



Universidade de Aveiro  
Ano 2013

Departamento de  
Engenharia Mecânica

**Berta Maria Tavares  
Oliveira**

**Alterações climáticas e consumo energético em  
edifícios sustentáveis**





**Berta Maria Tavares  
Oliveira**

**Alterações climáticas e consumo energético  
em edifícios sustentáveis**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



## **O Júri**

Presidente

**Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho**  
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Orientador

**Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (Orientador)

Arguente

**Professor Doutor António José Barbosa Samagaio**  
Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro



## **Agradecimentos**

Ao meu Orientador, Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, pela disponibilidade e incentivo demonstrado no desenvolvimento deste trabalho, bem como as opiniões e críticas manifestadas;

Aos meus pais, Ana Maria Tavares Sousa Oliveira e Jorge Melo Leite Oliveira pela compreensão, força e muita paciência que demonstraram ao longo desta etapa;

Ao João e à Marta pelo apoio e carinho. À Laura e à Francisca por toda a alegria.

À minha tia Berta Tavares por cada palavra e acompanhamento ao longo deste percurso.

A toda a minha família agradeço todo o amor, força e confiança.

Aos meus amigos Sónia Pimentel, Norma Mendonça, Tânia Santos, família Prates, Pedro Heleno e Pedro Gouvinhas pelo apoio, boa disposição e disponibilidade nas fases mais difíceis deste percurso;

A todos os docentes da Universidade de Aveiro que me acompanharam e apoiaram neste projeto, em particular ao responsável pela disciplina de Energia Solar Térmica;

A todos os que estiveram envolvidos na realização da minha Dissertação, o meu muito obrigado!





**Palavras-chave**

Alterações climáticas, Bioclimatologia, Consumo energético, Edifícios.

**Resumo**

Inserindo-se na temática da eficiência energética, este trabalho centra-se nas questões relacionadas com as alterações climáticas e os seus potenciais reflexos no consumo energético dos edifícios em Portugal.

No presente trabalho realizou-se o levantamento do clima em Portugal continental e as projeções das alterações climáticas até finais do século, que indica uma clara tendência de aumento da temperatura até finais de 2100.

Tendo em conta os ficheiros das projeções do clima futuro, fez-se o estudo da variação do consumo energético numa célula de teste, para várias regiões do país. De uma forma geral, verificou-se, um forte incremento nas necessidades nominais de energia para arrefecimento e uma diminuição das necessidades de aquecimento.

Para a mesma célula de teste foi analisado o impacto resultante da alteração de dois aspetos construtivos – o nível de isolamento e a área da fração envidraçada – tendo-se verificado que o aumento destas não é benéfico a longo prazo, uma vez que a procura energética aumenta de forma significativa em ambos os casos.

**Keywords**

Climate change, Bioclimatology, Energy consumption, Buildings.

**Abstract**

Concerned with energy efficiency in the built environment this thesis focus on issues to climate change and its potential impacts on energy consumption of buildings in Portugal. Under the scope of this work a climatological characterization of Portugal and the respective climate change projections by the end of the century are made, which indicates a clear trend of increasing temperature until the end of 2100.

Projections of future climate were used to predict the variation on energy consumption in a test cell for different regions on the country. In general, there was a strong increase in the nominal energy needs. For the same test cell a parametric analysis considering two construction features – insolation level and glazing fraction – was made. It was found that the increase of these is not beneficial in the long term as they significantly increase the annual energy demand.

# Índice

Índice de figuras .....	iv
Índice de tabelas .....	vi
Lista de Abreviaturas.....	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Revisão bibliográfica .....	2
1.4. Contribuição da dissertação.....	5
1.5. Estrutura do trabalho .....	6
2. Bioclimatologia e eficiência energética.....	8
2.1. Introdução.....	8
2.2. Conceitos principais .....	8
2.2.1. Geometria solar.....	8
2.2.2. Orientação das fachadas envidraçadas.....	9
2.2.3. Envolvente dos edifícios.....	10
2.2.4. Ventilação dos edifícios.....	12
2.3. Aquecimento e Arrefecimento.....	13
2.3.1. Sistemas passivos para Aquecimento .....	16
2.3.2. Sistemas passivos para arrefecimento.....	18
2.3.3. Sistemas ativos para aquecimento e arrefecimento.....	19
2.4. Síntese do capítulo .....	19
3. O clima em Portugal .....	20
3.1. Introdução.....	20
3.2. Evolução climática em Portugal Continental .....	21
3.3. Cenários Climáticos .....	23
3.4. <i>Downscaling</i> de cenários climáticos.....	25
3.4.1. Da escala global às estações de referência.....	26
3.5. Análise da temperatura segundo os cenários climáticos.....	27
3.6. Síntese do capítulo .....	32
4. Metodologia de cálculo segundo o RCCTE.....	34
4.1. Introdução.....	34
4.2. Índices e parâmetros de correção.....	35

