

Estudo de correspondência entre soluções construtivas e tecnológicas e a classificação energética de hotéis em Portugal

Diogo Daniel Duarte Correia

Relatório da Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. Vítor Leal



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2008

“Um edifício tem um longo ciclo de vida, logo o seu efeito sobre o ambiente é um longo e contínuo problema a considerar.”

ONG, China

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero transmitir o mais profundo agradecimento à minha família, em especial aos meus pais e irmãos, por todo o apoio e esforço transmitido ao longo de toda esta vida académica e sem o qual não estaria neste momento a realizar este trabalho.

Ao Professor Eduardo Oliveira Fernandes agradeço a oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Ao Professor Vítor Leal expresso a minha gratidão e reconhecimento, agradecendo todo o empenho, dedicação, compreensão sempre demonstrada ao longo do semestre na orientação deste projecto, que se tornou indispensável para um bom seguimento das metodologias.

Aos meus colegas e aos meus amigos, por todos os momentos passados ao longo de todos estes anos.

Resumo

O presente trabalho é o culminar de um estudo realizado durante o segundo semestre de 2008 sobre o tema “Estudo de correspondência entre soluções construtivas e tecnológicas e a classificação energética de hotéis em Portugal”, e corresponde ao projecto final do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção Energia Térmica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O principal objectivo deste trabalho é o de encontrar a correspondência entre soluções construtivas e tecnológicas aplicadas a edifícios hoteleiros, nomeadamente ao nível da envolvente, sistemas de climatização, iluminação e preparação de AQS, e a classe energética resultante para diferentes climas do país.

Para tal foi inicialmente feito um levantamento das características construtivas e arquitectónicas de um hotel situado numa cidade portuguesa, atribuindo para este uma série de parâmetros (ao nível da construção e tipo de envidraçado), passando-se em seguida à determinação das necessidades energéticas através do programa de simulação detalhada ESP-r – *Environmental Systems Performance, Reserch version*.

A modelação e simulação do edifício em causa passa inicialmente pela construção virtual deste, definindo a sua geometria, envolvente e materiais de construção, ganhos internos associados a perfis de utilização previamente definidos na regulamentação em vigor e também a definição do clima onde o edifício está localizado.

Após efectuar a simulação do caso base e de se ter feito a análise dos resultados obtidos, partiu-se para um estudo de sensibilidade no qual se pretende avaliar o impacto de algumas alterações, quer construtivas, quer tecnológicas, que melhorem o desempenho energético do edifício. Depois de concluído o estudo para uma primeira zona climática partiu-se para um mesmo estudo, do mesmo edifício, mas situado em zonas climáticas diferentes, efectuando as mesmas análises de resultados e implementando as mesmas medidas de melhoramento do desempenho energético do edifício.

Os resultados obtidos demonstram que as alterações efectuadas se reflectem numa melhoria na ordem dos 30% no consumo de energia final e uma poupança na ordem dos 40% no consumo final de energia primária, não passando no entanto de classe B em nenhuma das zonas climáticas estudadas. Tal parece indicar claramente que, ao contrário do que acontece nos edifícios residenciais, a classe A só será acessível com recurso a soluções arquitectónicas, construtivas e tecnológicas altamente sofisticadas.

Abstract

TITLE: Study of the correspondence between constructive solutions and technology and energy classification of hotels in Portugal.

This work is the culmination of a study conducted during the second half of 2008 on the theme "Study of correspondence between constructive and technological solutions and the energy classification of hotels in Portugal," and is the final project of the Master in Mechanical Engineering, option Thermal Energy, the Faculty of Engineering of the University of Oporto.

The main objective of this work is to find the correspondence between different sets of constructive and technological solutions applied to hotel building and the resultant energy class in different climatic zones of the country.

For this purpose it was originally done a survey of constructive and architectural features of a hotel situated in a Portuguese town, attributing this to a number of parameters (in the construction and type of glass), going then to the determination of energy needs through programme of detailed simulation ESP-r - Environmental Performance Systems, Reserch version.

The modeling and simulation of the building in analysis passes initially by the construction of this virtual building, defining its geometry, building materials, gains associated with internal use, predefined profiles of the legislation in force and also the definition of climate where the building is located .

After making the simulation of the base - case and done an analysis of the results obtained, the study proceeded whit sensitivity analysis which aims to assess the impact of some changes, whether constructive or technology, to improve the energy performance of the building. Upon completion of the study for a first climate zone left up to the same study, the same building, but located in different climatic zones, making the same analysis of results and implementing the same measures to improve the energy performance of the building. The results show that the changes made are reflected in an improvement of around 30% in energy consumption final and a savings of around 40% in final consumption of primary energy. However it was not possible to go over class B at any of the studied locations, thus showing that class A will only be achieved through very sophisticated features.

Índice

Lista de Figuras	13
Lista de Tabelas	15
Nomenclatura.....	17
1. Introdução	19
1.1 Caracterização energética	19
1.2 Políticas para a energia	19
1.3 Medidas propostas pelo plano de acção.....	20
1.4 Panorama energético nacional	20
1.5 O Turismo	21
1.6 Legislação Nacional.....	22
1.7 Objectivo do trabalho.....	23
2. Modelação em ESP-r e Caso base.....	25
2.1 Caso de estudo	25
2.1.1 Caracterização do edifício	25
2.1.2 Área útil e pé direito	25
2.1.3 Características de construção	26
2.1.4 Pontes térmicas	28
2.1.5 Vãos envidraçados.....	29
2.1.6 Inércia térmica	30
2.2 Modelação em ESP-r	31
2.2.1 Definição da Geometria.....	32
2.2.2 Definição da envolvente	32
2.2.3 Definição das superfícies transparentes.....	33
2.2.4 Definição dos ganhos internos.....	34
2.2.5 Definição das infiltrações e/ou ventilação.....	34
2.2.6 Definição do controlo do sistema	34
2.2.7 Definição do clima.....	35
3. Resultados	37
3.1 Simulação para o Porto	37
3.1.1 Classe energética	39
3.1.2 Estudo de sensibilidade	41
3.1.2.1 Alteração do sistema de aquecimento para bomba de calor	41

3.1.2.2	Alteração do sistema de aquecimento para caldeira de condensação	41
3.1.2.3	Modificação da solução construtiva	42
3.1.2.4	Iluminação eficiente	42
3.1.2.5	Tipo de vãos envidraçados e protecção solar	42
3.1.2.6	Recuperação de calor.....	42
3.1.2.7	Uso de colectores solares na preparação de AQS	43
3.1.2.8	Ventiladores mais eficientes.....	43
3.1.3	Resultados do estudo de sensibilidade.....	44
i.	Alteração do sistema de aquecimento para bomba de calor.....	44
ii.	Alteração do sistema de aquecimento para caldeira de condensação.....	44
iii.	Modificação da solução construtiva	44
iv.	Iluminação eficiente.....	45
v.	Alteração dos vãos envidraçados e protecção solar.....	45
vi.	Recuperação de calor.....	46
vii.	Uso de colectores solares para preparação de AQS.....	47
viii.	Ventilação mais eficiente	47
3.1.4	Resumo dos resultados obtidos	48
3.1.5	Conjugação das melhores medidas	50
3.2	Simulação para Lisboa	52
3.2.1	Simulação do caso base.....	52
3.2.2	Estudo de sensibilidade.....	54
3.2.3	Resumo dos resultados obtidos	54
3.2.4	Conjugação das melhores medidas	56
3.3	Simulação para Bragança	58
3.3.1	Simulação do caso base.....	58
3.3.2	Estudo de sensibilidade.....	59
3.3.3	Resumo dos resultados obtidos.....	60
3.3.4	Conjugação das melhores medidas	62
3.4	Simulação para Manteigas.....	64
3.4.1	Simulação do caso base.....	64
3.4.2	Estudo de sensibilidade.....	66
3.4.3	Resumo dos resultados obtidos	66
3.4.4	Conjugação das melhores medidas	68
3.5	Simulação para Évora.....	70

3.5.1	Simulação do caso base	70
3.5.2	Estudo de sensibilidade	72
3.5.3	Resumo dos resultados obtidos	72
3.5.4	Conjugação das melhores medidas	74
3.6	Simulação para Faro	76
3.6.1	Simulação do caso base	76
3.6.2	Resumo dos resultados obtidos	78
3.6.3	Conjugação das melhores medidas	80
4.	Análise de Resultados	83
4.1	Influência da zona climática para o caso base	83
4.2	Influência das alterações tecnológicas	86
i.	Efeito da alteração da iluminação	88
ii.	Efeito da recuperação de calor	91
iii.	Efeito da instalação de colectores solares	92
iv.	Efeito da instalação de sistema de ventilação mais eficiente	93
4.3	Conjugação das melhores soluções	93
5.	Pacote adicional de medidas de eficiência	97
5.1	Aumento da área de colectores solares	97
5.2	Alteração da área de envidraçados	99
5.3	Resumo do pacote adicional de medidas de eficiência	100
6.	Conclusões	103
	Referências e Bibliografia	105
	Anexo A: Perfis nominais de utilização para edifícios hoteleiros	107
	Anexo B: Caudal de ar novo a insuflar em cada espaço	109
	Anexo C: Propriedades da envolvente	111
	Anexo D: Propriedades ópticas dos envidraçados	115
	Anexo E: Plantas do edifício	117

Lista de Figuras

Figura 1: Processo de modelação para simulação.....	31
Figura 2: Representação esquemática do edifício em ESP-r.....	32
Figura 3: Propriedades ópticas do envidraçado.....	33
Figura 4: Panorama climático em Portugal continental nos meses de Inverno e Verão.	35
Figura 5: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.....	37
Figura 6: Alterações a efectuar para melhorar a eficiência do edifício.....	43
Figura 7: Representação esquemática do funcionamento da ventilação	46
Figura 8: Necessidade de aquecimento e arrefecimento após alterações.....	51
Figura 9: Resumo da economia de energia após alterações.....	51
Figura 10: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.....	52
Figura 11: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Lisboa.	57
Figura 12: Resumo da economia de energia após alterações.....	57
Figura 13: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.....	58
Figura 14: Resumo da economia de energia após alterações.....	63
Figura 15: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Bragança.	63
Figura 16: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.....	64
Figura 17: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Manteigas.....	69
Figura 18: Resumo da economia de energia após alterações.....	69
Figura 19: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.....	70
Figura 21: Resumo da economia de energia após alterações.....	75
Figura 20: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Évora.....	75
Figura 22: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.....	76
Figura 23: Resumo da economia de energia após modificações.....	81
Figura 24: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Faro.....	81
Figura 25: Resumo das necessidades de aquecimento para as diferentes zonas climáticas.....	84
Figura 26: Resumo das necessidades de arrefecimento para as diferentes zonas climáticas.....	84
Figura 27: Valores de energia final para as diferentes zonas climáticas.....	85
Figura 28: Influência dos diferentes vãos envidraçados nas necessidades de aquecimento.....	90
Figura 29: Influência dos diferentes vãos envidraçados nas necessidades de arrefecimento.....	90
Figura 30: Resumo dos valores de IEE.....	96
Figura 31: Representação esquemática da disposição da cobertura para instalação de colectores solares.....	98

Lista de Tabelas

Tabela 1: Dimensão das diferentes áreas do edifício e respectiva área de envidraçado.	26
Tabela 2: Coeficientes de transmissão térmica de referência.	26
Tabela 3: Caracterização da envolvente opaca exterior.	27
Tabela 4: Caracterização da envolvente opaca interior.	27
Tabela 5: Caracterização da envolvente em contacto com o solo.	28
Tabela 6: Tipos de pontes térmicas lineares.	29
Tabela 7: Propriedades do vão envidraçado.	29
Tabela 8: Quantificação da inércia térmica do edifício real.	30
Tabela 9: Quantificação da inércia térmica do edifício modelo.	30
Tabela 10: Padrões de controlo.	34
Tabela 11: Resultado da simulação.	37
Tabela 12: Valor de energia final consumida.	39
Tabela 13: Escala para classificação energética.	40
Tabela 14: Análise energética para a cidade do Porto.	40
Tabela 15: Análise energética para o Porto após alteração do sistema de aquecimento.	44
Tabela 16: Análise energética para o Porto após alteração do sistema de aquecimento.	44
Tabela 17: Análise energética para o Porto após alteração na envolvente para $e_{isol.} = 80 \text{ mm}$.	44
Tabela 18: Alteração da taxa de iluminação no edifício.	45
Tabela 19: Proposta nº1: Vidro duplo colorido na massa com sombreamento interior.	45
Tabela 20: Proposta nº2: Vidro duplo incolor com sombreamento interior.	45
Tabela 21: Proposta nº 3: Vidro duplo incolor com efeito de sombreamento exterior.	45
Tabela 22: Análise energética para o Porto com recuperação de calor.	46
Tabela 23: Análise energética com o uso de colectores solares para preparação de AQS.	47
Tabela 24: Análise energética com sistema de ventilação mais eficiente - $SFP = 0.2 \text{ W/m}^3/\text{h}$.	47
Tabela 25: Resumo da economia de energia útil.	48
Tabela 26: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para o Porto.	49
Tabela 27: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.	50
Tabela 28: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.	50
Tabela 29: Economia de energia útil.	50
Tabela 30: Economia de energia final.	50
Tabela 31: Resultado da simulação para a cidade de Lisboa.	53
Tabela 32: Valor de energia final consumida.	53
Tabela 33: Análise energética para a cidade do Lisboa.	53
Tabela 34: Resumo da economia de energia útil.	54
Tabela 35: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Lisboa.	55
Tabela 36: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.	56
Tabela 37: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.	56
Tabela 38: Economia de energia útil.	56
Tabela 39: Economia de energia final.	56
Tabela 40: Resultado da simulação para a cidade de Bragança.	58
Tabela 41: Valor de energia final consumida.	59
Tabela 42: Análise energética para a cidade do Bragança.	59
Tabela 43: Resumo da economia de energia útil.	60
Tabela 44: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Bragança.	61
Tabela 45: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.	62
Tabela 46: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.	62
Tabela 47: Economia de energia útil.	62
Tabela 48: Economia de energia final.	62

Tabela 49: Resultado da simulação para Manteigas.	65
Tabela 50: Valor de energia final consumida.	65
Tabela 51: Análise energética para Manteigas.	65
Tabela 52: Resumo da economia de energia útil.	66
Tabela 53: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Manteigas.	67
Tabela 54: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.	68
Tabela 55: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.	68
Tabela 56: Economia de energia útil.	68
Tabela 57: Economia de energia final e primária.	68
Tabela 58: Resultado da simulação para Évora.	71
Tabela 59: Valor de energia final consumida.	71
Tabela 60: Análise energética para Évora.	71
Tabela 61: Resumo da economia de energia útil.	72
Tabela 62: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Évora.	73
Tabela 63: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.	74
Tabela 64: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.	74
Tabela 65: Economia de energia útil.	74
Tabela 66: Economia de energia final e primária.	74
Tabela 67: Resultado da simulação para Faro.	77
Tabela 68: Valor de energia final consumida.	77
Tabela 69: Análise energética para Faro.	77
Tabela 70: Resumo da economia de energia útil.	78
Tabela 71: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Faro.	79
Tabela 72: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.	80
Tabela 73: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.	80
Tabela 74: Economia de energia útil.	80
Tabela 75: Economia de energia final e primária.	80
Tabela 76: Resumo das necessidades de energia para as diferentes zonas climáticas.	83
Tabela 77: Resumo dos valores de $IEE_{aquecimento}$ e $IEE_{arrefecimento}$	86
Tabela 78: Resumo das soluções construtivas e tecnológicas usadas no caso base.	87
Tabela 79: Resumo das necessidades de energia após alterar o perfil de iluminação.	88
Tabela 80: Características do envidraçado base e propostas de alteração.	89
Tabela 81: Resumo das necessidades de energia com recuperação de calor.	91
Tabela 82: Resumo da energia fornecida pela componente solar para preparação de AQS.	92
Tabela 83: Resumo das necessidades de energia com ventiladores mais eficientes.	93
Tabela 84: Mapa das alterações efectuadas em cada zona climática.	94
Tabela 85: Resumo das necessidades de energia para os casos melhorados.	95
Tabela 86: Energia fornecida e produtividade obtida pelos colectores solares.	98
Tabela 87: Resumo das necessidades energéticas com a diminuição da área de envidraçado.	99
Tabela 88: Comparação do IEE para caso melhorado e para a nova medida aplicada para os envidraçados.	100

Nomenclatura

A_{env}	Área de envidraçado	$[m^2]$
A_i	Área do elemento que separa o espaço útil do espaço não útil.	$[m^2]$
A_p	Área útil de pavimento	$[m^2]$
A_{parede}	Área de parede	$[m^2]$
AQS	Águas Quentes Sanitárias	
A_u	Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior	$[m^2]$
$A_{útil}$	Área útil	$[m^2]$
B_i	Perímetro do pavimento ou desenvolvimento da parede, medido pelo interior	$[m]$
COP	Eficiência energética nominal	
E	Espessura	$[m]$
F_{CI}	Factor de correcção do consumo de energia de aquecimento	
F_{CV}	Factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento	
FF	Factor de forma	
F_{pu}	Factor de conversão das fontes de energia utilizadas	$[kgep/kWh]$
g_l	Factor solar do vão envidraçado	
GD	Número de Graus – dia	$[^{\circ}C.dia]$
$\eta_{sist, Aq}$	Rendimento do sistema de aquecimento	
$\eta_{sist, Arr}$	Rendimento do sistema de arrefecimento	
$\eta_{sist, Vent}$	Rendimento do sistema de ventilação	
IEE	Indicador de eficiência energética	$[kgep/m^2.anos]$
IEE_I	Indicador de eficiência energética de aquecimento	$[kgep/m^2.anos]$
IEE_{Nom}	Indicador de eficiência energética nominal	$[kgep/m^2.anos]$
IEE_V	Indicador de eficiência energética de arrefecimento	$[kgep/m^2.anos]$
λ	Condutibilidade térmica	$[W/m.^{\circ}C]$
M	Número de meses	
M_{Si}	Massa superficial útil	$[kg/m^2]$
M_t	Massa total	$[kg]$
N_i	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento	$[kWh]$
N_v	Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento	$[kWh]$
N_{vent}	Necessidades nominais de energia útil para ventilação	$[kWh]$
$N_{vent, aq}$	Necessidades nominais de energia útil para ventilação na estação de aquecimento	$[kWh]$
$N_{vent, arr}$	Necessidades nominais de energia útil para ventilação na estação de arrefecimento	$[kWh]$
P_e	Potência de ventiladores	$[kW]$
Q_{aq}	Consumo de energia de aquecimento	$[kgep/ano]$
$Q_{aquecimento}$	Consumo de energia de aquecimento	$[kgep/ano]$
Q_{arr}	Consumo de energia de arrefecimento	$[kgep/ano]$
$Q_{arrefecimento}$	Consumo de energia de arrefecimento	$[kgep/ano]$
Q_{out}	Consumo de energia não ligada aos processos de aquecimento e arrefecimento	$[kgep/ano]$

Q_{total}	Consumo total de energia	[kgep/ano]
r	Factor multiplicativo	
ρ	Massa volúmica	[kg/m ³]
R	Resistência térmica	[m ² ·°C/W]
$RPH_{\text{mecânica}}$	Renovação mecânica de ar	[h ⁻¹]
RPH_{natural}	Renovação natural de ar	[h ⁻¹]
S	Área	[m ²]
SFP	Specific Fan Power	[W/m ³ /h]
S_i	Área superficial interior do elemento	[m ²]
τ	Factor multiplicativo para elementos em contacto com locais não aquecidos	
U	Coeficiente de transmissão térmica	[W/m ² ·°C]
U_{equiv}	Coeficiente de transmissão térmica equivalente	[W/m ² ·°C]
V	Volume	[m ³]
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear	[W/m·°C]
Z	Diferença de nível	[m]
$\dot{V}$	Caudal	[m ³ /h]

1. Introdução

1.1 Caracterização energética

A energia, mais do que nunca, tornou-se um bem decisivo no desenvolvimento quer económico quer social, obrigando por isso os organismos internacionais, nacionais e locais a uma maior atenção às suas novas formas de negócio, à sua utilização eficiente e ao efeito provocado pelas emissões de CO₂. A política energética, hoje em dia, não pode ser considerada um problema de âmbito de um só país, mas tem de ser sempre equacionada por grandes áreas económicas e depois também a um nível global, constituindo, em si própria, um factor diferenciador da competitividade de uma região.

As questões energéticas estão intimamente relacionadas com as questões ambientais, o que, desde logo, obriga a uma concertação a vários níveis entre os responsáveis destas duas áreas temáticas. Esta concertação terá que ser realizada ao nível político, ao nível de gestão mas principalmente ao nível da implementação das acções operacionais no terreno.

Segundo a *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2008) os edifícios são um dos cinco maiores utilizadores de energia sendo responsáveis por pelo menos 40% da energia utilizada em maioria dos países, que, pelo não cumprimento dos regulamentos energéticos, introduzem nefastos problemas nos consumos de energia, que contabilizados durante o período de vida útil de um edifício, conduzem a desperdícios enormes, com um elevado custo energético e consequentemente ambiental.

Considerando que países como a China e a Índia se encontram em franco desenvolvimento, a tendência para o consumo energético aumentar é um facto óbvio, podendo mesmo ultrapassar os níveis de consumo energético dos EUA, tendo como factura o aumento das emissões de CO₂. Torna-se então essencial encontrar soluções de actuação nos edifícios para que se possa verificar uma regressão das alterações climáticas e da utilização energética.

1.2 Políticas para a energia

A União Europeia (UE) estabeleceu no ano de 2007 um plano de acção que visa reduzir o consumo energético em 20% até ao ano de 2020 (PAEE¹).

Este plano de acção pretende acima de tudo mobilizar o grande público, assim como instâncias políticas de decisão e agentes do mercado e transformar o mercado interno de energia para que os cidadãos da UE beneficiem de infra-estruturas (incluindo edifícios), produtos, métodos e serviços energéticos que proporcionem uma melhor eficiência energética.

O objectivo deste plano de acção é recorrer a medidas de controlo e reduzir a procura energética, a fim de se obter até ao ano de 2020 uma poupança de 20% no que respeita ao consumo anual de energia primária.

A obtenção dessas poupanças requer um grande desenvolvimento, quer a nível tecnológico como também ao nível dos produtos e dos serviços, mas requer também uma melhoria de padrões comportamentais visando uma utilização mais racional de energia, sem perder a qualidade de vida.

¹ Plano de acção sobre eficiência energética

A Comissão Europeia considera que o potencial de poupança de energia mais significativa poderá ocorrer nos seguintes sectores:

- Edifícios residenciais e para uso comercial (sector terciário), com uma redução prevista de 27% e 30%, respectivamente;
- Indústrias transformadoras, com poupanças previstas na ordem dos 25%;
- Transportes, com uma previsão de redução do consumo de energia na ordem dos 26%.

As reduções no consumo de energia nestes sectores irão corresponder a uma poupança no consumo estimada em 390 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) anuais, isto é, economias na ordem dos 100 mil milhões de euros por ano até 2020, permitindo diminuir as emissões de CO₂ em 780 milhões de toneladas por ano.

A concretização do objectivo proposto de 20% de poupança permitirá diminuir o impacto das alterações climáticas e a dependência da UE relativamente às importações de combustíveis fósseis.

1.3 Medidas propostas pelo plano de acção

A Comissão Europeia adoptou uma série de medidas que são apresentadas no plano de acção, sendo as que apresentam uma melhor relação custo-eficácia, isto é, são aquelas cujo ciclo de vida apresenta os custos ambientais mais baixos, não ultrapassando os investimentos previstos em matéria de energia.

Uma das medidas adoptadas centra-se na melhoria do desempenho energético relativamente aos aparelhos e equipamentos consumidores de energia na qual o objectivo passa por uma combinação entre as normas de rendimento energético dos aparelhos e sistemas adequados de rotulagem e de classificação do desempenho energético destinados aos consumidores.

Nesta perspectiva, o plano de acção prevê a adopção de normas mínimas de concepção ecológica, a fim de melhorar o rendimento energético de um certo conjunto de produtos, para além de reforçar as regras relativas à rotulagem, nomeadamente através de uma actualização periódica das classificações e da extensão destas regras a outros equipamentos.

Com base na Directiva 2006/32/CE relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, a Comissão Europeia tenciona desenvolver linhas directrizes, um código de conduta e um processo de certificação aplicáveis a todos os sectores.

A fim de diminuir consideravelmente as perdas de calor nos edifícios, o plano de acção prevê a extensão do âmbito de aplicação da directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios aos edifícios de menores dimensões, bem como o desenvolvimento de normas mínimas de desempenho aplicáveis aos edifícios novos ou renovados e a promoção das casas "passivas".

1.4 Panorama energético nacional

O cenário energético nacional actual é caracterizado por uma forte dependência externa como consequência da escassez de recursos energéticos próprios, nomeadamente,

aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas nos países mais desenvolvidos, isto é, fontes primárias de origem fóssil (como o petróleo, carvão e gás natural).

Portugal está assim diante de uma reduzida diversificação de oferta energética primária, associada à escassez de recursos próprios, o que se traduz numa maior vulnerabilidade do sistema energético às flutuações dos preços internacionais, mais concretamente, ao preço do petróleo.

Baseada nesta problemática da forte dependência externa, especialmente dos combustíveis fósseis, foi adoptada por parte do Governo uma Estratégia Nacional para a Energia, aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2004, de 24 de Outubro, na qual se pretende reduzir a forte dependência externa, essencialmente de combustíveis fósseis, aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO₂.

As grandes linhas de orientação política e as medidas de maior relevância para a área da energia definidas nesta Estratégia têm como objectivo:

- Garantir a segurança do abastecimento de energia, através da diversificação dos recursos primários e dos serviços energéticos e da promoção da eficiência energética;
- Estimular e favorecer a concorrência, de forma a promover a defesa dos consumidores, bem como a competitividade e a eficiência das empresas;
- Garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactes ambientais à escala local, regional e global.

1.5 O Turismo

O sector do turismo em Portugal é um dos principais sectores da economia portuguesa uma vez que é estrategicamente importante pela sua capacidade em criar riqueza e emprego, tendo vindo a crescer nos últimos anos, atingido 11% do PIB no ano de 2004. Ora, esta aposta no turismo tem tendência para nos próximos anos aumentar, estando, segundo o Ministério da Economia e Inovação aquando da publicação do Plano Estratégico Nacional do Turismo (PENT, 2007), entre os destinos de maior crescimento na Europa, apostando na qualificação e competitividade da oferta, mas também tornando este sector num dos motores de crescimento da economia nacional².

De acordo com os indicadores referentes aos estabelecimentos hoteleiros e outros meios de alojamento verificou-se que os estabelecimentos hoteleiros são os locais preferidos dos turistas nacionais e estrangeiros, representando cerca de 84.6% das dormidas no ano de 2006³, sendo os hotéis a tipologia de estabelecimento hoteleiro mais procurado, quer por residentes no território nacional como pelo mercado estrangeiro, representando cerca de 55.3% das preferências.

Em 2006 estiveram em funcionamento, em Portugal, 2.028 estabelecimentos hoteleiros, dos quais 43.2% correspondem a pensões e 30.7% a hotéis, sendo que destes 41.7% pertencem à categoria de 3 estrelas, 35.4% de 4 estrelas e 7.6% de 5 estrelas.

² O objectivo, segundo o PENT, é fazer com que o turismo corresponda em 2015 a 15% do PIB.

³ Dados obtidos do relatório do turismo de 2006 apresentado pelo Ministério da Economia e Inovação.

Do ponto de vista das pessoas, estas procuram os locais de maior conforto, tornando-se necessário encontrar formas que possam garantir aos utilizadores destes empreendimentos o conforto desejado. Como se pode depreender este conforto não é obtido de um modo simples e barato, sendo de grande importância uma concreta e minuciosa caracterização de cada tipo de edifício e sistemas de forma a se obter uma utilização racional de energia.

1.6 Legislação Nacional

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto.

Para fazer face a esta situação, os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista melhorar o desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. É neste contexto que surge a Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios (Parlamento Europeu, 2002).

Os objectivos da Directiva nº 2002/91/CE passam pelo enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios bem como dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação, certificação energética dos edifícios e a inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, a avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos. Destaque para a necessidade da implementação de um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informações sobre os consumos de energia potenciais (para novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes).

Em Portugal, o consumo energético associado aos edifícios tem subido significativamente ao longo dos últimos anos, sendo que uma boa parte desse consumo é utilizado para a climatização. Contudo, se esse consumo não for devidamente controlado pode-se entrar num regime de consumo desgovernado, o que sai fora do âmbito da directiva apresentada anteriormente.

Um dos modos de controlar esse consumo é a entrada em vigor do novo mecanismo de certificação energética de edifícios, composto pelos regulamentos abaixo descritos:

O Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. O SCE é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e que se pretende venha a proporcionar economias significativas de energia para o país em geral e para os utilizadores dos edifícios, em particular. Em conjunto com os regulamentos técnicos aplicáveis aos edifícios de habitação (RCCTE, DL 80/2006) e aos edifícios de

serviços (RSECE, DL 79/2006), o SCE define regras e métodos para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior aos imóveis já construídos.

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade interior surge também com requisitos relativamente aos caudais mínimos do ar interior por tipo de actividade e a concentrações máximas dos principais poluentes (edifícios existentes).

O Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de energia primária. Esta legislação impõe a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável.

1.7 Objectivo do trabalho

À medida que as considerações de eficiência energética vão entrando nos mecanismos de gestão do território, vários programas equacionam hoje a concessão de incentivos ao desempenho energético dos projectos. Um desses programas passa por ponderar que um dos requisitos de aprovação para edifícios hoteleiros seja a atribuição de classe energética A+.

A atribuição da classe energética resulta directamente das metodologias adoptadas nos dois regulamentos nacionais (RCCTE e RSECE) para a limitação das necessidades/consumos energéticos e permite a comparação de edifícios em função da qualidade da sua envolvente e das características e eficiência dos seus sistemas energéticos.

Para edifícios de serviços (como é o caso de estudo), a classificação energética é calculada a partir dos valores de IEE_{nom} (Índice de eficiência energética nominal)⁴, IEE_{ref} (Índice de eficiência de referência)⁵ e do valor de um parâmetro S (soma dos consumos específicos de aquecimento, arrefecimento e iluminação determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores de referência para edifícios novos que constam no regulamento).

Considerando a análise atrás descrita, a realização deste trabalho pretende explorar qual a relação entre as soluções tecnológicas adoptadas em edifícios hoteleiros novos ou reabilitação (nomeadamente, ao nível da envolvente, sistemas de iluminação, climatização e AQS) e a classificação energética resultante ao abrigo do novo regulamento, SCE, para diferentes zonas climáticas do país.

⁴ Valor obtido por simulação dinâmica com base nos perfis nominais definidos no anexo XV do RSECE.

⁵ Valor indicado no anexo IX do RSECE de acordo com tipologia, ou ponderação de tipologias.

2. Modelação em ESP-r e Caso base.

Neste capítulo será apresentado o caso de estudo que serviu de base para a realização deste relatório. Este refere-se a um empreendimento turístico de 4 estrelas, situado na cidade do Porto, que depois será objecto de estudo para diferentes regiões climáticas do continente português.

