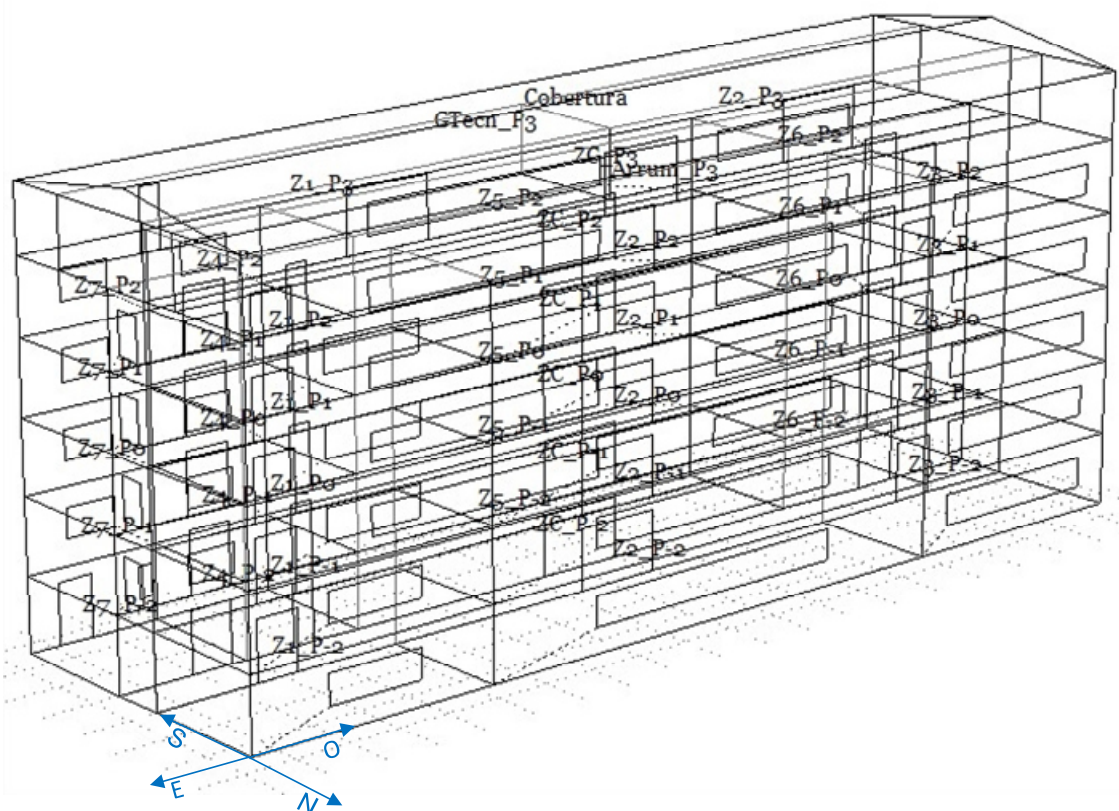


Figura 6.2 – O modelo do edifício visto do programa de simulação ESP-r.

## 6.2.2. Base de dados

O ESP-r inclui várias bases de dados essenciais para a simulação do modelo, nomeadamente as bases de dados referentes ao clima, aos materiais de construção e às soluções construtivas. Para além disso, o ESP-r permite ao utilizador editar cada uma das bases de dados, bem como importar bases de dados próprias.

No presente modelo foi importada a base de dados do clima, referente às condições meteorológicas relativas a Coimbra. Assim, perante todas as bases de dados disponíveis, verificou-se que a presente base de dados era a que ficava mais próxima da zona de Fátima, tendo sido desenvolvida e implementada por outros utilizadores que fizeram estudos recorrendo a este programa informático. Relativamente às bases de dados dos materiais de construção e soluções construtivas verificou-se que tiveram de ser editadas e adaptadas para o presente estudo de caso.

### **6.2.3. Materiais e soluções construtivas**

---

A base de dados relativa aos materiais foi adaptada para os materiais constituintes do edifício, atribuindo a cada material as suas propriedades termofísicas. Para isso, recorreu-se às publicações do LNEC “ITE50” [24] para retirar as suas características relevantes.

Depois de caracterizados os materiais, procedeu-se à composição da base de dados das construções, tendo em conta a formação por camadas e a organização do exterior para o interior, por forma a alcançarem a solução construtiva desejada. De referir que, a primeira camada que compõe cada uma das construções diz respeito ao exterior. Note-se que, no modelo existem diversas superfícies de zonas diferentes que contactam umas com as outras, pelo que obriga à existência de construções com a superfície invertida, ou seja, a ordem das camadas terá de ser invertida, tal como se verifica no caso do teto.

Assim, o edifício em questão apresenta características típicas no que se refere a soluções construtivas dos hotéis contruídos na época, tendo sofrido recentemente grandes remodelações, passando a incluir no interior dos espaços, tetos falsos em pladur, parquet no chão e janelas com vidro duplo, contribuindo, deste modo, para um melhor isolamento térmico e conseqüentemente um melhor conforto interior.

Relativamente aos vãos envidraçados presentes na fachada exterior do hotel, considerou-se no modelo de simulação como sendo de janela giratória de abrir para o interior e com uma caixilharia em alumínio, sem quadrícula e com vidro duplo e corte térmico.

No ANEXO II apresenta-se as características relevantes, dos elementos de construção, adotados na elaboração do modelo de simulação referente à ala nascente do hotel.

## 6.2.4. Ganhos internos de energia

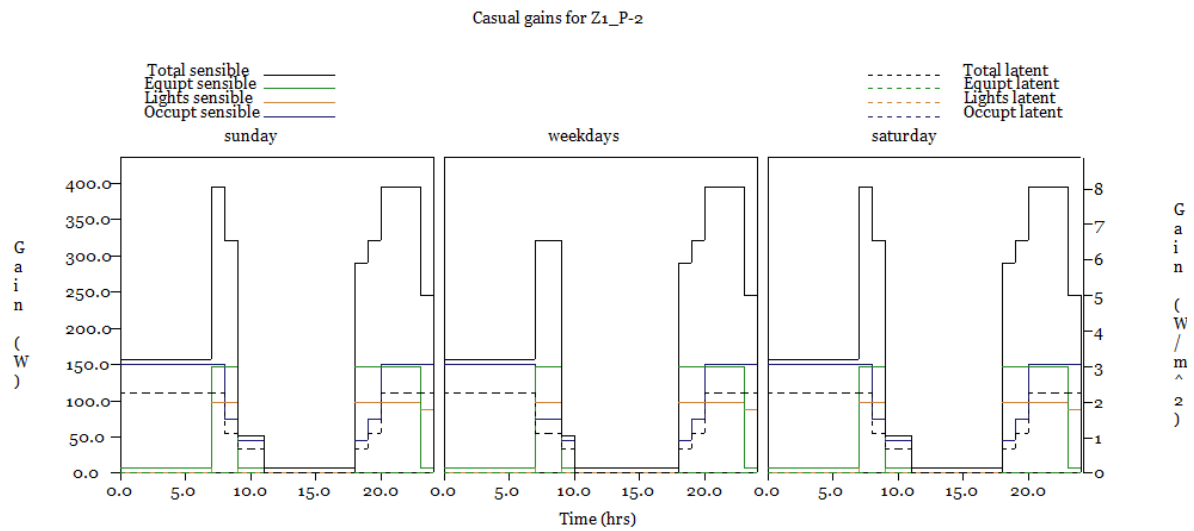
Os ganhos internos num edifício culminam no resultado de uma certa quantidade de energia térmica libertada para o ar interior, devendo-se à ocupação, aos equipamentos e à iluminação existente no interior do edifício.

Assim, para calcular os ganhos internos presentes no modelo a simular, respeitaram-se os valores nominais de energia sensível e latente libertada por um ser humano relativa a um tipo de atividade moderada, apresentados no ANEXO III, valores constantes na norma ASHRAE [25]. Para o caso da iluminação e equipamentos consideraram-se os valores nominais indicados no anexo XV do RSECE para um perfil de “Hotel de 3 ou mais estrelas”. Deste modo, na Tabela 6.1 encontram-se representados os valores de referência usados no cálculo dos ganhos internos devidos à ocupação, iluminação e equipamentos.

**Tabela 6.1 - Valores de referência para o cálculo dos ganhos internos.**

	Ganhos Internos	
	Sensível	Latente
Ocupação [W/ocupante]	75	55
Iluminação [W/m <sup>2</sup> ]	2	0
Equipamentos [W/m <sup>2</sup> ]	3	0

De forma, a reproduzir o funcionamento do edifício em condições congruentes com a realidade, existiu algum cuidado na imposição dos padrões de referência de utilização de cada zona. Como tal, para determinar os padrões reais do edifício, utilizou-se como referência os padrões de utilização dos edifícios para um perfil “Hotéis de 3 ou mais estrelas” apresentados no anexo XV do RSECE, bem como foi solicitado junto do gerente do hotel informação referente à taxa de ocupação e utilização do hotel. Assim, calcularam-se os ganhos internos em termos de energia sensível e latente para um perfil de funcionamento referente à ocupação, à iluminação e aos equipamentos para os dias da semana e fim de semana, relativos a cada zona. Na Figura 6.3 apresenta-se um exemplo gráfico dos ganhos internos introduzidos no ESP-r para uma das zonas. No entanto, no ANEXO IV estarão disponíveis os gráficos para as restantes zonas, salientando-se que algumas zonas vão ser o espelho uma das outras, dado que possuem a mesma área útil e o mesmo número de ocupantes.



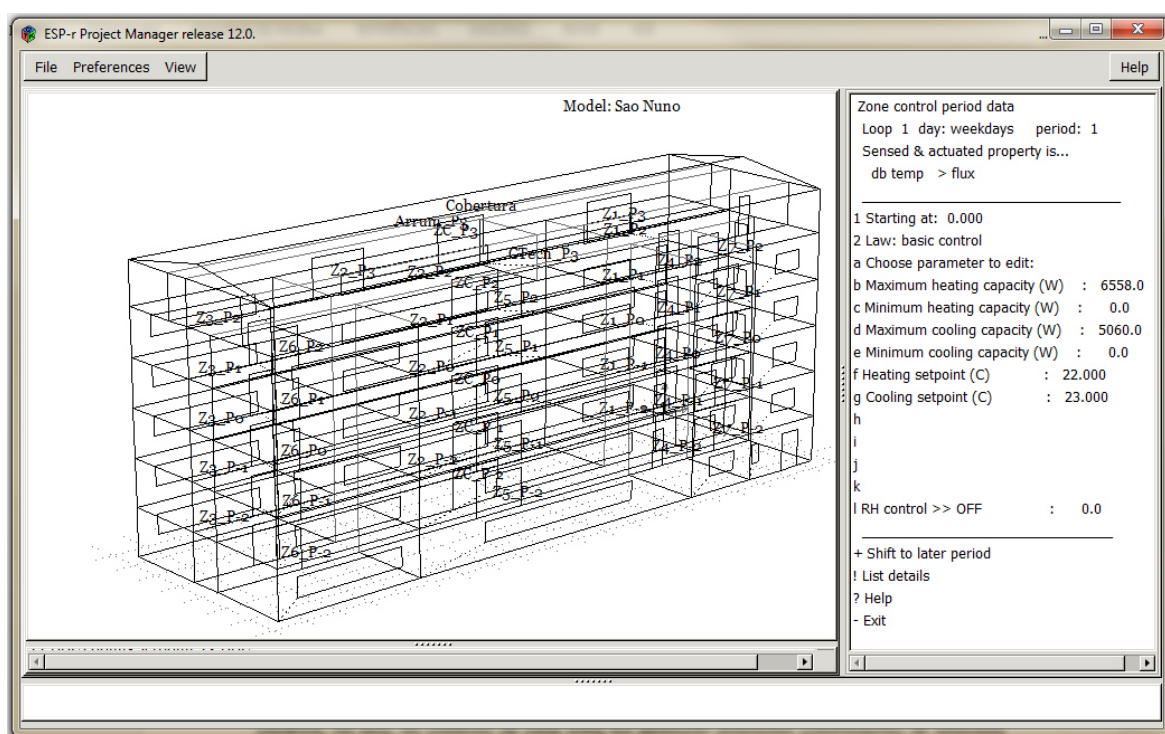
**Figura 6.3 - Representação dos ganhos internos para uma das zonas, referência ESP-r.**

A taxa de infiltração refere-se à quantidade de ar que entra no edifício de forma natural proveniente do exterior, devido às aberturas de janelas ou portas, bem como através dos sistemas de renovação do ar. Deste modo, considerou-se uma taxa de infiltração de 0,5ac/h (air change per hour), valor que advém por defeito no ESP-r.