4.2.1.	Metodologia de cálculo das necessidades de Aquecimento, $N_{ic}$ .....	35
4.2.2.	Metodologia de cálculo das necessidades de Arrefecimento, $N_{vc}$ .....	37
4.2.3.	Metodologia de cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS	38
4.3.	Necessidades globais de energia primária, $N_{tc}$ .....	39
4.3.1.	Coeficiente de transmissão térmica, $U$ .....	40
4.3.2.	Inércia térmica .....	40
4.4.	Limitação das necessidades nominais globais de energia primária .....	41
4.5.	Descrição do edifício em estudo .....	43
4.5.1.	Envolvente opaca .....	44
4.5.2.	Vãos envidraçados .....	44
4.5.3.	Características gerais da fração autónoma .....	46
4.6.	Síntese do capítulo .....	46
5.	Apresentação e análise do caso de estudo .....	48
5.1.	Introdução .....	48
5.2.	Parâmetros de correção das alterações climáticas .....	48
5.2.1.	Graus-Dia .....	48
5.2.2.	Duração da estação de aquecimento .....	50
5.2.3.	Duração da estação de arrefecimento .....	51
5.2.4.	Energia solar média durante a estação de aquecimento .....	51
5.2.5.	Intensidade da radiação solar durante a estação de arrefecimento .....	52
5.3.	Situação de referência .....	54
5.3.1.	Verificação do RCCTE .....	54
5.4.	Cálculo das necessidades nominais de energia com as projeções climáticas .....	55
5.4.1.	Necessidades nominais de aquecimento .....	55
5.4.2.	Necessidades nominais de arrefecimento .....	59
5.4.3.	Necessidades globais de energia primária .....	62
5.5.	Análise de sensibilidade de ferramentas de análise .....	65
5.5.1.	Alteração do nível de isolamento .....	66
5.5.2.	Alteração da fração envidraçada .....	70
5.6.	Síntese do capítulo .....	75
6.	Conclusão .....	76
6.1.	Sumário .....	76
6.2.	Conclusão .....	76
6.3.	Trabalho futuro .....	78

7. Bibliografia .....	80
ANEXOS .....	83
Anexo A – Alterações climáticas .....	84
A1. Exemplo do formato das séries climáticas obtidas.....	84
A2. Variação da temperatura exterior nos diferentes concelhos .....	84
A3. Cálculo dos Graus-Dia .....	86
A4. Duração das estações de aquecimento e arrefecimento .....	90
A5. Energia solar média durante a estação de aquecimento .....	91
A6. Intensidade da radiação solar durante a estação de arrefecimento .....	92
Anexo B. Caso de Estudo.....	94
B1. Sistema de preparação de AQS.....	94
B2. Necessidades nominais de energia .....	94
Anexo C. Alteração do caso de estudo.....	96
C1. Nível de isolamento .....	96
C2. Vãos envidraçados .....	102