Na primeira parte será efectuada uma caracterização do casos de estudo, na qual se apresentarão os espaços considerados e as suas funcionalidades bem como se apresenta uma definição dos aspectos geométricos e construtivos do edifício, indicando para tal as suas características construtivas e térmicas (coeficientes de transmissão térmica, pontes lineares, taxas de renovação de ar, etc.).

Numa segunda parte será apresentação do software de simulação utilizado para a realização deste trabalho, ESP-r - *Environmental Systems Performance, Research version*, um dos programas de simulação detalhada possível de utilizar de modo a cumprir o requisito obrigatório para a concepção de instalações mecânicas de climatização apresentado no nº1 do artigo 13º do RSECE.

2.1 Caso de estudo

2.1.1 Caracterização do edifício

Para o presente estudo foi utilizado um edifício hoteleiro de referência, com a classificação de quatro estrelas. É constituído por treze pisos, sendo dez deles correspondentes aos dormitórios e os restantes a cave, rés-do-chão e cobertura. O acesso ao edifício faz-se pelo rés-do-chão, onde se encontra a entrada principal, comunicando directamente com o hall de entrada onde se situa a recepção do hotel. A cave é constituída por dois salões, um piano - bar, lavabos, escritório, corredor e área de serviços e máquinas. Acedendo ao rés-do-chão, este é constituído, como já foi referido, pelo hall de entrada, recepção, escritório da direcção, sala de refeições, sala de pequenos-almoços, salão e bar, cozinha, copa, sala de convívio, refeitório pessoal, lavabos. Passando ao piso dos quartos, tem-se neste momento dez pisos constituídos por dezasseis quartos por piso, sala de serviço de apoio e corredor. A cobertura é constituída por um escritório, casa das máquinas, escritório da gerência do hotel e um hall.

2.1.2 Área útil e pé direito

A Tabela 1 apresenta as zonas consideradas para o presente trabalho, as respectivas áreas úteis, volume e áreas de envidraçado. Convém no entanto frisar que as áreas aqui apresentadas referem-se às áreas resultantes de uma simplificação da geometria do edifício de modo a considerar zonas termicamente idênticas para introdução no software de simulação.

Tabela 1: Dimensão das diferentes áreas do edifício e respectiva área de envidraçado.

	Zona	Área útil [m ²]	Volume [m ³]	Área de envidraçado [m ²]
Cave	<i>Sala das Máquinas</i>	327.0	1111.8	-
	<i>Zona Útil</i>	707.0	2403.8	-
	<i>Sanitários</i>	201.0	683.4	-
Rés – do – chão	<i>Escadas</i>	21.7	73.8	-
	<i>Cozinha</i>	51.6	175.4	-
	<i>Anexos</i>	280.0	952.0	-
	<i>Zona útil</i>	884.0	3005.6	68.4
1º a 10º Andar	<i>Quartos a Oeste</i>	2118.3	7202.2	420.0
	<i>Quartos a Este</i>	1990.0	6766.0	420.0
	<i>Corredor</i>	690.0	2346.0	40.0
	<i>Sala de Serviços</i>	238.0	809.2	-
Cobertura	<i>Sala das Máquinas</i>	46.2	134.0	-
	<i>Escritório</i>	16.1	46.7	23.0
	<i>Hall</i>	14.0	40.6	4.5

De acordo com a Tabela 1 a área útil do edifício é de 7584.9 m², sendo apenas 86% do espaço total climatizado. O pé direito considerado foi de 3.4 m para todo o edifício excepto para a cobertura em que se considerou 2.9 m. Na apresentação das dimensões das diferentes zonas efectuada na Tabela 1 convém frisar que no decurso deste estudo as considerações efectuadas para as zonas dos quartos são efectuadas separadamente devido a questões de inércia e também devido a questões relacionadas com as condições fronteira a que estas zonas são expostas. Assim, no desenvolvimento deste estudo, para a zona dos quartos divide-se em quatro partes correspondentes ao piso 1, pisos 2 a 5, pisos 6 a 9 e finalmente piso 10.

2.1.3 Características de construção

As características de construção do edifício seguem tipos de construção comuns em Portugal, sendo as características térmicas da envolvente escolhidas de forma a cumprirem os valores de referência apresentados no quadro IX.3 do anexo IX do RCCTE. No referido regulamento são apresentados os coeficientes de transmissão térmica (U) de referência, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Coeficientes de transmissão térmica de referência.

Elemento da envolvente	Zona Climática		
	I ₁	I ₂	I ₃
Elementos exteriores em zona corrente			
Zonas opacas verticais	0.70	0.60	0.50
Zonas opacas horizontais	0.50	0.45	0.40
Elementos interiores em zona corrente			
Zonas opacas verticais	1.40	1.20	1.00
Zonas opacas horizontais	1.00	0.90	0.80
Envidraçados	4.30	3.30	4.30

Nas tabelas 3, 4 e 5 é feita uma descrição das soluções construtivas dos elementos opacos apresentando também o valor do coeficiente de transmissão térmica referente a essa mesma solução construtiva. De referir que os valores apresentados são resultado de um cálculo tendo por base os valores de coeficiente de transmissão térmica definidos nas tabelas do LNEC – ITE50.

Tabela 3: Caracterização da envolvente opaca exterior.

Envolvente opaca exterior		U [W/m²°C]
<i>Paredes exteriores</i>	Parede dupla constituída por um pano exterior em alvenaria de tijolo vazado de 150 mm e um pano interior em alvenaria de tijolo vazado de 110 mm. Os panos encontram-se separados por uma caixa-de-ar com 60 mm de espessura, parcialmente preenchida com isolante térmico em placas - poliestireno expandido extrudido (EPS) - com 40 mm de espessura e fixo ao pano interior. Na parte interior, antes do reboco, a existe uma parede de betão para fazer uma compensação da inércia térmica. As paredes, interior e exterior, encontram-se revestidas com reboco tradicional com espessura de 15 mm.	0.45
<i>Cobertura</i>	Cobertura horizontal, constituída na parte exterior por ladrilhos cerâmicos, seguida de uma camada de poliestireno expandido (XPS) com 80 mm de espessura, levando seguidamente uma camada de betão de enchimento por cima da tela impermeabilizadora. A base é constituída por uma laje maciça de betão com 200 mm de espessura e uma camada de betão de regularização com 50 mm de espessura. Na parte interior o revestimento é feito com reboco normal com 20 mm de espessura.	0.38
<i>Laje entre pisos descoberta</i>	Laje maciça de betão com 330mm de espessura, regularizada por uma camada de betão de regularização com 27 mm de espessura e também por uma camada de 40 mm de leca de modo a efectuar isolamento térmico e acústico entre pisos. Na parte superior é constituída por madeira com uma espessura de 10 mm. Na parte inferior é revestida por uma camada de espuma de polietileno expandido extrudido com 40 mm de espessura e com reboco normal com uma espessura de 20 mm.	0.58

Tabela 4: Caracterização da envolvente opaca interior.

Envolvente opaca interior		U [W/m²°C]
<i>Parede interior 1</i>	Parede simples constituída por um pano em alvenaria de tijolo vazado de 150 mm, revestida interior e exteriormente com reboco normal, com uma espessura de 20 mm.	1.47
<i>Parede interior 2</i>	Parede simples constituída por um pano em alvenaria de tijolo vazado de 110mm, revestida interior e exteriormente com reboco normal, com uma espessura de 20 mm.	1.78
<i>Laje entre pisos interiores</i>	Laje maciça de betão com 330mm de espessura, regularizada por uma camada de betão de regularização com 27 mm de espessura e também por uma camada de 40 mm de leca de modo a efectuar isolamento térmico e acústico entre pisos. Na parte superior é constituída por madeira com uma espessura de 10 mm. Na parte inferior é revestida com reboco normal com uma espessura de 20 mm.	1.10

Tabela 5: Caracterização da envolvente em contacto com o solo.

Envolvente enterrada		U [W/m ² °C]
<i>Parede enterrada</i>	Parede constituída interiormente por um pano em alvenaria de tijolo vazado de 10 mm seguido de uma camada de 60 mm de polietileno extrudido. Seguidamente aparece uma parede de betão com 300 mm de espessura e tela impermeabilizadora com 5 mm de espessura, encontrando-se em contacto com a terra. Pelo interior, a parede em tijolo vazado é revestida com reboco normal com 20 mm de espessura.	0.12
<i>Pavimento em contacto com o solo</i>	Laje maciça de betão com 300mm de espessura, regularizada por uma camada de betão de regularização com 30 mm de espessura e também por uma camada de 40 mm de leca de modo a efectuar isolamento térmico e acústico entre pisos. Na parte superior é constituída por madeira com uma espessura de 10 mm. A parte inferior da laje está em contacto com a terra.	0.38

2.1.4 Pontes térmicas

Uma ponte térmica corresponde a toda e qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada em relação à zona corrente. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas e/ou por modificação da geometria da envolvente, como por exemplo a ligação entre diferentes elementos construtivos. Estas podem ser divididas em pontes térmicas planas e pontes térmicas lineares.

As pontes térmicas planas correspondem a heterogeneidades inseridas em zonas correntes da envolvente, como são os casos de pilares e talões de viga por onde se considera uma perda térmica unidimensional por unidade de área de superfície. Esta é quantificada pelo produto entre o valor de U e a respectiva área da ponte plana. Contudo, neste trabalho a determinação deste tipo de pontes térmicas não vai ser realizado uma vez que se carece de informação relativamente à quantidade e localização de pilares e talões de viga.

As pontes térmicas lineares correspondem à ligação entre dois elementos construtivos exteriores e é uma singularidade da envolvente em que o fluxo térmico é bi- ou tridimensional associada a uma perda térmica por unidade de comprimento (Ψ_i). A quantificação da ponte térmica linear é efectuada multiplicando o valor de ψ pelo respectivo desenvolvimento.

O ESP-r apenas contabiliza a condução monodimensional. No entanto torna-se necessário considerar este tipo de pontes térmicas no modelo de simulação. Uma das alternativas para compensar as pontes térmicas lineares é determinar um $U_{equivalente}$ através da seguinte expressão:

$$A_{parede} \cdot U_{equivalente} = A_{parede} \cdot U_{real} + \sum B_i \cdot \Psi_i \quad (1)$$

Este novo valor de U corresponde ao valor do coeficiente de transmissão térmica que visa a compensação da envolvente exterior de modo a que as pontes térmicas sejam contabilizadas na simulação térmica do edifício. No presente caso de estudo e após alterações na estrutura da envolvente opaca exterior, o valor obtido de $U = 0.75 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

As pontes térmicas lineares identificadas para a realização deste trabalho são apresentadas na Tabela 6, cumprindo os valores assumidos no anexo IV do RCCTE para as situações mais correntes encontradas na construção.

Tabela 6: Tipos de pontes térmicas lineares

Pontes térmicas – Ligações entre:	Ψ [W/m°C]	Referência
<i>Elementos em contacto com o solo – Pavimentos</i> $-6\text{ m} < Z < -1,25\text{ m}$	0.5	RCCTE – Tabela IV.2.1
<i>Elementos em contacto com o solo – Paredes</i> $-6\text{ m} < Z < -3,05\text{ m}$ e $U =$	1.35	RCCTE – Tabela IV.2.2
<i>Fachada com pavimentos intermédios</i> $e_m = 0,5\text{ m}$ e $e_p = 0,43$	0.3	RCCTE – Tabela IV.3 Cr
<i>Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço</i> $e_p = 0,45\text{ m}$	0.75	RCCTE – Tabela IV.3 Dr
<i>Ligação de duas paredes verticais</i> $e_m = 0,5\text{ m}$	0.2	RCCTE – Tabela IV.3 Fr
<i>Ligação fachada/padieira ou peitoril</i> <i>Nota: Considerou-se que não existia contacto entre a caixilharia e o isolamento.</i>	0.2	RCCTE – Tabela IV.3 H

2.1.5 Vãos envidraçados

O coeficiente de transmissão térmica U assumido para os vãos envidraçados, bem como a localização e orientação destes, são apresentados na tabela seguinte. Os valores de U foram obtidos através do software WIS.

Tabela 7: Propriedades do vão envidraçado.

Vãos envidraçados	U [W/m ² °C]
VR1a VR4 - Zona útil, com orientações Oeste, Sul e Este	3.4
VQ1 – Quartos, com orientação Oeste	
VQ2 – Quartos, com orientação Este	
VQ3 – Corredor, com orientação Sul	
VC1 a VC3 – Escritórios, com orientações Oeste e Este	
VC4 – Hall, com orientação a Sul	
Vidro laminado colorido na massa 6 mm + lâmina de ar 6 mm + vidro laminado 6 mm, sem protecção exterior. Caixilharia metálica sem corte térmico; Janela simples.	

2.1.6 Inércia térmica

A inércia térmica corresponde à capacidade que os locais apresentam em armazenar calor dependendo da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

O valor da massa superficial útil de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento e térmico e de revestimento superficial.

Para a realização deste trabalho houve a necessidade de unir diversas zonas em zonas termicamente idênticas, como referido anteriormente. Esta união faz com que não se considerem as lajes correspondentes à separação entre os diferentes pisos. No entanto, essas alterações, nomeadamente ao nível das zonas dos quartos, trazem alterações relativamente à quantificação da inércia térmica do edifício. Essa diferença de valores está descrita nas tabelas seguintes onde se apresenta a inércia térmica considerando o edifício sem existir a separação entre os pisos e também considerando a junção dos diferentes pisos.

Tabela 8: Quantificação da inércia térmica do edifício real.

<i>Elementos de Construção</i>	$M_{t, elemento}$ [kg/m ²]	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	<i>Factor de Correção,</i> r	$M_{si} * r * S_i$ [kg]
Parede Exterior - Tipo 1	4700.28	150.00	3053.67	1.00	458050.05
Pontes Exterior -Tipo 2	683.00	150.00	0.00	1.00	0.00
Paredes Interiores	226.00	113.00	5019.69	0.50	283612.49
Paredes Enterradas	3000.13	150.00	502.85	1.00	75427.50
Pavimentos entre pisos	769.30	150.00	10974.46	0.50	823084.50
Cobertura	563.50	150.00	1286.69	1.00	193003.50
Laje descoberta	769.30	150.00	29.67	1.00	4450.50
Pavimentos em contacto com o solo	6995.38	150.00	4676.25	1.00	701437.50
Paredes para esp. Não útil	186.00	93.00	455.34	0.50	21173.31
Total					2560239.35

Considerando uma área útil de 7584.9 m², verifica-se que a massa superficial útil por metro quadrado de pavimento, considerando todas as lajes na região dos quartos, é de 337.54 kg/m², o que indica que o edifício possui inércia média.

Tabela 9: Quantificação da inércia térmica do edifício modelo.

<i>Elementos de Construção</i>	$M_{t, elemento}$ [kg/m ²]	M_{si} [kg/m ²]	S_i [m ²]	<i>Factor de Correção,</i> r	$M_{si} * r * S_i$ [kg]
Parede Exterior - Tipo 1	4700.28	150.00	3053.67	1.00	458050.05
Pontes Exterior -Tipo 2	683.00	150.00	0.00	1.00	0.00
Paredes Interiores	226.00	113.00	5019.69	0.50	283612.49
Paredes Enterradas	3000.13	150.00	502.85	1.00	75427.50
Pavimentos entre pisos	769.30	150.00	7952.68	0.50	596451.00
Cobertura	563.50	150.00	1286.69	1.00	193003.50
Laje descoberta	769.30	150.00	29.67	1.00	4450.50
Pavimentos em contacto com o solo	6995.38	150.00	4676.25	1.00	701437.50
Paredes para esp. Não útil	186.00	93.00	455.34	0.50	21173.31
Total					2333605.85

Considerando agora o modelo simulado, para a mesma área útil apresentada anteriormente verifica-se que a massa superficial útil por metro quadrado de pavimento é de 307.66 kg/m^2 , indicando que o edifício apresenta inércia média.

Comparando os dois casos verifica-se que ambos possuem inércia média apesar de existir uma diminuição de 9% de massa superficial útil de pavimento do caso modelo para o caso real como consequência da diminuição da área de pavimentos interiores no caso modelo.

2.2 Modelação em ESP-r

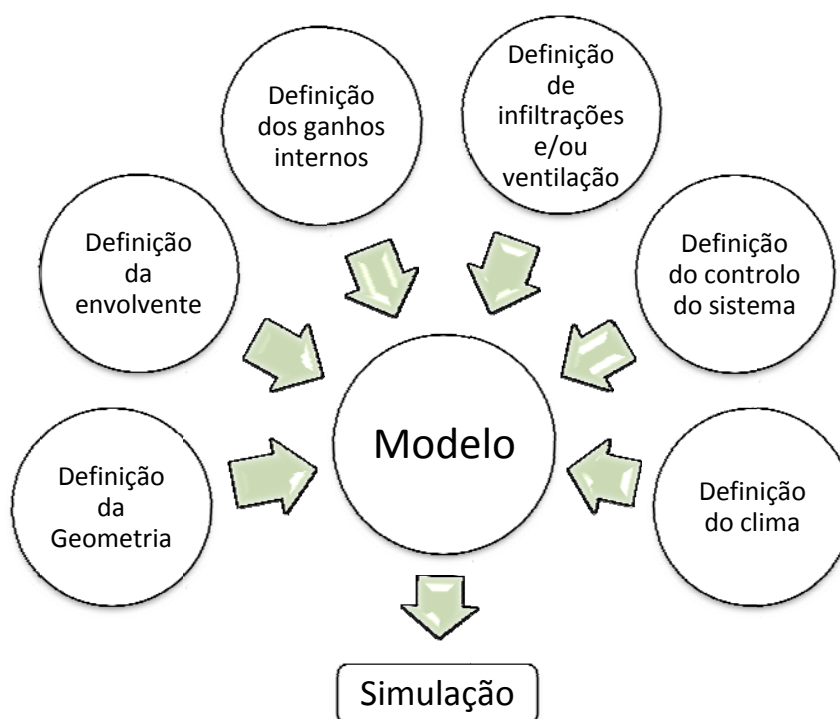


Figura 1: Processo de modelação para simulação.

O ESP-r é um software de simulação projectado para o sistema operativo UNIX⁶, apoiado com implementações para SOLARIS⁷ e LINUX⁸, mas recentemente adaptado para o sistema operativo Windows⁹. O ESP-r é um software disponível sem qualquer custo sob uma licença Open Source e permite simular um edifício em condições reais, analisando o seu desempenho em termos de consumos energéticos, índices de conforto dos ocupantes, evolução de temperaturas, qualidade do ar, controlo de sistemas...

Para a construção do caso base são necessários alguns dados obrigatórios que servem de base à construção do modelo de estudo e que serão explicados seguidamente.

⁶ Universal Internet Exchange

⁷ Sistema operativo UNIX desenvolvido pela Sun Microsystems

⁸ Sistema operativo gratuito do tipo UNIX

⁹ Retirado do site do programa - <http://www.esru.strath.ac.uk/>

2.2.1 Definição da Geometria

A definição da geometria é o primeiro passo a efectuar na construção do modelo a simular. Nesta fase define-se a tipologia do edifício sendo que normalmente se torna necessário o recurso a algumas simplificações relativamente ao edifício real, mas que preservem o essencial deste. Uma das vantagens do ESP-r é possuir uma interface gráfica que permite a visualização imediata geometria, ajudando deste modo a detecção de erros grosseiros na sua definição.

No caso de estudo nº1, recorreu-se a um conjunto de simplificações na definição da geometria agrupando para tal várias zonas físicas numa única zona térmica equivalente, considerando para isso zonas com as mesmas cargas internas, exposição solar idêntica, os mesmos padrões nominais de utilização.

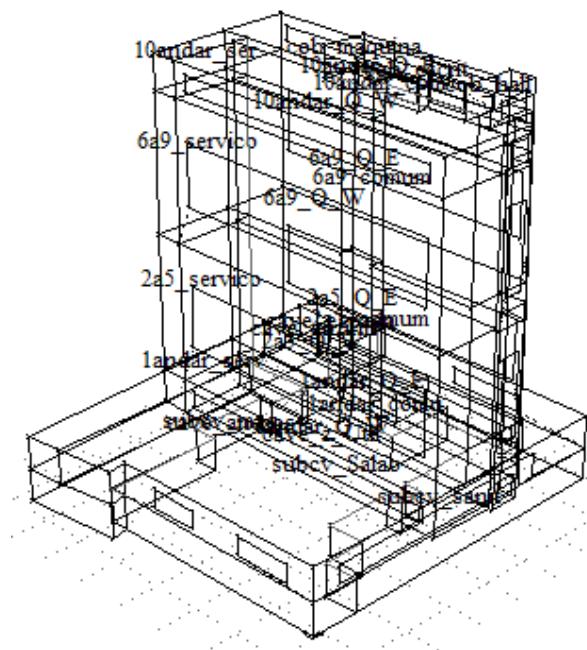


Figura 2: Representação esquemática do edifício em ESP-r.

2.2.2 Definição da envolvente

As soluções construtivas admitidas para os modelos simulados seguem o tipo de soluções construtivas aplicadas em Portugal, estando apresentadas no ponto 2.1.3 e também no Anexo C. A definição das superfícies é efectuada de acordo com a metodologia inerente ao programa.

O primeiro passo a efectuar é a definição dos materiais constituintes da envolvente atribuindo a cada material as propriedades térmicas definidas mais à frente. Depois de caracterizados os materiais parte-se para a definição dos vários tipos de superfícies, tendo em consideração que estas são formadas por vários “layers”, definidos do exterior para o interior, até formarem a solução construtiva desejada.

Contudo o modelo não contabiliza explicitamente o efeito das pontes térmicas, pelo que foi necessária a determinação destas através da expressão (1).

Definidos os materiais da envolvente e também as superfícies passa-se à caracterização da envolvente de cada zona, atribuindo a cada tipo de envolvente a superfície correspondente. Após atribuição parte-se para a definição das condições de fronteira, considerando para isso os seguintes tipos:

- *Superfícies em contacto com o solo* - Utilizando para o efeito o perfil anual de temperatura do solo, a partir do qual se definiu uma temperatura média para a profundidade de 2 m, partindo da base de dados do Energy+;
- *Superfícies em contacto com o exterior* – Considerando o ficheiro climático correspondente à zona de implementação do edifício;
- *Superfícies em contacto com outras zonas* – Considerando a superfície exposta às mesmas condições de temperatura e radiação de uma determinada superfície de outra zona.

2.2.3 Definição das superfícies transparentes

As superfícies transparentes admitidas para a realização deste estudo correspondem a vidro duplo, sendo pelo menos um deles colorido na massa, sem efeito de sombreamento interior. Este tipo de vidro colorido na massa consiste basicamente na adição de óxidos de metal na constituição do vidro, aquando da sua fabricação, tingindo-o de diversas cores. Estas adições fazem com que se gerem cores fracas para transmissão de luz, isto é, a característica principal destes vidros é a transmissão de pouca luz através do vidro, ajudando assim a que os ganhos térmicos devido à insolação sejam mais reduzidos.

A quantificação das propriedades ópticas consideradas encontra-se representada na Figura 3.

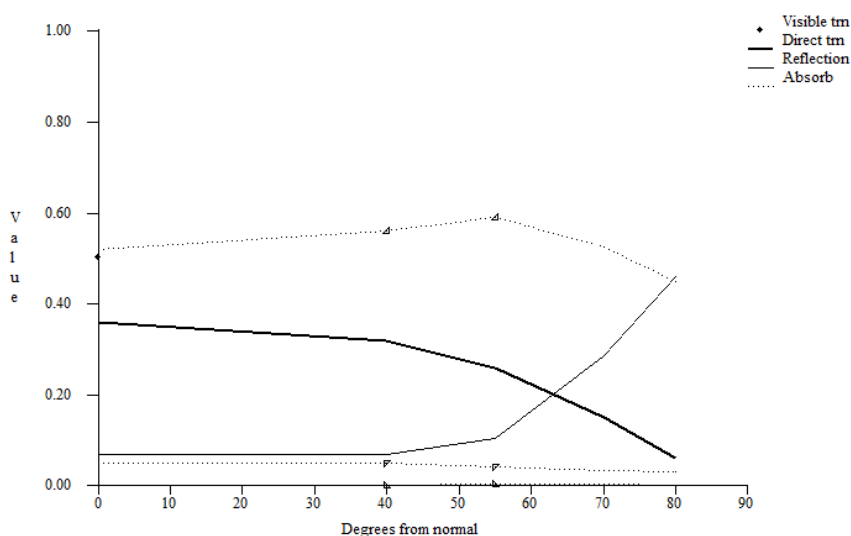


Figura 3: Propriedades ópticas do envidraçado.

2.2.4 Definição dos ganhos internos

A definição dos ganhos internos presentes nos modelos a simular tem como base os padrões de referência de utilização dos edifícios apresentados no anexo XV do RSECE, o qual apresenta os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos típicos para cada tipo de edifícios a estudar. Os perfis nominais de utilização serão apresentados no anexo 1.

2.2.5 Definição das infiltrações e/ou ventilação

Nos edifícios simulados o critério utilizado para definir o valor das infiltrações e/ou ventilação foi garantir os caudais mínimos de ar novo que constam do anexo VI do RSECE verificando para tal qual era o maior valor a considerar, quer pelo critério ocupante, quer pelo critério área, estando estes valores definidos em anexo 2. No entanto, os valores de caudal determinados referem-se ao caudal que entra nos espaços ocupados, devendo nesse caso o dimensionamento do sistema de ventilação ter em consideração a eficiência útil de ventilação introduzida. Esse valor de eficiência contabiliza uma parte do ar que entra no espaço a climatizar mas que na realidade não chega ao espaço ocupado, saído directamente pelas condutas de retorno. Neste caso, o valor admitido de eficiência de ventilação está de acordo com a norma ASHRAE 62.1-2004, a qual atribui 80% de eficiência de ventilação.

2.2.6 Definição do controlo do sistema

Uma vez que as necessidades de climatização do modelo a simular não são constantes ao longo do tempo, torna-se necessário estabelecer padrões de controlo que regulem e controlem o sistema de climatização com vista a garantir, segundo o artigo 15º do RSECE, as seguintes condições:

- Limitação da temperatura de conforto máxima e mínima, conforme o que for aplicável, em qualquer um dos espaços ou conjunto de espaços climatizados pelo sistema em causa;
- Regulação da potência de aquecimento e de arrefecimento das instalações atendendo às necessidades térmicas do edifício;
- Possibilidade de fecho ou redução automática da climatização, por espaço ou grupo de espaços, em períodos de não ocupação.

Para o caso de estudo e de acordo com os padrões de referência apresentados no anexo XV do RSECE verifica-se que os edifícios em causa possuem utilização 24h por dia e 365 dias por ano, assumindo então o funcionamento contínuo do sistema de climatização ao longo do dia. Contudo, de acordo com o mesmo regulamento, o espaço referente à cozinha tem um perfil de utilização de 2000h por ano, pelo que se torna necessária a atribuição dos padrões de controlo apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Padrões de controlo.

<i>Cozinha</i>	0h às 11h	Climatização Desligada
	11h às 14h	Climatização Ligada
	14h às 19h	Climatização Desligada
	19h às 22h	Climatização Ligada
	22h às 24h	Climatização Desligada

2.2.7 Definição do clima

Um dos aspectos fundamentais para uma correcta simulação detalhada é o perfeito conhecimento das condições climáticas dos locais onde se quer implementar o edifício.

O clima em Portugal é função de três tipos de influências climáticas: a influência atlântica, a influência mediterrânica e a influência continental. No período de Inverno, durante o dia, a temperatura média ronda os 16°C, sendo o período de insolação de cerca de 6h diárias. Durante a Primavera as temperaturas sobem ligeiramente e a média diária passa para os 22°C, tendo aproximadamente 10h de insolação. No Verão as temperaturas são mais altas, tendo como temperatura média 25°C e 12h de insolação.

Caracterizando agora o modo como o clima se processa ao nível do território nacional verifica-se que normalmente os meses correspondentes à Primavera e ao Verão são ensolarados e com temperaturas altas podendo, nos meses secos de Julho e Agosto, passar em algumas situações os 40°C em boa parte do país, com uma maior frequência na região do Alentejo. Para as regiões altas do Norte do país e na região litoral do extremo norte e central os Verões costumam ser amenos.

O Outono e o Inverno são tipicamente chuvosos, ventosos e frescos, sendo mais frios nos distritos do norte e centro do país, nos quais é comum a ocorrência de temperaturas negativas nos meses mais frios. As regiões que neste aspecto conseguem atingir as temperaturas muito baixas situam-se no Norte do país, nomeadamente nos distritos de Bragança, Vila Real e Guarda, podendo atingir em certos casos temperaturas na ordem dos -10°C, fruto também dos frequentes nevões que ocorrem nessas regiões nestas estações. As cidades do Sul de Portugal só ocasionalmente têm temperaturas abaixo dos 5°C, situando-se pelos 10°C na maioria dos casos.

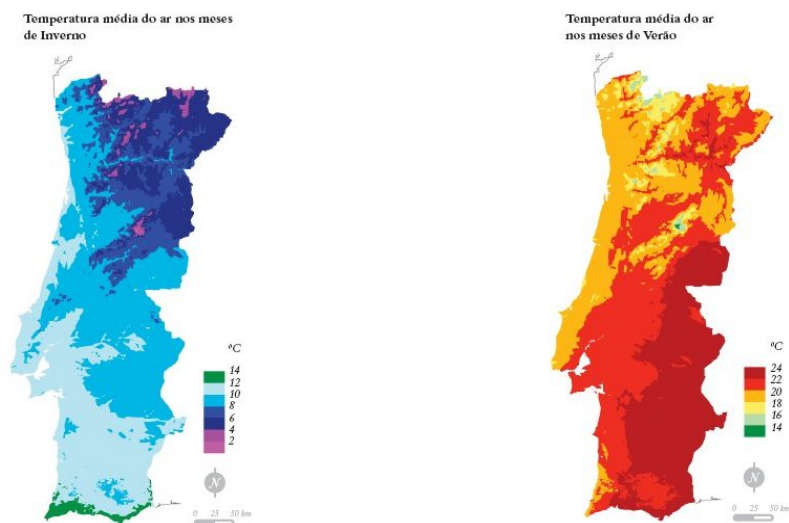


Figura 4: Panorama climático em Portugal continental nos meses de Inverno e Verão.

O zoneamento climático utilizado para a realização deste trabalho tem como base as informações climáticas do país e a regulamentação em vigor. Segundo o RCCTE, o território nacional é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3).

3. Resultados

3.1 Simulação para o Porto

Com base na caracterização do edifício feita anteriormente passou-se para a simulação em ESP-r para desta forma estimar quais os consumos de energia e gastos a ele associados. Considerando os perfis de utilização referentes a hotéis de quatro estrelas apresentados no Anexo XV do RSECE, nomeadamente perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, e também o modo de funcionamento destes em cada zona que compõe o edifício, apresentam-se na Figura 5 os resultados para as necessidades de aquecimento e arrefecimento deste mesmo edifício.