### 6.2.5. Condições de controlo

Note-se que, um controlo ideal é aquele que vai adicionar ou extrair o calor da zona, sendo sujeito à capacidade disponível para aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização existentes em cada espaço, mantendo por sua vez os setpoints de temperatura definidos tanto para o aquecimento como para o arrefecimento dentro do espaço.

Desta forma, para cada zona do modelo de simulação foi adicionado e associado um controlo simples de aquecimento e de arrefecimento como se pode verificar na Figura 6.4. Assim, no menu de controlo será estabelecido o período inicial de funcionamento dos sistemas de climatização, a sua potência máxima e mínima de aquecimento e arrefecimento, bem como os setpoints de temperatura assegurados pelo SGTC.



**Figura 6.4 - Janela de visualização do menu de controlo aplicado para uma zona.**

De referir que, foram consideradas as potências máximas de aquecimento e arrefecimento instaladas em cada divisão (ver Tabela 6.2), por forma a garantir no momento da simulação as condições interiores o mais aproximadas com a situação real.

**Tabela 6.2 - Tabela das potências máximas de aquecimento e arrefecimento.**

Zonas	Potência Máxima	
	Arrefecimento	Aquecimento
Z1; Z3; Z6	5060	6558
Z2; Z5	10120	13116
Z4	2530	3279
ZC_P-2; ZC_P-1; ZC_P1	6222	7314
ZC_P0; ZC_P2	9198	11210
Z1_P3	6216	7758
Z2_P3	8288	10344
ZC_P3	4144	5172

Além disso, as condições interiores de cada zona foram simuladas no ESP-r para diferentes cenários, ou seja, no controlo de cada zona foi atribuído diferentes combinações

de setpoints de temperatura para o aquecimento como para o arrefecimento, tendo sempre como referência os setpoints definidos no SGTC. Como tal, na Figura 6.5 encontra-se ilustrado os setpoints atuais de referência que o utilizador tem ao dispor no SGTC. Desta forma, pretende-se analisar o comportamento de cada zona, alterando para isso os setpoints de temperatura definidos para os períodos diários de ocupação, desocupação e *standby* do edifício quando este está em modo de aquecimento ou arrefecimento.

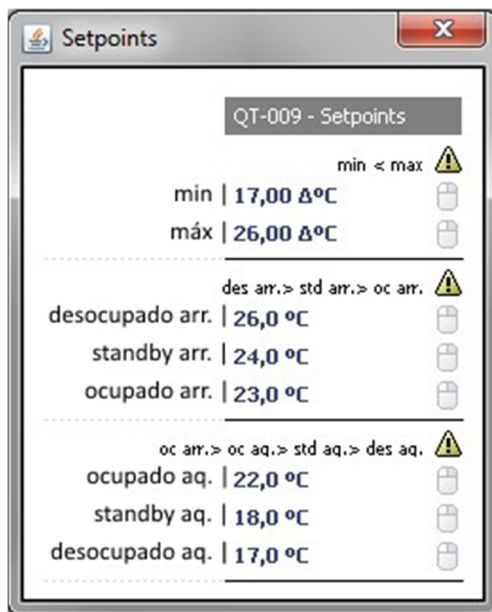


Figura 6.5 - Setpoints de referência do SGTC para um dos quartos.

## 6.2.6. Simulação

Como mencionado anteriormente, foram executadas várias simulações com diferentes setpoints de temperatura para os períodos de ocupação, desocupação e *standby* do edifício, com o objetivo de analisar os consumos energéticos, bem como as condições de conforto devidas às alterações dos parâmetros de temperatura a alcançar em cada zona. De salientar que, o período de simulação estabelecido foi de um ano, com o intuito de analisar o comportamento da ala nascente para a estação convencional de arrefecimento (engloba os meses de junho, julho, agosto e setembro), bem como para a estação convencional de aquecimento (período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro).

Assim, para esta etapa do programa de simulação foi possível selecionar os parâmetros cujos resultados foram os necessários para a realização do presente estudo de caso, nomeadamente as temperaturas interiores das zonas, as necessidades térmicas

referentes ao aquecimento e ao arrefecimento, bem como os valores referentes aos índices de conforto térmico (PMV e PPD). Porém, os resultados dos parâmetros foram armazenados para valores de hora a hora durante 365 dias referentes a cada zona pertencente à ala nascente.

No ANEXO V encontram-se as tabelas com a compilação dos valores médios calculados para os diversos parâmetros analisados, bem como os valores calculados para o desvio padrão.

Como mencionado anteriormente, os sistemas de climatização existentes em cada quarto são providos de controladores interligados com o SGTC, que permitem o ajuste da temperatura ambiente interior (setpoints). Na prática o SGTC apresenta de base um intervalo de variação dos setpoints de climatização para ocupado de 22°C a 23°C. No entanto, é sabido que o intervalo de variação da temperatura ambiente interior, que garante as condições de conforto térmico de referência, apresentadas pelo regulamento RCCTE, é mais alargado. Nesse sentido, pretende-se avaliar o comportamento térmico da ala nascente, executando várias simulações do modelo para um intervalo de temperaturas de aquecimento e arrefecimento mais alargado, tendo em conta os limites impostos pelo regulamento de 20°C a 25°C, bem como os perfis reais de ocupação da ala. Do mesmo modo, verifica-se igualmente para os períodos de não-ocupação da ala, ou seja, pretende-se alargar o intervalo de variação da temperatura de aquecimento e arrefecimento para os períodos em que a ala encontra-se desocupada ou em *standby*, com o intuito de reduzir consumos nestes períodos.

De salientar que, ao alterar os controlos em função das diversas soluções alternativas aos setpoints atuais, teve-se em conta os seguintes cenários, nomeadamente:

- **Cenário 1:** não existe diferenciação entre as zonas a norte e as zonas a sul da ala nascente, ou seja, atribuiu-se os mesmos setpoints de temperatura tanto para as zonas localizadas a norte como para as zonas localizadas a sul;
- **Cenário 2:** existe diferenciação entre zonas a norte e as zonas a sul da ala nascente, ou seja, atribuiu-se diferentes setpoints de temperatura para as zonas localizadas a norte e para as zonas localizadas a sul. Com a diferenciação dos setpoints a norte e sul pretende-se analisar o comportamento das zonas que compõem a ala nascente em função da exposição solar. Uma vez que, as zonas localizadas a sul do edifício estão sujeitas a uma maior exposição da radiação solar, conseqüentemente têm maiores ganhos térmicos.

Tendo em conta os perfis de ocupação da ala nascente, numa primeira abordagem procedeu-se à simulação do modelo para um período diário de ocupação da ala nascente de 24 horas, o que na prática corresponde à parametrização no SGTC de um setpoint de ocupação para um período diário de 24 horas. Como tal, para este caso apenas foram realizadas simulações para o cenário 1, com o intuito de avaliar os consumos energéticos e os parâmetros de conforto térmico, que se devem manter durante 24 horas para os setpoints de ocupado, bem como para o aquecimento e para o arrefecimento. Porém, manter o SGTC a assegurar os setpoints de ocupado durante 24 horas não parece ser a melhor solução em termos de eficiência energética a aplicar no edifício, uma vez que, vão existir períodos em que as zonas vão estar desocupadas.

De seguida procedeu-se à simulação do modelo para os setpoints de funcionamento do edifício atualmente programados no SGTC, correspondendo na prática a um período parametrizado no SGTC, durante o período de tempo das 10 horas às 18 horas para um setpoint de *standby* e para um período de tempo das 00 horas até às 10 horas e das 18 horas as 00 horas para um setpoint de ocupado. Assim, nos períodos de não-ocupação o objetivo principal era de manter um setpoint de *standby*, com a finalidade de manter as zonas minimamente climatizadas até ao momento em que iriam voltar a ser ocupadas. No entanto, para este caso foram realizadas simulações para o cenário 1 e para o cenário 2.

Por fim, executaram-se várias simulações do modelo para períodos iguais aos parametrizados atualmente no SGTC, no entanto para este caso foi atribuído um intervalo de temperatura bem mais alargado que os setpoints de *standby*, sendo por isso atribuído um setpoints de desocupado ao período das 10 horas às 18 horas, por sua vez para o período das 00 horas até às 10 horas e das 18 horas às 00 horas, manteve-se o setpoint de ocupado. No entanto, para este caso foram realizadas simulações para o cenário 1 e para o cenário 2.

Como mencionado anteriormente, o conforto térmico pode ser influenciado por diversos fatores, nomeadamente a taxa de metabolismo e o tipo de vestuário. Assim, para determinar os índices de conforto térmico o PMV e o PPD para todo o edifício no programa informático ESP-r foram necessários serem introduzidos os valores referentes à taxa de metabolismo e ao tipo de vestuário. No que diz respeito à taxa metabólica a sua variação depende do tipo de atividade, da pessoa e das condições nas quais a atividade é realizada, sendo selecionado a partir da tabela existente no anexo B da norma ISO 7730:2005 uma taxa de metabolismo de 1 met (1 met é igual a 58,2W/m<sup>2</sup>), que corresponde à quantidade de energia libertada pelo corpo para o desempenho de uma atividade do tipo sedentária e relaxada como se verifica no caso do hotel. Assim, para o tipo de vestuário habitual usado dentro do edifício selecionou-se a partir da tabela existente no anexo C da norma ISO

7730:2005 uma camada de isolamento térmico entre o corpo e o ambiente de 1 clo (1 clo é igual a  $0,155\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$ ), o que corresponde à combinação de uma camisa com umas calça, um casaco, um par de meias e uns sapatos.

Em suma, para efeitos de contabilidade energética o consumo efetivo de energia da ala nascente durante um ano inteiro foi convertido para uma base de energia primária, ou seja, para tonelada equivalente de petróleo (tep). Desta forma, utilizaram-se os seguintes fatores de conversão entre energia útil e energia primária, retirados do RSECE [13], nomeadamente:

- **Eletricidade:** 0,290 kgep/kWh;
- **Combustíveis gasosos:** 0,086 kgep/kWh.

Desta forma, somou-se a energia anual e dividiu-se pelo fator de eficiência do equipamento de climatização para o aquecimento e para o arrefecimento (caldeira=0,93 e chiller=3), depois multiplicou-se pelos fatores de conversão enunciados anteriormente.