## Índice de figuras

Figura 1- Classe energética dos edifícios.....	4
Figura 2 - Percurso do sol ao longo do ano .....	9
Figura 3 - Carta bioclimática de Baruch-Givoni [21] .....	14
Figura 4 - Mapa climático de Portugal Continental [22] .....	15
Figura 5 - Sistema de ganho direto [23].....	17
Figura 6 – Sistema de ganhos indiretos- Parede de Trombe [23].....	17
Figura 7 – Sistema de ganhos isolados [23] .....	18
Figura 8 – Mapa topográfico de Portugal continental, com localização das estações meteorológicas e postos udométricos do Instituto Português do Mar e da Atmosfera e dos pontos de grelha dos modelos utilizados.....	21
Figura 9 – Quatro cenários do IPCC.....	23
Figura 10 – Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Bragança.....	28
Figura 11 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para o Porto .....	29
Figura 12 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Lisboa .....	30
Figura 13 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Évora .....	31
Figura 14 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Faro .....	32
Figura 15 – Edifício base.....	44
Figura 16 - Gráfico da média dos Graus-Dia, para uma $T_b=15^{\circ}\text{C}$ em todas as regiões de Portugal ao longo dos próximos anos, segundo os diferentes cenários .....	49
Figura 17 – Comparação entra a duração de inverno atual e projeções dos cenários climáticos .....	51
Figura 18 – Variação da intensidade de radiação solar.....	52
Figura 19 - Definição do ângulo de incidência .....	53
Figura 20 – Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para Bragança .....	56
Figura 21 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos em Évora.....	56
Figura 22 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para Faro .....	57
Figura 23 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para Lisboa .....	57
Figura 24 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para o Porto.....	58
Figura 25 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Bragança .....	59
Figura 26 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Évora.....	60
Figura 27 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Faro.....	60
Figura 28 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Lisboa.....	61
Figura 29 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para o Porto .....	61
Figura 30 – Necessidades globais de energia primária para Bragança .....	62
Figura 31 - Necessidades globais de energia primária para Évora.....	63
Figura 32 - Necessidades globais de energia primária para Faro.....	63
Figura 33 - Necessidades globais de energia primária para Lisboa.....	64
Figura 34 - Necessidades globais de energia primária para o Porto.....	64
Figura 35 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Bragança.....	67
Figura 36 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Évora.....	67
Figura 37 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Faro .....	68

Figura 38 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Lisboa .....	68
Figura 39 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Porto.....	69
Figura 40 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Bragança.....	71
Figura 41 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Évora .....	72
Figura 42 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Faro .....	72
Figura 43 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Lisboa .....	73
Figura 44 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Porto.....	73

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 – Dados das estações meteorológicas utilizadas.....	26
Tabela 2 – Limites das necessidades nominais de energia para arrefecimento, impostos pelo RCCTE .....	42
Tabela 3 – Sistemas de aquecimento e arrefecimento utilizados .....	46
Tabela 4 – Necessidades nominais de energia para o edifício base .....	54
Tabela 5 – Relação das necessidades nominais de energia e o seu valor limite .....	54
Tabela 6 – Classificação energética do edifício base com base nos cenários climáticos .....	65
Tabela 7 – Características do caso de análise .....	66
Tabela 8 - Necessidades globais de energia primária com a variação do nível de isolamento ..	69
Tabela 9 – Necessidades nominais de energia primária com a variação da área de envidraçados .....	74





## Lista de Abreviaturas

DL	Decreto-lei
GCM	<i>General Circulation Model</i>
GEE	Gases com Efeito de Estufa
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
IPCC	<i>Intergovernmental Panel for Climate Change</i>
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
$N_{ic}$	Necessidades anuais de aquecimento do edifício ( $\text{kWh/m}^2\text{ano}^{-1}$ )
$N_{iv}$	Necessidades anuais de arrefecimento do edifício ( $\text{kWh/m}^2\text{ano}^{-1}$ )
$N_{ac}$	Necessidades nominais de energia para preparação de Águas Quentes Sanitárias ( $\text{kWh/m}^2\text{ano}^{-1}$ )
$N_{tc}$	Necessidades globais de energia primária ( $\text{kgep/m}^2\text{ano}^{-1}$ )
RCCTE	Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética
SRES	<i>Special Report on Emission Scenarios</i>
U	Coefficientes de Transmissão Térmica ( $\text{W/m}^2\text{°C}^{-1}$ )

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Um dos grandes desafios que a humanidade tem de ultrapassar é a problemática das alterações climáticas e da conservação do meio ambiente. Estes desafios estão intimamente relacionados com o atual consumo energético e respetivas fontes. Deste modo, há uma correlação direta entre o aumento do consumo energético a escassez dos recursos e consequente desequilíbrio ambiental. No setor da construção civil uma das principais exigências colocadas pela população é o aumento dos níveis de conforto. A satisfação desse requisito pode implicar, entre outras estratégias, a utilização de equipamentos de aquecimento e arrefecimento, de que resulta um aumento do consumo energético.