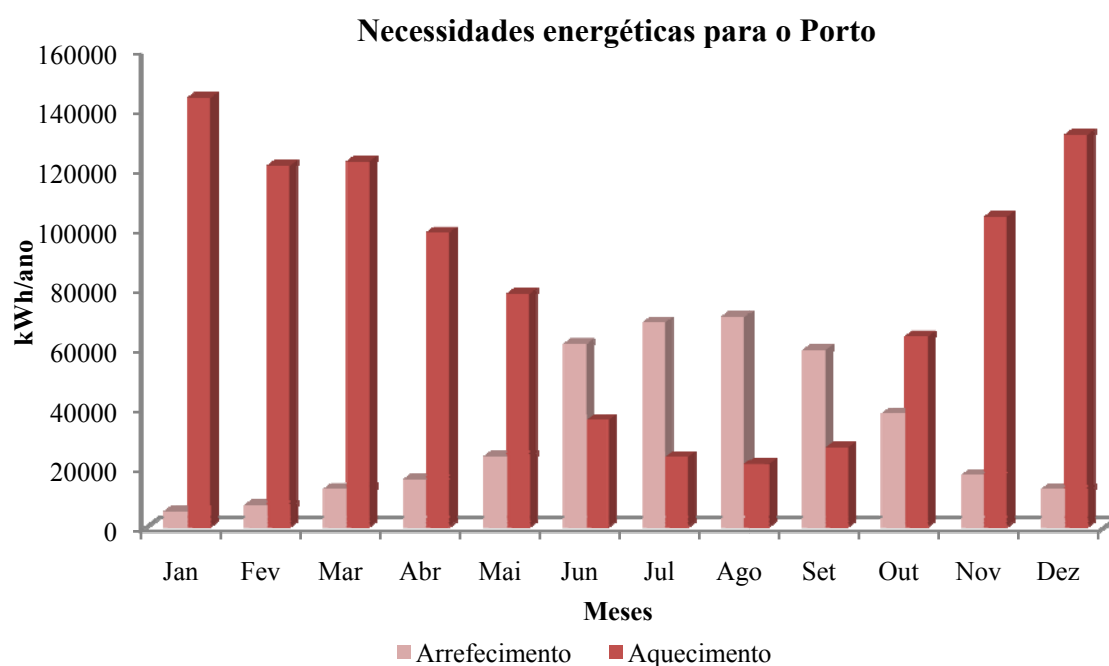


Figura 5: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.

Tabela 11: Resultado da simulação.

<i>Resultado da simulação</i>				
Aquecimento	950332	kWh	125.29	kWh/m ²
Arrefecimento	391442	kWh	51.61	kWh/m ²

Através da análise da constata-se facilmente que a estação convencional de arrefecimento refere-se aos quatro meses de Verão uma vez que a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas é maior nesta altura, sendo para tal necessário um arrefecimento ambiente mais acentuado nessa altura no interior do edifício. De referir igualmente que os meses com maiores necessidades de aquecimento são os meses de Janeiro e

Dezembro pois são aqueles que possuem as temperaturas exteriores mais baixas, sendo neste caso necessário uma maior quantidade de energia para se conseguir as condições de conforto no interior do edifício.

Para contabilizar as necessidades energéticas para a ventilação utilizou-se um factor multiplicativo denominado *specific fan power* – SFP que é função do caudal de ar a insuflar no edifício e a energia eléctrica necessária para essa insuflação. Atendendo a que este valor está normalmente compreendido entre 0.1 e 0.8 W/m³/h, considerou-se aqui um valor intermédio de 0,4 W/m³/h.

O caudal a insuflar corresponde ao caudal mínimo de ar novo necessário para cada espaço de acordo com o anexo VI do RSECE, em que se verificou qual o valor máximo que obteria através do critério área ou ocupante. O maior destes valores será considerado como sendo o valor mínimo de caudal a insuflar no espaço.

Uma vez determinado o caudal total a insuflar no edifício parte-se para a determinação da potência eléctrica dos ventiladores para insuflação.

$$P_e = SFC \cdot \dot{V} \quad (2)$$

A energia necessária de ventilação é então determinada com recurso à expressão abaixo indicada, considerando para o efeito um funcionamento continuo ao longo do ano.

$$N_{vent} = 0.03 \cdot P_e \cdot 24 \cdot M \quad (3)$$

Após conhecer a energia necessária para a ventilação há que a adicionar proporcionalmente aos resultados obtidos por simulação de forma obter as necessidades totais de aquecimento e arrefecimento. Assim, as componentes de ventilação correspondentes à estação de aquecimento e arrefecimento, respectivamente, são dadas através das seguintes expressões:

$$N_{vent,Aquecimento} = \frac{N_i \cdot N_{vent}}{N_i + N_v} \quad e \quad N_{vent,Arrefecimento} = \frac{N_v \cdot N_{vent}}{N_i + N_v} \quad (4)$$

Conhecendo o valor das necessidades energéticas obtidas por simulação e conhecida a energia necessária para a ventilação, a determinação da quantidade de energia primária equivalente é efectuada tendo em consideração não só a eficiência do sistema como também o factor de conversão para energia primária a utilizar.

Assim, as necessidades de aquecimento e arrefecimento são determinadas do seguinte modo:

$$Q_{Aquecimento} = \frac{N_{Aq} \cdot F_{puSist.Aq.}}{\eta_{Sist.Aq.}} + \frac{N_{Aq.}^{Vent.} \cdot F_{puSist.Vent.}}{\eta_{Sist.Vent.}} \text{ [kgep/ano]} \quad (5)$$

$$Q_{Arrefecimento} = \frac{N_{Ar.} \cdot F_{puSist.Ar.}}{\eta_{Sist.Ar.}} + \frac{N_{Ar.}^{Vent.} \cdot F_{puSist.Vent.}}{\eta_{Sist.Vent.}} \text{ [kgep/ano]} \quad (6)$$

O fornecimento de energia para o aquecimento é efectuado com recurso a uma caldeira a combustível gasoso com um rendimento de 87%, enquanto que para o arrefecimento o sistema utilizado é um chiller com um COP médio de 3.

Para o cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias considerou-se que no caso base o aquecimento da água era efectuado com recurso a uma caldeira de condensação, com um rendimento de 105%. Relativamente ao consumo diário por ocupante, assumiu-se que o consumo seria de 40l/ocupante. O método para a determinação das necessidades segue a metodologia apresentada no anexo VI do RCCTE.

Tabela 12: Valor de energia final consumida.

	<i>Energia final</i>	
Aquecimento	950332 kWh/ano	125.29 kWh/m ² .ano
Arrefecimento	391442 kWh/ano	51.61 kWh/m ² .ano
Ventiladores	298947 kWh/ano	39.42 kWh/m ² .ano
Iluminação	486927 kWh/ano	64.20 kWh/m ² .ano
Equipamentos	465766 kWh/ano	61.40 kWh/m ² .ano
AQS	218322 kWh/ano	28.78 kWh/m ² .ano
<i>Total</i>	<i>2811736 kWh/ano</i>	<i>370.68 kWh/m².ano</i>

3.1.1 Classe energética

Determinadas que estão as necessidades energéticas para esta zona climática parte-se agora para a atribuição da classe de eficiência energética do edifício, um dos objectivos principais para a realização deste projecto. A atribuição da classe de eficiência energética baseia-se na determinação de um indicador de eficiência energética, IEE, obtido de acordo com o anexo IX do RSECE e considerando para tal os resultados obtidos por simulação detalhada, baseados em padrões e perfis nominais apresentados na regulamentação.

O valor do IEE é calculado partindo dos consumos efectivos de energia que um edifício consome durante um ano, depois de convertidos em energia primária, recorrendo à seguinte expressão:

$$IEE_{nom} = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (7)$$

Em que:

- IEE_I corresponde ao indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento ($\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$);
- IEE_V corresponde ao indicador de eficiência energética para a estação de arrefecimento ($\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$);
- Q_{out} corresponde ao consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento, como é o caso da iluminação, equipamentos e preparação de AQS ($\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$).

De acordo com os valores de referência publicados pela ADENE para o cálculo da classe energética, para edifícios hoteleiros com classificação de quatro ou mais estrelas, o valor de referência do IEE para aquecimento e arrefecimento é de $45 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$. Existe igualmente um parâmetro S que se refere à soma dos consumos específicos para o aquecimento, arrefecimento e iluminação e que para os edifícios hoteleiros de quatro ou mais estrelas toma o valor de $24 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$. Os valores limite para cada classe energética são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 13: Escala para classificação energética.

Classe	$< IEE_{nom} \leq$	
	[$\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$]	
A+	21	27
A	27	33
B	33	39
B-	39	45
C	45	57
D	57	69
E	69	81
F	81	93
G	93	

Relativamente aos equipamentos considerados para o sistema de aquecimento e arrefecimento considerou-se que para o sistema de aquecimento foi utilizada uma caldeira a combustível gasoso com um rendimento de 87% e para o sistema de arrefecimento foi utilizado um chiller com um COP de 3.

Tabela 14: Análise energética para a cidade do Porto.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	IEE_{nom}	Classe Energética
		Q_{equip}	Q_{ilum}	
[$\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$]	[$\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$]	[$\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$]	[$\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$]	[$\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$]
13.2	8.3	17.8	18.6	2.5
				60.4
				D

Como se pode verificar através da análise da Tabela 14 a classificação do hotel no caso base seria classificação “D”.

Avaliando os valores apresentados na tabela verifica-se que o factor que mais influencia a classificação energética é a parcela correspondente ao consumo de energia que não está ligado ao processo de climatização, isto é, Q_{out}/A_p . Uma outra parcela que tem uma importância significativa para este resultado corresponde ao valor do indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento.

Relativamente ao Q_{out}/A_p , o valor elevado que apresenta resulta essencialmente dos elevados consumos energéticos por parte do equipamento e iluminação e também na preparação de AQS. Contudo, nesta parcela os únicos pontos que se podem alterar de modo a se conseguir obter um melhoramento no resultado final são a iluminação e a preparação de AQS. A quantidade de energia gasta pelos equipamentos irá manter-se visto não se poder alterar os perfis de utilização pois estes estão indicados no anexo XV do RSECE.

3.1.2 Estudo de sensibilidade

Depois de conhecidas e avaliadas as necessidades energéticas do edifício passa-se para a elaboração de um estudo de sensibilidade, alterando e/ou implementando determinados parâmetros com o objectivo de se conseguir reduzir os consumos energéticos associados ao edifício e por fim obter classificação energética A+. Este estudo de sensibilidade, como foi referido anteriormente, baseia-se na alteração e/ou implementação de medidas que serão efectuadas separadamente, isto é, uma de cada vez relativamente ao caso base, com o objectivo de verificar que alterações surgem com a modificação de certos factores.

Posteriormente será considerada uma implementação conjunta das melhores medidas.

3.1.2.1 Alteração do sistema de aquecimento para bomba de calor

No caso base foi considerado como sistema de aquecimento uma caldeira alimentada a combustível gasoso cuja eficiência é 0.87, e que fez com que o valor do IEE_I fosse elevado. A primeira alteração a fazer foi trocar o sistema de aquecimento com caldeira a combustível gasoso por uma bomba de calor com um COP médio de 4 e verificar qual será o valor do IEE_{nom} e qual a respectiva classificação energética utilizando este sistema. A bomba de calor será do tipo ar – água e aquecerá água para as baterias de aquecimento da UTA existente.

3.1.2.2 Alteração do sistema de aquecimento para caldeira de condensação

Como descrito anteriormente foi considerado como sistema de aquecimento uma caldeira alimentada a combustível gasoso cuja eficiência é 0.87, e que fez com que o valor do IEE_I fosse elevado. Assim uma outra hipótese foi considerar um sistema de aquecimento com recurso a uma caldeira de condensação com um COP de 1.05 e verificar qual será o valor do IEE_{nom} e qual a respectiva classificação energética utilizando este sistema.

3.1.2.3 Modificação da solução construtiva

A envolvente é uma das principais responsáveis pelas trocas de calor entre o interior do edifício e as condições exteriores, sendo para isso necessário um estudo para avaliar quais as alterações a efectuar nesta de forma a constituir uma barreira mais eficiente às trocas de calor entre o exterior e exterior. As alterações a efectuar neste ponto passam por um reforço de isolamento ao nível da envolvente exterior de 40 mm para 80 mm, na cobertura de 80 mm para 100 mm e nas lajes descobertas de 40 mm para 60mm, com a finalidade de se obter um coeficiente de transmissão térmica mais baixa que aquele que se apresenta no caso base.

Uma outra alteração efectuada foi a modificação do pano de alvenaria interior, passando de tijolo furado normal de 110 mm para 150 mm.

3.1.2.4 Iluminação eficiente

A iluminação, juntamente com os equipamentos, contribui de forma significativa para o consumo de energia no edifício e consequentemente para a atribuição da classificação energética. No caso base considerou-se uma taxa de iluminação de 10W/m^2 para todas as zonas do edifício. Porém, este perfil faz com que os consumos sejam elevados e consequentemente torna o edifício menos eficiente termicamente. A alteração a efectuar passa por reduzir a densidade de iluminação no edifício para 2.5 W/m^2 nos quartos e 7 W/m^2 para as restantes áreas.

3.1.2.5 Tipo de vãos envidraçados e protecção solar

O edifício em estudo possui uma área considerável de vãos envidraçados nas suas fachadas Oeste, Sul e Este, que contribuem de forma significativa para os consumos de energia, tanto para aquecimento, como para arrefecimento. Contudo não são só os vãos envidraçados que contribuem para os consumos de energia associados à radiação solar sendo neste caso necessário verificar qual a influência dos dispositivos de protecção solar.

No caso base efectuou-se a simulação partindo do pressuposto que os vãos envidraçados eram compostos por um vidro duplo, sendo um deles colorido na massa, mas não contabilizando o efeito de cortinas interiores.

Os cenários a testar para verificar a influência dos envidraçados e das protecções é a substituição do vão envidraçado por um outro idêntico mas que contabiliza o efeito de sombreamento interior e também a substituição do vidro duplo com um deles colorido na massa por outro vidro duplo incolor, com e sem efeito de sombreamento interior.

3.1.2.6 Recuperação de calor

Na simulação do caso base considerou-se que não existia recuperação de calor, pelo que todo o calor que era gerado no interior do edifício era expelido para o exterior. Uma vez que parte do calor a extrair pode ser aproveitado para aquecer o ar novo proveniente do exterior, será efectuada uma simulação em que esse aproveitamento é efectuado.

3.1.2.7 Uso de colectores solares na preparação de AQS

As águas quentes sanitárias contribuem de forma significativa para os consumos de energia do edifício e consequentemente influenciam a atribuição da classe energética do mesmo. Uma vez que um dos requisitos de eficiência energética no projecto de novos sistemas de climatização, apresentado no ponto 3 do artigo 14º do RSECE, é a obrigatoriedade do recurso a sistemas que contemplem fontes de energias renováveis, será efectuada uma análise com recurso ao software Solterm 5.0, na qual se verificará, de acordo com a geometria do edifício, a influência da energia solar para os valores finais das necessidades de energia. Considerar-se-á uma área disponível de 76.3 m^2 e colectores soltares do tipo plano selectivo com $\eta = 0.76$, $a_1 = 2.800 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e $a_2 = 0.023 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^2$. A capacidade do depósito acumulador utilizado para efectuar este estudo foi determinada de acordo com a expressão (9).

$$V = 0.7 \cdot 40 \cdot n_{\text{Ocupantes,máximo}} \quad (8)$$

3.1.2.8 Ventiladores mais eficientes

Como foi referido anteriormente no início do capítulo da simulação para o Porto, a contribuição dos ventiladores para as necessidades de energia do edifício era determinada recorrendo a um factor denominado specific fan power, SFP, e que tomou o valor de $0,4 \text{ W/m}^3/\text{h}$. Contudo, este valor é considerado como um valor correspondente a um sistema de ventilação não optimizado, partindo-se então para a determinação das necessidades de energia considerando o valor de SFP de $0,2 \text{ W/m}^3/\text{h}$.

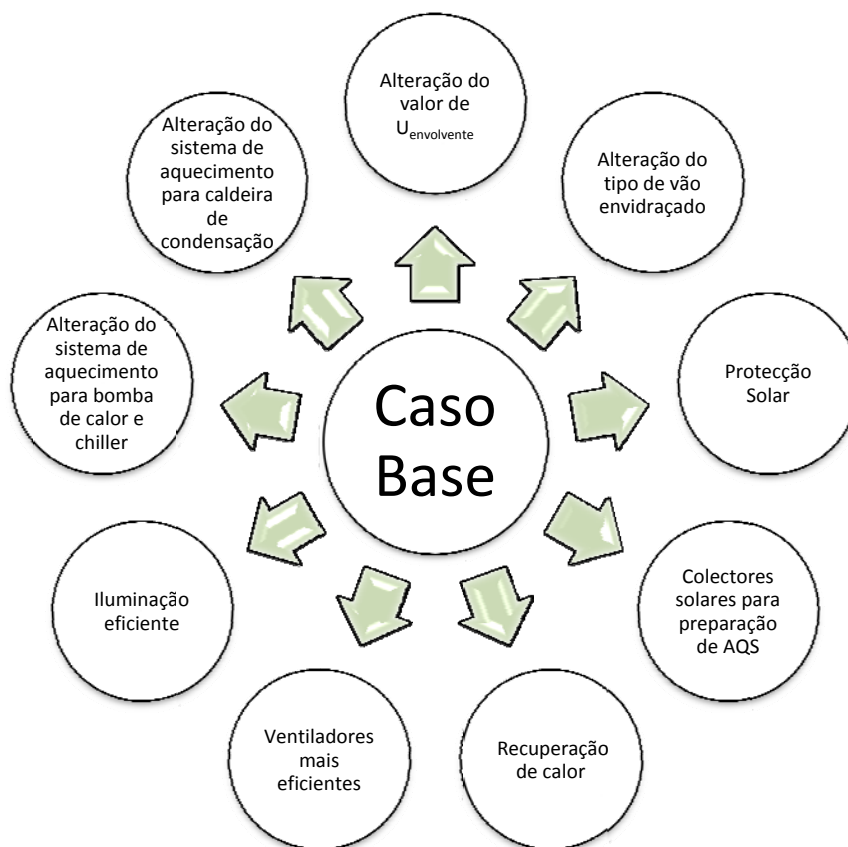


Figura 6: Alterações a efectuar para melhorar a eficiência do edifício.

3.1.3 Resultados do estudo de sensibilidade

Neste ponto serão apresentados os resultados do estudo de sensibilidade descrito anteriormente.

i. Alteração do sistema de aquecimento para bomba de calor.

Tabela 15: Análise energética para o Porto após alteração do sistema de aquecimento.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
11.1	8.3	17.8	18.6	2.5	58.3	D

Analisando a Tabela 15 pode-se verificar que houve uma poupança no consumo de energia primária na ordem dos 3.3% quando comparado com o caso base, como consequência da diminuição do valor de IEE_I de 13.2 kgep/m².ano para 11.1 kgep/m².ano. Esta melhoria era no entanto previsível devido ao aumento do valor do COP do sistema de aquecimento por bomba de calor quando comparado com o sistema de aquecimento a combustível gasoso. Contudo, como se pode verificar a classe energética não sofreu alterações.

ii. Alteração do sistema de aquecimento para caldeira de condensação.

Tabela 16: Análise energética para o Porto após alteração do sistema de aquecimento.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	IEE_{nom}	Classe Energética	
		Q_{equip}	Q_{ilum}		Q_{AQS}
[kgep/m².ano]	[kgep/m².ano]	[kgep/m².ano]	[kgep/m².ano]		[kgep/m².ano]
11.9	8.3	17.8	18.6	2.5	59.1

Analisando a Tabela 16 verifica-se que comparativamente ao caso base existe uma melhoria no desempenho energético do hotel na ordem dos 2.1% em consequência da diminuição do valor de IEE_I de 13.2 kgep/m².ano para 11.9 kgep/m².ano. No entanto, comparando o resultado da alteração do sistema de aquecimento para bomba de calor com o resultado adquirido com o sistema com caldeira de condensação, verifica-se que a bomba de calor é ligeiramente mais eficiente que o caldeira de condensação.

iii. Modificação da solução construtiva

Tabela 17: Análise energética para o Porto após alteração na envolvente para $e_{isol.} = 80 \text{ mm}$

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	IEE_{nom}		Classe <i>Energética</i>	
		Q_{equip}	Q_{ilum}	Q_{AQS}		
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]		
13.0	8.5	17.8	18.6	2.5	60.4	D

Analisando a Tabela 17 verifica-se que as alterações efectuadas ao nível dos materiais constituintes da envolvente não surtiram melhorias significativas relativamente ao caso base

pelo que se pode constatar que a mudança sugerida para a envolvente em nada beneficia o desempenho do edifício.

iv. Iluminação eficiente

Tabela 18: Alteração da taxa de iluminação no edifício.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	Q_{equip}	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
14.5	5.2	17.8	7.2	2.5	47.2		C

Após a alteração da potência de iluminação para valores mais baixos verifica-se que a classe de eficiência altera-se, passado de D para C, existindo uma poupança de energia na ordem dos 22%. Este resultado deve-se não só ao facto de a parcela Q_{out}/A_p ter diminuído em consequência da diminuição da taxa de iluminação instalada no hotel mas também devido à diminuição de energia para efectuar o arrefecimento ambiente ao hotel.

v. Alteração dos vãos envidraçados e protecção solar

Neste ponto será apresentada a influência da alteração do vão envidraçado existente por outros tipos de envidraçados nas necessidades energéticas do edifício.

Tabela 19: Proposta nº1: Vidro duplo colorido na massa com sombreamento interior.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	Q_{equip}	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
13.7	6.2	17.8	18.6	2.5	58.8		D

Tabela 20: Proposta nº2: Vidro duplo incolor com sombreamento interior.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	Q_{equip}	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
14.1	5.2	17.8	18.6	2.5	58.2		D

Tabela 21: Proposta nº 3: Vidro duplo incolor com efeito de sombreamento exterior.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	Q_{equip}	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
13.6	6.6	17.8	18.6	2.5	59.1		D

Analisando os resultados acima apresentados verifica-se que em todos os casos o edifício em estudo mantém a classe energética em D. Contudo, comparando estes valores com os obtidos no caso base no qual se utilizou como tipo de vão envidraçado vidro duplo com pelo menos um deles colorido na massa e sem efeito de sombreamento interior, verificam-se algumas melhorias ao nível do consumo de energia, principalmente quando se altera o vão

envidraçado para vidro duplo incolor com sombreamento interior, traduzindo-se essa melhoria numa economia de 3.7% no consumo de energia primária.

vi. Recuperação de calor

Tabela 22: Análise energética para o Porto com recuperação de calor.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
8.8	11.8	17.8	18.6	2.5	59.5		D

Assumindo 80% de eficiência do recuperador, determinou-se qual a influência da recuperação de calor para o desempenho energético do edifício. Este processo pode ser conseguido através da determinação de um novo caudal a insuflar nos espaços de modo a considerar o efeito da recuperação de calor, com recurso à seguinte expressão:

$$\dot{Q} = RPH_{Mecânica} \cdot (1 - \eta_{permutador}) + RPH_{Natural} \quad (9)$$

Em que $RPH_{Natural}$ é igual a 0,7, considerando que se trata de um edifício com classe de exposição 2, como reportado no ponto 3.2.2 do anexo IV do RCCTE.

Relativamente ao consumo dos ventiladores tem que se considerar duas situações:

- Insuflação e Extracção na estação de aquecimento para promover a recuperação de calor;
- Apenas insuflação na estação de arrefecimento.

Partindo deste princípio consideram-se dois ventiladores para a estação de aquecimento e apenas uma para a estação de arrefecimento, pelo que a determinação das necessidades de energia se fez de modo diferente.

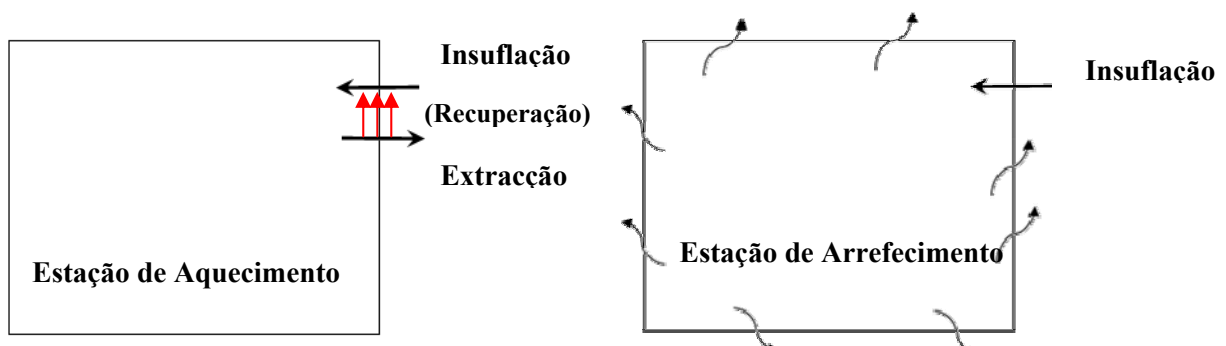


Figura 7: Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Após todas as considerações assumidas verifica-se que com recuperação de calor existe uma economia no consumo total de energia primária de 1.5%, mantendo-se de igual modo com a classe energética D.

vii. Uso de colectores solares para preparação de AQS.

Neste ponto considerou-se a existência de colectores solares na cobertura do edifício, cujas características estão apresentadas no ponto 3.1.2.7. No entanto, a aplicação de colectores solares para preparação de AQS é obrigatória, de acordo com o ponto 2 a) do artigo 32º do RSECE, pelo que no caso base se fez o estudo para conhecer quais as necessidades de energia para preparação de AQS caso não existissem colectores solares instalados.

Tabela 23: Análise energética com o uso de colectores solares para preparação de AQS.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
8.3	13.2	17.8	18.6	1.6	59.5	D

O recurso a energia solar para a preparação de AQS influencia sobretudo a parcela Q_{out} uma vez que este cálculo não entra para a determinação das necessidades associadas aos processos de climatização. Assim, a contribuição da componente solar para o cálculo das necessidades de energia traduz-se numa economia de 1.4% no consumo total de energia primária.

viii. Ventilação mais eficiente

Tabela 24: Análise energética com sistema de ventilação mais eficiente - SFP = 0.2 W/m³/h

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
10.6	6.7	17.8	18.6	2.5	56.2	C

Adoptando um sistema de ventilação mais eficiente verifica-se que as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento diminuem de forma significativa, traduzindo-se numa economia 7.1% no consumo de energia. Esta economia deve-se, como é óbvio, menor consumo por parte dos ventiladores para efectuar a insuflação de ar nos espaços a climatizar.

3.1.4 Resumo dos resultados obtidos

Na Tabela 25 é apresentado um resumo das necessidades de energia para as estações de aquecimento e arrefecimento, comparando-as com as obtidas no caso base.

Tabela 25: Resumo da economia de energia útil.

	Aquecimento		Arrefecimento	
	kWh/m ²	Economia	kWh/m ²	Economia
<i>Caso base</i>	153.21	[-]	63.11	[-]
<i>Modificação da solução construtiva</i>	152.80	0.3%	61.51	2.5%
<i>Iluminação mais eficiente</i>	150.09	2.0%	64.65	-2.4%
<i>Alteração dos envidraçados I</i>	165.70	-8.2%	38.44	39.1%
<i>Alteração dos envidraçados II</i>	150.03	2.1%	68.37	-8.3%
<i>Alteração dos envidraçados III</i>	159.08	-3.8%	38.61	38.8%
<i>Recuperação de calor</i>	155.19	-1.3%	49.71	21.2%
<i>Ventilação mais eficiente</i>	83.65	45.4%	64.75	-2.6%

Tabela 26: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para o Porto.

	Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Equipamento		AQS		Total		Economia	Classe Energética
	Energia Final	IEE _l	Energia Final	IEE _v	Energia Final	Q _{Ilum} /A _p	Energia Final	Q _{Equip} /A _p	Energia Final	Q _{AQS} /A _p	Energia Final	IEE _l		
	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	[%]	
Caso Base	153.21	14.52	63.11	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	370.70	60.46	[-]	D
Bomba de calor	153.21	12.15	63.11	6.17	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	370.70	58.32	3.5%	D
Caldeira de condensação	153.21	13.00	63.11	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	370.70	59.09	2.3%	D
Iluminação eficiente	165.70	15.88	38.44	4.50	24.86	7.21	61.41	17.81	28.78	2.48	319.19	47.18	22.0%	C
Alteração da envolvente	150.09	14.39	64,65	6.20	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	369.12	60.43	0.0%	D
Alteração do envidraçado I	156,26	15.27	46,43	4.97	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	357.08	58.87	2.6%	D
Alteração do envidraçado II	159,08	15.66	38,61	4.46	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	352.08	58.20	3.7%	D
Alteração do envidraçado III	155,19	15.13	49,71	5.17	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	359.29	59.15	2.2%	D
Recuperação de calor	83.65	6.76	64,75	12.43	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	302.75	59.52	1.5%	D
Uso de colectores solares	153.21	14.52	63.11	6.17	63.42	18.62	61.41	17.81	17.54	1.51	360.67	59.59	1.4%	D
Ventiladores mais eficientes	139.25	11.71	57,36	4.95	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	351.00	56.17	7.1%	C

3.1.5 Conjugação das melhores medidas

Neste ponto será efectuada uma conjugação das alterações que, após efectuadas, se traduziram num impacto significativo na economia de energia, resultando consequentemente numa poupança significativa no que respeita às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e também na preparação de águas quentes sanitárias.

O critério utilizado para esta conjugação é aquele que produz uma poupança de energia primária igual ou superior a 2.5%, sendo essas medidas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 27: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.

Substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor
Alteração da taxa de iluminação para um sistema mais eficiente
Alteração do vão envidraçado por vidro duplo incolor com sombreamento interior
Recurso a colectores solares para preparação de AQS
Sistema de ventilação mais eficiente

Tabela 28: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	Q_{equip} [kgep/m ² .ano]	Q_{ilum} [kgep/m ² .ano]	
9.9	2.0	17.8	7.2	B

Tabela 29: Economia de energia útil.

	Resultado da simulação			Economia
Aquecimento	1058098 kWh	139.50 kWh/m ²		-11 %
Arrefecimento	116298 kWh	15.33 kWh/m ²		70 %

Tabela 30: Economia de energia final.