## 7. Discussão de resultados

---

### 7.1. Resultado e análise da simulação

---

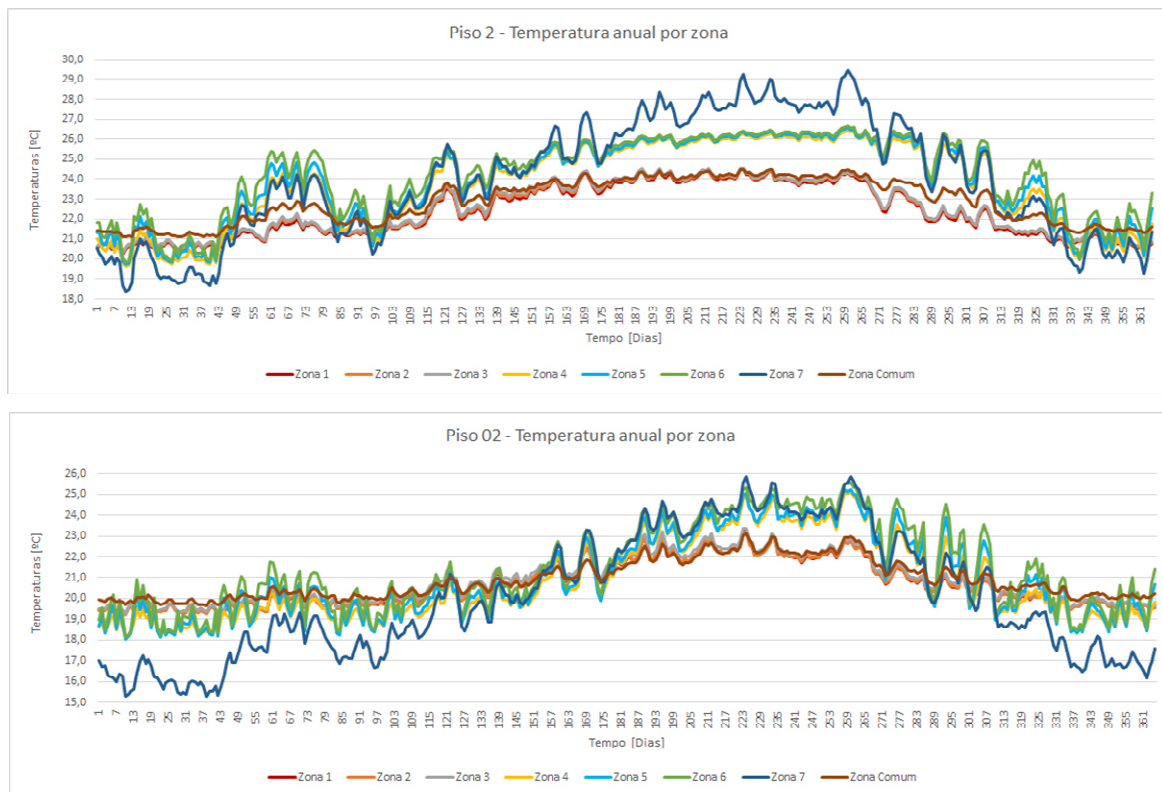
Após as simulações realizadas para os diferentes setpoints de temperatura referentes aos períodos de ocupação, desocupação e *standby* do edifício, torna-se fundamental analisar os resultados obtidos em termos de condições interiores das zonas, com o intuito de perceber quando ocorrem as situações mais desfavoráveis, quer em termos de temperatura interior, quer em termos de consumos energéticos ou até mesmo em termos dos parâmetros de conforto.

Assim, optou-se por analisar a solução que aparentemente apresentava melhores resultados em termos de consumos energéticos e de condições interiores para os seus ocupantes. Deste modo, a solução enunciada diz respeito ao cenário 2, variância 2 para os setpoints de controlo programados para um período de Ocupado/Desocupado, tal como apresentado no ANEXO V Tabela 13.3. Note-se que, optou-se por analisar apenas o comportamento do piso -2 e do piso 2, correspondendo as zonas localizadas nas extremidades da ala nascente. Assim, ao avaliar os pisos localizados nas extremidades, pretende-se verificar se existe grandes desigualdades em termos dos valores analisados para os parâmetros em análise no presente estudo de caso.

#### 7.1.1. Temperaturas interiores anuais

---

Na sequência da análise do comportamento térmico das zonas referentes ao piso -2 e ao piso 2, verificaram-se variações significativas das temperaturas interiores das zonas ao longo do ano, devendo-se à exposição solar, bem como à capacidade dos sistemas para garantir os setpoints estabelecidos. Assim, a Figura 7.1 ilustra a evolução das temperaturas interiores médias anuais por zona ao longo de um ano.



**Figura 7.1 - Temperatura média anual por zona.**

De acordo com os resultados obtidos no programa de simulação ESP-r para as temperaturas interiores, verificou-se que o controlo adicionado e associado para cada zona é ativo quando as temperaturas interiores atingem valores mais baixos ou ultrapassam os valores de setpoint estabelecidos para o aquecimento e o arrefecimento, simulando, desta forma, o comportamento dos sistemas de climatização controlados pelo SGTC.

Da análise comparativa entre as temperaturas do piso -2 e do piso 2 ilustradas na Figura 7.1, verifica-se que as evoluções das temperaturas ao longo do ano não são coincidentes mesmo perante condições meteorológicas exteriores idênticas. No caso do piso -2, salta à vista que a amplitude térmica das zonas não é tão acentuada como no piso 2, quer isto dizer que para períodos de aquecimento esta zona é considerada termicamente mais fria, mas em contrapartida as zonas do piso -2 em período de arrefecimento não atingem valores de temperatura tão elevados.

No entanto, para ambos os pisos na estação convencional de arrefecimento em que é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas, verificou-se que as zonas expostas a sul estão sujeitas a elevados ganhos solares, contribuindo desta forma para as elevadas temperaturas interiores das zonas nesta altura, obrigando por sua

vez a um arrefecimento do ambiente. Este fenómeno deve-se ao facto de as zonas a sul estarem expostas a uma maior radiação solar direta incidente nas superfícies.

Por outro lado, na estação convencional de aquecimento verificou-se que nas zonas expostas a sul possuem maiores oscilações térmicas comparativamente com as zonas expostas a norte. Esta situação poderá advir do facto dos setpoints de aquecimento parametrizados para as zonas a sul estarem muito baixos, sendo necessário um ajuste, bem como poderá ser devido aos sistemas de climatização não conseguirem dar resposta às condições térmicas do espaço.

No caso da zona 7 a copa de serviço, zona que não possui nenhum sistema de climatização, observa-se que as temperaturas atingem valores díspar, atingindo variações térmicas de 17 a 30°C no caso do piso 2 e no caso do piso -2 em torno de 14 a 27°C, devido ao facto da temperatura ambiente ser influenciada pelas trocas de calor com a envolvente exterior, bem como pelas superfícies de outras zonas climatizadas estarem em contacto direto com a zona 7.

### **7.1.2. Energia de aquecimento e arrefecimento**

---

Através da análise da energia de aquecimento e da energia de arrefecimento patente na Figura 7.2 e Figura 7.3, facilmente se identifica a estação convencional de aquecimento e a estação convencional de arrefecimento, considerando que a necessidade de aquecimento está representada com valores positivos e a necessidade de arrefecimento representada com valores negativos.

Fazendo uma breve comparação das necessidades energéticas entre pisos, evidencia-se que o piso 2 tem menos necessidade de aquecimento ao longo do ano comparativamente com o piso -2, por outro lado, o piso -2 requer menos energia para arrefecer o ambiente das zonas na estação convencional de arrefecimento. Deste modo, pode concluir-se que as zonas do piso 2 estão mais expostas à radiação solar, logo serão mais elevados os ganhos térmicos.

Além disso, na Figura 7.2 e Figura 7.3, verifica-se que existe algumas zonas com necessidades energéticas mais acentuadas que outras, devendo-se ao facto de existir elevadas trocas de calor em função da estação do ano, bem como devido à capacidade dos sistemas em vencer a inércia térmica do espaço, obrigando por sua vez, os sistemas de climatização existentes nas zonas a compensarem as temperaturas ambientes.

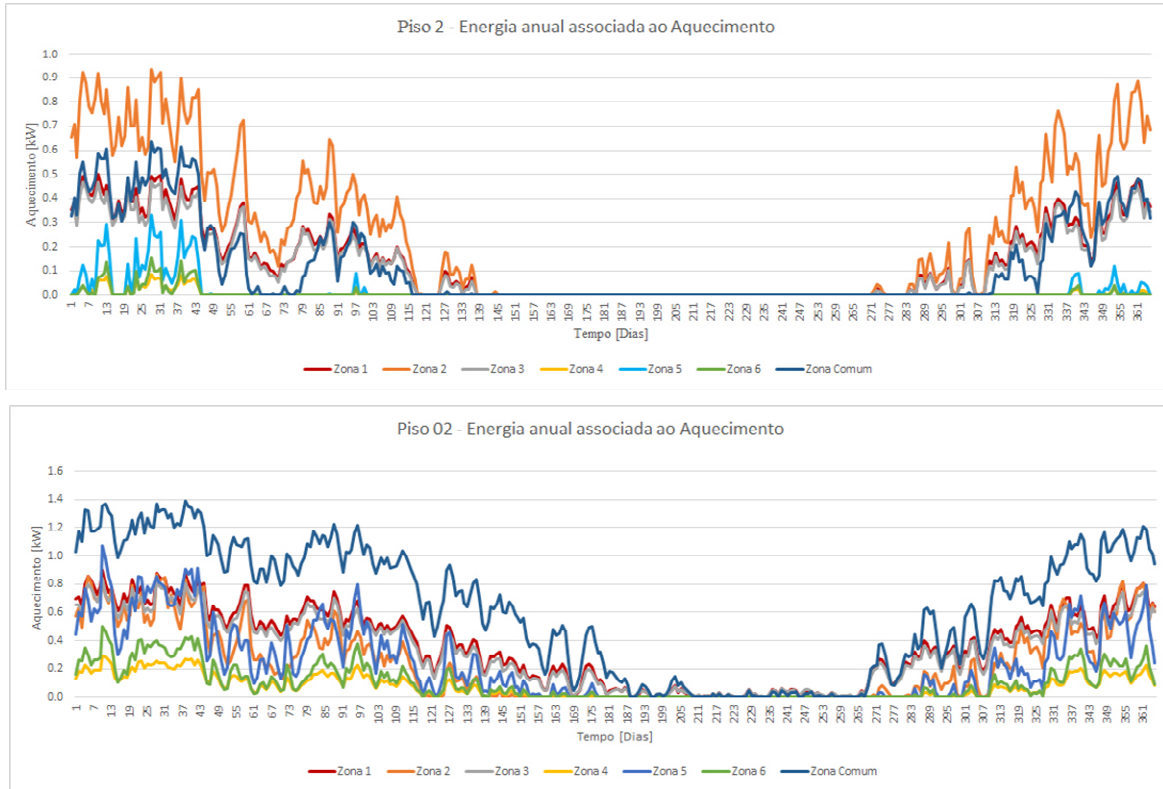


Figura 7.2 - Energia anual de Aquecimento para cada zona do Piso -2 e Piso 2.