O desenvolvimento sustentável não é compatível com um contínuo aumento do consumo energético. Uma das formas de o reduzir passa pela utilização de soluções construtivas projetadas de modo a potenciar e rentabilizar condições ambientais e, assim, diminuir o uso de sistemas de climatização mantendo as condições de conforto pretendidas. Desta forma é possível reduzir, no imediato, a energia consumida pelos edifícios e, simultaneamente, contribuir para uma diminuição dos consumos energéticos.

Um edifício é o resultado de um projeto multidisciplinar onde todas as áreas intervenientes colaboram desde a conceção até ao acabamento final. Para garantir um desempenho ambientalmente eficiente do edifício, esta cooperação tem de se manter durante todo o ciclo de vida do edifício – projeto, construção, utilização, remodelação e até na demolição. Só assim é provável que sejam tomadas as decisões corretas. A fase da conceção será, porventura, uma das mais importantes, na medida em que dela dependerá o desempenho final do edifício. Assim sendo, para que se sigam orientações sustentáveis, será necessário previamente avaliar e prever o cumprimento de todas as opções seguindo vários critérios, como seja o conforto, estética, energia, impacto ambiental, economia, etc. Deste modo, a fase de projeto do edifício é uma fase iterativa de geração de ideias, previsão e avaliação. No caso de provisões e avaliações erradas, ao desempenho será diferente da esperada, ou seja, para minimizar o risco de fracasso do desempenho do edifício é necessário decidir sobre opções anteriormente comprovadas.

Em Portugal, a legislação que regulamentou as exigências de conforto térmico e de qualidade do ar interior em edifícios é o decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro, conhecido como Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). O Regulamento de 1990 introduziu os aspetos térmicos e energéticos no estudo e projeto de edifícios, definindo requisitos construtivos mínimos para a envolvente dos mesmos. A nível europeu, este regulamento foi mesmo pioneiro devido à inovação que introduz ao nível de requisitos construtivos mínimos para a envolvente dos edifícios, ao nível do sombreamento, para evitar sobreaquecimentos no verão, para além de estabelecer coeficientes de transmissão térmica máximos que visavam minimizar fenómenos de condensação interior. Embora pouco exigente, o primeiro RCCTE conduziu ao uso, mais ou menos generalizado, do

isolamento térmico na construção dos edifícios, tendo mesmo o mercado evoluído para soluções que iam além das exigências regulamentares. No século XXI o comportamento térmico dos edifícios passou a ser regulado pelo Decreto-Lei 80/2006.

## **1.2. Objetivos**

Esta dissertação tem por objetivo estudar a variabilidade do consumo energético de edifícios residenciais tendo em conta as alterações climáticas futuras. Através de fatores de correção dos ficheiros climáticos, tendo por base o efeito das alterações climáticas, pretende-se comparar a variação do consumo energético com estes ficheiros relativamente ao consumo esperado com os ficheiros climáticos atuais.

Pretende-se assim efetuar uma análise da variação das necessidades nominais de energia no setor residencial em vários concelhos de Portugal Continental, tendo por base o Decreto-Lei nº. 80/2006.

Tendo em conta as projeções das alterações climáticas, surgiu como objetivo secundário a modificação de algumas das soluções construtivas da célula de teste. Estas alterações de construção incidiram em variar o nível de isolamento e a área de envidraçados da fração autónoma em estudo e verificar igualmente qual a variação das suas necessidades nominais de energia.

## **1.3. Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica recai na pesquisa de informação em trabalhos anteriores nesta área tanto em Portugal, como noutros países.

### **– Alterações climáticas**

Nas últimas décadas o nosso planeta tem sofrido severas alterações que conduziram a uma crise ambiental grave. Devido às emissões gasosas produzidas no consumo de combustíveis fósseis e às crescentes necessidades energéticas a nível global verificou-se um aumento no efeito de estufa que provocou um aquecimento global, responsável pelos graves efeitos climatéricos e de desequilíbrio ambiental que se estão a verificar no planeta. As consequências do aquecimento global (alterações climáticas, aumento do nível da água do mar, degelo dos pólos, desertificação, etc.) são alarmantes e podem tornar-se catastróficas. Este facto está cada vez mais presente na consciência da população e dos governos, havendo cada vez mais esforços para combater esta situação.