	Energia final			Economia
Aquecimento	1058098 kWh/ano	139.50 kWh/m ² .ano		-11%
Arrefecimento	116298 kWh/ano	15.33 kWh/m ² .ano		70%
Ventiladores	149474 kWh/ano	19.71 kWh/m ² .ano		50%
Iluminação	188589 kWh/ano	24.86 kWh/m ² .ano		61%
Equipamentos	465766 kWh/ano	61.41 kWh/m ² .ano		0%
AQS	142232 kWh/ano	18.75 kWh/m ² .ano		35%
Total	2120456 kWh/ano	279.56 kWh/m².ano		25%

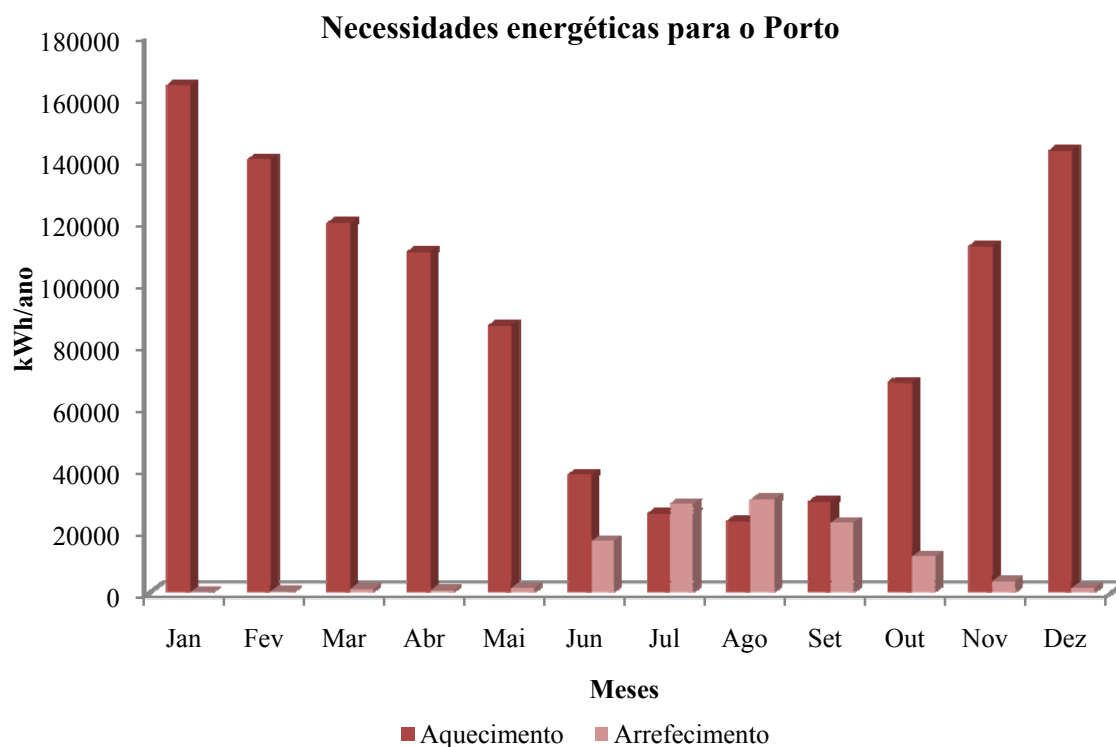


Figura 9: Necessidade de aquecimento e arrefecimento após alterações.

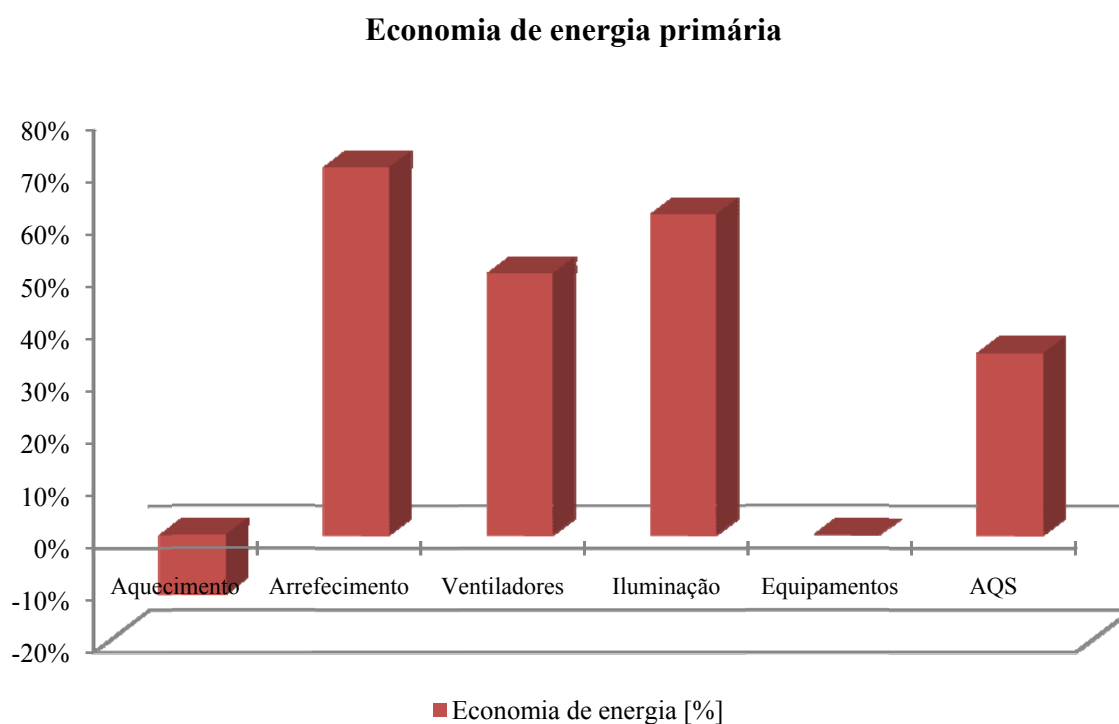


Figura 8: Resumo da economia de energia após alterações.

Como se pode verificar através dos resultados acima apresentados a conjugação de medidas traduz-se numa poupança de energia primária de 25%, relativamente ao caso base,

passando o edifício a obter classe energética B. Verifica-se igualmente que as necessidades de aquecimento apresentam um valor negativo, o que quer dizer que são necessários mais recursos energéticos para a estação de aquecimento. Este facto deve-se essencialmente à diminuição da taxa de iluminação, bem como a existência de sombreamento que reduz a entrada da radiação solar para o interior do edifício. Na estação de arrefecimento estas alterações tornam-se uma vantagem pois neste caso não é necessária tanta energia para climatizar o espaço como consequência da diminuição dos ganhos internos associados à iluminação e à radiação solar. Um outro factor que contribui de forma algo significativa para esta poupança energética é o uso de colectores solares para a preparação de AQS, que produzem uma poupança de 25% relativamente ao caso base.

3.2 Simulação para Lisboa

Neste ponto será efectuado o estudo para o mesmo edifício, localizado agora na cidade de Lisboa, para compreender qual a influência da zona climática na determinação das necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária.

A cidade de Lisboa insere-se, segundo o zoneamento climático apresentado no anexo III do RCCTE, na região climática I₁-V₂, apresentando 1190 °C.dia e tendo uma duração da estação de aquecimento de 5.3 meses.

3.2.1 Simulação do caso base

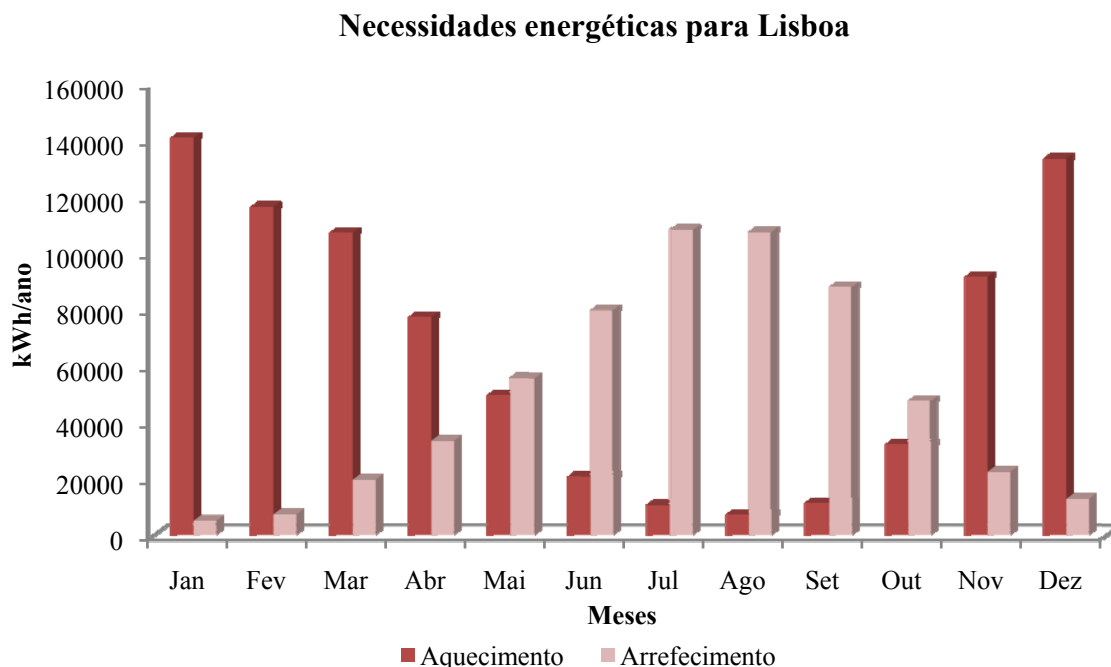


Figura 10: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.

Através da análise do gráfico acima ilustrado constata-se que a estação convencional de arrefecimento para a cidade de Lisboa refere-se aos meses de Maio a Setembro uma vez que a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas é maior nesta altura, sendo para tal necessário um arrefecimento ambiente mais acentuado nessa altura no interior do edifício. De referir igualmente que os meses com maiores necessidades de aquecimento

são os meses de Janeiro e Dezembro pois são aqueles que possuem as temperaturas exteriores mais baixas, sendo neste caso necessário uma maior quantidade de energia para se conseguir as condições de conforto no interior do edifício.

Tabela 31: Resultado da simulação para a cidade de Lisboa.

<i>Resultado da simulação</i>				
Aquecimento	798918	kWh	105.33	kWh/m ²
Arrefecimento	587549	kWh	77.46	kWh/m ²

Após determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento por simulação usou-se o mesmo método apresentado na simulação para a cidade do Porto para a determinação do valor final de energia consumida, contabilizando já o efeito dos ventiladores, iluminação, equipamento e preparação de AQS, sendo os resultados finais apresentados na Tabela 32.

Tabela 32: Valor de energia final consumida.

<i>Energia final</i>			
Aquecimento	798918 kWh/ano	105.33 kWh/m ² .ano	
Arrefecimento	587549 kWh/ano	77.46 kWh/m ² .ano	
Ventiladores	298947 kWh/ano	39.41 kWh/m ² .ano	
Iluminação	486927 kWh/ano	64.20 kWh/m ² .ano	
Equipamentos	465766 kWh/ano	61.40 kWh/m ² .ano	
AQS	218322 kWh/ano	28.78 kWh/m ² .ano	
<i>Total</i>	<i>2862429 kWh/ano</i>	<i>376.59 kWh/m².ano</i>	

Conhecidas que estão as necessidades energéticas para a região de Lisboa parte-se neste momento para a atribuição da classe energética ao edifício através do indicador de eficiência energética, IEE, obtido de acordo com o anexo IX do RSECE.

Relativamente aos equipamentos considerados para o sistema de aquecimento e arrefecimento considerou-se que para o sistema de aquecimento foi utilizada uma caldeira a combustível gasoso e para o sistema de arrefecimento foi utilizado um Chiller.

Tabela 33: Análise energética para a cidade do Lisboa.

IEE_I	<i>Eficiência do Sistema de aquecimento</i>	IEE_V	<i>Eficiência do sistema de arrefecimento</i>	Q_{out}/A_p	IEE_{nom}	<i>Classe Energética</i>
[kgep/m ²]	[η]	[kgep/m ²]	[COP]	[kgep/m ²]	[kgep/m ²]	
14.5	0.87	6.2	3	38.9	59.6	D

Como se pode verificar através da análise da Tabela 33 a classificação energética do hotel para o caso base é nesta altura a classificação “D”.

Avaliando os valores apresentados na tabela verifica-se que o factor que mais influencia a classificação energética é a parcela correspondente ao consumo de energia que não está ligado ao processo de climatização, isto é, Q_{out}/A_p . Uma outra parcela que tem uma importância significativa para este resultado corresponde ao valor do indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento.

3.2.2 Estudo de sensibilidade

Como foi descrito no ponto 3.1.2, serão implementadas algumas medidas com vista ao melhoramento da eficiência energética do edifício, alterando para tal alguns parâmetros de funcionamento do edifício e também algumas características relativas a elementos construtivos, cujos resultados serão apresentados em seguida.

3.2.3 Resumo dos resultados obtidos

Na tabela seguinte é apresentado um resumo das necessidades de energia para as estações de aquecimento e arrefecimento, comparando-as com as obtidas no caso base.

Tabela 34: Resumo da economia de energia útil.

	Aquecimento		Arrefecimento	
	kWh/m ²	Economia	kWh/m ²	Economia
<i>Caso base</i>	128.04	[-]	94.17	[-]
<i>Modificação da solução construtiva</i>	126.80	1.0%	94.53	-0.4%
<i>Iluminação mais eficiente</i>	136.92	-6.9%	67.20	28.6%
<i>Alteração dos envidraçados I</i>	132.09	-3.2%	74.47	20.9%
<i>Alteração dos envidraçados II</i>	134.44	-5.0%	66.30	29.6%
<i>Alteração dos envidraçados III</i>	131.27	-2.5%	77.63	17.6%
<i>Recuperação de calor</i>	43.42	66.1%	137.36	-45.9%
<i>Ventilação mais eficiente</i>	116.69	8.9%	85.81	8.9%

Tabela 35: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Lisboa.

	Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Equipamento		AQS		Total		Economia	Classe Energética
	Energia Final	IEE _i	Energia Final	IEE _v	Energia Final	Q _{ilum} /A _p	Energia Final	Q _{Equip} /A _p	Energia Final	Q _{AQS} /A _p	Energia Final	IEE _i		
	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	[%]	
Caso Base	128.04	14.52	94.17	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	376.59	59.59	[-]	D
Bomba de calor	128.04	12.15	94.17	6.17	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	376.59	57.22	4.0	D
Caldeira de condensação	128.04	13.00	94.17	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	376.59	58.06	2.6	D
Iluminação eficiente	136.92	15.88	67.20	4.50	24.86	7.21	61.41	17.81	28.78	2.48	319.18	47.88	19.7	C
Alteração da envolvente	126.80	14.39	94.53	6.20	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	375.72	59.49	0.2	D
Alteração do envidraçado I	132.09	15.27	74.47	4.97	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	360.95	59.14	0.7	D
Alteração do envidraçado II	134.44	15.66	66.30	4.46	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	355.13	59.03	0.9	D
Alteração do envidraçado III	131.27	15.13	77.63	5.17	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	363.28	59.20	0.7	D
Recuperação de calor	43.42	6.76	137.36	12.43	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	335.16	58.90	2.5	D
Uso de colectores solares	128.04	14.52	94.17	6.17	63.42	18.62	61.41	17.81	17.54	1.51	364.58	58.63	1.6	D
Ventiladores mais eficientes	116.69	11.71	85.81	4.95	63.42	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	356.89	55.86	6.8	C

3.2.4 Conjugação das melhores medidas

Neste ponto será efectuada uma conjugação das alterações que se traduzirão num impacto significativo na economia de energia, resultando numa poupança significativa no que respeita às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e também na preparação de águas quentes sanitárias. O critério utilizado para esta conjugação é aquele que produz uma poupança de energia primária igual ou superior a 2.5%, sendo essas medidas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 36: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.

Substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor
Alteração da taxa de iluminação para um sistema mais eficiente
Recurso a colectores solares para preparação de AQS
Sistema de ventilação mais eficiente
Recurso a recuperação de calor

Tabela 37: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
4.8	6.8	17.8	7.2	1.5	38.2	B

Tabela 38: Economia de energia útil.

	Resultado da simulação			Economia	
Aquecimento	210306	kWh	27.73	kWh/m ²	74 %
Arrefecimento	458204	kWh	60.41	kWh/m ²	22 %

Tabela 39: Economia de energia final.

	Energia final			Economia	
Aquecimento	210306	kWh/ano	27.73	kWh/m ² .ano	74%
Arrefecimento	458204	kWh/ano	60.41	kWh/m ² .ano	22%
Ventiladores	298947	kWh/ano	39.41	kWh/m ² .ano	0%
Iluminação	188589	kWh/ano	24.86	kWh/m ² .ano	61%
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.41	kWh/m ² .ano	0%
AQS	133009	kWh/ano	17.54	kWh/m ² .ano	39%
Total	1754822	kWh/ano	231.36	kWh/m².ano	39 %

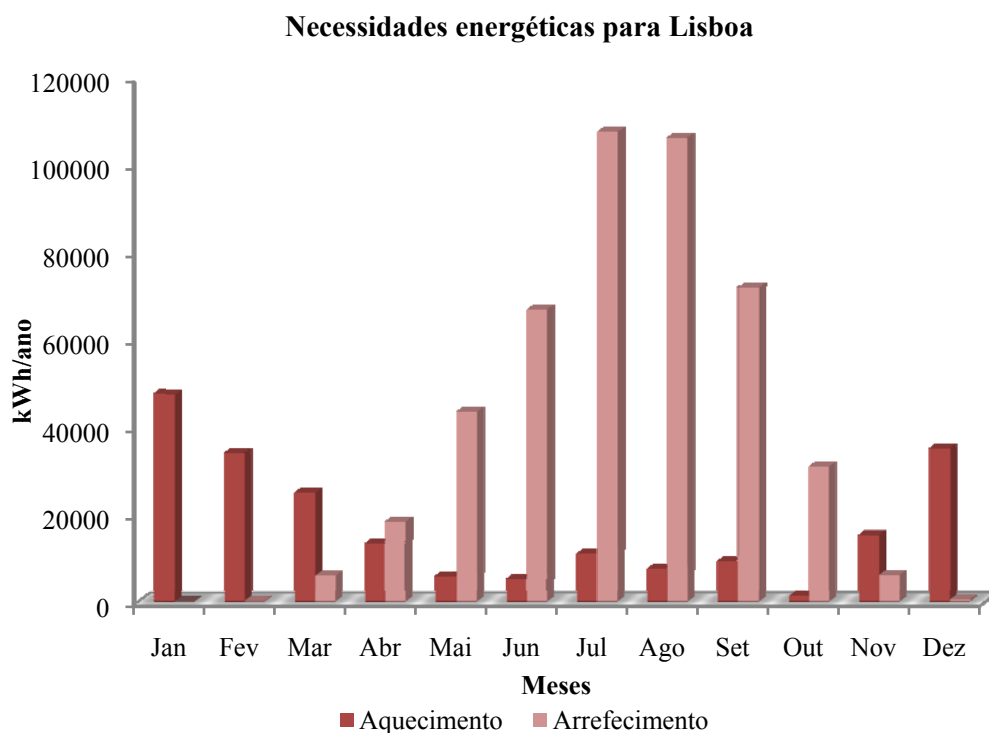


Figura 12: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Lisboa.

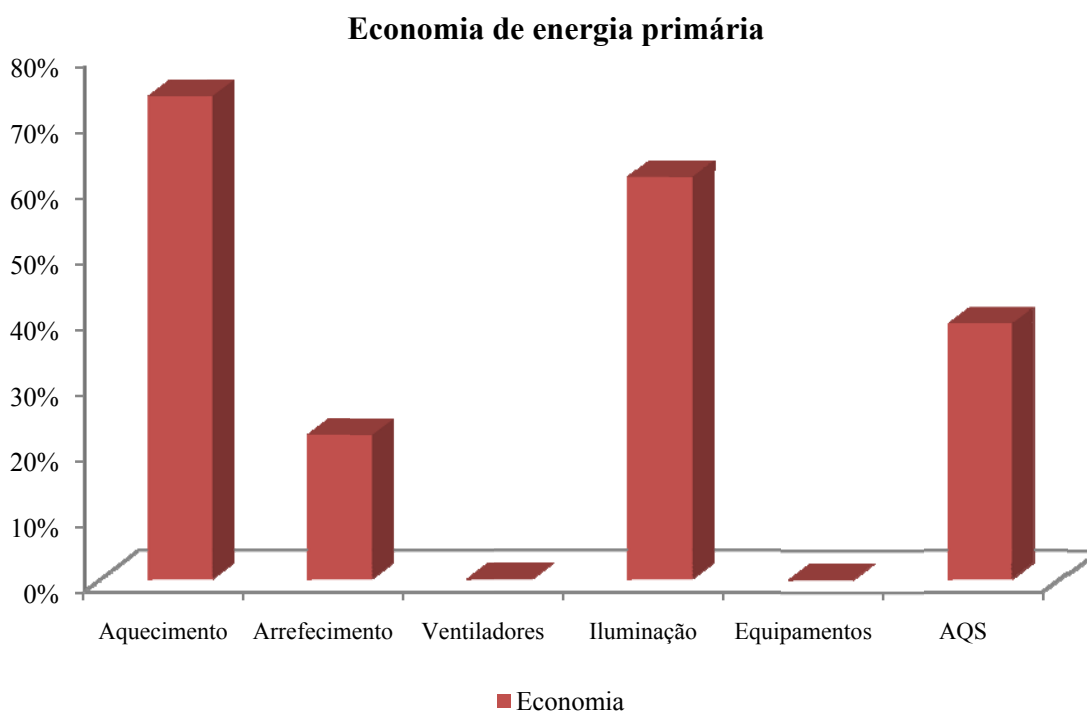


Figura 11: Resumo da economia de energia após alterações.

Como se pode verificar através dos resultados acima apresentados a conjugação de medidas traduz-se numa poupança de energia de 39%, relativamente ao caso base, passando o edifício a obter classe energética B. Nota-se de igual forma que esta poupança no consumo final de energia deve-se em grande parte à diminuição de consumo de energia para aquecimento e iluminação, correspondendo a poupanças de 74% e 61%, respectivamente.

3.3 Simulação para Bragança

Neste ponto será efectuado o estudo para o mesmo edifício, localizado agora na cidade de Bragança, para compreender qual a influência da zona climática na determinação das necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária.

A cidade de Bragança insere-se, segundo o zoneamento climático apresentado no anexo III do RCCTE, na região climática I₃-V₂, apresentando 2850 °C.dia e tendo uma duração da estação de aquecimento de 8 meses.

3.3.1 Simulação do caso base

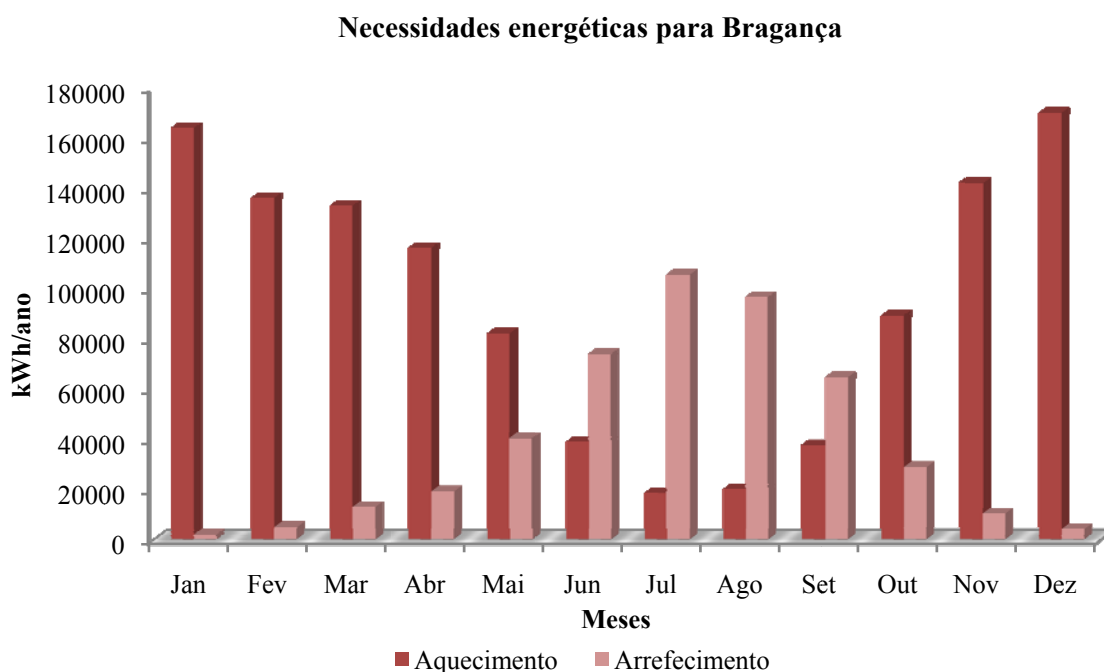


Figura 13: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.

Através da análise do gráfico acima ilustrado constata-se que a estação convencional de arrefecimento para a cidade de Bragança refere-se aos meses de Junho a Setembro uma vez que a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas é maior nesta altura, sendo para tal necessário um arrefecimento ambiente mais acentuado nessa altura no interior do edifício. De referir igualmente que os meses com maiores necessidades de aquecimento são os meses de Janeiro e Dezembro pois são aqueles que possuem as temperaturas exteriores mais baixas, sendo neste caso necessário uma maior quantidade de energia para se conseguir as condições de conforto no interior do edifício.

Tabela 40: Resultado da simulação para a cidade de Bragança.

<i>Resultado da simulação</i>				
Aquecimento	1147287	kWh	151.26	kWh/m ²
Arrefecimento	463114	kWh	61.06	kWh/m ²

Após determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento por simulação usou-se o mesmo método apresentado na simulação para a cidade do Porto para a determinação do valor final de energia consumida, contabilizando já o efeito dos ventiladores, iluminação, equipamento e preparação de AQS, sendo os resultados finais apresentados na Tabela 41.

Tabela 41: Valor de energia final consumida.

<i>Energia final</i>		
Aquecimento	1147287 kWh/ano	151.26 kWh/m ² .ano
Arrefecimento	463114 kWh/ano	61.06 kWh/m ² .ano
Ventiladores	298947 kWh/ano	39.41 kWh/m ² .ano
Iluminação	486927 kWh/ano	64.20 kWh/m ² .ano
Equipamentos	465766 kWh/ano	61.40 kWh/m ² .ano
AQS	218322 kWh/ano	28.78 kWh/m ² .ano
<i>Total</i>	<i>3080362 kWh/ano</i>	<i>426.44 kWh/m².ano</i>

Conhecidas que estão as necessidades energéticas para a região de Bragança parte-se neste momento para a atribuição da classe energética ao edifício através do indicador de eficiência energética, IEE, obtido de acordo com o anexo IX do RSECE.

Relativamente aos equipamentos considerados para o sistema de aquecimento e arrefecimento considerou-se que para o sistema de aquecimento foi utilizada uma caldeira a combustível gasoso e para o sistema de arrefecimento foi utilizado um Chiller.

Tabela 42: Análise energética para a cidade do Bragança.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
8.7	8.2	17.8	18.6	2.5	55.8	C

Como se pode verificar através da análise da Tabela 42 a classificação energética conseguida para o hotel nesta altura é a classificação “C”.

Avaliando os valores apresentados na tabela verifica-se que o factor que mais influencia a classificação energética é a parcela correspondente ao consumo de energia que não está ligado ao processo de climatização, isto é, Q_{out}/A_p . Uma outra parcela que tem uma importância significativa para este resultado corresponde ao valor do indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento.

3.3.2 Estudo de sensibilidade

Como foi descrito no ponto 3.1.2, serão implementadas algumas medidas com vista ao melhoramento da eficiência energética do edifício, alterando para tal alguns parâmetros de

funcionamento do edifício e também algumas características relativas a elementos construtivos, cujos resultados serão apresentados em seguida.

3.3.3 Resumo dos resultados obtidos

Na tabela seguinte é apresentado um resumo das necessidades de energia para as estações de aquecimento e arrefecimento, comparando-as com as obtidas no caso base.

Tabela 43: Resumo da economia de energia útil.

	Aquecimento		Arrefecimento	
	kWh/m ²	Economia	kWh/m ²	Economia
<i>Caso base</i>	179.34	[-]	72.39	[-]
<i>Modificação da solução construtiva</i>	183.84	-2.5%	71.89	0.7%
<i>Iluminação mais eficiente</i>	196.51	-9.6%	49.35	31.8%
<i>Alteração dos envidraçados I</i>	189.03	-5.4%	54.84	24.2%
<i>Alteração dos envidraçados II</i>	193.71	-8.0%	46.13	36.3%
<i>Alteração dos envidraçados III</i>	189.32	-5.6%	58.06	19.8%
<i>Recuperação de calor</i>	115.43	35.6%	74.22	-2.5%
<i>Ventilação mais eficiente</i>	165.30	7.8%	66.72	7.8%

Tabela 44: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Bragança.

	Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Equipamento		AQS		Total		Economia	Classe Energética
	Energia Final	IEE _i	Energia Final	IEE _v	Energia Final	Q _{lum} /A _p	Energia Final	Q _{Equip} /A _p	Energia Final	Q _{AQS} /A _p	Energia Final	IEE _i		
	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	[%]	
Caso Base	179.34	14.52	72.39	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	406.12	55.75	[-]	C
Bomba de calor	179.34	12.15	72.39	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	406.12	54.25	2.7%	C
Caldeira de condensação	179.34	13.00	72.39	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	406.12	54.79	1.7%	C
Iluminação eficiente	196.51	15.88	49.35	4.50	24.86	7.21	61.41	17.81	28.78	2.48	360.92	42.66	23.5%	C
Alteração da envolvente	183.84	14.39	71.89	6.20	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	410.12	55.85	-0.2%	C
Alteração do envidraçado I	189.03	15.27	54.84	4.97	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	398.26	54.35	2.5%	C
Alteração do envidraçado II	181.51	15.66	81.39	4.46	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	417.29	56.69	3.8%	C
Alteração do envidraçado III	193.71	15.13	46.13	5.17	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	394.22	53.65	1.9%	C
Recuperação de calor	189.32	6.76	58.06	12.43	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	401.77	54.68	0.3%	C
Uso de colectores solares	115.43	14.52	74.22	6.17	64.20	18.62	61.41	17.81	17.73	1.51	344.04	55.60	1.7%	C
Ventiladores mais eficientes	179.34	11.71	72.39	4.95	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	395.07	54.90	5.4%	C

3.3.4 Conjugação das melhores medidas

Neste ponto será efectuada uma conjugação das alterações que se traduzirão num impacto positivo na economia de energia, resultando numa poupança significativa no que respeita às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e também na preparação de águas quentes sanitárias. O critério utilizado para esta conjugação é aquele que produz uma poupança de energia igual ou superior a 2.5%, sendo essas medidas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 45: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.

Substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor

Alteração da taxa de iluminação para um sistema mais eficiente

Alteração do vão envidraçado por vidro duplo incolor com sombreamento interior

Recurso a colectores solares para preparação de AQS

Sistema de ventiladores mais eficiente

Tabela 46: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
6.6	2.7	17.8	7.2	1.5	35.8	B

Tabela 47: Economia de energia útil.

	Resultado da simulação				Economia
Aquecimento	1307567	kWh	172.39	kWh/m ²	-14 %
Arrefecimento	185020	kWh	24.39	kWh/m ²	60 %

Tabela 48: Economia de energia final.