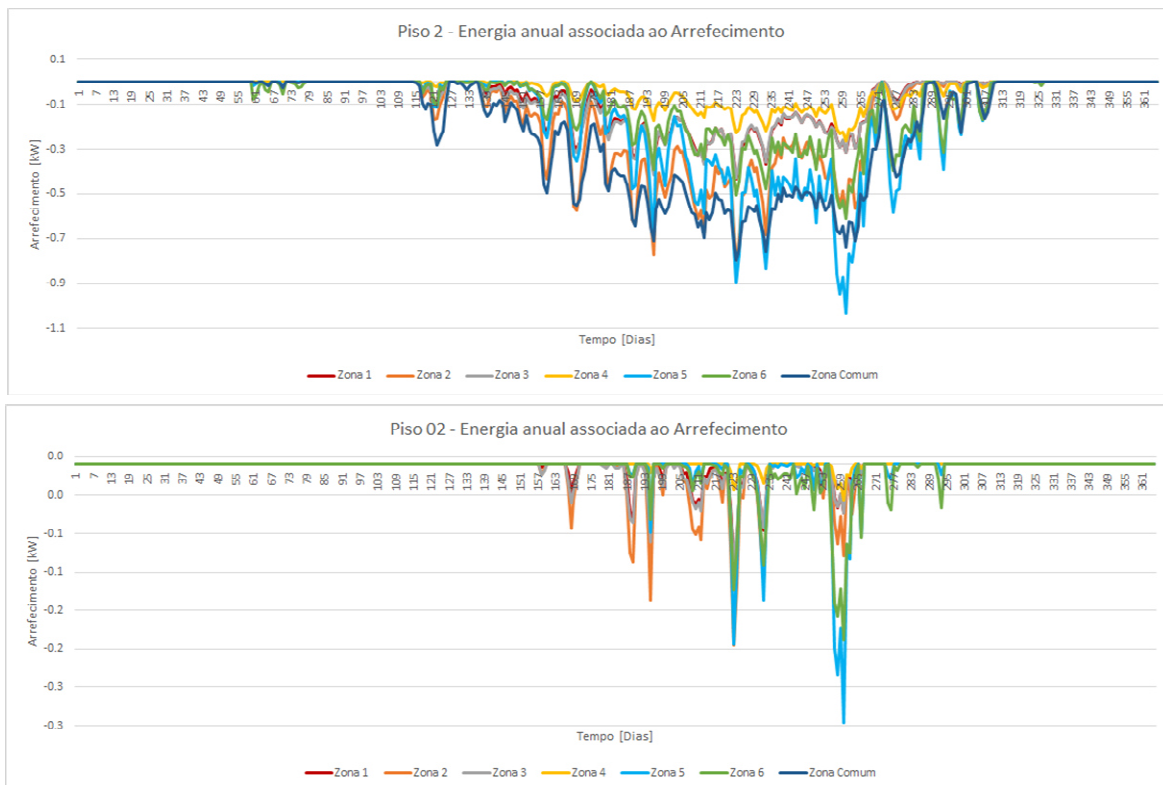


Figura 7.3 - Energia anual de Arrefecimento para cada zona do Piso -2 e Piso 2.

### 7.1.3. Índices de conforto térmico (PMV e PPD)

Da análise aos parâmetros de conforto de PMV na Figura 7.4, verifica-se diferentes sensações térmicas proporcionadas pelas zonas, ou seja, os valores de PMV referentes ao piso 2 encontram-se dentro da escala de sensação térmica considerada como aceitável de -1 a +1, correspondendo por sua vez às pessoas que expressam a sua sensação térmica de acordo com um ambiente ligeiramente quente ou um ambiente ligeiramente frio. Por conseguinte, as zonas pertencentes ao piso -2, apresentam uma elevada predominância de valores de PMV negativos, correspondendo a ambientes térmico cuja sensação é de frio. Deste modo, conclui-se que o piso -2 é inevitavelmente mais frio que o piso 2, assim como, apresenta valores de PMV numa escala de sensação térmica de -1,72 a 1,08.

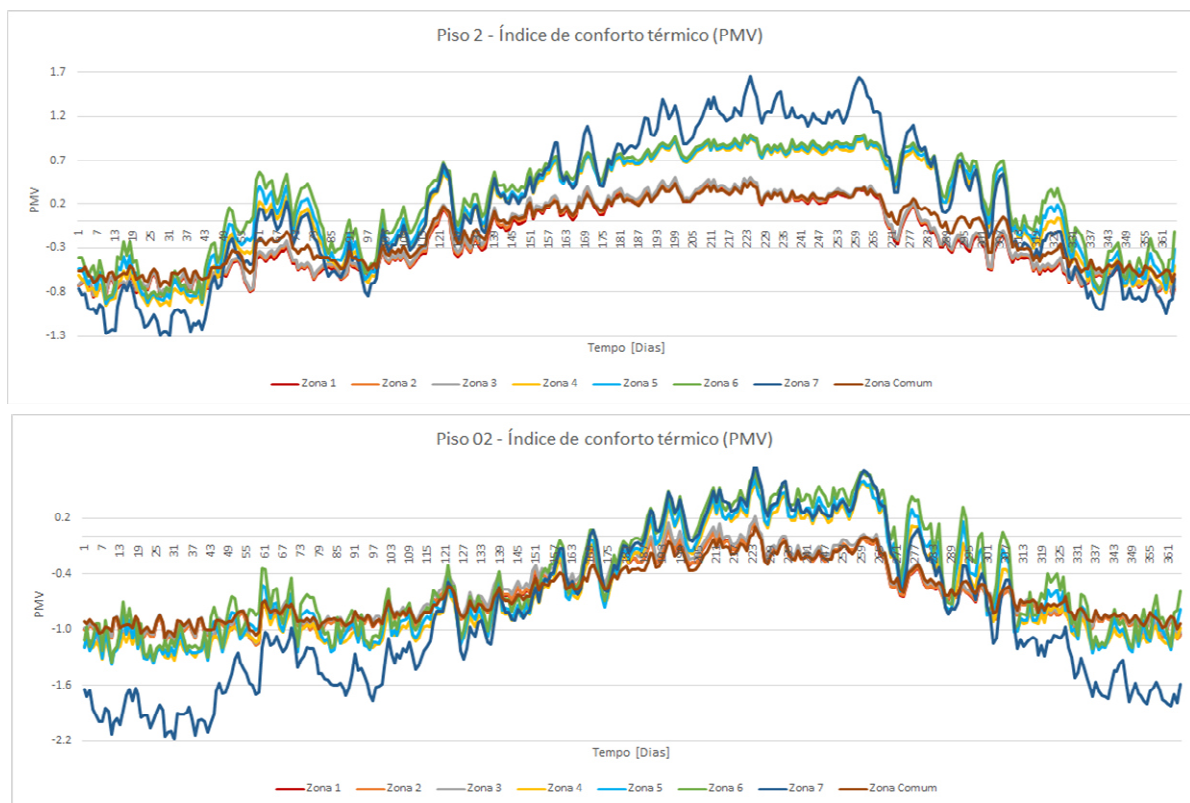
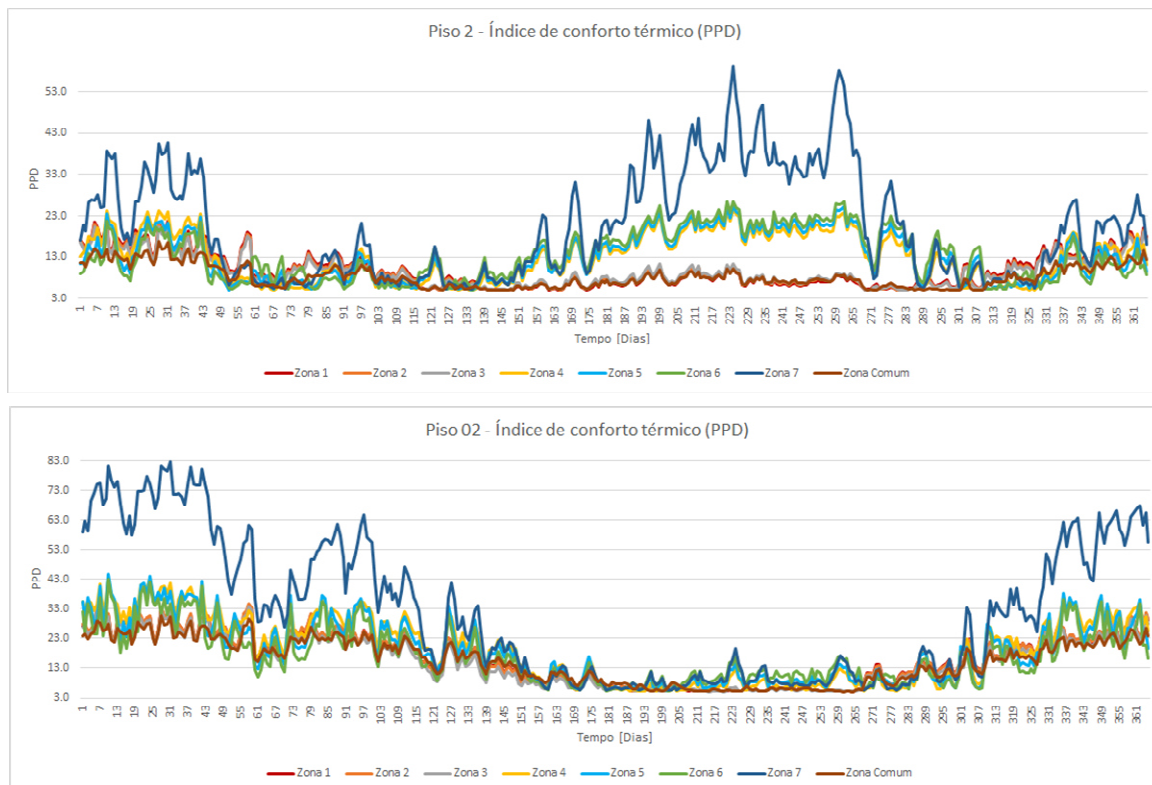


Figura 7.4 - Valores médios anuais de PMV para cada zona do piso 2.

Quanto aos valores de PPD analisados na Figura 7.5, salientam-se diferentes evoluções ao longo do ano, no que se refere à percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas interiores das zonas, verificando-se que os valores de PPD para as zonas do piso variam em função da época do ano. Desta forma, pode-se concluir que a

temperatura interior influencia o conforto térmico. Assim, na época do ano referente ao arrefecimento, as zonas expostas a sul do piso 2 possuem maior percentagem de pessoas insatisfeitas, devendo-se ao facto de estas zonas terem elevados ganhos térmicos devido à acentuada radiação solar. Contrariamente ao piso 2, o piso -2 nesta época do ano apresenta baixas percentagens de pessoas insatisfeitas devido a ser um piso mais frio e com pouca exposição solar, apresentando uma percentagem máxima de insatisfeitos de 44% na época de aquecimento.

De referir que a zona 7, por não ter controlo de temperatura ambiente, faz disparar os valores de PPD em ambos os pisos. Além disso, não se consegue garantir um ambiente neutro, quer isto dizer que existe pelo menos 5% de pessoas descontentes com as condições térmicas interiores.



**Figura 7.5 - Valores médios anuais de PPD para cada zona do piso 2.**

## 8. Conclusões e trabalho futuro

---

As ferramentas de simulação dinâmica desempenham um papel importante no que toca ao melhoramento do desempenho energético de um edifício, proporcionando um conhecimento e uma compreensão do comportamento térmico dos edifícios, das necessidades energéticas e das condições de conforto, entre outras. No entanto, o recurso às ferramentas de simulação dinâmica requer a criação de um modelo de simulação adaptado à situação real, o que por vezes pode não ser o mais bem conseguido, uma vez que não depende apenas da fiabilidade do programa de simulação dinâmica, mas também da complexidade do estudo de caso e da correta introdução dos dados.

Nesse sentido, para a concretização do objetivo proposto nesta dissertação, foi necessário recorrer à ferramenta de simulação dinâmica o ESP-r. A partir da qual, desenvolveu-se o modelo de simulação dinâmica, adaptado às características reais do edifício de serviços com uma utilização do tipo unidade Hoteleira.

Segundo esta perspetiva, o principal objetivo deste estudo foi o de avaliar o comportamento térmico e energético da ala nascente do edifício de serviços existente, partindo da otimização das variáveis ambientais (setpoints), com o recurso ao programa informático de simulação dinâmica o ESP-r. Deste modo, com o controlo associado ao modelo de simulação dinâmica foi possível parametrizar as diversas combinações atuais de setpoints de ocupado, desocupado e *standby* em modo de aquecimento e arrefecimento existentes no SGTC, bem como combinações alternativas.

Assim, a análise dos resultados das simulações executadas no ESP-r, para as diversas combinações dos setpoints, basearam-se nos valores obtidos para as temperaturas das zonas, para as necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como, para os índices de conforto térmico o PMV e PPD, sendo possível identificar a solução a aplicar no SGTC que pode trazer ao edifício uma potencial poupança energética.