Uma das principais motivações dos estudos das alterações climáticas é o aumento da temperatura média global à superfície durante o último século, particularmente nos últimos 30 anos. Com efeito, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,6°C desde o final do século XIX até ao presente [1].

O primeiro estudo integrado da evolução climática em Portugal no século XX foi publicado em língua inglesa [2], reunindo parte significativa das observações disponíveis na rede climatológica nacional, fazendo o enquadramento da evolução das diferentes variáveis climáticas no contexto da alteração climática à escala global.

Os ficheiros climáticos gerados em todo o planeta têm a designação TMY “*Typical Meteorological Year*”, que consiste em ficheiros com valores horários de radiação solar e dados meteorológicos onde são agrupados os meses até formar um ano completo. Por si só, o TMY não é um bom indicador das condições climáticas dos próximos anos, este representa condições tomadas típicas por um longo período. O TMY utilizado remonta à época entre 1961 e 1990 [3].

Os ficheiros climáticos serão a base de dados necessários ao estudo das alterações climáticas. Recorrendo ao Modelo de Circulação Geral HadCM3 [4] e posterior regionalização estática [5] é, então, possível obter a projeção das alterações climáticas até final do século.

#### – **Eficiência energética**

Tendo em conta que o aquecimento global e todas as suas consequências são essencialmente provocadas pelas emissões produzidas pelo crescente consumo de combustíveis fósseis e que a produção e utilização de energia são responsáveis por 94% das emissões de CO<sub>2</sub> [6], conclui-se facilmente que a promoção da eficiência energética é um caminho para uma eventual mitigação do problema.

Este aumento dos consumos energéticos é justificado principalmente pelo aumento da qualidade de vida por parte da população e pelo grande crescimento populacional que se verificou nas últimas décadas. No setor residencial, a qualidade dos edifícios e os níveis de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) exigidos tem aumentado vertiginosamente ao longo dos últimos anos.

As necessidades ligadas à higiene, as necessidades básicas na confeção e conservação dos alimentos e ainda o uso de equipamentos de entretenimento e equipamentos elétricos de apoio às ferramentas pessoais (computadores, eletrodomésticos, etc.) são comodidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos utilizadores dos edifícios de habitação [6].

Desta forma, dois dos caminhos possíveis para atenuar os problemas ambientais com que a humanidade está a lidar são a substituição de energia produzida através da queima de combustíveis fósseis por energia proveniente de fontes renováveis e a minimização dos consumos energéticos através de uma utilização mais eficiente de energia. O uso mais eficiente de energia envolve a utilização de uma tecnologia que requer um menor consumo de energia para realizar a mesma função.

#### – **Análise do comportamento térmico de edifícios de edifícios – RCCTE**

O RCCTE é um dos três documentos legais que fazem parte do Sistema de Certificação Energética de edifícios (SCE). A sua metodologia de cálculo permite determinar o nível de desempenho energético de um edifício e atribuir-lhe nota numa escala de A+ a G. Esta nota é determinada através de um índice, R, obtido através do quociente entre as necessidades

globais nominais anuais específicas de energia primária reais ( $N_{tc}$ ) do edifício em análise e as necessidades globais nominais anuais específicas de energia primária máximas do edifício ( $N_t$ ).



Figura 1- Classe energética dos edifícios

O RCCTE impõe ainda que os edifícios verifiquem uma série de requisitos mínimos para um edifício novo ser certificado. Os coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) da envolvente de qualquer edifício devem ser inferiores aos valores máximos; as zonas não correntes da envolvente, incluindo as zonas de ponte térmica plana não podem ter um valor de  $U$ , superior ao dobro dos elementos homólogos; os vãos envidraçados com área superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, não orientadas a norte não pode apresentar um fator solar correspondente ao vão envidraçado com o (s) respetivo (s) dispositivo (s) de proteção 100% ativos que exceda os valores máximos definidos; é obrigatória a instalação de coletores solares que produzam no mínimo a energia equivalente a  $1\text{m}^2$  de coletor padrão [7].

O valor das necessidades globais anuais de energia primária ( $N_{tc}$ ) resulta da soma ponderada das necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ), das necessidades de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) e das necessidades nominais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ), tendo em conta a eficiência dos sistemas ( $\eta_i$ ,  $\eta_v$ ,  $\eta_a$ ) e do tipo de energia utilizada por esses sistemas.