	Energia final				Economia
Aquecimento	1307567	kWh/ano	172.39	kWh/m ² .ano	-6%
Arrefecimento	185020	kWh/ano	24.39	kWh/m ² .ano	63%
Ventilação	149747	kWh/ano	19.71	kWh/m ² .ano	0%
Iluminação	188589	kWh/ano	24.86	kWh/m ² .ano	61%
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.41	kWh/m ² .ano	0%
AQS	134499	kWh/ano	17.73	kWh/m ² .ano	38%
Total	2430914	kWh/ano	320.49	kWh/m².ano	24%

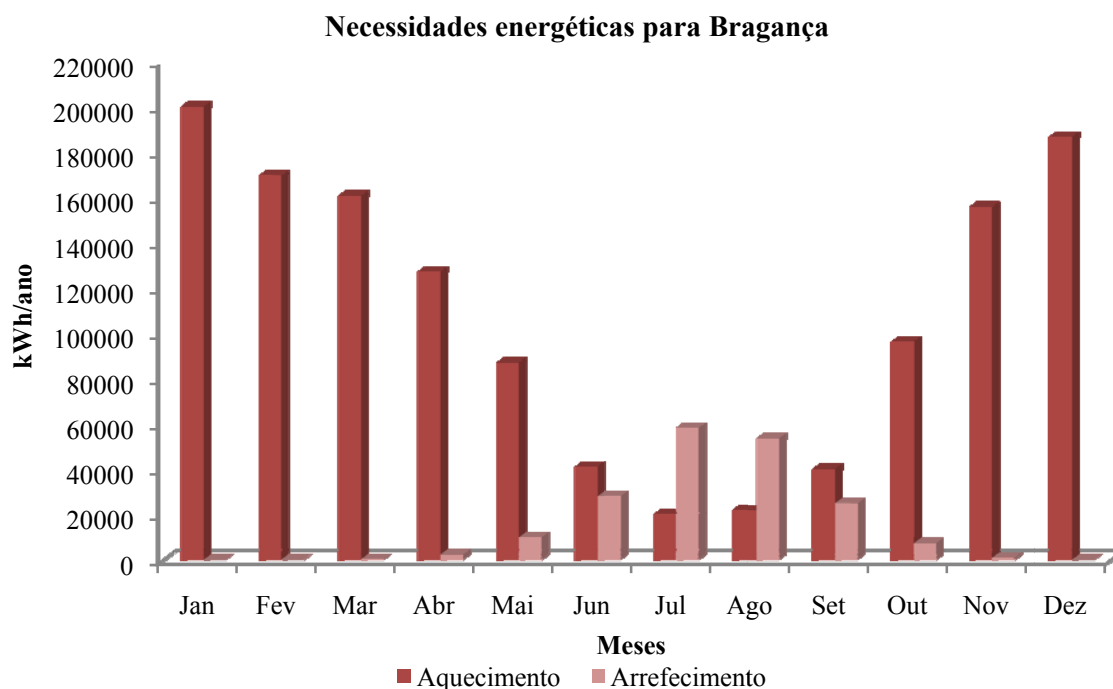


Figura 15: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Bragança.

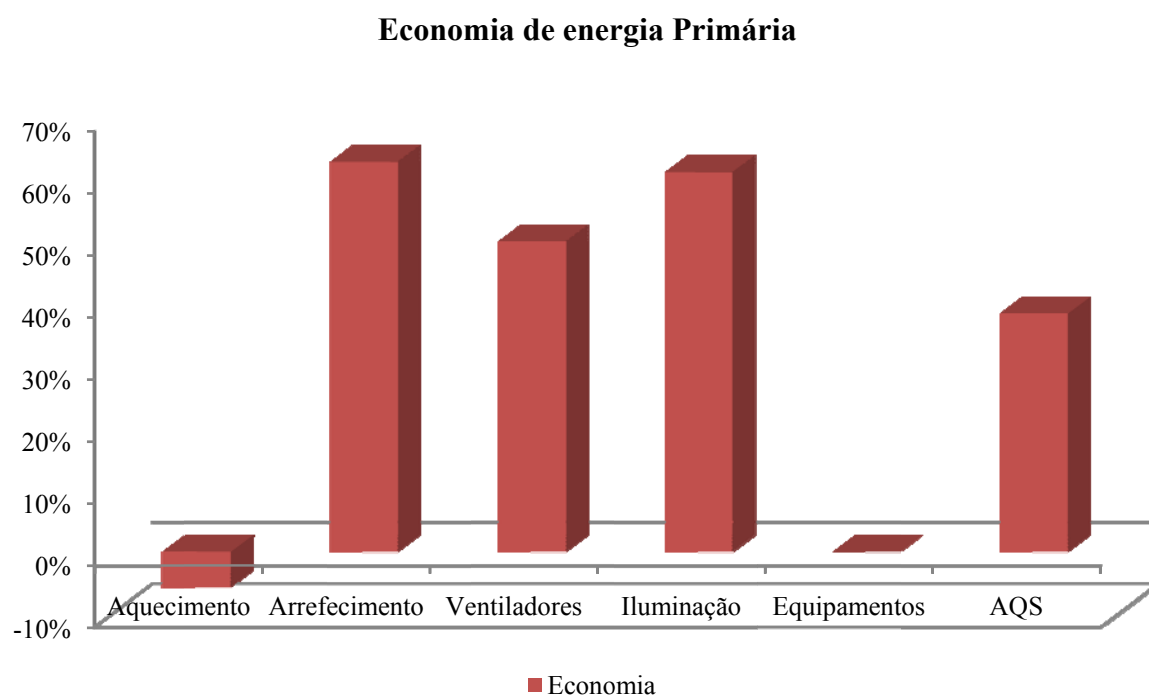


Figura 14: Resumo da economia de energia após alterações.

Como se pode verificar através dos resultados acima apresentados a conjugação de medidas traduz-se numa poupança de energia de 24%, relativamente ao caso base, passando o edifício a obter classe energética B. Esta poupança no consumo final de energia deve-se em grande parte à diminuição de consumo de energia para arrefecimento e iluminação, correspondendo a poupanças de 63% e 61%, respectivamente. Pode-se verificar igualmente

que as necessidades de aquecimento são maiores, o que se traduz num acréscimo de 6% relativamente ao caso base mas no valor final esse acréscimo é diluído na poupança existente devido ao arrefecimento.

3.4 Simulação para Manteigas

Neste ponto será efectuado o estudo para o mesmo edifício, localizado agora em Manteigas, para compreender qual a influência da zona climática na determinação das necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária.

A região de Manteigas insere-se, segundo o zoneamento climático apresentado no anexo III do RCCTE, na região climática I₃-V₁, apresentando 3000 °C.dia e tendo uma duração da estação de aquecimento de 8 meses.

3.4.1 Simulação do caso base

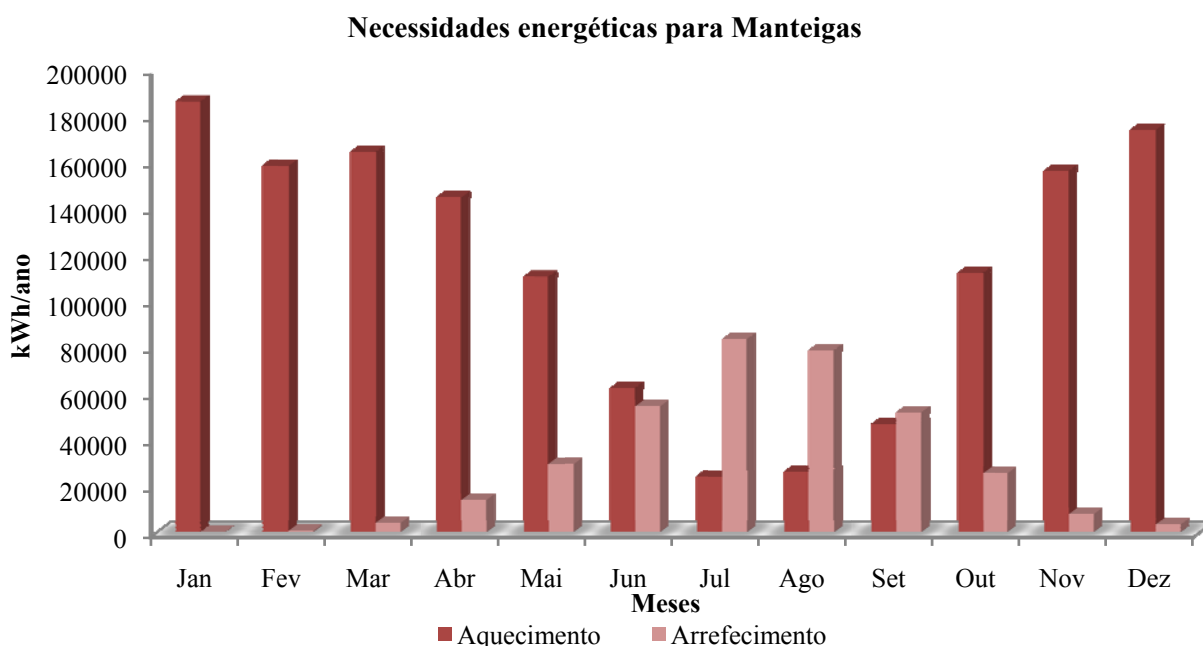


Figura 16: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.

Através da análise do gráfico acima ilustrado constata-se que a estação convencional de arrefecimento para a região de Manteigas refere-se aos meses de Julho a Setembro uma vez que a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas é maior nesta altura, sendo para tal necessário um arrefecimento ambiente mais acentuado nessa altura no interior do edifício. De referir igualmente que os meses com maiores necessidades de aquecimento são os meses de Janeiro e Dezembro pois são aqueles que possuem as temperaturas exteriores mais baixas, sendo neste caso necessário uma maior quantidade de energia para se conseguir as condições de conforto no interior do edifício.

Tabela 49: Resultado da simulação para Manteigas.

<i>Resultado da simulação</i>				
Aquecimento	1366010	kWh	180.10	kWh/m ²
Arrefecimento	352740	kWh	46.51	kWh/m ²

Após determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento por simulação usou-se o mesmo método apresentado na simulação para a cidade do Porto para a determinação do valor final de energia consumida, contabilizando já o efeito dos ventiladores, iluminação, equipamento e preparação de AQS, sendo os resultados finais apresentados na Tabela 50.

Tabela 50: Valor de energia final consumida.

<i>Energia final</i>				
Aquecimento	1366010	kWh/ano	180.10	kWh/m ² .ano
Arrefecimento	352740	kWh/ano	46.51	kWh/m ² .ano
Ventiladores	298947	kWh/ano	39.41	kWh/m ² .ano
Iluminação	486927	kWh/ano	64.20	kWh/m ² .ano
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.40	kWh/m ² .ano
AQS	218322	kWh/ano	28.78	kWh/m ² .ano
<i>Total</i>	<i>3188712</i>	<i>kWh/ano</i>	<i>420.40</i>	<i>kWh/m².ano</i>

Conhecidas que estão as necessidades energéticas para a região de Manteigas parte-se neste momento para a atribuição da classe energética ao edifício através do indicador de eficiência energética, IEE, obtido de acordo com o anexo IX do RSECE.

Relativamente aos equipamentos considerados para o sistema de aquecimento e arrefecimento considerou-se que para o sistema de aquecimento foi utilizada uma caldeira a combustível gasoso e para o sistema de arrefecimento foi utilizado um Chiller.

Tabela 51: Análise energética para Manteigas.

IEE_I	IEE_V	Q_{out}/A_p	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	Q_{equip} [kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
9.6	6.8	17.8	18.6	2.5	55.3	C

Como se pode verificar através da análise da Tabela 51 a classificação do hotel, para o caso base seria classificação “C”.

Avaliando os valores apresentados na tabela verifica-se que o factor que mais influencia a classificação energética é a parcela correspondente ao consumo de energia que não está ligado ao processo de climatização, isto é, Q_{out}/A_p . Uma outra parcela que tem uma importância significativa para este resultado corresponde ao valor do indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento.

3.4.2 Estudo de sensibilidade

Como foi descrito no ponto 3.1.2, foram implementadas algumas medidas com vista ao melhoramento da eficiência energética do edifício, alterando para tal alguns parâmetros de funcionamento do edifício e também algumas características relativas a elementos construtivos, cujos resultados serão apresentados em seguida.

3.4.3 Resumo dos resultados obtidos

Na tabela seguinte é apresentado um resumo das necessidades de energia para as estações de aquecimento e arrefecimento, comparando-as com as obtidas no caso base.

Tabela 52: Resumo da economia de energia útil.

	Aquecimento		Arrefecimento	
	kWh/m ²	Economia	kWh/m ²	Economia
<i>Caso base</i>	211.42	[-]	54.59	[-]
<i>Modificação da solução construtiva</i>	209.39	1.0%	55.54	-1.7%
<i>Iluminação mais eficiente</i>	223.33	-5.6%	35.77	34.5%
<i>Alteração dos envidraçados I</i>	217.34	-2.8%	39.76	27.2%
<i>Alteração dos envidraçados II</i>	246.28	-16.5%	14.82	72.9%
<i>Alteração dos envidraçados III</i>	215.92	-2.1%	43.00	21.2%
<i>Recuperação de calor</i>	129.03	39.0%	75.64	-38.5%
<i>Ventilação mais eficiente</i>	195.76	7.4%	50.55	7.4%

Tabela 53: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Manteigas.

	Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Equipamento		AQS		Total		Economia	Classe Energética
	Energia Final	IEE _I	Energia Final	IEE _V	Energia Final	Q _{ilum} /A _p	Energia Final	Q _{Equip} /A _p	Energia Final	Q _{AQS} /A _p	Energia Final	IEE _I		
	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	[%]	
Caso Base	211.42	9.62	54.59	6.84	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	420.40	55.36	[-]	C
Bomba de calor	211.42	7.92	54.59	6.84	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	420.40	53.66	3.1%	C
Caldeira de condensação	211.42	8.53	54.59	6.84	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	420.40	54.27	2.0%	C
Iluminação eficiente	223.33	10.22	35.77	4.51	24.86	7.21	61.41	17.81	28.78	2.48	374.15	42.22	23.7%	C
Alteração da envolvente	209.39	9.53	55.54	6.97	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	419.31	55.40	-0.1%	C
Alteração do enviaçadado I	217.34	9.96	39.76	5.02	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	411.49	53.89	2.7%	C
Alteração do enviaçadado II	246.28	11.25	14.82	1.86	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	415.49	52.02	6.0%	C
Alteração do enviaçadado III	215.92	9.88	43.00	5.42	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	413.30	54.20	2.1%	C
Recuperação de calor	129.03	7.96	75.64	12.94	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	359.05	59.80	-8.0%	D
Uso de colectores solares	211.42	7.99	54.59	5.67	64.20	18.62	61.41	17.81	17.99	1.51	409.61	54.43	1.7%	C
Ventiladores mais eficientes	195.76	11.71	50.55	4.95	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	400.70	52.56	5.1%	C

3.4.4 Conjugação das melhores medidas

Neste ponto será efectuada uma conjugação das alterações que se traduzirão num impacto positivo na economia de energia, resultando numa poupança significativa no que respeita às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e também na preparação de águas quentes sanitárias. O critério utilizado para esta conjugação é aquele que produz uma poupança de energia igual ou superior a 2.5%, sendo essas medidas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 54: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.

Substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor
Alteração da taxa de iluminação para um sistema mais eficiente
Alteração do vão envidraçado por vidro duplo incolor com sombreamento interior
Recurso a colectores solares para preparação de AQS
Sistema de ventiladores mais eficiente

Tabela 55: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p	Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
7.1	1.9	17.8	7.21	1.5	35.5		B

Tabela 56: Economia de energia útil.

	Resultado da simulação				Economia
Aquecimento	1506877	kWh	198.67	kWh/m ²	-10 %
Arrefecimento	114057	kWh	15.04	kWh/m ²	68 %

Tabela 57: Economia de energia final e primária.

	Energia final				Economia
Aquecimento	1506877	kWh/ano	198.67	kWh/m ² .ano	-10%
Arrefecimento	114057	kWh/ano	15.04	kWh/m ² .ano	68%
Ventiladores	149747	kWh/ano	19.70	kWh/m ² .ano	0%
Iluminação	188589	kWh/ano	24.86	kWh/m ² .ano	61%
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.41	kWh/m ² .ano	0%
AQS	136457	kWh/ano	17.99	kWh/m ² .ano	37%
Total	2561493	kWh/ano	337.71	kWh/m².ano	20%

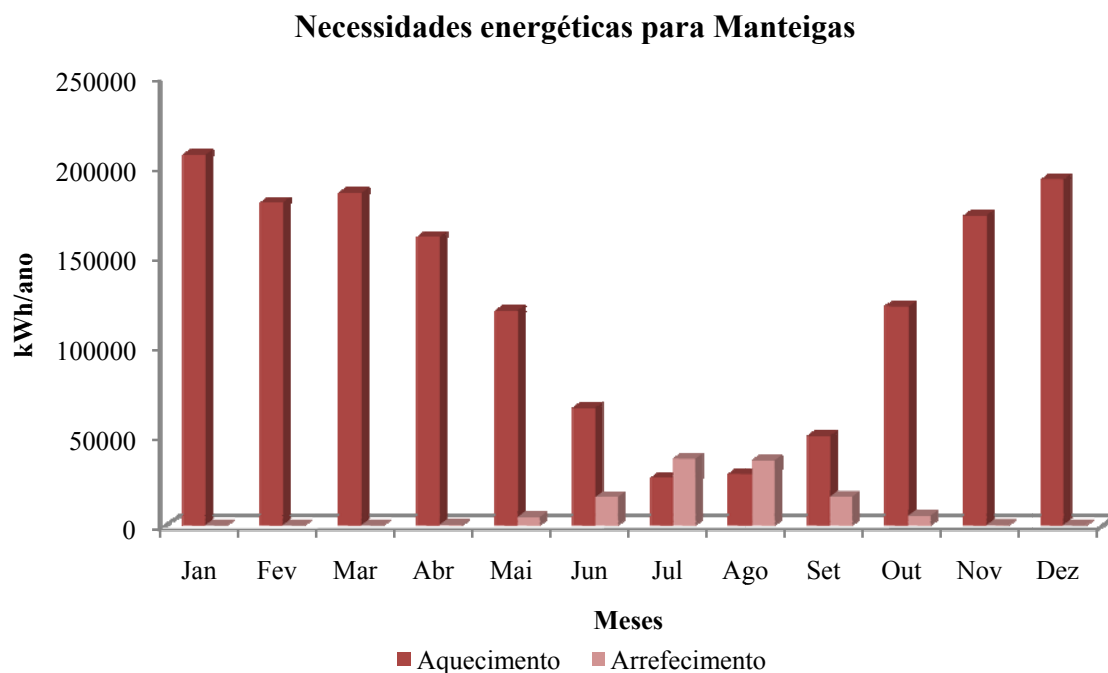


Figura 17: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Manteigas

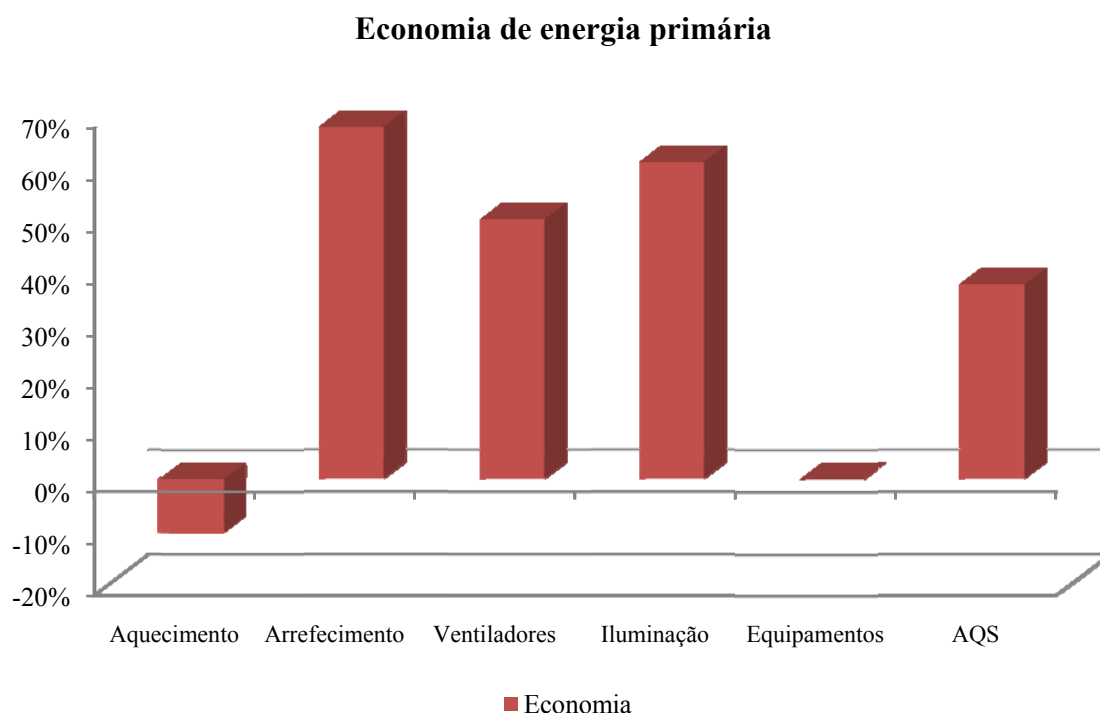


Figura 18: Resumo da economia de energia após alterações.

Como se pode verificar através dos resultados acima apresentados a conjugação de medidas traduz-se numa poupança de energia de 24%, relativamente ao caso base, passando o edifício a obter classe energética B. Esta poupança no consumo final de energia deve-se em grande parte à diminuição de consumo de energia para arrefecimento e iluminação,

correspondendo a poupanças de 68% e 61%, respectivamente. Pode-se verificar igualmente que as necessidades de aquecimento são maiores, o que se traduz num acréscimo de 10% relativamente ao caso base mas no valor final esse acréscimo é diluído na poupança existente devido ao arrefecimento, que se traduz num balanço final positivo com uma poupança de energia primária de 22%.

3.5 Simulação para Évora

Neste ponto será efectuado o estudo para o mesmo edifício, localizado agora na cidade de Évora, para compreender qual a influência da zona climática na determinação das necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária.

A cidade de Évora insere-se, segundo o zoneamento climático apresentado no anexo III do RCCTE, na região climática I₁-V₃, apresentando 1390 °C.dia e tendo uma duração da estação de aquecimento de 5.7 meses.

3.5.1 Simulação do caso base

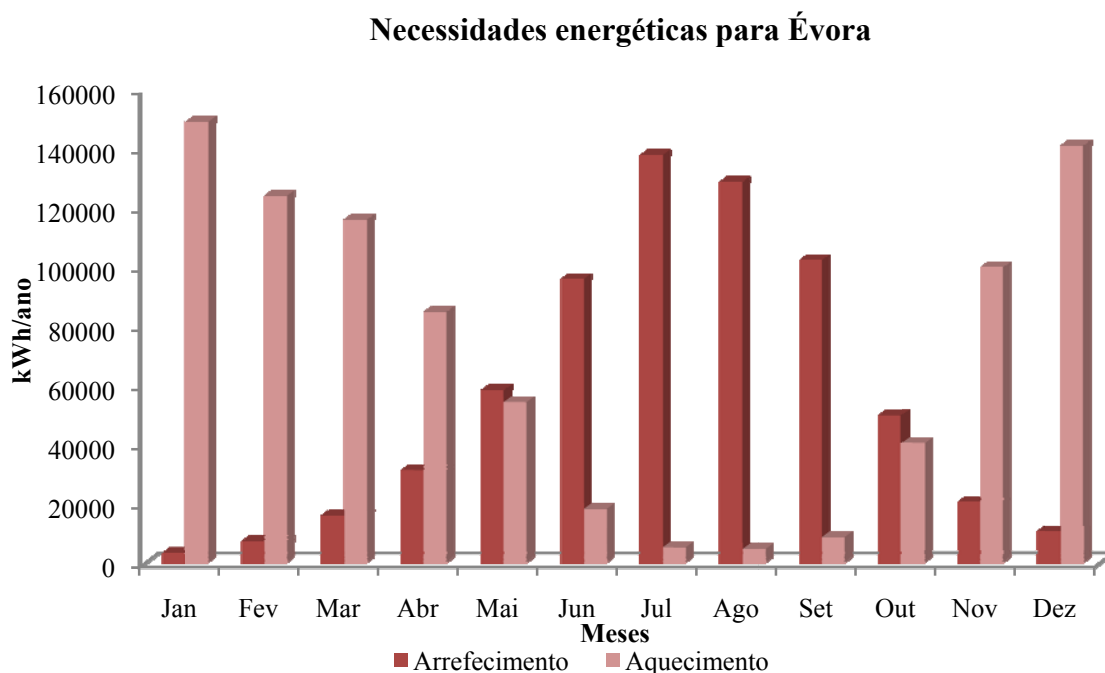


Figura 19: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base

Através da análise do gráfico acima ilustrado constata-se que a estação convencional de arrefecimento para a cidade de Évora refere-se aos meses de Junho a Setembro uma vez que a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas é maior nesta altura, sendo para tal necessário um arrefecimento ambiente mais acentuado nessa altura no interior do edifício. De referir igualmente que os meses com maiores necessidades de aquecimento são os meses de Janeiro e Dezembro pois são aqueles que possuem as temperaturas exteriores mais baixas, sendo neste caso necessário uma maior quantidade de energia para se conseguir as condições de conforto no interior do edifício.

Tabela 58: Resultado da simulação para Évora.

<i>Resultado da simulação</i>				
Aquecimento	845417	kWh	111.46	kWh/m ²
Arrefecimento	661075	kWh	87.16	kWh/m ²

Após determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento por simulação usou-se o mesmo método apresentado na simulação para a cidade do Porto para a determinação do valor final de energia consumida, contabilizando já o efeito dos ventiladores, iluminação, equipamento e preparação de AQS, sendo os resultados finais apresentados na Tabela 59.

Tabela 59: Valor de energia final consumida.

<i>Energia final</i>				
Aquecimento	845417	kWh/ano	111.46	kWh/m ² .ano
Arrefecimento	661075	kWh/ano	87.16	kWh/m ² .ano
Ventiladores	298947	kWh/ano	39.41	kWh/m ² .ano
Iluminação	486927	kWh/ano	63.42	kWh/m ² .ano
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.40	kWh/m ² .ano
AQS	218322	kWh/ano	28.78	kWh/m ² .ano
<i>Total</i>	<i>2976454</i>	<i>kWh/ano</i>	<i>391.63</i>	<i>kWh/m².ano</i>

Conhecidas que estão as necessidades energéticas para a região Évora parte-se neste momento para a atribuição da classe energética ao edifício através do indicador de eficiência energética, IEE, obtido de acordo com o anexo IX do RSECE.

Relativamente aos equipamentos considerados para o sistema de aquecimento e arrefecimento considerou-se que para o sistema de aquecimento foi utilizada uma caldeira a combustível gasoso e para o sistema de arrefecimento foi utilizado um Chiller.

Tabela 60: Análise energética para Évora.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
12.9	6.7	17.8	18.6	2.5	58.5	D

Como se pode verificar através da análise da Tabela 60 a classificação obtida para todo hotel para o caso base seria a classificação “D”.

Avaliando os valores apresentados na tabela verifica-se que o factor que mais influencia a classificação energética é a parcela correspondente ao consumo de energia que não está ligado ao processo de climatização, isto é, Q_{out}/A_p . Uma outra parcela que tem uma importância significativa para este resultado corresponde ao valor do indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento.

3.5.2 Estudo de sensibilidade

Como foi descrito no ponto 3.1.2, serão implementadas novamente medidas com o objectivo de melhorar a eficiência energética do edifício, alterando para tal alguns parâmetros de funcionamento do edifício e também algumas características relativas a elementos construtivos, cujos resultados serão apresentados em seguida.

3.5.3 Resumo dos resultados obtidos

Na tabela seguinte é apresentado um resumo das necessidades de energia para as estações de aquecimento e arrefecimento, comparando-as com as obtidas no caso base.

Tabela 61: Resumo da economia de energia útil.

	Aquecimento		Arrefecimento	
	kWh/m²	Economia	kWh/m²	Economia
<i>Caso base</i>	133.58	[-]	104.45	[-]
<i>Modificação da solução construtiva</i>	132.89	0.5%	104.24	0.2%
<i>Iluminação mais eficiente</i>	142.73	-6.8%	78.13	25.2%
<i>Alteração dos envidraçados I</i>	138.28	-3.5%	84.01	19.6%
<i>Alteração dos envidraçados II</i>	130.37	2.4%	117.93	-12.9%
<i>Alteração dos envidraçados III</i>	140.86	-5.4%	74.65	28.5%
<i>Alteração dos envidraçados IV</i>	137.33	-2.8%	87.90	15.9%
<i>Recuperação de calor</i>	43.97	67.1%	147.92	-41.6%
<i>Ventilação mais eficiente</i>	122.52	8.3%	95.80	8.3%

Tabela 62: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Évora.

	Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Equipamento		AQS		Total		Economia	Classe Energética
	Energia Final	IEE _t	Energia Final	IEE _v	Energia Final	Q _{Ilum} /A _p	Energia Final	Q _{Equip} /A _p	Energia Final	Q _{AQS} /A _p	Energia Final	IEE _t		
	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	[%]	
Caso Base	133.58	12.91	104.45	6.72	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	392.42	58.53	[-]	D
Bomba de calor	133.58	10.74	104.45	6.72	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	392.42	56.36	3.7%	C
Caldeira de condensação	133.58	11.51	104.45	6.72	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	392.42	57.13	2.4%	D
Iluminação eficiente	142.73	14.06	78.13	5.12	24.86	7.21	61.41	17.81	28.78	2.48	335.91	46.67	20.3%	C
Alteração da envolvente	132.89	12.86	104.24	6.71	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	391.52	58.47	0.1%	D
Alteração do envidraçado I	138.28	13.60	84.01	5.50	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	376.68	58.00	0.9%	D
Alteração do envidraçado II	140.86	13.96	74.65	4.93	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	369.90	57.79	1.3%	D
Alteração do envidraçado III	137.33	13.46	87.90	5.74	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	379.61	58.09	0.8%	D
Recuperação de calor	43.97	5.78	147.92	13.02	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	346.28	57.70	1.4%	D
Uso de colectores solares	133.58	12.91	104.45	6.72	64.20	18.62	61.41	17.81	17.06	1.47	380.70	57.52	1.7%	D
Ventiladores mais eficientes	122.52	10.54	95.80	5.47	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	372.71	54.90	6.2%	C

3.5.4 Conjugação das melhores medidas

Neste ponto será efectuada uma conjugação das alterações que se traduzirão num impacto positivo na economia de energia, resultando numa poupança significativa no que respeita às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e também na preparação de águas quentes sanitárias. O critério utilizado para esta conjugação é aquele que produz uma poupança de energia igual ou superior a 2.5%, sendo essas medidas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 63: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.

Substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor
Alteração da taxa de iluminação para um sistema mais eficiente
Recurso a colectores solares para preparação de AQS
Sistema de ventiladores mais eficiente

Tabela 64: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p Q_{ilum}	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
9.0	4.1	17.8	7.2	26.5	39.6	B -

Tabela 65: Economia de energia útil.

	Resultado da simulação				Economia
Aquecimento	889372	kWh	117.26	kWh/m ²	-5 %
Arrefecimento	486861	kWh	64.19	kWh/m ²	26 %

Tabela 66: Economia de energia final e primária.