Note-se que, os resultados obtidos a partir das várias simulações, permitiu concluir que nem todas as alterações de setpoints efetuadas no controlo associado ao modelo de simulação, promoveram melhorias significativas no valor de energia, quando comparado com a parametrização dos setpoints de base no SGTC.

Na tabela seguinte sistematizam-se os resultados calculados para a energia consumida em termos de aquecimento e arrefecimento, assim como, o potencial de poupança associado a cada parametrização.

**Tabela 8.1 - Potenciais de poupança energética.**

Parametrizações	Aquecimento		Arrefecimento	
	Energia (tep)	Potencial de Poupança (%)	Energia (tep)	Potencial de Poupança (%)
Setpoint 24h Ocupado	5.77	-10	4.20	-11
Setpoint Ocupado/Standby*	5.24	0	3.80	0
Setpoint Ocupado/Desocupado	5.08	3	3.50	8
Setpoint Ocupado/Desocupado N/S	4.57	13	2.80	26

\*Solução atualmente parametrizada no SGTC do edifício

Com a otimização das variáveis ambientais (setpoints), verificou-se um impacto positivo na economia da energia tanto para aquecimento como para o arrefecimento, resultando numa poupança bastante significativa no que toca às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Assim, a solução que poderá trazer um potencial de poupança energética significativa acrescida comparativamente com a solução atualmente parametrizada no SGTC (setpoint ocupado/*standby*) é a solução que faz a distinção entre os setpoints de ocupado e desocupado em aquecimento e arrefecimento aplicados nas zonas a norte e a sul da ala nascente, ou seja a solução dos setpoints ocupado/desocupado N/S. Assim, a aplicação da solução dos setpoints ocupado/desocupado N/S no SGTC, contribuirá conseqüentemente para uma poupança de cerca de 13% de energia para o aquecimento e uma poupança de cerca de 26% de energia para o arrefecimento, comparativamente com a solução atualmente parametrizada. Por outro lado, adotar a solução que mantém os mesmos setpoints de ocupado a norte e a sul na ala nascente durante 24 horas, não será solução, uma vez que, comparativamente com a solução atual, nomeadamente a setpoint ocupado/*standby* vai ter um potencial de consumo energético de cerca de 10% para o aquecimento e de cerca de 11% para o arrefecimento.

Em suma, ao aplicar setpoints nas zonas a norte diferentes dos setpoints a aplicar nas zonas a sul da ala nascente, verificou-se um acentuado potencial de poupança energético, tanto para o aquecimento como para o arrefecimento. Assim, com esta diferenciação de setpoints a norte e a sul da ala nascente pretendeu-se equilibrar as condições interiores das zonas com os ganhos solares, sem comprometer as condições interiores de conforto. Uma vez que, as zonas a sul da ala nascente estão expostas a acentuados ganhos solares comparativamente com as zonas expostas a norte, desta forma a solução passou por manter os setpoints atuais de aquecimento e arrefecimento

parametrizados no SGTC para as zonas a norte e adicionou-se 1°C ou 2°C aos setpoints atuais de arrefecimento e retirou-se 1°C ou 2°C aos setpoints atuais de aquecimento, nomeadamente para o caso das zonas a sul.

Além disso, nos períodos em que se prevê que as zonas vão estar desocupadas, constatou-se que ganha-se mais em manter os setpoints de desocupado em vez de manter os setpoints de *standby*, para além de reduzir os consumos consegue-se igualmente temperaturas ambientes aceitáveis e confortáveis.

Por fim, num trabalho futuro deixa-se em aberto a continuação da análise do edifício com o intuito de encontrar medidas de melhoramento, bem como, adicionar ao modelo o estudo das restantes zonas que compõem o edifício, nomeadamente a ala poente.

Além disso, seria pertinente fazer-se uma análise mais detalhada das condições de conforto térmico, ou seja, um individuo pode considerar que a temperatura ambiente está agradável, mas no entanto sentir-se desconfortável devido a certos fatores que proporcionam o desconforto local, nomeadamente, a corrente de ar, a assimetria de temperatura radiante, a temperatura do pavimento e as diferenças de temperatura do ar na vertical. Nesse sentido, seria interessante determinar os fatores que provocam o desconforto local, recorrendo à ferramenta de simulação do ESP-r, propondo por sua vez medidas de melhoramento das condições interiores, adaptadas às recomendações da norma ISO 7730:2005.



---

## Bibliografia

---

- [1] C. Parlamento Europeu, “DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010,” *J. Of. da União Eur.*, pp. 13–35, 2010.
- [2] COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, “Bruxelas, 13.11.2008 COM(2008) 780 final,” 2008.
- [3] A. International Energy, *Tracking Clean Energy Progress*. Paris - França, 2012.
- [4] Eurostat, “Final energy consumption by sector.” [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc320&plugin=1>. [Accessed: 16-Nov-2013].
- [5] ADENE, “Guia da eficiência energética,” no. ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA, p. 87, 2012.
- [6] E. Energetica, “Eficiência energética em edifícios no sector Doméstico.” [Online]. Available: [http://www.eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID\\_conteudo=91&ID\\_area=2&ID\\_sub\\_area=2](http://www.eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=91&ID_area=2&ID_sub_area=2). [Accessed: 08-Sep-2013].
- [7] N. M. E. Bruno Lapillonne, Karine Pollier, “Energy Efficiency Trends in Tertiary in the EU,” *Janeiro de 2014*, 2014. [Online]. Available: <http://www.odysseemure.eu/publications/efficiency-by-sector/services/>. [Accessed: 15-Sep-2013].
- [8] K. P. Bruno Lapillonne, Carine Sebi, “Energy efficiency trends in EU services,” *Julho de 2011*, 2011. [Online]. Available: <http://www.odysseemure.eu/publications/efficiency-by-sector/services/>. [Accessed: 15-Sep-2013].
- [9] E. Gruber, S. Plessner, I. Sofronis, P. Lima, and A. Rialhe, “EL-TERTIARY -Monitoring Electricity Consumption in the Tertiary Sector,” *19.8.2008*, 2008. .
- [10] E. COMMISSION, “FINANCIAL SUPPORT FOR ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS,” no. February, pp. 1–15, 2012.
- [11] ADENE, “Certificação energética de edifícios em Portugal.” [Online]. Available: <http://www.adene.pt/>. [Accessed: 12-Dec-2013].
- [12] M. DO EQUIPAMENTO, D. PLANEAMENTO, and E. D. A. DO TERRITÓRIO, “Decreto-Lei n.º118/98 de 7 de Maio,” *DIÁRIO DA REPÚBLICA — I SÉRIE-A - N.º105 — 7-5-1998*, pp. 2114–2129, 1998.
- [13] T. E. C. MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, “RSECE - Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril,” *DIÁRIO DA REPÚBLICA — I SÉRIE-A - N.º 67 — 4 Abril 2006*, pp. 2416–2468, 2006.
- [14] ISO 7730:2005(E), “Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria,” pp. 1–60, 2005.

- [15] T. P. Isolani, R. C. Adiconsum, F. C. Ademe, F. P. Escan, A. O. Adiconsum, and I. O. Deco, "Eficiência energética nos edifícios residenciais," p. 48, 2008.
- [16] Á. C. Ruas, "Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais," 2001.
- [17] D. B. Crawley, J. Hand, M. Kummert, and B. Griffith, "CONTRASTING THE CAPABILITIES OF BUILDING ENERGY PERFORMANCE SIMULATION PROGRAMS," 2005.
- [18] A. Pedrini, "INTEGRATION OF LOW ENERGY STRATEGIES TO THE EARLY STAGES OF DESIGN PROCESS OF OFFICE BUILDINGS IN WARM CLIMATE," The University of Queensland, 2003.
- [19] ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA, *Perguntas & Respostas sobre o RSECE – Energia*. Versão 2.0, Maio de 2011, 2011.
- [20] L. Roriz, *CLIMATIZAÇÃO - Conceção, Instalação e Condução de Sistemas*, 2ª Edição . 2007.
- [21] L. Brotas and A. A. R. B. Riba, "European Masters in the Integration of Renewable Energies into Buildings ESP-r." pp. 1–67.
- [22] ESRU, "ESP-r Overview." [Online]. Available: [http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r\\_overview.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm). [Accessed: 23-Nov-2014].
- [23] S. Citherlet, "Towards the Holistic Assessment of Building Performance Based on an Integrated Simulation Approach," 2001.
- [24] C. a. P. Santos and L. Matias, "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios." p. 170, 2009.
- [25] I. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "2005 ASHRAE Handbook: Fundamentals," 2005.
- [26] Wikipedia, "Setpoint (sistema de controle)." [Online]. Available: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Setpoint\\_%28sistema\\_de\\_controle%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Setpoint_%28sistema_de_controle%29). [Accessed: 12-Jan-2015].

# ***ANEXOS***



## 9. Anexo I

### 9.1. Zonas que constituem o modelo e respectivas descrições

Tabela 9.1 - Zonas que constituem o modelo e respectivas descrições.

COMPARTIMENTO/UTILIZAÇÃO	ZONA Simulação	ÁREA m <sup>2</sup>	PD m	OCUP. REAL	ORIENTAÇÃO
<b>Piso -2</b>					
1 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z1_P-2	20.0	2.7	2	NORTE
1.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
2 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
2.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
3 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z2_P-2	20.0	2.7	2	NORTE
3.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
4 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
4.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
5 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
5.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
6 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z3_P-2	20.0	2.7	2	NORTE
6.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
7 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
7.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
8 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z4_P-2	19.2	2.7	2	SUL
8.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
10 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z4_P-2	19.2	2.7	2	SUL
10.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.2	2.7	0	
11 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z5_P-2	20.0	2.7	2	SUL
11.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
12 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
12.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
13 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
13.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
14 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z6_P-2	20.0	2.7	2	SUL
14.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
15 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
15.1 - WC / Instalações Sanitárias	Z6_P-2	3.5	2.7	0	SUL

16 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
16.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
17 - Copa de Serviço Sul	Z7_P-2	19.7	2.7	1	SUL
17.1 - Arrumos		5.9	2.7	0	
18 - Zona Comum	ZC_P-2	75.4	2.7	0	
<b>Piso -1</b>					
1 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z1_P-1	20.0	2.7	2	NORTE
1.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
2 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
2.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
3 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z2_P-1	20.0	2.7	2	NORTE
3.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
4 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
4.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
5 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
5.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
6 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
6.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
7 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z3_P-1	19.2	2.7	2	NORTE
7.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
8 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
8.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
10 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z4_P-1	19.2	2.7	2	SUL
10.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.2	2.7	0	
11 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z5_P-1	20.0	2.7	2	SUL
11.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
12 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
12.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
13 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
13.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
14 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
14.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
15 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z6_P-1	19.2	2.7	2	SUL
15.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
16 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
16.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
17 - Copa de Serviço Sul	Z7_P-1	19.7	2.7	1	SUL
17.1 - Arrumos		5.9	2.7	0	
18 - Zona Comum	ZC_P-1	75.4	2.7	0	
<b>Piso 0</b>					
1 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z1_P0	20.0	2.7	2	NORTE
1.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
2 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
2.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
3 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z2_P0	20.0	2.7	2	NORTE

3.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
4 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
4.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
5 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
5.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
6 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
6.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
7 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z3_P0	19.2	2.7	2	NORTE
7.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
8 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
8.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
10 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z4_P0	19.2	2.7	2	SUL
10.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.2	2.7	0	
11 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z5_P0	20.0	2.7	2	SUL
11.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
12 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
12.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
13 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
13.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
14 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
14.1 - WC / Instalações Sanitárias	4.5	2.7	0		
15 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z6_P0	19.2	2.7	2	SUL
15.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
16 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
16.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
17 - Copa de Serviço Sul	Z7_P0	19.7	2.7	1	SUL
17.1 - Arrumos		5.9	2.7	0	
18 - Zona Comum	ZC_P0	75.4	2.7	0	
<b>Piso 1</b>					
1 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z1_P1	20.0	2.7	2	NORTE
1.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
2 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
2.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
3 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z2_P1	20.0	2.7	2	NORTE
3.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
4 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
4.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
5 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
5.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
6 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
6.1 - WC / Instalações Sanitárias	4.5	2.7	0		
7 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z3_P1	19.2	2.7	2	NORTE
7.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
8 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
8.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	