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) são calculadas em função dos elementos da envolvente, do coeficiente de transmissão térmica dos elementos do edifício e dos ganhos solares brutos [8]. O seu valor máximo admissível por sua vez depende do fator de forma do edifício e do clima local.

O valor das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) depende dos ganhos solares através da envolvente opaca, dos ganhos solares diretos através dos envidraçados, dos ganhos internos, das perdas térmicas por renovação do ar e das perdas térmicas por condução [9]. O seu valor limite ( $N_v$ ) depende da zona climática do local.

As necessidades nominais de energia para utilização de AQS são calculadas em função da energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, da eficiência dos sistemas de conversão e da contribuição da energia captada através de fontes de energia

renovável, como por exemplo, coletores térmicos. Por sua vez, o limite máximo para as necessidades de energia útil para a preparação de AQS depende do consumo médio diário de referência do edifício ou fração autónoma.

#### **- Eficiência energética em edifícios e alterações climáticas**

Cada vez mais têm sido levantadas questões sobre a utilização de energia e as suas implicações ambientais, gerando uma série de interesse em dispor de uma melhor compreensão da utilização energética dos edifícios, especialmente as suas correlações com as condições meteorológicas prevalentes [10,11].

Estima-se que em 2001, edifícios em todo o mundo foram responsáveis por cerca de 33% de emissão dos GEE [12]. No seu trabalho sobre alterações climáticas e padrões de conforto térmico, Kwok e Rajkovech [13] relataram que o setor da construção foi responsável por 38,9% do total dos requisitos de energia primária nos Estados Unidos da América, dos quais 34,8% foram para o sistema de climatização.

Na China, 24,1% do total de energia foi igualmente para o sistema de climatização residencial, em 1996. Este valor tem vindo a aumentar gradualmente tendo-se verificado em 2001 cerca de 27,5% e estima-se que até final de 2020 esta percentagem chegue a 35% [14]. Uma parte significativa desses consumos deve-se à crescente procura de conforto térmico de aquecimento no inverno e arrefecimento nos meses de verão [15,16].

Os edifícios normalmente têm uma vida útil longa, com duração de 50 anos ou mais. É, portanto, importante ser capaz de analisar como os edifícios responderão às alterações climáticas no futuro e avaliar as prováveis modificações do consumo energético. Trabalhos anteriores revelam uma tendência do aumento da temperatura ao longo dos últimos anos resultando num menor desconforto no inverno, mas um maior desconforto no verão [17,18].

### **1.4. Contribuição da dissertação**

A pretensão deste estudo provém do desenvolvimento de um tema em crescimento, o impacto das alterações climáticas no cálculo das necessidades energéticas em Portugal Continental. Este visa apresentar uma alternativa viável dos valores climáticos presentes no Decreto-Lei 80/2006. Através da introdução da correção das alterações climáticas nos ficheiros climáticos atuais, poder-se-á identificar grandes oportunidades para a adaptação no setor energético, nomeadamente às tipologias das edificações, para cinco concelhos de Portugal continental – Bragança, Évora, Faro, Lisboa e Porto. Apesar de não representarem uma amostra do clima em Portugal, apresentando antes climas distintos entre si, é nestes concelhos que se concentram as maiores densidades populacionais. Bragança apresenta como característica de um clima continental frio; Évora como característica de um clima continental quente, Porto e Lisboa como características de um clima temperado de influência marítima a norte e sul do país, e Faro como clima mediterrânico.

## **1.5. Estrutura do trabalho**

A presente dissertação divide-se em 6 capítulos distintos.

O Capítulo 1 corresponde à introdução do trabalho, a qual procura dar uma visão geral do estudo apresentado e justificando de forma breve o tema do estudo, a revisão bibliográfica e os objetivos.

O capítulo 2 apresenta uma descrição de todas as definições principais e assuntos relativamente à temática da bioclimatologia e eficiência energética.

No capítulo 3 realizou-se o levantamento do clima em Portugal e quais os passos a seguir para obtenção dos cenários climáticos futuros.

O capítulo 4 inclui a descrição do Regulamento das Características do Comportamento Térmico das Edificações. Foi neste capítulo que o edifício base a ser estudado foi caracterizado, quais as soluções construtivas adotadas, geometrias e perdas pela envolvente.