	Energia final				Economia
Aquecimento	889372	kWh/ano	117.26	kWh/m ² .ano	-5%
Arrefecimento	486861	kWh/ano	64.19	kWh/m ² .ano	26%
Ventiladores	149474	kWh/ano	19.70	kWh/m ² .ano	50%
Iluminação	188589	kWh/ano	24.86	kWh/m ² .ano	61%
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.41	kWh/m ² .ano	0%
AQS	129429	kWh/ano	17.06	kWh/m ² .ano	41%
Total	2309490	kWh/ano	304.49	kWh/m².ano	22%

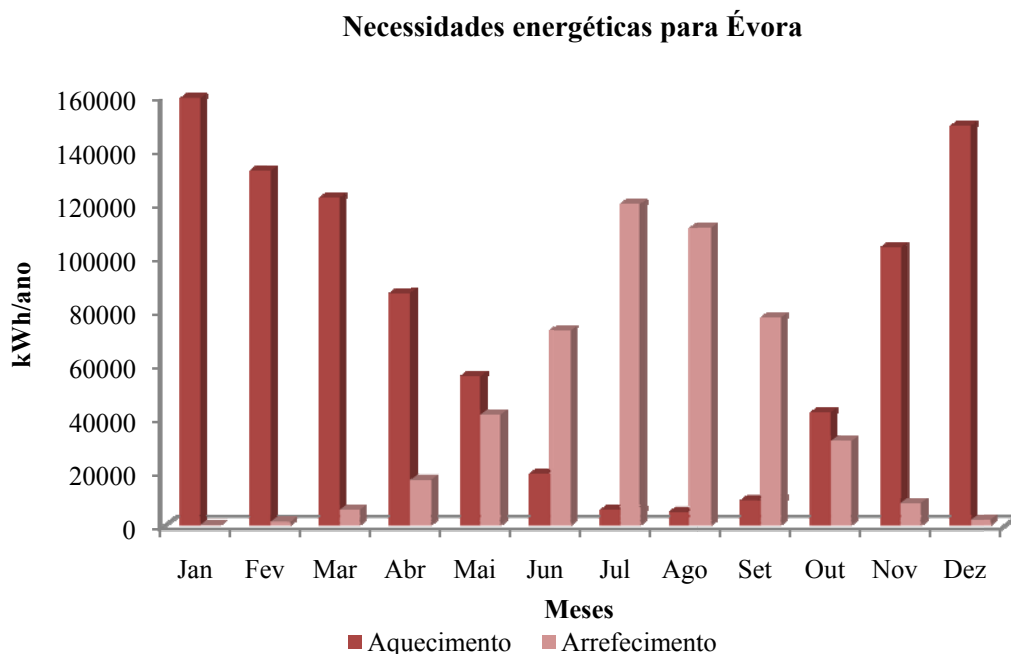


Figura 21: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Évora.

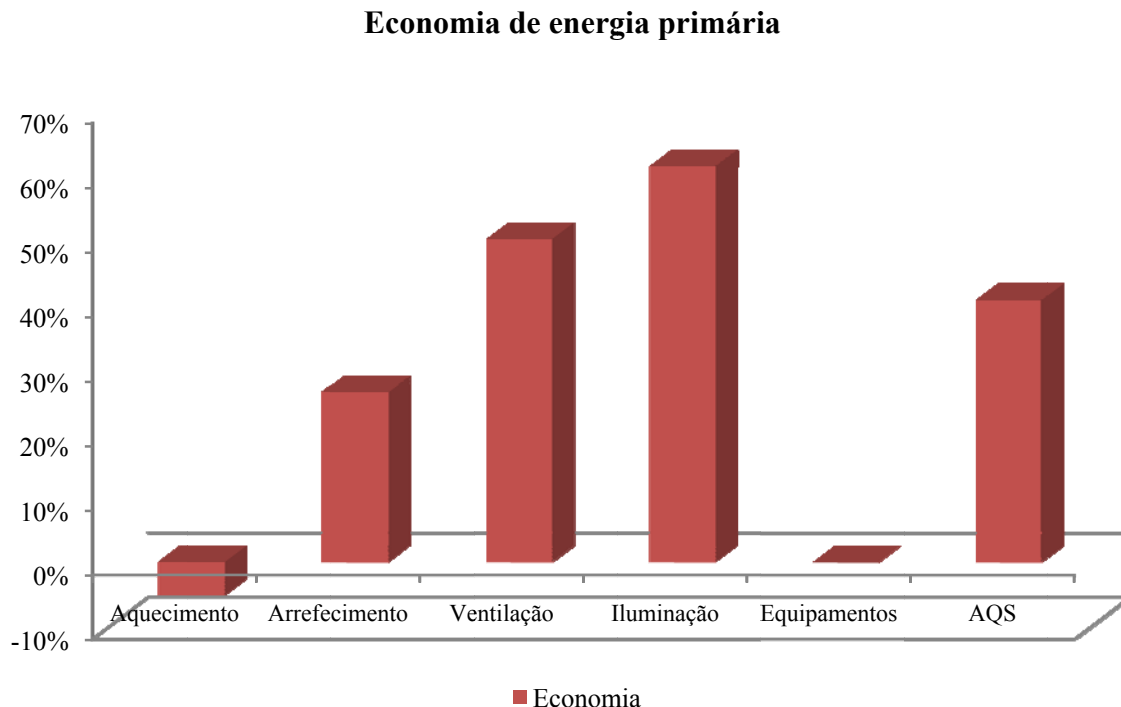


Figura 20: Resumo da economia de energia após alterações.

Como se pode verificar através dos resultados acima apresentados a conjugação de medidas traduz-se numa poupança de energia primária de 22%, relativamente ao caso base, passando o edifício a obter classe energética B -. Esta poupança no consumo final de energia

deve-se em grande parte à diminuição de consumo de energia para arrefecimento, sistema de ventilação e iluminação, correspondendo a poupanças de energia primária de 26%, 50% e 61%, respectivamente. Relativamente ao aquecimento verifica-se que este tem um aumento de 5% relativamente ao caso base, o que no balanço final traduz uma poupança global de energia em 20%.

3.6 Simulação para Faro

Neste ponto será efectuado o estudo para o mesmo edifício, localizado agora em Faro, para compreender qual a influência da zona climática na determinação das necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária.

A região das Faro insere-se, segundo o zoneamento climático apresentado no anexo III do RCCTE, na região climática I₁-V₂, apresentando 1060 °C.dia e tendo uma duração da estação de aquecimento de 4.3 meses.

3.6.1 Simulação do caso base

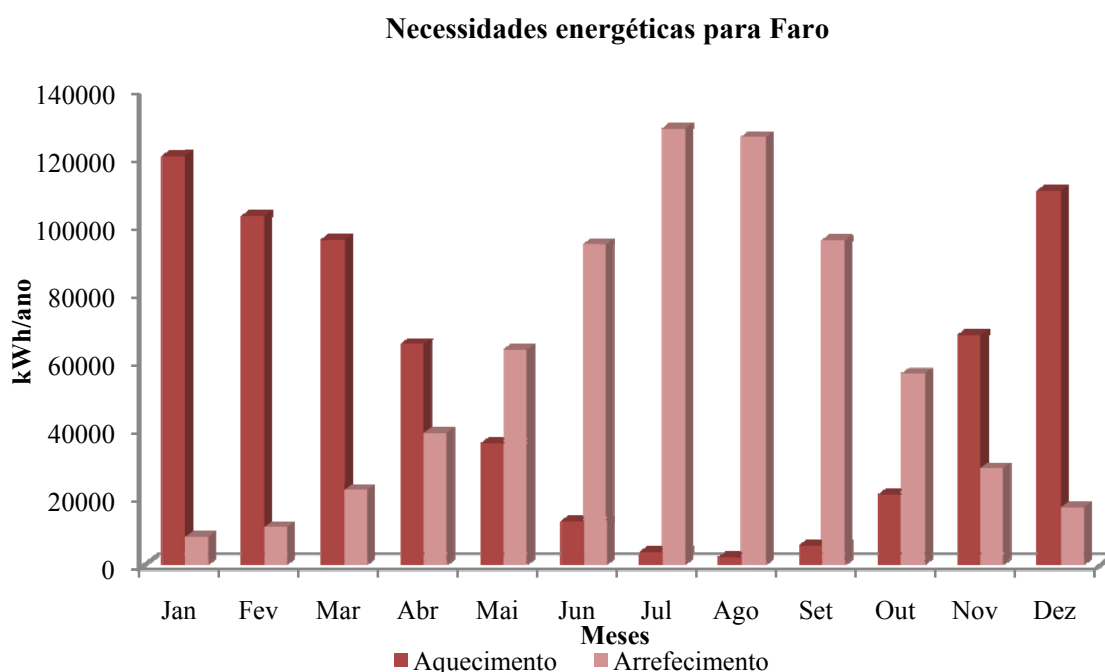


Figura 22: Necessidades de aquecimento e arrefecimento para o caso base.

Através da análise do gráfico acima ilustrado constata-se que a estação convencional de arrefecimento para a cidade de Faro refere-se aos meses de Maio a Outubro uma vez que a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas é maior nesta altura, sendo para tal necessário um arrefecimento ambiente mais acentuado nessa altura no interior do edifício. De referir igualmente que os meses com maiores necessidades de aquecimento são os meses de Janeiro e Dezembro pois são aqueles que possuem as temperaturas exteriores mais baixas, sendo neste caso necessário uma maior quantidade de energia para se conseguir as condições de conforto no interior do edifício.

Tabela 67: Resultado da simulação para Faro.

<i>Resultado da simulação</i>				
Aquecimento	641608	kWh	84.59	kWh/m ²
Arrefecimento	688184	kWh	90.73	kWh/m ²

Após determinar as necessidades de aquecimento e arrefecimento por simulação usou-se o mesmo método apresentado na simulação para a cidade do Porto para a determinação do valor final de energia consumida, contabilizando já o efeito dos ventiladores, iluminação, equipamento e preparação de AQS, sendo os resultados finais apresentados na Tabela 68.

Tabela 68: Valor de energia final consumida.

<i>Energia final</i>			
Aquecimento	641608 kWh/ano	84.59 kWh/m ² .ano	
Arrefecimento	688184 kWh/ano	90.73 kWh/m ² .ano	
Ventiladores	298947 kWh/ano	39.42 kWh/m ² .ano	
Iluminação	486927 kWh/ano	63.42 kWh/m ² .ano	
Equipamentos	465766 kWh/ano	61.40 kWh/m ² .ano	
AQS	218322 kWh/ano	28.78 kWh/m ² .ano	
<i>Total</i>	<i>2799754 kWh/ano</i>	<i>368.34 kWh/m².ano</i>	

Conhecidas que estão as necessidades energéticas para Faro parte-se neste momento para a atribuição da classe energética ao edifício através do indicador de eficiência energética, IEE, obtido de acordo com o anexo IX do RSECE.

Relativamente aos equipamentos considerados para o sistema de aquecimento e arrefecimento considerou-se que para o sistema de aquecimento foi utilizada uma caldeira a combustível gasoso e para o sistema de arrefecimento foi utilizado um Chiller.

Tabela 69: Análise energética para Faro.

IEE_I	IEE_V	Q_{equip}	Q_{out}/A_p	Q_{AQS}	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	[kgep/m ² .ano]	
13.2	7.3	17.8	18.6	2.5	59.4	D

Como se pode verificar através da análise da Tabela 69 não foi possível atingir o objectivo de se obter classificação A+ para o hotel, obtendo nesta altura a classificação D.

Avaliando os valores apresentados na tabela verifica-se que o factor que mais influencia a classificação energética é mais uma vez a parcela associada ao consumo de energia que não está ligado ao processo de climatização, isto é, Q_{out}/A_p . Uma outra parcela que tem uma importância significativa para este resultado corresponde ao valor do indicador de eficiência energética para a estação de aquecimento.

3.6.2 Resumo dos resultados obtidos

Na tabela seguinte é apresentado um resumo das necessidades de energia para as estações de aquecimento e arrefecimento, comparando-as com as obtidas no caso base.

Tabela 70: Resumo da economia de energia útil.

	Aquecimento		Arrefecimento	
	kWh/m²	Economia	kWh/m²	Economia
<i>Caso base</i>	103.61	[-]	111.13	[-]
<i>Modificação da solução construtiva</i>	103.14	0.5%	110.80	0.3%
<i>Iluminação mais eficiente</i>	111.99	-8.1%	82.39	25.9%
<i>Alteração dos envidraçados I</i>	107.68	-3.9%	89.61	19.4%
<i>Alteração dos envidraçados II</i>	100.92	2.6%	125.33	-12.8%
<i>Alteração dos envidraçados III</i>	109.97	-6.1%	79.64	28.3%
<i>Alteração dos envidraçados IV</i>	106.87	-3.1%	93.57	15.8%
<i>Recuperação de calor</i>	27.29	73.7%	157.94	-42.1%
<i>Ventilação mais eficiente</i>	94.10	9.2%	100.93	9.2%

Tabela 71: Matriz de resultados finais de simulação e respectiva economia de energia final e primária para Faro.

	Aquecimento		Arrefecimento		Iluminação		Equipamento		AQS		Total		Economia	Classe Energética
	Energia Final	IEE _I	Energia Final	IEE _V	Energia Final	Q _{Illum} /A _p	Energia Final	Q _{Equip} /A _p	Energia Final	Q _{AQS} /A _p	Energia Final	IEE _I		
	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	kWh/m ²	kgep/m ²	[%]	
Caso Base	103.61	13.17	111.13	7.34	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	369.12	59.41	[-]	D
Bomba de calor	103.61	11.05	111.13	7.34	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	369.12	57.30	3.6%	D
Caldeira de condensação	103.61	11.81	111.13	7.34	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	369.12	58.05	2.3%	D
Iluminação eficiente	223.33	14.62	35.77	5.60	24.86	7.21	61.41	17.81	28.78	2.48	309.44	47.71	19.7%	C
Alteração da envolvente	103.14	13.12	110.80	7.33	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	368.33	59.35	0.1%	D
Alteração do envidraçado I	107.68	14.00	89.61	6.06	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	351.67	58.96	0.8%	D
Alteração do envidraçado II	109.97	14.46	79.64	5.45	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	344.00	58.81	1.0%	D
Alteração do envidraçado III	106.87	13.84	93.57	6.30	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	354.83	59.04	0.6%	D
Recuperação de calor	27.29	4.67	157.94	14.13	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	339.62	57.70	2.9%	D
Uso de colectores solares	103.61	13.17	111.13	7.34	64.20	18.62	61.41	17.81	17.20	1.47	357.53	58.41	1.7%	D
Ventiladores mais eficientes	94.10	10.55	100.93	5.86	64.20	18.62	61.41	17.81	28.78	2.48	349.42	55.32	6.9%	C

3.6.3 Conjugação das melhores medidas

Neste ponto será efectuada uma conjugação das alterações que se traduzirão num impacto positivo na economia de energia, resultando numa poupança significativa no que respeita às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e também na preparação de águas quentes sanitárias. O critério utilizado para esta conjugação é aquele que produz uma poupança de energia igual ou superior a 2.5%, sendo essas medidas apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 72: Conjugação das melhores medidas de poupança energética.

Substituição da caldeira a gás por uma bomba de calor
Alteração da taxa de iluminação para um sistema mais eficiente
Recurso a colectores solares para preparação de AQS
Sistema de ventiladores mais eficiente
Recuperação de calor

Tabela 73: Consumo de energia para simulação com a conjugação das melhores medidas.

IEE_I	Eficiência do Sistema de aquecimento	IEE_V	Eficiência do sistema de arrefecimento	Q_{out}/A_p	IEE_{nom}	Classe Energética
[kgep/m ²]	[COP]	[kgep/m ²]	[COP]	[kgep/m ²]	[kgep/m ²]	
2.7	4	5.0	3	26.5	34.2	B

Tabela 74: Economia de energia útil.

	Resultado da simulação			Economia	
Aquecimento	148740	kWh	19.61	kWh/m ²	77 %
Arrefecimento	452893	kWh	59.71	kWh/m ²	34 %

Tabela 75: Economia de energia final e primária.

	Energia final			Economia	
Aquecimento	222648	kWh/ano	29.35	kWh/m ² .ano	77%
Arrefecimento	677933	kWh/ano	89.38	kWh/m ² .ano	34%
Ventiladores	298948	kWh/ano	39.41	kWh/m ² .ano	0%
Iluminação	188589	kWh/ano	24.86	kWh/m ² .ano	61%
Equipamentos	465766	kWh/ano	61.41	kWh/m ² .ano	0%
AQS	130430	kWh/ano	17.20	kWh/m ² .ano	40%
Total	1685365	kWh/ano	222.20	kWh/m².ano	40%

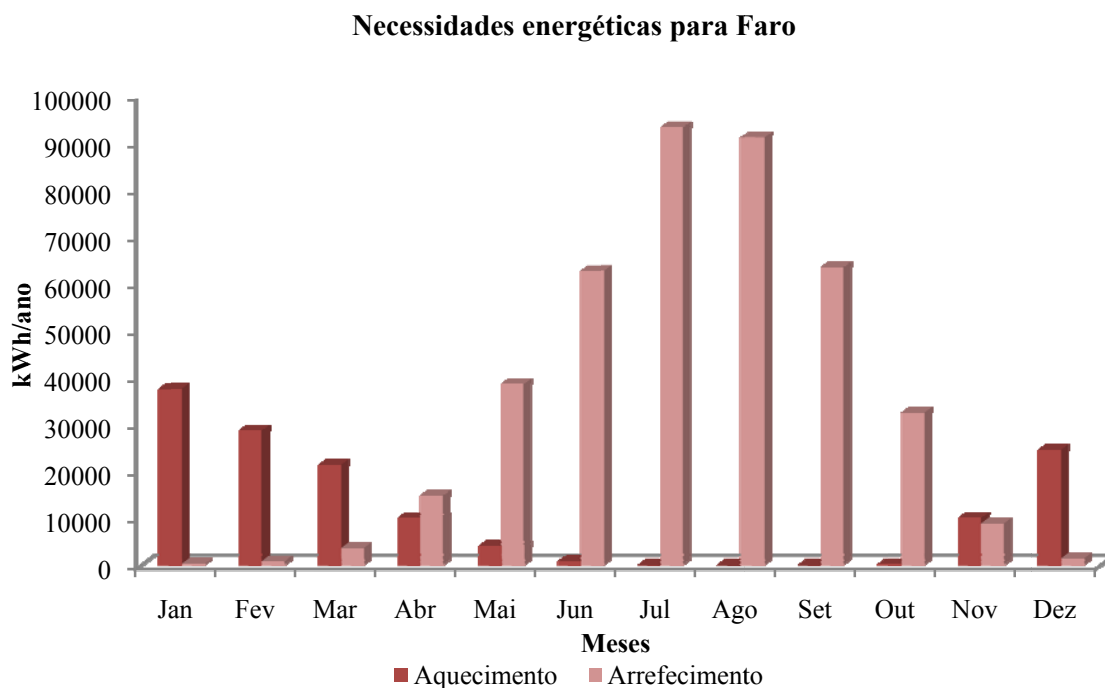


Figura 24: Necessidades de aquecimento e arrefecimento após modificações para Faro.

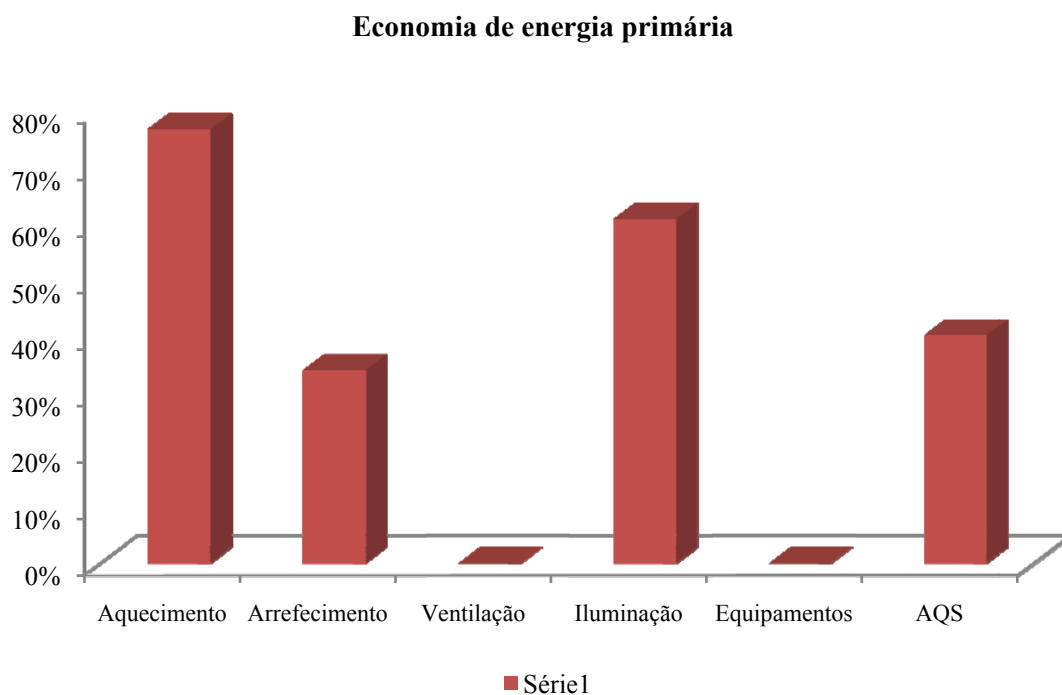


Figura 23: Resumo da economia de energia após modificações.

Como se pode verificar através dos resultados acima apresentados a conjugação de medidas traduz-se numa poupança de energia de 40%, relativamente ao caso base, passando o edifício a obter classe energética B. Esta poupança no consumo final de energia deve-se em grande parte à diminuição de consumo de energia para aquecimento e iluminação, correspondendo a poupanças de 77% e 61%, respectivamente.

4. Análise de Resultados

Neste capítulo serão analisados todos os resultados obtidos anteriormente para as seis localizações estudadas, verificando quais são as necessidades energéticas para cada uma das regiões e qual o impacto causado pelas alterações assumidas no recorrer deste trabalho.

A análise será efectuada em fases separadas, contendo cada uma delas o seguinte objectivo:

1. Estudo da influência da zona climática na determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento, e também no valor da energia primária para o caso base;
2. Verificação da influência das alterações tecnológicas no valor final das necessidades de aquecimento, arrefecimento e energia primária;
3. Determinação da classificação energética em cada uma das diferentes zonas após conhecer a melhor conjugação de alterações.

4.1 Influência da zona climática para o caso base

Na tabela seguinte é apresenta-se um resumo das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento, o valor de IEE e a respectiva classe energética associada a cada zona climática. Esta tabela corresponde a um resumo das necessidades energéticas de um edifício hoteleiro tipo, com as mesmas características de envolvente, envidraçados, ganhos internos, renovação de ar e também os equipamentos associados ao aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS.

Tabela 76: Resumo das necessidades de energia para as diferentes zonas climáticas.

Zona Climática	F_{CI} F_{CV}		Q_{aq}	Q_{arr}	Q_{out}	Q_{total}	IEE	Classe Energética
			$kWh/m^2.ano$	$kWh/m^2.ano$	$kWh/m^2.ano$	$kWh/m^2.ano$	$kg_{ep}/m^2.ano$	[-]
Bragança	0.38	0.89	179.34	72.39	154.39	406.12	55.7	C
Porto	0.65	1.00	153.21	63.11	154.39	370.71	60.5	D
Manteigas	0.36	1.00	211.42	54.59	154.39	420.40	55.4	C
Lisboa	0.85	0.50	128.04	94.17	154.39	376.59	59.6	D
Évora	0.74	0.50	133.58	104.45	154.39	392.42	58.5	D
Faro	0.95	0.50	103.59	111.13	154.39	369.12	59.4	D

Ao analisar a tabela acima verifica-se que as zonas que estão sujeitas a invernos mais rigorosos são aquelas que apresentam as necessidades totais de energia mais elevadas como consequência da elevada necessidade em energia de aquecimento necessária para manter o

ambiente dentro dos perfis de temperatura desejados e assumidos de 20°C para a estação de aquecimento e 25°C para a estação de arrefecimento.

Para visualizar melhor essas diferenças são apresentados em seguida dois gráficos onde é possível visualizar melhor a influência das zonas climáticas nas necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício.

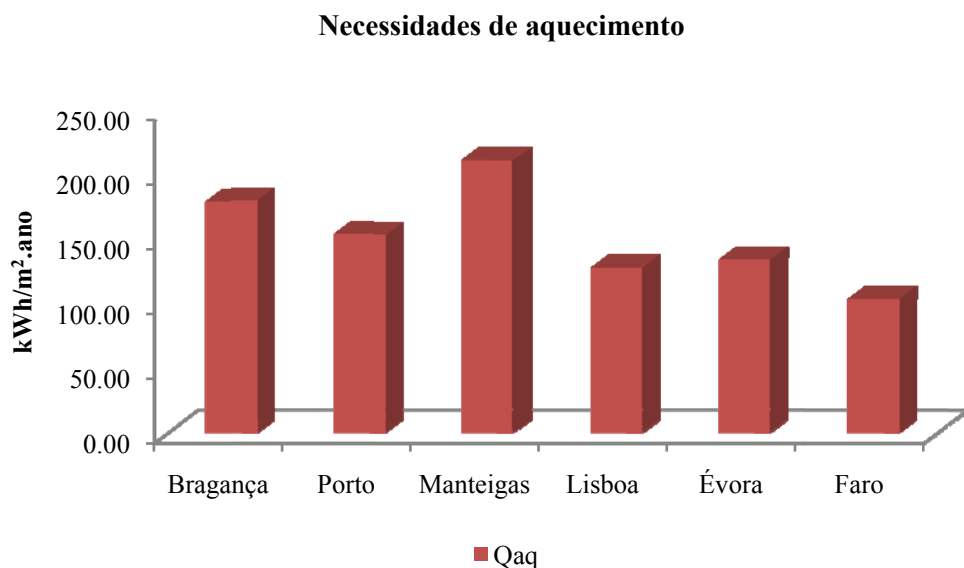


Figura 25: Resumo das necessidades de aquecimento para as diferentes zonas climáticas.

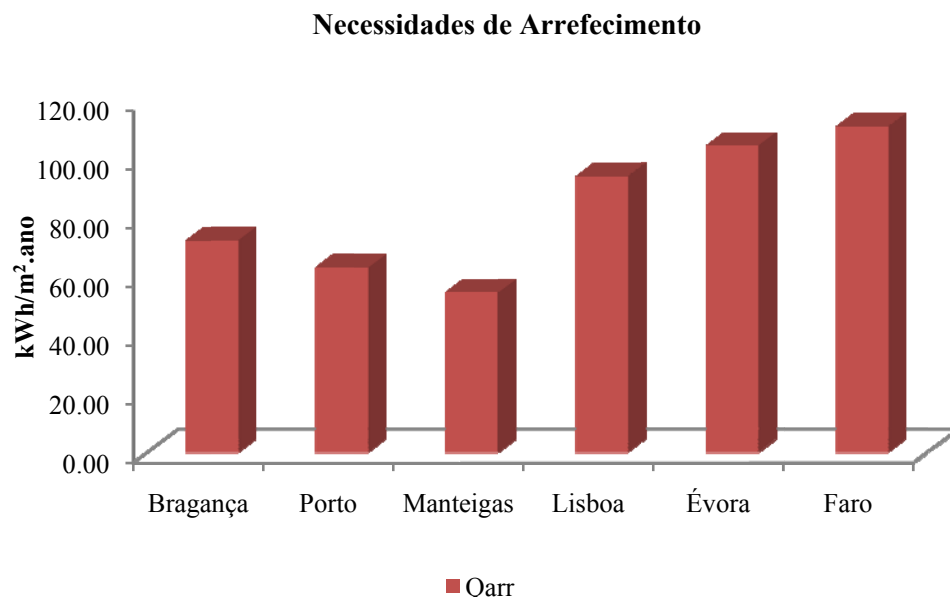


Figura 26: Resumo das necessidades de arrefecimento para as diferentes zonas climáticas.

Da análise dos gráficos acima verifica-se que as zonas climáticas situadas na região norte e também no interior do país são aquelas que apresentam maiores necessidades de aquecimento ambiente quando comparadas com as regiões do sul. Esta diferença é consequência da existência de temperaturas exteriores mais baixas e invernos mais rigorosos, sobretudo na zona de Bragança e Manteigas onde se atingem frequentemente temperaturas negativas, sendo para tal necessária uma maior quantidade de energia para conseguir manter o edifício a 20°C.

No sentido oposto, as necessidades de arrefecimento são maiores, como seria de esperar, no sul do país, nomeadamente nas cidades de Lisboa, Évora e Faro, como consequência da existência de temperaturas exteriores mais elevadas quando comparadas com as restantes regiões.

Depois da análise efectuada para as necessidades de aquecimento e arrefecimento é apresentado em seguida um gráfico onde se traduz a diferença energia final entre as várias zonas climáticas do nosso país assumidas para este estudo.

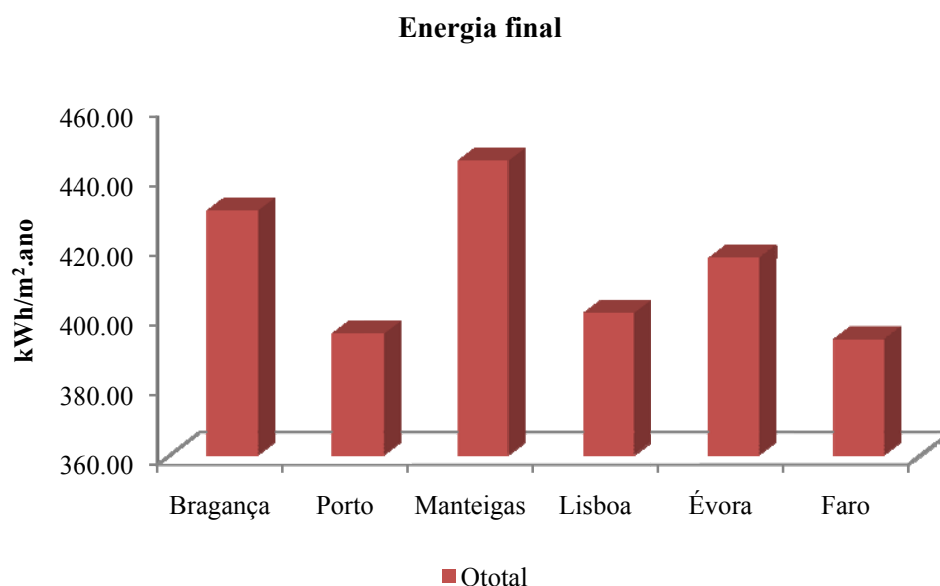


Figura 27: Valores de energia final para as diferentes zonas climáticas.

Ao analisar a Figura 27 verifica-se que, como seria de esperar, as zonas climáticas que necessitam de mais energia para conseguir atingir o objectivo de manter o edifício a 20°C na estação de aquecimento e 25°C na estação de arrefecimento corresponde às zonas de Bragança e Manteigas onde as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do edifício são maiores.

Avaliando agora o valor do indicador de eficiência energética, IEE, calculado de acordo com a expressão (7), verifica-se neste caso que a colocação de um mesmo edifício em diferentes zonas climáticas se traduz na atribuição da mesma classe energética para todas as zonas. Contudo, há um facto interessante que se deve frisar que é o facto de o edifício com melhor eficiência, isto é, com o valor de IEE mais baixo, se apresentar em Manteigas e em Bragança, precisamente as duas zonas com maiores necessidades de energia para manter o espaço climatizado.

Uma das justificações possíveis para esta situação prende-se com a influência que o factor de correcção climática, F_{CI} e F_{CV} , tem na determinação do valor final do IEE. Na tabela abaixo são apresentados os valores de IEE referentes ao aquecimento, arrefecimento e outros equipamentos não ligados ao processo de aquecimento e arrefecimento utilizados para determinar o valor final de IEE a associar ao edifício localizado em cada zona climática.