10 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z4_P1	19.2	2.7	2	SUL
10.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.2	2.7	0	
11 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z5_P1	20.0	2.7	2	SUL
11.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
12 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
12.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
13 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
13.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
14 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
14.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
15 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z6_P1	19.2	2.7	2	SUL
15.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
16 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
16.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
17 - Copa de Serviço Sul	Z7_P1	19.7	2.7	1	SUL
17.1 - Arrumos		5.9	2.7	0	
18 - Zona Comum	ZC_P1	75.4	2.7	0	
<b>Piso 2</b>					
1 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z1_P2	20.0	2.7	2	NORTE
1.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
2 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
2.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
3 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z2_P2	20.0	2.7	2	NORTE
3.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
4 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
4.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
5 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
5.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
6 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
6.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
7 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z3_P2	19.2	2.7	2	NORTE
7.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
8 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
8.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
10 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z4_P2	19.2	2.7	2	SUL
10.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.2	2.7	0	
11 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z5_P2	20.0	2.7	2	SUL
11.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
12 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
12.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
13 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
13.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
14 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		20.0	2.7	2	
14.1 - WC / Instalações Sanitárias		4.5	2.7	0	
15 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)	Z6_P2	19.2	2.7	2	SUL

15.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
16 - Quarto Duplo / Quarto (turismo)		19.2	2.7	2	
16.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.5	2.7	0	
17 - Copa de Serviço Sul	Z7_P2	19.7	2.7	1	SUL
17.1 - Arrumos		5.9	2.7	0	
18 - Zona Comum	ZC_P2	75.4	2.7	0	
<b>Piso 3</b>					
1 - Arrumos	Arrum_P3	134.0	2.7	0	NORTE
2 - Zona Comum	ZC_P3	59.4	2.7	0	
3 - Arrumos		15.9	2.7	2	
3.1 - WC / Instalações Sanitárias		3.6	2.7	0	
4 - Quarto Seminário		19.2	2.7	2	
4.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias	Z1	3.6	2.7	0	
5 - Quarto Seminário		19.2	2.7	2	
5.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias		3.6	2.7	0	
6 - Quarto Seminário		19.2	2.7	2	
6.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias		3.6	2.7	0	
7 - Quarto Seminário		15.9	2.7	2	
7.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias	Z2	3.6	2.7	0	
8 - Quarto Seminário		19.2	2.7	2	
8.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias		3.6	2.7	0	
9 - Quarto Seminário		19.2	2.7	2	
9.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias		3.6	2.7	0	
10 - Quarto Seminário		19.2	2.7	2	
10.1 - WC Privado / Instalações Sanitárias		3.6	2.7	0	
11 - Galeria Técnica	GT	91.1	2.7	0	SUL

## 10. Anexo II

### 10.1. Soluções construtivas para efeitos de simulação

Tabela 10.1 - Soluções construtivas para efeitos de simulação

**Paredes Exteriores: PAR\_EXT**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Reboco de argamassa / reboco tradicional	20	0,50
B	Tijolo cerâmico perfurado	110	
C	Caixa de Ar	10	
D	Poliestireno expandido - XPS	40	
E	Tijolo cerâmico perfurado	110	
F	Reboco pintado de branco	10	

**Paredes Interiores: PAR\_INT**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Reboco pintado de branco	15	1,69
B	Tijolo cerâmico perfurado	150	
C	Reboco pintado de branco	15	

**Pavimentos em contacto com o solo: PR\_cont\_Terr**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Betão armado	250	0,91
B	Betão leve	120	
C	Betonilha de regularização	60	
D	Parquet corticite	10	

**Pavimentos Interiores: Laje**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Revestimento do piso - Parquet	10	0,58
B	Betonilha de regularização	50	
C	Betão	180	
D	Isolamento térmico - XPS	40	
E	Caixa de Ar	10	
F	Teto falso - Pladur	10	

**Pavimentos em contacto com o solo Copa de Serviço: CS\_cont\_Terr**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Betão armado	250	
B	Betão leve	120	0,99
C	Betonilha de regularização	60	
D	Azulejo	10	

**Pavimentos Interiores Copa de Serviço: Laje\_CS**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Azulejo	10	
B	Betonilha de assentamento	50	3,16
C	Estrutura continua - laje maciça	180	

**Pavimentos Interiores Cobertura: Laje\_Cob**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Betonilha de assentamento	50	
B	Estrutura continua - laje maciça	180	
C	Isolamento térmico - XPS	40	0,624
D	Caixa de Ar	10	
E	Teto falso - Pladur	10	

**Envidraçados Exteriores: VIDRO\_EXT**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Vidro 1	4	
B	Caixa de ar	12	2,285
C	Vidro 2	4	

**Portas interiores: PORTA**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Madeira - Carvalho	30	2,96

**Porta exterior: Porta\_Ext**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Caixilharia em alumínio	35	5,55

**Cobertura**

Designação	Solução Construtiva	Espessura [mm]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
A	Telha	8	4,36

# 11. Anexo III

## 11.1. Tabela de calor sensível e latente libertado pelo ser humano em função do tipo de atividade

Tabela 11.1 - Tabela de calor sensível e latente libertado pelo ser humano em função do tipo de atividade.

2005 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant <sup>b</sup>	
	Adult Male	Adjusted, M/F <sup>a</sup>			Low V	High V
Seated at theater	115	95	65	30		
Seated at theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	130	115	70	45		
Moderately active office work	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	160	145	75	70		
Sedentary work	145	160	80	80		
Light bench work	235	220	80	140		
Moderate dancing	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	295	295	110	185		
Bowling <sup>d</sup>	440	425	170	255		
Heavy work	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	470	470	185	285		
Athletics	585	525	210	315		

Notes:  
 1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.  
 2. Also refer to Table 4, Chapter 8, for additional rates of metabolic heat generation.  
 3. All values are rounded to nearest 5 W.  
<sup>a</sup> Adjusted heat gain is based on normal percentages of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.  
<sup>b</sup> Values approximated from data in Table 6, Chapter 8, where V is air velocity with limits shown in that table.  
<sup>c</sup> Adjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).  
<sup>d</sup> Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

# 12. Anexo IV

## 12.1. Ganhos Internos

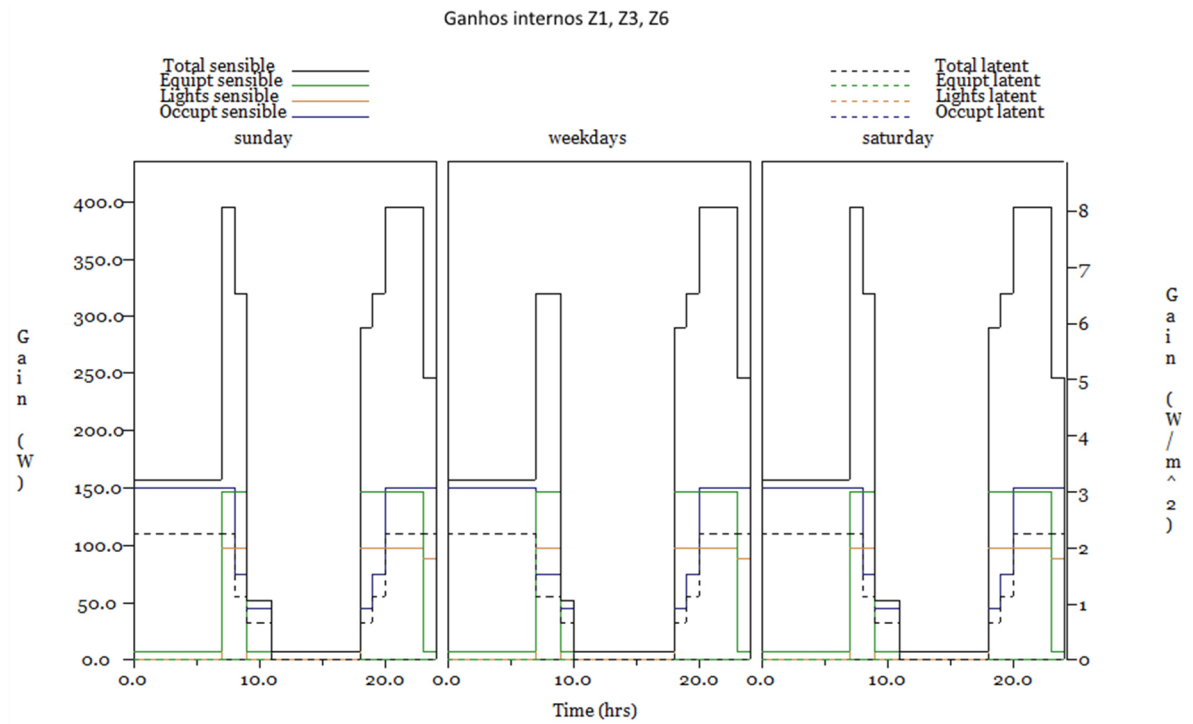


Figura 12.1 - Ganhos Internos referentes à zona 1, zona 3 e zona 6.

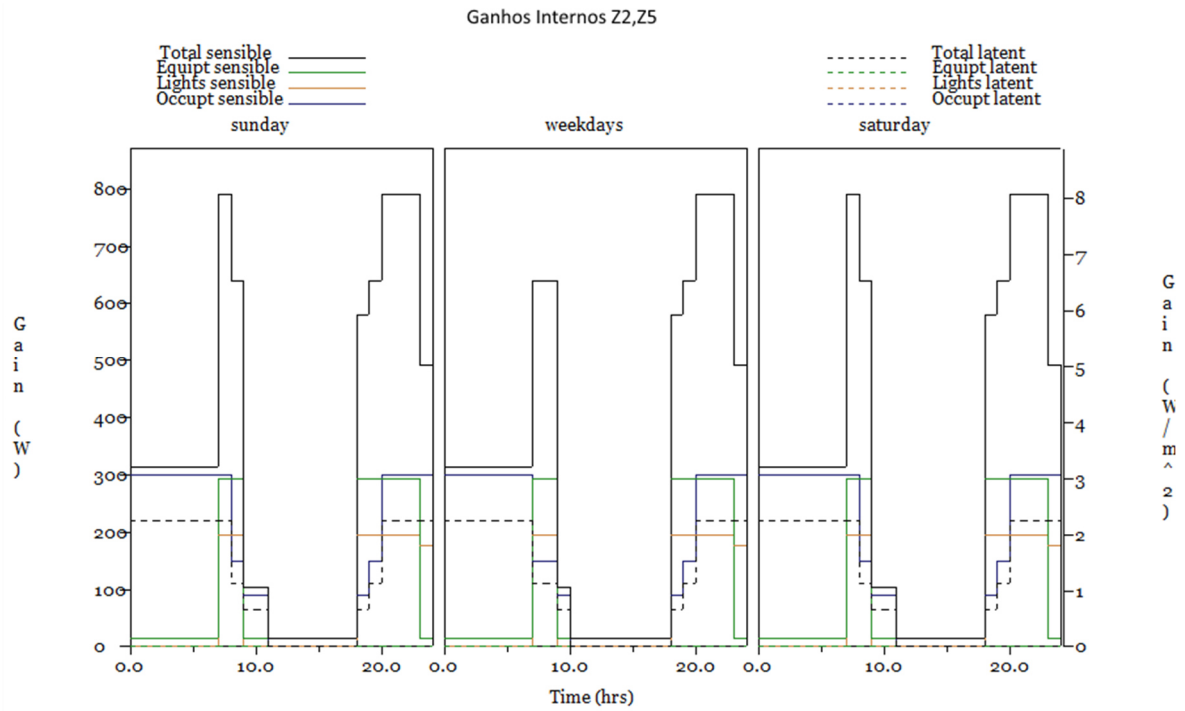


Figura 12.2 - Ganhos Internos referentes à zona 2 e zona 5.