No capítulo 5, averiguou-se se o edifício é ou não regulamentar e mostrou-se todos os parâmetros modificados pelas alterações climáticas. Tendo em conta estas alterações, foram verificados os seus efeitos nas necessidades nominais de energia. Foi ainda analisado o impacto da alteração das frações envidraçadas bem como o nível de isolamento sobre os consumos nominais globais de energia primária.

Por último, o capítulo 6, onde se constatou se os objetivos do presente estudo foram ou não concretizados e onde são apresentadas algumas perspetivas de trabalhos futuros.





## **2. Bioclimatologia e eficiência energética**

### **2.1. Introdução**

A construção bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta as características ambientais e climáticas do local onde se insere. Assim, pretende-se otimizar o conforto do ambiente no interior do edifício utilizando apenas o *design* e os elementos arquitetónicos disponíveis.

### **2.2. Conceitos principais**

As variáveis climáticas mais determinantes num edifício, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar, variável indutora das trocas de calor através da envolvente do edifício, determina o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, fluxos estes que ocorrem fundamentalmente na estação de aquecimento – inverno, tratando-se neste caso de perdas térmicas, enquanto na estação de arrefecimento o sentido do fluxo tende ao inverso, provocando assim uma situação de ganhos térmicos.

Durante o inverno, as perdas térmicas são a principal razão para a diminuição da temperatura interior num edifício. A redução destas perdas constitui uma das medidas mais eficazes no sentido de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, e as medidas normalmente adotadas resultam na utilização de soluções de isolamento térmico nos elementos opacos (paredes, coberturas e pavimentos) e/ou a utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados.

Relativamente aos ganhos térmicos por troca de calor, em que o fluxo de transferência de calor tem o sentido exterior-interior, ocorre nos meses de verão o que é uma situação que contribui para aumentar a carga térmica do edifício e conseqüentemente a sua temperatura no interior. Este será um dos principais aspetos a acautelar no presente estudo.

A radiação solar tem um papel determinante no conforto térmico sendo que no inverno constitui uma fonte de calor muito importante, contribuindo para o aumento da temperatura interior, e no verão é uma fonte de calor a evitar na medida em que provoca o aumento da temperatura no interior dos edifícios.

#### **2.2.1. Geometria solar**

Representando o sol um ponto crucial no conforto de espaços, é necessário conhecer a sua relação com o ambiente não só em termos de contributo energético, mas também a sua posição ao longo do dia e do ano. A esse percurso designa-se por geometria solar e com ela, é possível compreender a sua posição em relação ao edifício ao longo do dia e do ano. Através desse percurso designado geometria solar, é possível compreender a posição do sol relativamente aos edifícios e determinar o efeito da radiação em todas as superfícies expostas. O aproveitamento da radiação solar pode servir para equilibrar a temperatura do ar através da radiação das superfícies [9] ou provocar a necessidade de sistemas de sombreamento.

O sol, como fonte de energia praticamente inesgotável, é o fator predominante no estudo da arquitetura bioclimática sendo fundamental conhecer a sua trajetória solar ao longo do dia nas diferentes estações do ano.

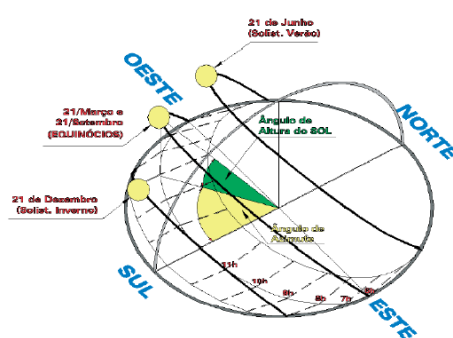


Figura 2 - Percurso do sol ao longo do ano

A figura 2 representa os percursos do sol ao longo do ano em Portugal. No solstício de inverno (21 de dezembro) o sol nasce relativamente próximo da orientação sudeste e põe-se relativamente próximo de sudoeste, variando o ângulo de azimute do nascer e pôr-do-sol com a latitude correspondente. Neste dia o ângulo de altura do sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano. Nos equinócios (21 de março e 21 de setembro) o sol nasce na orientação este e põe-se na oeste.