Tabela 77: Resumo dos valores de $IEE_{aquecimento}$ e $IEE_{arrefecimento}$

<i>Zona climática</i>	F_{CI}	F_{CV}	IEE_{aq} <i>kgep/m².ano</i>	IEE_{arr} <i>kgep/m².ano</i>	Q_{out}/A_p <i>kgep/m².ano</i>	IEE <i>kgep/m².ano</i>	<i>Classe energética</i>
<i>Bragança</i>	0.38	0.89	8.7	8.2	38.9	55.8	C
<i>Porto</i>	0.65	1.00	13.2	8.3	38.9	60.4	D
<i>Manteigas</i>	0.36	1.00	9.6	6.8	38.9	55.3	C
<i>Lisboa</i>	0.85	0.50	14.5	6.2	38.9	60.2	D
<i>Évora</i>	0.74	0.50	12.9	6.7	38.9	58.5	D
<i>Faro</i>	0.95	0.50	13.2	7.3	38.9	59.3	D

Como se pode verificar ao analisar a Tabela 77 as zonas climáticas com as maiores necessidades de aquecimento são igualmente aquelas que possuem um factor de correcção climática para a estação de aquecimento mais baixo, o que proporciona uma redução significativa do valor final do $IEE_{aquecimento}$, como se pode constatar. Como consequência dessa diminuição do valor de $IEE_{aquecimento}$, o valor final de IEE vai ser, comparativamente com os restantes casos, mais baixo, tornando o edifício mais eficiente.

Um outro ponto que se verifica com a análise da tabela acima é o facto de os factores de correcção climática correspondentes à estação de aquecimento terem o valor mais baixo precisamente para as zonas climáticas que mais necessitam de energia para aquecimento, assim como para a estação de arrefecimento acontece o mesmo, isto é, factor de correcção climática mais baixa para maiores necessidades de arrefecimento.

Estes dados permitem dizer que o factor de correcção climática corresponde a um factor multiplicativo que favorece as regiões com situações mais críticas, quer para aquecimento, quer para arrefecimento.

4.2 Influência das alterações tecnológicas

Neste ponto verificar-se-á qual a influência que cada uma das alterações assumidas teve no desempenho energético do edifício em estudo, analisando se essas alterações surtiram efeito para uma poupança de energia final e consequentemente para uma melhor classificação energética para o edifício em causa.

Na Tabela 78 apresenta-se um breve resumo das alterações efectuadas no edifício, para cada uma das diferentes zonas climáticas.

Tabela 78: Resumo das soluções construtivas e tecnológicas usadas no caso base.

<i>Elemento</i>	<i>Solução construtiva/tecnológica</i>	
<i>Parede exterior</i>	1.5 cm de reboco + 11 cm de tijolo furado normal + caixa-de-ar + 4 cm de isolamento EPS + 11 cm de tijolo furado + 15cm de betão + 1.5 cm de reboco.	$U = 0.45 \text{ W/m}^2\text{°C}$
<i>Cobertura</i>	Ladrilhos de 4 cm + 8 cm de isolamento XPS + 5 cm de betão de enchimento + tela impermeabilizadora + 5 cm de betão de enchimento + 20 cm de laje de betão + 1.5 cm de reboco.	$U = 0.38 \text{ W/m}^2\text{°C}$
<i>Pavimento</i>	Madeira + leca + 3 cm de betonilha de regularização + 30 cm de laje de betão.	$1.21 \text{ W/m}^2\text{°C}$
<i>Envidraçado</i>	Vidro duplo com pelo menos um colorido na massa	$g_{\perp} = 0.431$
<i>Protecção Solar</i>	-	-
<i>Renovação de ar</i>	Valores assumidos de acordo com anexo VI do RSECE	-
<i>Colectores solares</i>	-	-
<i>Sistema para aquecimento ambiente</i>	Caldeira de condensação	$\eta = 1.05$
<i>Sistema para arrefecimento ambiente</i>	Bomba de calor	COP 3
<i>Sistema de preparação de AQS</i>	Caldeira mural com acumulação	$\eta = 0.9$

De referir que o edifício foi simulado para as seis zonas climáticas definidas anteriormente com as características apresentadas na tabela acima, sendo obtidos os resultados apresentados no capítulo 4.1.

Como referido anteriormente, foram adoptadas uma série de alterações, quer ao nível da envolvente exterior como também ao nível dos sistemas para aquecimento ambiente e preparação das AQS, envidraçados e protecção solar, recuperação de calor, no qual os resultados foram apresentados ao longo do capítulo 3 aquando do estudo de sensibilidade.

Como se pode verificar nesses resultados nem todas as alterações foram benéficas para um melhor desempenho do edifício, e algumas foram pouco benéficas. É essa análise que será efectuada em seguida.

As primeiras alterações efectuadas no estudo de sensibilidade foram a substituição do sistema de aquecimento ambiente com caldeira a combustível gasoso por um sistema de bomba de calor com um COP de 4 verificando-se que em todas as cidades essa troca se tornaria benéfica no valor final de energia primária. Contudo, esse benefício na poupança de energia já era de esperar pois embora alimentada por electricidade o valor da eficiência da bomba de calor é consideravelmente superior ao da caldeira a combustível gasoso, o que na determinação do valor final do IEE se reflecte numa diminuição desse valor.

De igual modo, a substituição do sistema de aquecimento existente no caso base por uma caldeira de condensação traduz-se numa poupança de energia, pela mesma razão anterior, na qual o rendimento deste tipo de caldeiras é superior a uma caldeira convencional.

Relativamente à alteração da envolvente verificou-se que as alterações efectuadas não surtiram efeitos significativos para uma melhoria significativa das necessidades, quer de aquecimento, quer de arrefecimento.

i. Efeito da alteração da iluminação

Avaliando agora o efeito da mudança da taxa de iluminação verifica-se que esta alteração é aquela que mais efeito produz no resultado final, produzindo em praticamente todas as cidades poupanças de energia primária na ordem dos 20%. Na tabela seguinte apresenta-se a influência que a mudança do sistema de iluminação no resultado final.

Tabela 79: Resumo das necessidades de energia após alterar o perfil de iluminação.

<i>Zona Climática</i>	<i>IEE_{aq}</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE_{arr}</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Q_{out}/A_p</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Redução do IEE</i> <i>[%]</i>	<i>Classe energética</i>
<i>Bragança</i>	9.6	5.6	27.5	42.7	23.0	B -
<i>Porto</i>	14.5	5.0	27.5	47.0	22.0	C
<i>Manteigas</i>	10.2	4.5	27.5	42.2	24.0	B -
<i>Lisboa</i>	15.9	4.5	27.5	47.9	20.0	C
<i>Évora</i>	14.1	5.1	27.5	46.7	20.0	C
<i>Faro</i>	14.6	5.6	27.5	47.7	20.0	C

Comparando os valores obtidos após a alteração do sistema de iluminação por um outro mais eficiente verifica-se que em todos os casos existem melhorias significativas no valor final de consumo de energia, como se pode comprovar verificando o IEE em cada um dos casos. Esta melhoria deve-se essencialmente ao facto da parcela Q_{out}/A_p ter decrescido de forma considerável, em consequência da diminuição do consumo de energia ligada à iluminação dos espaços. Um outro facto que também se pode observar é o aumento das necessidades de energia para aquecimento e a diminuição das necessidades de energia para o arrefecimento.

No entanto, estes resultados já eram esperados pois, com a redução da taxa de iluminação de 10 W/m^2 em todos os espaços para $2,5 \text{ W/m}^2$ para os quartos e 7 W/m^2 para as restantes áreas, o edifício ficou sem a energia libertada pelas lâmpadas e que servia como um ganho considerável na estação de aquecimento pois contribuía de forma significativa para o aquecimento do local. Em sentido inverso, para a estação de arrefecimento essa alteração traduz-se numa melhoria pois com esta redução de energia por parte da iluminação, menos energia tem que se retirar do espaço para arrefecer o ambiente.

Passando agora à análise sobre a influência da alteração dos envidraçados verifica-se que estes têm grande influência nos ganhos térmicos do edifício.

Como foi referido, e apresentado anteriormente, efectuaram-se quatro propostas de alteração ao vão envidraçado, incluindo o efeito de sombreadores quer interiores, quer exteriores, e também trocando o vão envidraçado base por outro tipo.

No caso base o vão envidraçado era composto por um vidro duplo com pelo menos um dos vidros colorido na massa. Este tipo de vão envidraçado caracteriza-se pelo vidro ser produzido com pequenas adições de óxidos de metal que passam a fazer parte da constituição deste, tingindo-o de diversas cores. A função dessas adições de óxidos prende-se com a capacidade de gerar cores fracas pela transmissão da luz, isto é, a forma colorida do envidraçado faz com que se transmita pouca luz através do envidraçado, evitando por esta razão que se gerem ganhos internos elevados devido à radiação solar.

Na tabela seguinte são apresentadas as características das propostas de alteração do vão envidraçado do edifício, com valores retirados do programa Wis, estando as propriedades ópticas dos mesmos apresentadas em anexo.

Tabela 80: Características do envidraçado base e propostas de alteração.

<i>Descrição</i>	U [W/m ² .°C]	$g_{\perp}$
<i>Caso Base</i> – Vidro duplo com pelo menos um colorido na massa sem efeito de cortina interior	6.31	0.431
<i>Proposta 1</i> – Vidro duplo com pelo menos um colorido na massa com efeito de cortina interior	2.12	0.336
<i>Proposta 2</i> – Vidro duplo incolor com efeito de cortina interior	2.12	0.304
<i>Proposta 3</i> – Vidro duplo incolor com efeito de estore exterior	2.16	0.236

Após efectuar as alterações dos envidraçados em todas as cidades verificou-se que em todos os casos existem melhorias relativamente ao consumo final de energia primária.

No entanto, aquele que surte um maior efeito de economia no valor final da energia primária corresponde à proposta três principalmente devido à diminuição das necessidades de arrefecimento. Seguidamente serão apresentados dois gráficos que mostram qual a influência da alteração dos envidraçados e também o efeito do sombreamento no valor final das necessidades de aquecimento e arrefecimento.

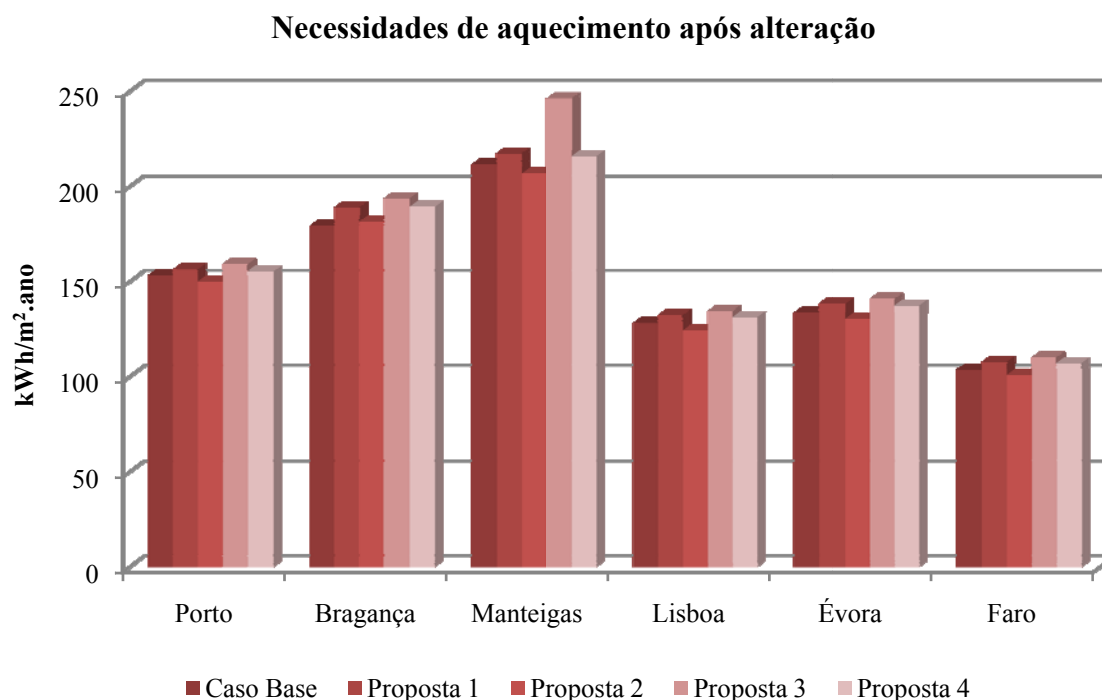


Figura 28: Influência dos diferentes vãos envidraçados nas necessidades de aquecimento.

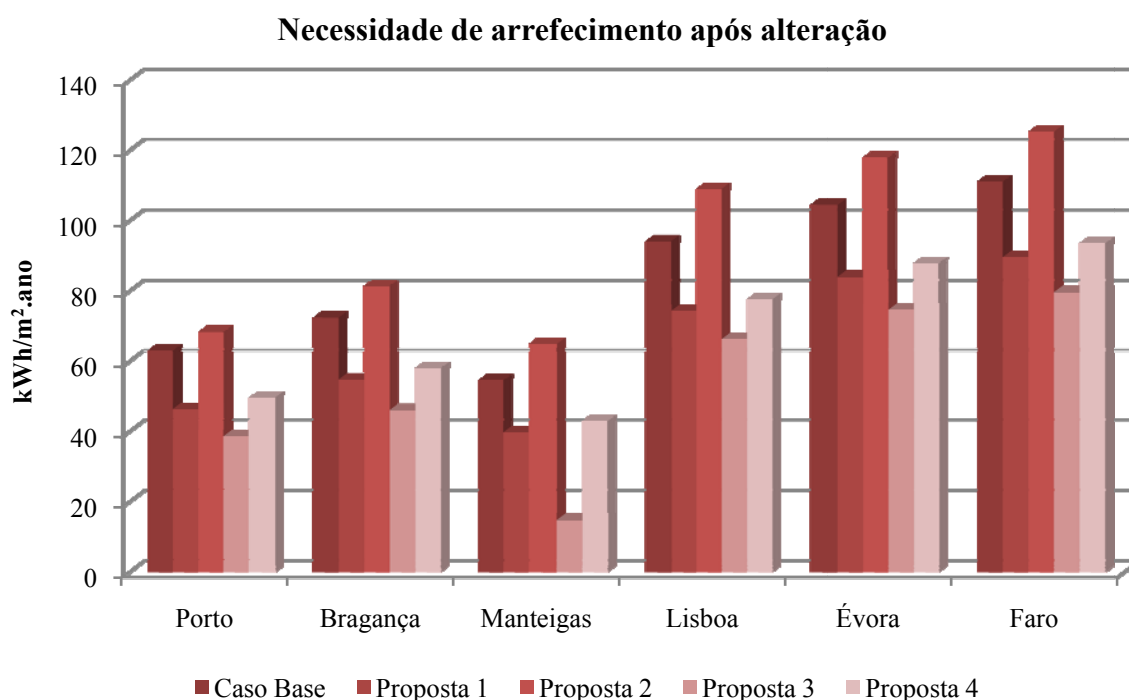


Figura 29: Influência dos diferentes vãos envidraçados nas necessidades de arrefecimento.

Como se pode verificar analisando o gráfico correspondente às necessidades de aquecimento as alterações em que existe a introdução um dispositivo de sombreamento são aquelas que necessitam de uma maior necessidade de energia para aquecimento ambiente. A razão deste aumento das necessidades de energia deve-se essencialmente à oposição de entrada da radiação solar no espaço, o que, para a estação de aquecimento se traduz num

aumento da produção de energia para conseguir manter o espaço ambiente dentro dos parâmetros de controlo definidos. Em contrapartida, para as necessidades de arrefecimento a introdução de dispositivos de sombreamento corresponde a uma poupança de energia pois neste caso não é necessária tanta energia para promover o arrefecimento pois os ganhos associados à radiação solar são igualmente menores.

ii. Efeito da recuperação de calor

Analisando seguidamente o efeito da recuperação de calor verifica-se que esta tem um efeito importante na redução das necessidades de aquecimento ambiente do edifício em estudo.

Como foi referido em todos os estudos de sensibilidade relativos à recuperação de calor considerou-se que a recuperação de calor era efectuada por um permutador com eficiência de 80%, isto é, em 1 m³/h de ar insuflado no espaço, 0.8 m³/h seriam aquecidos gratuitamente, sendo apenas necessário aquecer 0.2 m³/h de ar novo.

Verificando esta situação para o mesmo edifício, mas para zonas diferentes, obtiveram-se resultados distintos para as diferentes zonas. A consideração efectuada para estudar a influência da recuperação de calor teve como base os seguintes critérios:

1. A recuperação de calor só faz sentido nas estações Primavera, Outono e Inverno. No Verão não se faz recuperação de calor pois a necessidade nesta estação é a remoção de calor do interior do espaço e não recuperar o que está lá dentro;
2. Durante a Primavera, Outono e Inverno existem dois ventiladores (um para extracção e outro para insuflação), enquanto que no Verão, uma vez que não existe recuperação de calor, só se utiliza um único ventilador;
3. As necessidades de arrefecimento para todas as estações são as mesmas do caso base.

Utilizando estes critérios obtiveram-se os valores apresentados em seguida.

Tabela 81: Resumo das necessidades de energia com recuperação de calor.

Cidade	Caso Base		Rec. Calor		Q_{out}/A_p [kgep/m ² .ano]	IEE_{Base} [kgep/m ² .ano]	$IEE_{Rec.}$ [kgep/m ² .ano]	Redução do IEE [%]
	Q_{Aq}	Q_{Arr}	Q_{Aq}	Q_{Arr}				
Porto	153.21	63.11	83.65	64.75	38.9	60.46	59.52	1.5
Bragança	179.34	72.39	115.43	74.22	38.9	55.75	55.60	0.3
Manteigas	212.42	54.59	129.03	75.64	38.9	55.36	59.80	-8.0
Lisboa	128.04	94.17	43.42	137.36	38.9	59.59	58.09	2.5
Évora	133.58	104.45	43.97	147.92	38.9	58.53	57.70	1.4
Faro	103.61	111.13	27.29	157.94	38.9	59.41	57.70	2.9

Como se pode verificar ao analisar a tabela acima, com recuperação de calor as necessidades de aquecimento diminuem, como seria de esperar. No entanto, e apesar de as necessidades de arrefecimento serem as mesmas do caso base, o valor da energia final referente ao arrefecimento aumenta, o que não deveria acontecer. No entanto, este aumento deve-se à influência dos ventiladores, isto é, ao contrário do caso base em que só existe insuflação, na recuperação de calor existem dois ventiladores durante praticamente todo o ano. Este factor leva a concluir que o que se diminui em necessidades de aquecimento será aumentado no consumo dos ventiladores.

Contudo, olhando para os valores obtidos, verifica-se que a recuperação de calor é rentável em todas as cidades, pois todas elas “ganham” com o aproveitamento da energia contida no ar de extracção para nova utilização. Só na zona climática das Penhas Douradas isso não acontece, verificando-se um prejuízo de 8.0% no valor final de energia primária. Como foi explicado anteriormente, as necessidades de aquecimento baixaram com a recuperação de calor mas ao mesmo tempo verifica-se um aumento nas necessidades finais de arrefecimento, fruto do aumento do consumo dos ventiladores.

iii. Efeito da instalação de colectores solares

Como foi referido no ponto 3.2.1.7 a instalação de sistemas que utilizem fontes renováveis de energia para a preparação de AQS é obrigatória. No entanto, no caso base não se considerou tal cenário, pelo que neste ponto será demonstrada a influência da instalação de colectores solares. Relativamente aos resultados obtidos, verificou-se que estes trazem uma melhoria pouco significativa no valor final de energia primária.

Para este caso de estudo adoptou-se como sistema de aproveitamento solar para preparação de AQS colectores de plano selectivo de elevada eficiência, com $\eta_0 = 0.76$ e $a_1 = 2.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, para uma área útil para instalação de 76.3 m^2 , o que permite a instalação de 41 módulos e no qual se obtiveram os seguintes valores de energia solar, apresentados na tabela seguinte.

Tabela 82: Resumo da energia fornecida pela componente solar para preparação de AQS.

<i>Cidade</i>	<i>Energia fornecida</i> <i>[kWh.ano]</i>	<i>Redução do IEE</i> <i>[%]</i>
<i>Porto</i>	76090	1.4
<i>Bragança</i>	83823	1.7
<i>Manteigas</i>	81865	1.7
<i>Lisboa</i>	85313	1.6
<i>Évora</i>	88893	1.7
<i>Faro</i>	87892	1.7

Como se pode verificar o recurso a colectores solares traduzem neste caso a uma poupança pouco significativa relativamente ao caso base. Uma das justificações possíveis para estes valores prende-se com a área disponível para instalação dos colectores solares, isto é, devido à geometria de construção do edifício e também à sua orientação a área disponível

para instalação de colectores para apoio solar é reduzida, o que se traduz num apoio quase que insignificante de componente solar para preparação de AQS. Uma forma de rentabilizar o apoio solar passaria por uma mudança na geometria do edifício, passando os espaços na cobertura correspondentes à casa das máquinas, escritório e hall para a ala norte do edifício, aumentando desta forma a área para instalação de colectores solares significativamente maior, o que também se reflectia no aumento do apoio solar para preparação de AQS.

iv. Efeito da instalação de sistema de ventilação mais eficiente

Por fim, a substituição dos ventiladores existentes por outros mais eficientes também se traduz numa poupança significativa no consumo de energia por parte do edifício. Assim, considerou-se agora um SFP de 0.2 W/m³/h, em troca com um SFP de 0.4 W/m³/h. Esta alteração indica que todo o sistema de ventilação passa a ser mais eficiente, desde os ventiladores ao sistema de distribuição de ar nos espaços, traduzindo-se no final numa poupança em energia eléctrica relevante.

Tabela 83: Resumo das necessidades de energia com ventiladores mais eficientes.

Zona Climática	Q_{Aq} [kWh.m ² .ano]		Q_{Arr} [kWh.m ² .ano]		Redução do IEE [%]	Classe energética
Porto	153.21 ¹⁰	139.25 ¹¹	63.11	57.36	7.1	C
Bragança	179.34	165.30	72.39	66.72	5.4	C
Manteigas	212.42	195.76	54.59	50.55	5.1	C
Lisboa	128.04	116.69	94.17	85.81	6.8	C
Évora	133.58	122.52	104.45	95.80	6.2	C
Faro	103.61	94.10	111.13	100.93	6.9	C

Como se pode verificar na tabela acima a mudança de ventiladores trouxe algumas melhorias ao nível do valor final da energia consumida para climatizar o edifício, conseguindo assim atingir a classe C de eficiência.

4.3 Conjugação das melhores soluções

Como foi assumido anteriormente aquando do estudo de sensibilidade para cada uma das zonas climáticas, a conjugação das melhores soluções contempla as alterações que tiveram uma melhoria superior a 2,5% no valor final do consumo de energia. Contudo, considerou-se sempre para todos os casos o recurso a colectores solares por serem equipamentos de fonte de energia renovável e mesmo que favoreçam pouco, reduzem sempre alguma quantidade de energia primária no final, contribuindo para uma melhoria da classe energética. Na Tabela 84 será feito um resumo das alterações que mais contribuíram para uma melhoria da eficiência energética do edifício para cada zona climática, de acordo com o critério assumido anteriormente.

¹⁰ Caso Base

¹¹ Simulação com ventilação mais eficiente

Tabela 84: Mapa das alterações efectuadas em cada zona climática.

<i>Alteração efectuada</i>	<i>Porto</i>	<i>Bragança</i>	<i>Manteigas</i>	<i>Lisboa</i>	<i>Évora</i>	<i>Faro</i>
Substituição da caldeira a combustível gasoso ($\eta = 0.87$) por bomba de calor (COP 4)	●	●	●	●	●	●
Substituição da caldeira a combustível gasoso ($\eta = 0.87$) por caldeira de condensação ($\eta = 1.05$)	-	-	-	-	-	-
Alteração da taxa de iluminação para $2,5\text{W/m}^2$ para quartos e 7W/m^2 para restantes áreas	●	●	●	●	●	●
Alteração da envolvente ($e_{\text{isol, env}} = 80\text{ mm}$, $e_{\text{isol, cob}} = 100\text{ mm}$)	-	-	-	-	-	-
Colocação de protecção solar no vão envidraçado existente	-	-	-	-	-	-
Alteração do vão envidraçado existente por vidro duplo incolor sem protecção solar	-	-	-	-	-	-
Alteração do vão envidraçado existente por vidro duplo incolor com protecção solar interior	●	●	●	-	-	-
Alteração do vão envidraçado existente por vidro duplo incolor sem protecção solar exterior	-	-	-	-	-	-
Recuperação de calor	-	-	-	●	-	●
Uso de colectores solares para preparação de AQS ($\eta_0 = 76\%$ e $a_1 = 2.800\text{ W/m}^2.\text{K}$)	●	●	●	●	●	●
Substituição dos ventiladores existentes por outros mais eficientes ($\text{SFP} = 0,2\text{W/m}^3/\text{h}$)	●	●	●	●	●	●

● Alteração efectuada

Tabela 85: Resumo das necessidades de energia para os casos melhorados.

<i>Zona Climática</i>	F_{CI}	F_{CV}	Q_{Aq} [kWh/m ² .ano]	Q_{Arr} [kWh/m ² .ano]	IEE_I [kgep/m ² .ano]	IEE_V [kgep/m ² .ano]	Q_{out}/A_p [kgep/m ² .ano]	IEE [kgep/m ² .ano]	<i>Redução do IEE</i> [%]	<i>Classe Energética</i>
<i>Porto</i>	0.65	1.00	157.26	17.28	9.9	2.2	26.6	38.7	25	B
<i>Bragança</i>	0.38	0.89	189.65	26.84	6.6	2.7	26.5	35.8	24	B
<i>Manteigas</i>	0.36	1.00	216.99	16.42	7.1	1.9	26.6	35.6	24	B
<i>Lisboa</i>	0.85	0.50	40.13	87.42	4.8	6.8	26.5	38.1	39	B
<i>Évora</i>	0.74	0.50	129.99	71.6	9.0	4.1	26.5	39.6	22	B -
<i>Faro</i>	0.95	0.50	29.35	89.38	4.0	7.2	26.5	37.7	40	B

Valores de IEE

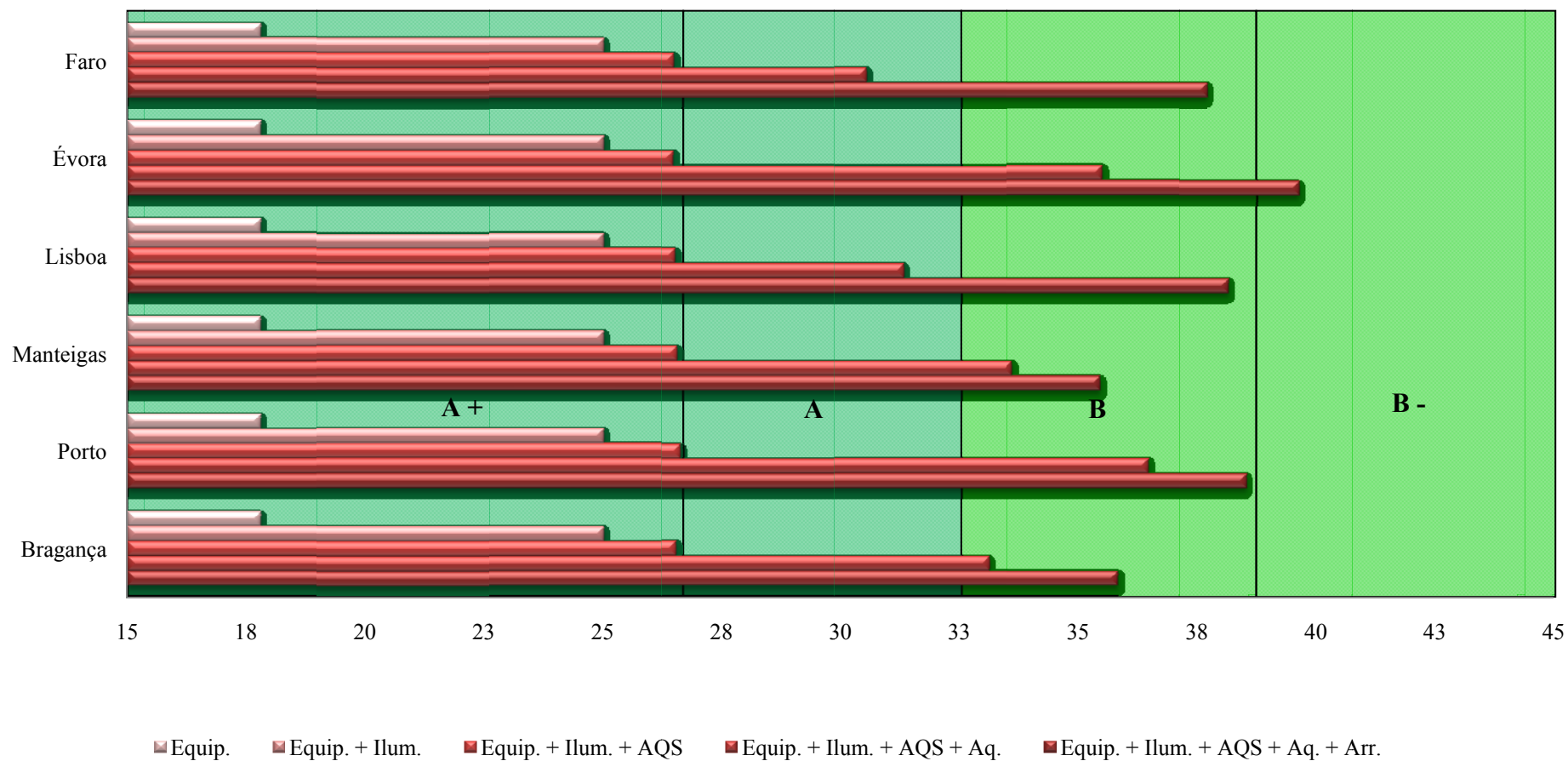


Figura 30: Resumo dos valores de IEE.

5. Pacote adicional de medidas de eficiência

Após estudar a influência das alterações construtivas e tecnológicas na determinação da classe energética do edifício em análise verificou-se que a melhor classificação obtida corresponde à classe B. Nota-se também que um dos principais causadores dessa atribuição energética é a parcela correspondente aos ganhos que não estão relacionados com o processo de aquecimento ou arrefecimento, pelo que são um ponto a focar neste novo capítulo.

Assim, uma das melhorias que se propõe fazer é a instalação de mais colectores solares para produção de AQS, recorrendo para isso a algumas propostas de ajuste da construção do edifício.

Uma outra medida adicional adoptada para tentar melhorar a eficiência do edifício foca-se numa alteração das dimensões do vão envidraçado existente. Uma vez que os ganhos pelos envidraçados são um dos principais responsáveis pelo total de ganhos internos no interior do edifício e também por ser uma área considerável adoptou-se como medida de melhoria uma diminuição da área do vão envidraçado, considerando agora uma janela mais pequena para cada quarto. No caso inicial, e atendendo às plantas do edifício, a área de envidraçado correspondia a 40% do total da envolvente exterior. No novo caso e considerando como vão envidraçado vidro duplo incolor com sombreamento interior a área de envidraçado passa para 30% do total da fachada exterior.

5.1 Aumento da área de colectores solares.

Como foi referido ao longo do relatório a cobertura do edifício permite a instalação de apenas 76,3 m² de área de colectores uma vez que existem espaços situados na ala sul do edifício que impedem a instalação de uma maior área.