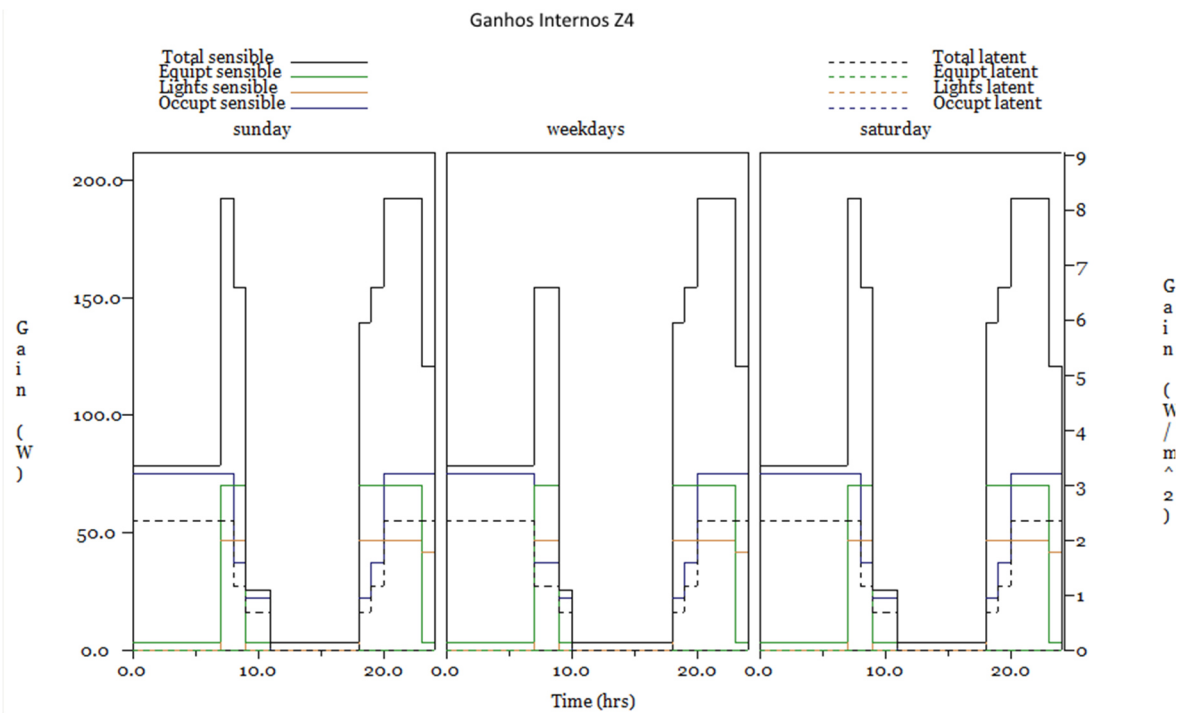


Figura 12.3 - Ganhos Internos referentes à zona 4.

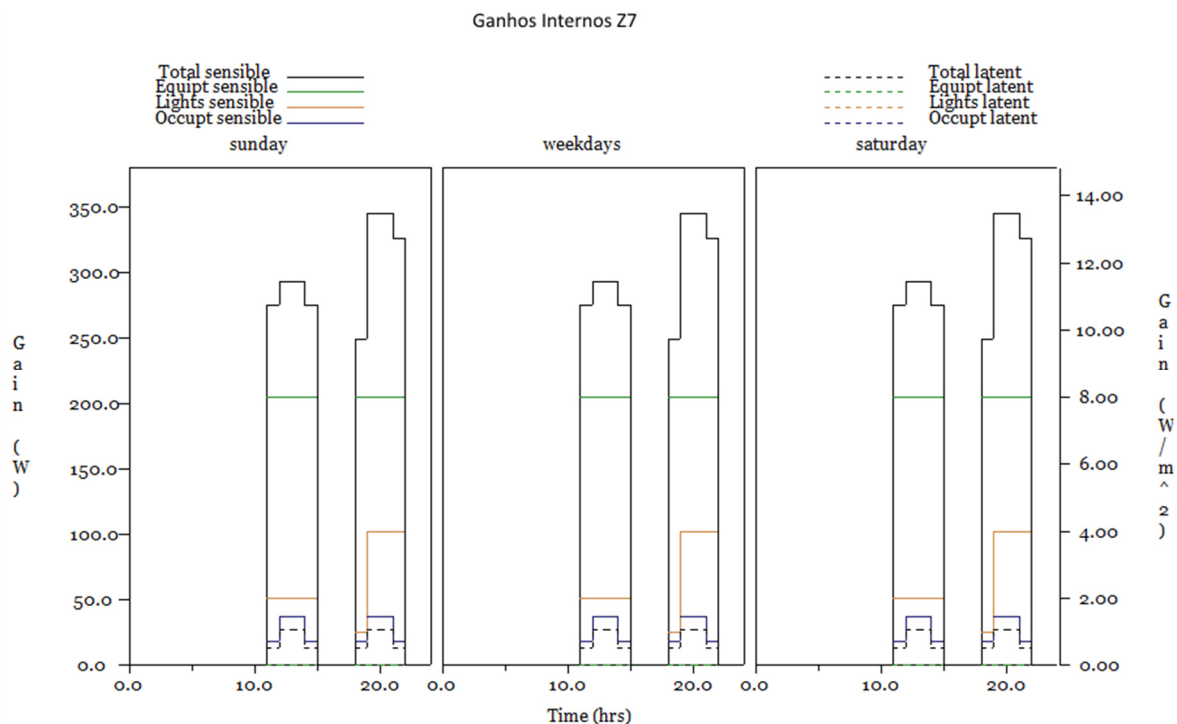


Figura 12.4 - Ganhos Internos referentes à zona 7.

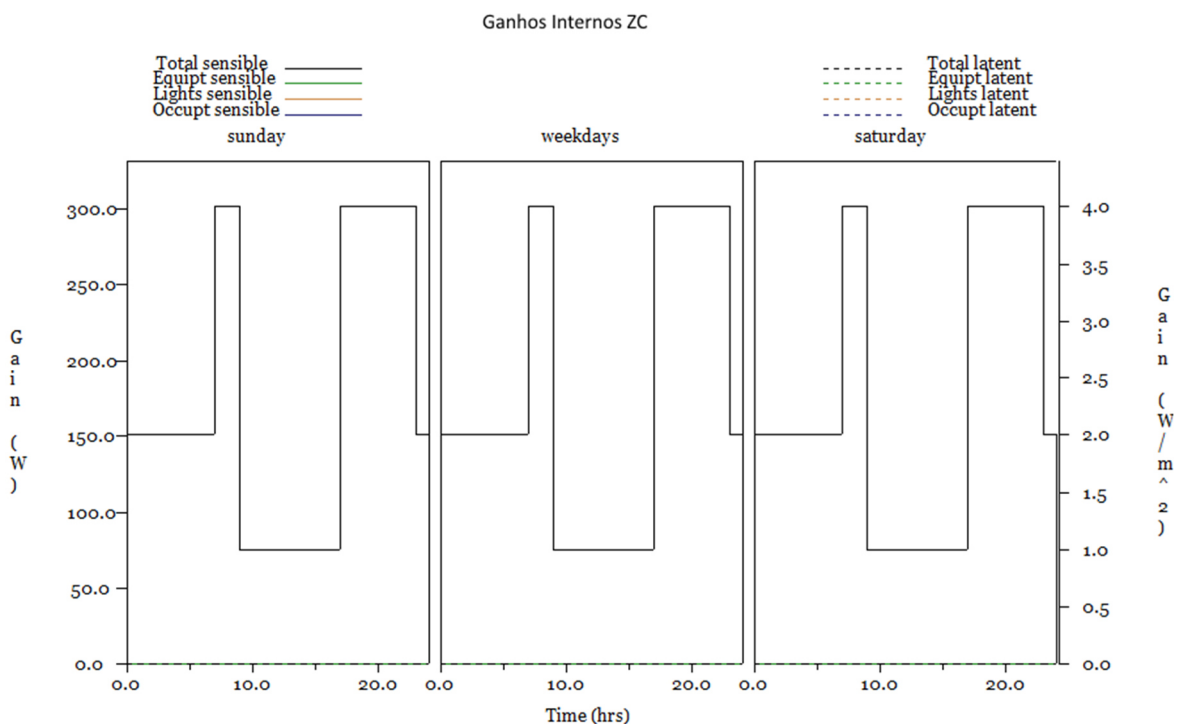


Figura 12.5 - Ganhos Internos referentes à zona comum.

## 13. Anexo V

### 13.1. Resumo dos parâmetros simulados

Tabela 13.1 - Cenário 1, simulação setpoint 24 horas.

Setpoints para 24h						
Local	Cenário 1 [1]					
	Setpoints Atuais		Setpoints Aternativos 1		Setpoints Aternativos 2	
Zona	Norte/Sul		Norte/Sul		Norte/Sul	
	Ocupado arrefecimento	23°C	Ocupado arrefecimento	24°C	Ocupado arrefecimento	25°C
	Ocupado aquecimento	22°C	Ocupado aquecimento	21°C	Ocupado aquecimento	20°C
Resultados da Simulação						
Total Edifício	Temperatura Média	22,37 °C	Temperatura Média	22,33°C	Temperatura Média	22,28°C
	Energia aquecimento	5,77 tep	Energia aquecimento	4,43 tep	Energia aquecimento	3,41 tep
	Energia arrefecimento	4,20 tep	Energia arrefecimento	3,10 tep	Energia arrefecimento	2,32 tep
	PMV (valor médio)	-0,22	PMV (valor médio)	-0,23	PMV (valor médio)	-0,24
	PPD (valor médio)	10,91	PPD (valor médio)	-0,23	PPD (valor médio)	-0,24
	Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão	
	Temperatura	1,20	Temperatura	1,83	Temperatura	2,43
	Energia aquecimento	0,18	Energia aquecimento	0,15	Energia aquecimento	0,13
	Energia arrefecimento	0,16	Energia arrefecimento	0,14	Energia arrefecimento	0,12
	PMV	0,37	PMV	0,53	PMV (valor médio)	0,68
PPD	5,09	PPD	7,09	PPD (valor médio)	9,73	
Zonas a Norte	Temperatura Média	22,20°C	Temperatura Média	22,02°C	Temperatura Média	21,83°C
	Energia aquecimento	2,93 tep	Energia aquecimento	2,33 tep	Energia aquecimento	1,83 tep
	Energia arrefecimento	1,03 tep	Energia arrefecimento	0,74 tep	Energia arrefecimento	0,52 tep
	PMV (valor médio)	-0,24	PMV (valor médio)	-0,29	PMV (valor médio)	0,34
	PPD (valor médio)	8,06	PPD (valor médio)	11,71	PPD (valor médio)	16,61
Zonas a Sul	Temperatura Média	22,81°C	Temperatura Média	22,90°C	Temperatura Média	22,96°C
	Energia aquecimento	1,66 tep	Energia aquecimento	1,20 tep	Energia aquecimento	0,88 tep
	Energia arrefecimento	2,63 tep	Energia arrefecimento	1,97 tep	Energia arrefecimento	1,51 tep
	PMV (valor médio)	-0,10	PMV (valor médio)	-0,08	PMV (valor médio)	-0,07
	PPD (valor médio)	9,62	PPD (valor médio)	12,42	PPD (valor médio)	16,16

Legenda:

[1] Cenário 1: Mesmos Setpoints tanto para a Zona Norte e Sul do Edifício

Tabela 13.2 - Cenário 1, setpoint Ocupado/Desocupado.

Setpoints para Ocupado/Desocupado						
Cenário 1 [1]						
Local	Setpoints Atuais		Setpoints Alternativos 1		Setpoints Alternativos 2	
Zona	Norte/Sul		Norte/Sul		Norte/Sul	
	Ocupado arrefecimento	23°C	Ocupado arrefecimento	24°C	Ocupado arrefecimento	25°C
	Desocupado arrefecimento	26°C	Desocupado arrefecimento	26°C	Desocupado arrefecimento	27°C
	Ocupado aquecimento	22°C	Ocupado aquecimento	21°C	Ocupado aquecimento	20°C
	Desocupado aquecimento	18°C	Desocupado aquecimento	18°C	Desocupado aquecimento	17°C
<b>Zona</b>						
Resultados da Simulação						
<b>Total Edifício</b>	Temperatura Média	22,41°C	Temperatura Média	22,34°C	Temperatura Média	22,29°C
	Energia aquecimento	5,08 tep	Energia aquecimento	3,96 tep	Energia aquecimento	3,03 tep
	Energia arrefecimento	3,50 tep	Energia arrefecimento	2,67 tep	Energia arrefecimento	1,98 tep
	PMV (valor médio)	-0,21	PMV (valor médio)	-0,23	PMV (valor médio)	-0,24
	PPD (valor médio)	12,89	PPD (valor médio)	16,06	PPD (valor médio)	20,32
	Desvio Padrão		Desvio Padrão		Desvio Padrão	
	Temperatura	1,67	Temperatura	2,15	Temperatura	2,7
	Energia aquecimento	0,20	Energia aquecimento	0,17	Energia aquecimento	0,14
	Energia arrefecimento	0,16	Energia arrefecimento	0,13	Energia arrefecimento	0,11
	PMV	0,48	PMV	0,61	PMV	0,75
PPD	7,75	PPD	9,40	PPD	12,12	
<b>Zonas a Norte</b>	Temperatura Média	22,11°C	Temperatura Média	21,92°C	Temperatura Média	21,75°C
	Energia aquecimento	2,56 tep	Energia aquecimento	2,06 tep	Energia aquecimento	1,61 tep
	Energia arrefecimento	0,87 tep	Energia arrefecimento	0,63 tep	Energia arrefecimento	0,44 tep
	PMV (valor médio)	-0,27	PMV (valor médio)	-0,32	PMV (valor médio)	0,36
	PPD (valor médio)	10,52	PPD (valor médio)	14,30	PPD (valor médio)	19,33
<b>Zonas a Sul</b>	Temperatura Média	22,98°C	Temperatura Média	23°C	Temperatura Média	23,04°C
	Energia aquecimento	1,45 tep	Energia aquecimento	1,08 tep	Energia aquecimento	0,79 tep
	Energia arrefecimento	2,10 tep	Energia arrefecimento	1,67 tep	Energia arrefecimento	1,27 tep
	PMV (valor médio)	-0,06	PMV (valor médio)	-0,06	PMV (valor médio)	-0,04
	PPD (valor médio)	11,45	PPD (valor médio)	14,26	PPD (valor médio)	18,20

Legenda:

[1] Cenário 1: Mesmos Setpoints tanto para a Zona Norte e Sul do Edifício

Tabela 13.3 - Cenário 2, setpoint Ocupado/Desocupado.

Setpoints para Ocupado/Desocupado				
Cenário 2 [2]				
Local	Setpoints Atuais Variância 1		Setpoints Atuais Variância 2	
Zona	Norte		Norte	
	Ocupado arrefecimento	23°C	Ocupado arrefecimento	23°C
	Desocupado arrefecimento	26°C	Desocupado arrefecimento	26°C
	Ocupado aquecimento	22°C	Ocupado aquecimento	22°C
	Desocupado aquecimento	18°C	Desocupado aquecimento	18°C
Zona	Sul		Sul	
	Ocupado arrefecimento	24°C	Ocupado arrefecimento	25°C
	Desocupado arrefecimento	26°C	Desocupado arrefecimento	27°C
	Ocupado aquecimento	21°C	Ocupado aquecimento	20°C
	Desocupado aquecimento	18°C	Desocupado aquecimento	17°C
Resultados da Simulação				
Total Edifício	Temperatura Média	22,46°C	Temperatura Média	22,52°C
	Energia aquecimento	4,77tep	Energia aquecimento	4,57 tep
	Energia arrefecimento	3,13 tep	Energia arrefecimento	2,80 tep
	PMV (valor médio)	-0,20	PMV (valor médio)	-0,18
	PPD (valor médio)	13,8	PPD (valor médio)	15,03
	Desvio Padrão		Desvio Padrão	
	Temperatura	1,82	Temperatura	1,99
	Energia aquecimento	0,19	Energia aquecimento	0,18
	Energia arrefecimento	0,15	Energia arrefecimento	0,14
	PMV	0,52	PMV	0,57
PPD	8,24	PPD	9,24	
Zonas a Norte	Temperatura Média	22,12 °C	Temperatura Média	22,13°C
	Energia aquecimento	2,57 tep	Energia aquecimento	2,57tep
	Energia arrefecimento	0,89 tep	Energia arrefecimento	0,91 tep
	PMV (valor médio)	-0,27	PMV (valor médio)	-0,27
	PPD (valor médio)	10,55	PPD (valor médio)	10,58
Zonas a Sul	Temperatura Média	23,06	Temperatura Média	23,19°C
	Energia aquecimento	1,09 tep	Energia aquecimento	0,84 tep
	Energia arrefecimento	1,63 tep	Energia arrefecimento	1,19 tep
	PMV (valor médio)	-0,04	PMV (valor médio)	-0,01
	PPD (valor médio)	13,27	PPD (valor médio)	15,77

Legenda:

[2] Cenário 2: Com diferenciação dos Setpoints da Zona Norte e Sul do Edifício

Tabela 13.4 - Cenário 1, setpoint Ocupado/Standby.

Local	Setpoints Atuais		Setpoints Alternativos 1		Setpoints Alternativos 2	
Zona	Norte/Sul		Norte/Sul		Norte/Sul	
	Ocupado arrefecimento	23°C	Ocupado arrefecimento	24°C	Ocupado arrefecimento	25°C
	Standby arrefecimento	24°C	Standby arrefecimento	25°C	Standby arrefecimento	26°C
	Ocupado aquecimento	22°C	Ocupado aquecimento	21°C	Ocupado aquecimento	20°C
	Standby aquecimento	20°C	Standby aquecimento	19°C	Standby aquecimento	18°C
<b>Resultados da Simulação</b>						
<b>Total Edifício</b>	Temperatura Média	22,34°C	Temperatura Média	22,30°C	Temperatura Média	22,26°C
	Energia aquecimento	5,24 tep	Energia aquecimento	4,03 tep	Energia aquecimento	3,09 tep
	Energia arrefecimento	3,80 tep	Energia arrefecimento	2,82 tep	Energia arrefecimento	2,09 tep
	PMV (valor médio)	-0,23	PMV (valor médio)	-0,24	PMV (valor médio)	-0,25
	PPD (valor médio)	12,10	PPD (valor médio)	15,51	PPD (valor médio)	19,76
	<b>Desvio Padrão</b>		<b>Desvio Padrão</b>		<b>Desvio Padrão</b>	
	Temperatura Média	1,47	Temperatura Média	2,06	Temperatura Média	2,63
	Energia aquecimento	0,19	Energia aquecimento	0,16	Energia aquecimento	0,16
	Energia arrefecimento	0,15	Energia arrefecimento	0,13	Energia arrefecimento	0,13
	PMV	0,44	PMV	0,59	PMV	0,59
PPD	6,48	PPD	8,67	PPD	8,67	
<b>Zonas a Norte</b>	Temperatura Média	22,10°C	Temperatura Média	21,91°C	Temperatura Média	21,74°C
	Energia aquecimento	2,65 tep	Energia aquecimento	2,10 tep	Energia aquecimento	1,64 tep
	Energia arrefecimento	0,94 tep	Energia arrefecimento	0,67 tep	Energia arrefecimento	0,46 tep
	PMV (valor médio)	-0,27	PMV (valor médio)	-0,32	PMV (valor médio)	-0,36
	PPD (valor médio)	9,67	PPD (valor médio)	13,72	PPD (valor médio)	18,81
<b>Zonas a Sul</b>	Temperatura Média	22,85°C	Temperatura Média	22,94°C	Temperatura Média	22,99°C
	Energia aquecimento	1,50 tep	Energia aquecimento	1,10 tep	Energia aquecimento	0,80 tep
	Energia arrefecimento	2,36 tep	Energia arrefecimento	1,78 tep	Energia arrefecimento	1,37 tep
	PMV (valor médio)	-0,09	PMV (valor médio)	-0,07	PMV (valor médio)	-0,06
	PPD (valor médio)	10,55	PPD (valor médio)	13,66	PPD (valor médio)	17,52

Legenda:

[1] Cenário 1: Mesmos Setpoints tanto para a Zona Norte e Sul do Edifício

Tabela 13.5 - Cenário 2, setpoint Ocupado/Standby.

Setpoints para Ocupado/Standby				
Cenário 2 [2]				
Local	Setpoints Atuais Variância 1		Setpoints Atuais Variância 2	
Zona	Norte		Norte	
	Ocupado arrefecimento	23°C	Ocupado arrefecimento	23°C
	Standby arrefecimento	24°C	Standby arrefecimento	24°C
	Ocupado aquecimento	22°C	Ocupado aquecimento	22°C
	Standby aquecimento	20°C	Standby aquecimento	20°C
Zona	Sul		Sul	
	Ocupado arrefecimento	24°C	Ocupado arrefecimento	25°C
	Standby arrefecimento	25°C	Standby arrefecimento	26°C
	Ocupado aquecimento	21°C	Ocupado aquecimento	20°C
	Standby aquecimento	19°C	Standby aquecimento	18°C
Resultados da Simulação				
Total Edifício	Temperatura Média	22,42°C	Temperatura Média	22,49°C
	Energia aquecimento	4,90 tep	Energia aquecimento	4,69 tep
	Energia arrefecimento	3,32 tep	Energia arrefecimento	2,98 tep
	PMV (valor médio)	-0,21	PMV (valor médio)	-0,19
	PPD (valor médio)	13,10	PPD (valor médio)	14,29
	Desvio Padrão		Desvio Padrão	
	Temperatura Média	1,67	Temperatura Média	1,85
	Energia aquecimento	0,18	Energia aquecimento	0,17
	Energia arrefecimento	0,14	Energia arrefecimento	0,13
	PMV	0,49	PMV	0,53
PPD	7,21	PPD	8,15	
Zonas a Norte	Temperatura Média	22,11 °C	Temperatura Média	22,12°C
	Energia aquecimento	2,66 tep	Energia aquecimento	2,66 tep
	Energia arrefecimento	0,96 tep	Energia arrefecimento	0,98 tep
	PMV (valor médio)	-0,27	PMV (valor médio)	-0,27
	PPD (valor médio)	9,68	PPD (valor médio)	9,68
Zonas a Sul	Temperatura Média	23,00°C	Temperatura Média	23,14°C
	Energia aquecimento	1,12 tep	Energia aquecimento	0,86 tep
	Energia arrefecimento	1,75 tep	Energia arrefecimento	1,27 tep
	PMV (valor médio)	-0,06	PMV (valor médio)	-0,02
	PPD (valor médio)	12,60	PPD (valor médio)	15,04

Legenda:

[2] Cenário 2: Com diferenciação dos Setpoints da Zona Norte e Sul do Edifício