Assim, existe uma área considerável que poderia ser aproveitada para a instalação dos painéis solares mas que devido a efeitos de sombreamento destes espaços existentes na cobertura tal não é possível, o que restringe o contributo da energia solar na preparação de AQS.

O objecto de estudo neste ponto incide sobre qual seria o fornecimento de energia solar caso a área disponível para colocação de colectores solares fosse maior do que aquela que existe na realidade. Para tal, assumiram-se as seguintes hipóteses, esquematizadas na Figura 31:

- Passagem dos espaços existentes na cobertura para a ala norte do hotel, deixando a parte sul da cobertura disponível para a instalação de colectores solares, passando a ter uma área disponível de 240 m²;
- Eliminação dos espaços existentes na cobertura passando a partir deste momento a ter toda a área disponível para instalação dos colectores, tendo agora uma área disponível de 405 m².

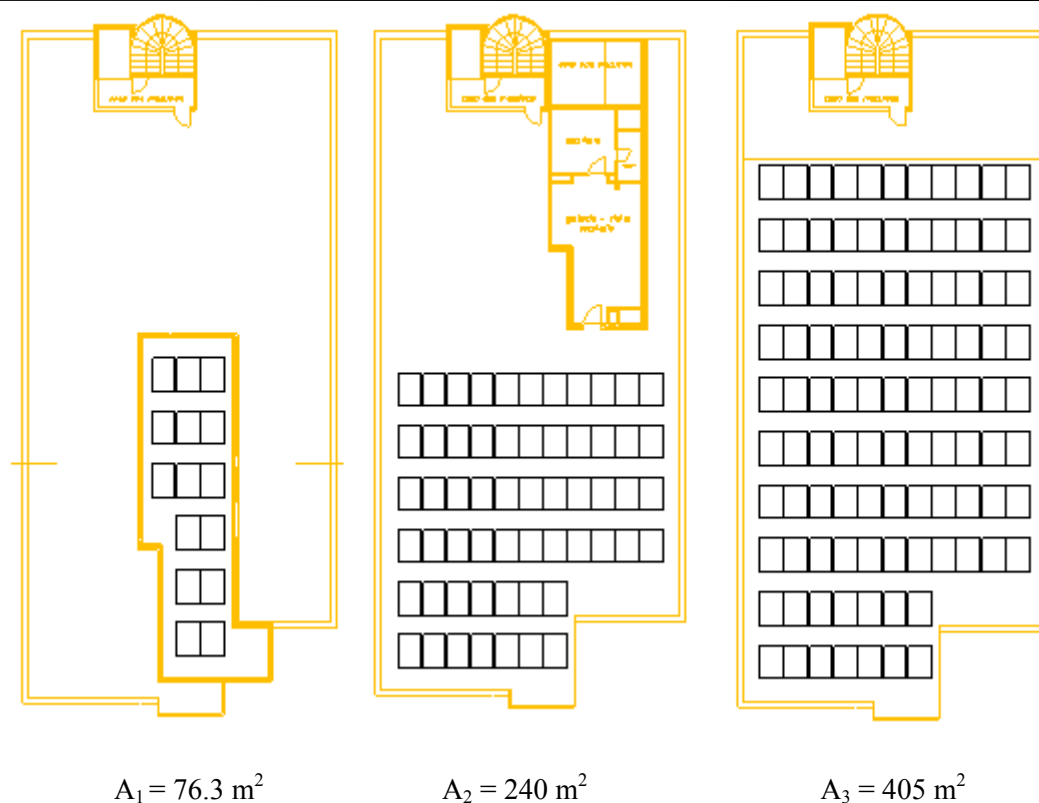


Figura 31: Representação esquemática da disposição da cobertura para instalação de colectores solares.

Tabela 86: Energia fornecida e produtividade obtida pelos colectores solares.

Zona Climática	Energia fornecida [kWh.ano] $A = 76.3 \text{ m}^2$	IEE_1 [kgep/m ² .ano]	Energia fornecida [kWh.ano] $A = 240 \text{ m}^2$	IEE_2 [kgep/m ² .ano]	Energia fornecida [kWh.ano] $A = 405 \text{ m}^2$	IEE_3 [kgep/m ² .ano]
Porto	76090 (998) ¹²	38.5 (B ¹³)	148628 (619)	37.7 (B)	158792 (392)	37.6 (B)
Bragança	83823 (1061)	34.9 (B)	152240 (639)	34.1 (B)	160809 (398)	34.0 (B)
Manteigas	81865 (1073)	35.4 (B)	159159 (663)	34.5 (B)	168497 (416)	34.4 (B)
Lisboa	85313 (1119)	38.3 (B)	150720 (628)	37.6 (B)	154249 (382)	37.5 (B)
Évora	88893 (1166)	38.8 (B)	152199 (634)	38.1 (B)	155406 (385)	38.0 (B)
Faro	87892 (1153)	37.5 (B)	148825 (620)	36.8 (B)	150973 (374)	36.8 (B)

Após efectuar o estudo no software Solterm 5.0 verificou-se que o aumento da área disponível para instalação de colectores traz, como é óbvio, uma diminuição do consumo final de energia para preparação de AQS, como consequência de uma maior energia que é

¹² Produtividade do colector – kWh/m².colector, segundo Solterm 5.0.

¹³ Classe energética

aproveitada da componente solar. No entanto, esse aumento de área para instalação de colectores faz com que, para o consumo diário de AQS assumido, a produtividade dos colectores também baixe significativamente, atingindo produtividades baixas.

Ora, não será todavia rentável a instalação de uma área significativa de colectores solares sabendo de antemão que estes não produzem no máximo das suas possibilidades, isto é, o investimento efectuado demoraria imenso tempo até ser amortizado. No entanto, este estudo de viabilidade económica não foi efectuado, sendo interessante numa possível continuação deste trabalho a determinação da viabilidade económica de tal investimento.

Assim, este estudo parece indicar que não adianta a instalação de colectores solares para áreas superiores a 240 m² pois a partir deste valor a produtividade cai substancialmente.

5.2 Alteração da área de envidraçados

Como descrito anteriormente os envidraçados são responsáveis por uma grande parte dos ganhos internos dos edifícios, nomeadamente na estação de arrefecimento, sendo por esta razão necessário o recurso a meios de protecção solar, nomeadamente cortinas ou estores.

Neste novo ponto foi reduzida a área de envidraçado de 42 m² para 30 m², correspondendo a uma diminuição do vão envidraçado em cerca de 10%. O vão envidraçado considerado corresponde à proposta de envidraçado dois (vidro duplo incolor com efeito de sombreamento interior) apresentada no estudo de sensibilidade para cada uma das zonas climáticas.

Tabela 87: Resumo das necessidades energéticas com a diminuição da área de envidraçado.

Cidade	IEE_{I_base} kgep/m ² .ano	IEE_I kgep/m ² .ano	Melhoria [%]	IEE_{V_base} kgep/m ² .ano	IEE_V kgep/m ² .ano	Melhoria [%]	Q_{out}/A_p kgep/m ² .ano
Bragança	6.6	6.7	-2%	2.7	1.6	41%	26.5
Porto	9.9	9.8	1%	2.1	2.0	5%	26.6
Penhas Douradas	7.1	7.1	0%	1.9	1.7	11%	26.5
Lisboa	6.8	6.4	6%	4.8	5.4	-13%	26.5
Évora	9.0	9.8	-9%	4.1	2.6	37%	26.5
Faro	4.8	6.0	-25%	7.2	5.0	31%	26.5

Esta redução de área de envidraçado traz acima de tudo uma diminuição das necessidades de arrefecimento mas ao mesmo tempo um aumento das necessidades de aquecimento como consequência da menor quantidade de radiação solar que entra através destes. No entanto o resultado final, como se pode verificar através da

Tabela 88, não sofre grandes alterações relativamente ao caso melhorado estudado anteriormente.

Tabela 88: Comparação do IEE para caso melhorado e para a nova medida aplicada para os envidraçados.

<i>Cidade</i>	<i>IEE_{Base}</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Economia</i> <i>[%]</i>
<i>Bragança</i>	35.80	34.86	3%
<i>Porto</i>	38.70	38.51	0%
<i>Manteigas</i>	35.60	35.36	1%
<i>Lisboa</i>	38.10	38.30	-1%
<i>Évora</i>	39.60	38.85	2%
<i>Faro</i>	37.70	37.52	0%

5.3 Resumo do pacote adicional de medidas de eficiência

Efectuado que está o estudo com as novas medidas de eficiência verificou-se que as alterações efectuadas tiveram pouco impacto no resultado final, traduzindo-se por poupanças de energia primária pouco significativas, exceptuando o caso da zona climática do Porto que passou de B – para classe B.

O resumo com os resultados obtidos após efectuar estas alterações está apresentado na página seguinte.

Grelha Final com pacote adicional de medidas

<i>Cidade</i>	<i>Sistema</i>	<i>IEE_I</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE_V</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Q_{out}/A_p - 1</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Q_{out}/A_p - 2</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Q_{out}/A_p - 3</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE₁</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE₂</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE₃</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>IEE_{Final}</i> <i>kgep/m².ano</i>	<i>Classe</i>
Bragança	1	6.71	1.61	26.54	25.77	25.67	34.86	33.99	33.99	33.99	B
	2	7.33	1.61	26.54	25.77	25.67	35.48	34.60	34.60		
Porto	1	9.80	2.08	26.63	25.81	25.69	38.51	37.69	37.57	37.57	B
	2	10.65	2.08	26.63	25.81	25.69	39.35	38.53	38.42		
Manteigas	1	7.08	1.72	26.57	25.69	25.58	35.36	34.48	34.38	34.38	B
	2	7.75	1.72	26.57	25.69	25.58	36.03	35.15	35.05		
Lisboa	1	6.40	5.38	26.53	25.78	25.74	38.30	37.56	37.52	37.52	B
	2	6.68	5.38	26.53	25.78	25.74	38.58	37.84	37.80		
Évora	1	9.79	2.57	26.49	25.77	25.73	38.85	38.13	38.09	38.09	B
	2	10.64	2.57	26.49	25.77	25.73	39.70	38.98	38.95		
Faro	1	5.99	5.03	26.50	25.81	25.78	37.52	36.83	36.81	36.81	B
	2	6.20	5.03	26.50	25.81	25.78	37.73	37.04	37.01		

Sistema 1 - Sistema de aquecimento com recurso a bomba de calor e sistema de arrefecimento com chiller

Sistema 2 - Sistema de aquecimento com recurso a caldeira de condensação e sistema de arrefecimento com chiller

Q_{out}/A_p – 1 – Outros ganhos considerando uma área de colectores de 76.3 m².

Q_{out}/A_p – 2 – Outros ganhos considerando uma área de colectores de 240 m².

Q_{out}/A_p – 3 – Outros ganhos considerando uma área de colectores de 405 m².

6. Conclusões

Neste trabalho estudou-se a influência das zonas climáticas de Portugal Continental na determinação da classe energética num edifício hoteleiro tipo, contabilizando qual o consumo de energia associada aos sistemas de aquecimento, arrefecimento e AQS.

Assim, verificou-se que em todos os casos base as soluções construtivas e tecnológicas consideradas não permitiam que o desempenho energético do edifício fosse o ideal, atingindo por esta razão classe “D” em zonas climáticas como Porto, Lisboa, Évora e Faro e classe “C” em Bragança e em Manteigas.

Uma das principais responsáveis pela atribuição de um fraco desempenho do edifício é a parcela corresponde aos outros ganhos não ligados aos sistemas de aquecimento e arrefecimento, Q_{out}/A_p .

Esta parcela corresponde à soma dos ganhos associados aos equipamentos, iluminação e AQS, sendo a componente referente aos equipamentos existentes no edifício que maior impacto causa no valor final de energia primária.

Dado que a densidade de equipamentos está regulamentada, não podendo ser alterada, o valor de Q_{out}/A_p terá de ser otimizado através da iluminação e da utilização de painéis solares para AQS.

Em relação aos factores de correcção climática verifica-se que estes favorecem as regiões mais críticas, quer as de aquecimento, quer as de arrefecimento, isto é, nota-se ao longo do estudo efectuado que as zonas com maiores necessidades de energia apresentam um IEE_{aq} próximo das zonas que não necessitam de tanta necessidade de aquecimento, acontecendo o mesmo para as zonas climáticas com necessidades de arrefecimento mais elevadas.

Relativamente aos vãos envidraçados verifica-se que o sombreamento tem uma influência significativa no valor final de energia primária pois ao restringir a entrada de radiação solar através destes, implica que as necessidades de arrefecimento sejam inferiores, o que influencia o resultado final, Já a análise das necessidades de aquecimento mostra que estas pouco alteram.

Assim, olhando para os resultados obtidos ao longo deste estudo pode-se aferir que nem todas as alterações efectuadas promoveram melhorias significativas no valor final de energia primária, quando comparada com o caso base. Assim as alterações que tiveram um impacto mais significativo no valor final de energia primária correspondem à modificação da densidade de iluminação, utilização de sistemas de ventilação mais eficientes e aquecimento por bomba de calor, associada à produção de água quente para as baterias de aquecimento, ou então por uma caldeira de condensação. No sentido inverso, verificou-se que a alteração da envolvente não produziu qualquer alteração expressiva no valor final de energia primária.

Após efectuar este estudo verificou-se que a melhor classificação obtida é classe “B”

Contudo, tal não significa que não seja possível atingir uma classificação melhor, isto é, A+. Para tal seria necessário explorar outros aspectos não considerados neste trabalho, como por exemplo:

- Utilização de sistemas de iluminação com detecção de presença;
- *Free-cooling*;

- Alteração radical da geometria do edifício, considerando apenas uma única ala de quartos virados a sul e com protecção solar;
- Recurso a sistemas que utilizem energias alternativas, como sistemas de aproveitamento de biomassa ou resíduos ou sistemas de aproveitamento de energia geotérmica.

Referências e Bibliografia

ADENE – *Perguntas e Respostas sobre o RCCTE*, ADENE, 2007.

ADENE – *Perguntas e Respostas sobre o RSECE - Energia*, ADENE, 2008.

ADENE – *Perguntas e Respostas sobre o SCE*, ADENE, 2007.

Aguiar, Ricardo; Carvalho, Maria João – *Manual de Instalação e Utilização do software SolTerm 5.0*, INETI, Lisboa, 2007

ANSI/ASHRAE – Nonresidential cooling and heating load calculations. Standard 30 – 2005.

Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril de 2006.

Dijk, v; Oversloot, Henk – *WIS, The European Tool to Calculate Thermal and Solar Properties of Windows and Window Components*. TNO Building and Construction Research, Delft, Holanda, 2003.

Dijk, v. *WIS - Advanced Windows Information System. Delft-Netherlands*, EU Thematic Network WinDat, 2003.

ESRU - *Data Model Summary, ESP-r, Version 9 Series*. ESRU Report TR96/2University of Strathclyde, 1996.

ESRU - *The ESP-r System for Building Energy Simulation: User Guide Version 10 Series*, ESRU manual U02/1. Energy Systems Research Unit, University of Strathclyde, Glasgow, Escócia, 2002.

Gómez, Eloy; Martínez, Francisco – *Bombas de calor y Energías Renovables en Edificios*. Thomdon Editores, Espanha, 2005.

Gonçalves, Helder; Graça, João – *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. INETI, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2004.

Hancock, Mary; Roaf, Susan – *Energy Efficient Building*, Blackwell Scientific Publications, Inglaterra, 1992.

Hand, Jon W. - *The ESP-r: cookbook*. 2006.

Leal, Vítor – *Thermal and Energetic Analysis of a Naturally Ventilated Reversible Window*. FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

Ministério da Economia e Inovação – *O Turismo em 2006*, 2008.

Ministério da Economia e Inovação - *Plano estratégico Nacional do Turismo*, 2007.

Pina dos Santos, Carlos; Matias, Luís - *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril.

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril.

Roriz, Luis – *Climatização – Conceção, instalação e condução de sistemas*, Edições Orion, Amadora, 2006.

SCE - *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*, Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril.

União Europeia – *Plano de acção sobre eficiência energética 2007 - 2012*, 2007.

WBCSD – *Eficiência energética em Edifícios – Relatório Síntese*, Suíça, 2007.

Sites visitados

www.adene.pt – Agência de Energia;

www.dgge.pt – Direcção Geral de Energia e Geologia;

www.min-economia.gov.pt – Ministério da Economia;

<http://e-geo.ineti.pt/>

www.ocde.org - Organization for Economic Cooperation and Development

www.europa.eu – Portal da União Europeia

Anexo A: Perfis nominais de utilização para edifícios hoteleiros.

% de Iluminação					% de Ocupação					% de Equipamento				
Horas	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Horas	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Horas	Primavera	Verão	Outono	Inverno
0h às 1h	90	90	95	80	0h às 1h	95	90	100	55	0h às 1h	100	100	100	70
1h às 2h	65	40	75	55	1h às 2h	95	90	100	55	1h às 2h	75	65	75	55
2h às 3h	45	40	50	45	2h às 3h	95	90	100	55	2h às 3h	50	50	60	45
3h às 4h	45	40	45	45	3h às 4h	95	90	100	55	3h às 4h	45	50	55	40
4h às 5h	45	40	45	45	4h às 5h	95	90	100	55	4h às 5h	45	50	55	40
5h às 6h	45	40	45	45	5h às 6h	95	90	100	55	5h às 6h	45	50	55	40
6h às 7h	45	40	45	45	6h às 7h	75	75	70	40	6h às 7h	55	55	65	50
7h às 8h	45	40	45	45	7h às 8h	50	55	45	30	7h às 8h	60	65	65	60
8h às 9h	45	40	45	45	8h às 9h	50	40	45	30	8h às 9h	70	70	70	70
9h às 10h	45	40	45	45	9h às 10h	30	20	25	20	9h às 10h	75	80	80	75
10h às 11h	45	40	45	45	10h às 11h	30	20	25	30	10h às 11h	80	90	90	85
11h às 12h	45	40	45	45	11h às 12h	35	30	30	40	11h às 12h	70	80	80	65
12h às 13h	45	40	45	45	12h às 13h	45	45	40	40	12h às 13h	55	55	65	50
13h às 14h	45	40	45	45	13h às 14h	45	45	40	40	13h às 14h	70	65	75	60
14h às 15h	45	40	45	45	14h às 15h	45	45	40	40	14h às 15h	80	75	85	65
15h às 16h	45	40	45	45	15h às 16h	40	25	35	25	15h às 16h	75	80	90	75
16h às 17h	45	40	45	45	16h às 17h	50	35	45	30	16h às 17h	65	75	75	65
17h às 18h	65	40	70	45	17h às 18h	55	40	50	30	17h às 18h	60	70	65	45
18h às 19h	85	55	90	45	18h às 19h	60	45	60	35	18h às 19h	65	60	70	50
19h às 20h	90	70	95	60	19h às 20h	75	55	75	45	19h às 20h	75	65	95	70
20h às 21h	90	90	100	80	20h às 21h	75	60	75	50	20h às 21h	100	80	100	70
21h às 22h	90	90	100	80	21h às 22h	85	70	85	55	21h às 22h	100	90	100	70
22h às 23h	90	90	100	80	22h às 23h	95	80	100	55	22h às 23h	100	100	100	70
23h às 24h	90	90	100	80	23h às 24h	95	90	100	55	23h às 24h	100	100	100	70

Anexo B: Caudal de ar novo a insuflar em cada espaço

	Designação das zonas	Área	Ocup.	Caudal I	Caudal II	CAUDAL	CAUDAL'	CAUDAL'	Volume	RPH
1.1	Subcave - Máquinas	327	33	-	0.45	0.45	0.57	2043.75	1111.80	1.84
1.2	Subcave - Zona Útil	707	71	0.69	6.87	6.87	8.59	30931.25	2403.80	12.87
1.3	Subcave - Sanitários	201	20	-	0.56	0.56	0.70	2512.50	683.40	3.68
2.1	Cave - Escadas	21.7	2	-	-	0.00	0.00	0.00	73.78	0.00
2.2	Cave - Cozinha	51.6	5	0.04		0.04	0.05	193.50	175.44	1.10
2.3	Cave - Anexos	280	28	-	0.39	0.39	0.49	1750.00	952.00	1.84
2.4	Cave - Zona Útil	884	88	0.86	8.59	8.59	10.74	38675.00	3005.60	12.87
3.1	Piso 1 - Quartos - Oeste	211.83	8	0.07	-	0.07	0.08	294.21	720.22	0.41
3.2	Piso 1 - Quartos - Este	199	7	0.06	-	0.06	0.08	276.39	676.60	0.41
3.3	Piso 1 - Quartos - Serviços	23.8	1	-	-	0.00	0.00	0.00	80.92	0.00
3.4	Piso 1 - Quartos - Corredor	69	3	-	0.10	0.10	0.12	431.25	234.60	1.84
4.1	Pisos 2 a 5 - Quartos - Oeste	847.32	31	0.26	-	0.26	0.33	1176.83	2880.89	0.41
4.2	Pisos 2 a 5 - Quartos - Este	796	29	0.25	-	0.25	0.31	1105.56	2706.40	0.41
4.3	Pisos 2 a 5 - Quartos - Serviços	95.2	4	-	-	0.00	0.00	0.00	323.68	0.00
4.4	Pisos 2 a 5 - Quartos - Corredor	276	10	-	0.38	0.38	0.48	1725.00	938.40	1.84
5.1	Pisos 6 a 9 - Quartos - Oeste	847.32	31	0.3	-	0.26	0.33	1176.83	2880.89	0.41
5.2	Pisos 6 a 9 - Quartos - Este	796	29	0.2	-	0.25	0.31	1105.56	2706.40	0.41
5.3	Pisos 6 a 9 - Quartos - Serviços	95.2	4	-	-	0.00	0.00	0.00	323.68	0.00
5.4	Pisos 6 a 9 - Quartos - Corredor	276	10	-	0.4	0.38	0.48	1725.00	938.40	1.84
6.1	Piso 10 - Quartos - Oeste	211.83	8	0.07	-	0.07	0.08	294.21	720.22	0.41
6.2	Piso 10 - Quartos - Este	199	7	0.06	-	0.06	0.08	276.39	676.60	0.41
6.3	Piso 10 - Quartos - Serviços	23.8	1	-		0.00	0.00	0.00	80.92	0.00
6.4	Piso 10 - Quartos - Corredor	69	3	-	0.10	0.10	0.12	431.25	234.60	1.84
7.1	Cobertura - Escritórios	46.2	5	0.04	0.06	0.06	0.08	288.75	133.98	2.16
7.2	Cobertura - Máquinas	16.1	2	-	-	0.00	0.00	0.00	46.69	0.00
7.3	Cobertura - Hall	14	1	-	0.02	0.02	0.02	87.50	40.60	2.16

Caudal – Caudal sem contabilizar a eficiência de ventilação;

Caudal' – Caudal contabilizando 80% de eficiência de ventilação.

Anexo C: Propriedades da envolvente

Parede Exterior	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	R [m ² ·°C/W]	U [W/m ² ·°C]	mi [kg/m ²]
Resistência Térmica Exterior				0,040		
Reboco Exterior Delgado	0,015	2000,0	1,300	0,012		
Tijolo Furado Normal	0,150	1000,0	0,385	0,390		
Ar	0,020	1,2	0,118	0,170		
Poliestireno Extrudido [EPS]	0,040	20,0	0,037	1,081	0,445	4700,275
Pano de Alvenaria de Tijolo Furado Normal	0,110	1000,0	0,407	0,270		
Betão	0,150	1800,0	1,050	0,143		
Reboco Interior	0,015	1900,0	1,300	0,012		
Resistência Térmica Interior				0,130		
Espessura total	0,500		Resistência Total	2,247		

$$U = \frac{1}{0,040 + 0,012 + 0,390 + 0,170 + 1,081 + 0,270 + 0,143 + 0,012 + 0,130} = 0,445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede Exterior Tipo 2 (Zona do Pilar)	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	R [m ² ·°C/W]	U [W/m ² ·°C]	mi [kg/m ²]
Resistência Térmica Exterior				0,040		
Reboco Exterior Delgado	0,020	2000,0	1,300	0,015		
Poliestireno Extrudido [EPS]	0,060	32,5	0,037	1,622	0,499	683,000
Parede de Betão Normal	0,300	2150,0	1,650	0,182		
Reboco Interior	0,020	1900,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Interior				0,130		
Espessura total	0,400		Resistência Total	2,004		

$$U = \frac{1}{0,040 + 0,015 + 1,622 + 0,182 + 0,015 + 0,130} = 0,499 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede Enterrada	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	R [m ² ·°C/W]	U [W/m ² ·°C]	mi [kg/m ²]
Terra	0,020	2000,0	1,800	0,011		
Tela Impermeabilizadora	0,005	2100,0	0,700	0,007		
Parede de Betão Normal	0,300	32,5	0,037	8,108		
Poliestireno Extrudido [EPS]	0,060	2150,0	1,650	0,036	0,117	3000,130
Pano de Alvenaria de Tijolo Furado Normal	0,110	1000,0	0,407	0,270		
Reboco Interior	0,020	2000,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Interior				0,130		
Espessura total	0,495		Resistência Total	8,578		

$$U = \frac{1}{0,011 + 0,007 + 8,108 + 0,036 + 0,270 + 0,015 + 0,130} = 0,117 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede Interiores a FA	e [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/m°C]	R [m²·°C/W]	U [W/m²·°C]	mi [kg/m²]
Resistência Térmica Interior				0,130		
Reboco Interior 1	0,020	1900,0	1,300	0,015		
Pano de Alvenaria de Tijolo Furado Normal	0,150	1000,0	0,385	0,390	1,469	226,000
Reboco Interior 2	0,020	1900,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Interior				0,130		
Espessura total	0,190		Resistência Total	0,681		

$$U = \frac{1}{0,130 + 0,015 + 0,390 + 0,015 + 0,130} = 1,469 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Cobertura	e [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/m°C]	R [m²·°C/W]	U [W/m²·°C]	mi [kg/m²]
Resistência Térmica Exterior				0,040		
Ladrilhos	0,040	1000,0	0,340	0,118		
Poliestireno Expandido (XPS)	0,080	32,5	0,037	2,162		
Betão de Enchimento	0,050	1700,0	1,050	0,048		
Tela Impermeabilizadora	0,005	2100,0	0,700	0,007	0,376	563,500
Betão de Enchimento	0,050	1700,0	1,050	0,048		
Laje de Betão	0,200	2150,0	1,650	0,121		
Reboco Interior	0,020	1900,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Interior				0,100		
Espessura total	0,445		Resistência Total	2,659		

$$U = \frac{1}{0,040 + 0,118 + 2,162 + 0,048 + 0,007 + 0,048 + 0,121 + 0,015 + 0,100} = 0,376 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Parede Interiores em contacto com espaços não úteis	e [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/m°C]	R [m²·°C/W]	U [W/m²·°C]	mi [kg/m²]
Resistência Térmica Interior				0,130		
Reboco Interior 1	0,020	1900,0	1,300	0,015		
Pano de Alvenaria de Tijolo Furado Normal	0,110	1000,0	0,407	0,270	1,783	186,000
Reboco Interior 2	0,020	1900,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Interior				0,130		
Espessura total	0,150		Resistência Total	0,561		

$$U = \frac{1}{0,130 + 0,015 + 0,270 + 0,015 + 0,130} = 1,783 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Pavimento em contacto com o solo	e [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/m°C]	R [m²·°C/W]	U [W/m²·°C]	mi [kg/m²]
Resistência Térmica Interior				0,170		
Madeira	0,010	870,0	0,230	0,043		
Leca	0,040	273,0	0,100	0,400		
Betão de Regularização	0,030	1700,0	1,050	0,029	0,378	6995,380
Laje de Betão	0,300	2150,0	1,650	0,182		
Terra	2,000	2000,0	1,100	1,818		
Espessura total	0,380		Resistência Total	2,642		

$$U = \frac{1}{0,170 + 0,043 + 0,400 + 0,029 + 0,182 + 1,818} = 0,378 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Laje entre pisos	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	R [m ² ·°C/W]	U [W/m ² ·°C]	mi [kg/m ²]
Resistência Térmica Interior				0,170		
Madeira	0,010	1390,0	0,170	0,059		
Leca	0,040	273,0	0,100	0,400		
Betonilha de Regularização	0,027	1700,0	1,050	0,026	1,099	769,300
Laje de Betão	0,330	2150,0	1,650	0,200		
Reboco (Exterior)	0,020	2000,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Exterior				0,040		
Espessura total	0,427	Resistência Total		0,910		

$$U = \frac{1}{0,170 + 0,059 + 0,400 + 0,026 + 0,200 + 0,015 + 0,040} = 1,099 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Laje entre pisos descoberta	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/m°C]	R [m ² ·°C/W]	U [W/m ² ·°C]	mi [kg/m ²]
Resistência Térmica Interior				0,170		
Madeira	0,010	1390,0	0,170	0,059		
Leca	0,040	273,0	0,100	0,400		
Betonilha de Regularização	0,027	1700,0	1,050	0,026	0,585	769,300
Laje de Betão	0,330	2150,0	1,650	0,200		
Espuma de Polietileno expandido Extrudido	0,040	32,5	0,050	0,800		
Reboco (Exterior)	0,020	2000,0	1,300	0,015		
Resistência Térmica Exterior				0,040		
Espessura total	0,467	Resistência Total		1,710		

$$U = \frac{1}{0,170 + 0,059 + 0,400 + 0,026 + 0,200 + 0,800 + 0,015 + 0,040} = 0,585 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Anexo D: Propriedades ópticas dos envidraçados

Propriedades do vidro duplo sem efeito de cortina e com pelo menos 1 vidro colorido na massa

	0	40	55	70	80
τ	0,360	0,320	0,260	0,150	0,060
ρ	0,060	0,070	0,110	0,270	0,420
α_1	0,520	0,560	0,590	0,525	0,450
α_2	0,050	0,050	0,040	0,035	0,030

Propriedades do vidro duplo com efeito de cortina e com pelo menos 1 vidro colorido na massa

	0	40	55	70	80
τ	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
ρ	0,110	0,120	0,170	0,420	0,650
α_1	0,600	0,650	0,650	0,425	0,200
α_2	0,080	0,070	0,060	0,040	0,020
α_{cortina}	0,190	0,160	0,120	0,065	0,020

Propriedades do vidro duplo incolor sem efeito de cortina

	0	40	55	70	80
τ	0,700	0,670	0,570	0,365	0,200
ρ	0,140	0,150	0,230	0,425	0,600
α_1	0,100	0,100	0,120	0,130	0,140
α_2	0,070	0,080	0,070	0,060	0,050

Propriedades do vidro duplo incolor com efeito de cortina

	0	40	55	70	80
τ	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
ρ	0,360	0,360	0,390	0,500	0,600
α_1	0,130	0,140	0,150	0,150	0,150
α_2	0,110	0,110	0,110	0,095	0,080
α_{cortina}	0,390	0,380	0,340	0,235	0,150

Propriedades do vidro duplo incolor com efeito de sombreamento exterior

	0	40	55	70	80
τ	0.138	0.004	0.004	0.003	0.003
ρ	0.052	0.076	0.096	0.010	0.105
α_{estore}	0.737	0.901	0.898	0.895	0.890
α_1	0.036	0.017	0.002	0.001	0.012
α_2	0.024	0.001	0.009	0.001	0.001

Anexo E: Plantas do edifício

Planta 1 - Sub-Cave

Planta 2 – Cave

Planta 3 – Quartos

Planta 4 - Cobertura