No solstício de verão (21 de junho) o sol nasce relativamente próximo de nordeste e põe-se a noroeste variando o ângulo de azimute do nascer e do pôr-do-sol com a latitude. É exatamente neste dia que o ângulo de altura do sol apresenta os valores mais altos de todo o ano [19].

### 2.2.2. Orientação das fachadas envidraçadas

Num edifício, a variação da posição do sol ao longo do ano assume uma grande importância na definição da localização das fachadas envidraçadas e das soluções construtivas na medida em que estas são elementos e ferramentas essenciais na otimização de ganhos e/ou perdas de calor. Vejamos:

- Orientação sul: o sol durante a estação de aquecimento percorre um trajeto próximo do azimute do sul, com uma incidência praticamente perpendicular à fachada, proporcionando maiores ganhos solares. Na estação de arrefecimento, a proximidade do zénite, no percurso solar diário, reduz significativamente a radiação na fachada sul durante todo o dia. Deste modo, pode concluir-se que a orientação sul privilegia os vãos envidraçados para captar a maior radiação de inverno e deverá ser devidamente sombreada, para evitar a radiação de verão [20].
- Orientação nascente e poente: o sol nasce junto do ponto cardinal sudeste, pelo que a incidência de inverno na fachada nascente é de curta duração e com um pequeno ângulo de incidência. No verão, a incidência é de longas horas desde o nascer (nordeste) até ao meio dia e com um ângulo de incidência próximo da perpendicular, representando grandes ganhos solares. A fachada poente sofre um efeito idêntico, com a respetiva simetria. De inverno o pôr-do-sol localiza-se a sudoeste, pelo que os ganhos são reduzidos. Durante a estação de arrefecimento a situação de ganhos é ainda mais elevada, pois é no período da tarde que ocorrem as maiores temperaturas no ar [21].  
Conclui-se que estas orientações acumulam dois efeitos pouco positivos: pequenos ganhos durante o inverno e ganhos excessivos durante o verão. O seu projeto é por isso crucial para as cargas térmicas dos edifícios [20].
- Orientação norte: esta é a orientação com menor impacto no efeito dos ganhos por radiação solar, contudo, é pelo mesmo motivo a fachada mais fria. Durante a estação de aquecimento, não apresenta ganhos solares diretos. Nesta orientação pode concluir-se que não haverá grande necessidade de sombreamentos, mas é de extrema importância o dimensionamento e qualidade do envidraçado que poderão aumentar as perdas térmicas durante o inverno.

### 2.2.3. Envolvente dos edifícios

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, quer sejam as perdas de calor através dos elementos construtivos da envolvente no inverno, quer os ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos elementos no verão, são fenómenos que influenciam o comportamento térmico dos edifícios [7].

#### – Envolvente exterior:

Do ponto de vista energético, o desempenho de um edifício depende em larga extensão das características dos elementos que fazem fronteira entre a casa e o ambiente exterior, ou seja, da sua envolvente (fachadas, janelas, coberturas). As características principais a ter em conta, relativamente aos ganhos e perdas de energia, são a inércia térmica dos materiais utilizados e o seu poder isolante que limitam a transferência de calor entre o interior e o exterior de um edifício. Um edifício mal isolado acarreta maiores custos com a climatização, pois para atingir o equilíbrio ou

índices de conforto consome mais energia: no inverno o arrefecimento acontece rapidamente podendo ocorrer condensações no seu interior e no verão aquece mais e num curto intervalo de tempo. Por esta razão torna-se essencial diminuir as perdas e os ganhos de calor utilizando técnicas de isolamento adequadas aos edifícios.

Assim, há algumas características que o edifício deve possuir de modo a proporcionar um nível baixo de transmissão de calor: Todas as partes estruturais deverão estar posicionadas no interior da área isolada;

- Deve-se evitar o aquecimento de pontes térmicas, ou seja, áreas em que o calor é dissipado em maior quantidade do que no resto do edifício (zonas de junção entre materiais diferentes, possíveis discontinuidades na colocação do isolamento, acontecendo frequentemente nos pilares, vigas ou recorte das janelas);
- Ter cuidado com a instalação das janelas e portas, de modo a evitar entradas e saídas de calor;
- Os elementos estruturais das sacadas e terraços não devem estar em contato com o exterior.

O sistema de isolamento das paredes exteriores é o mais eficaz e consiste na aplicação de placas de material isolante ou aplicação contínua de uma espuma nas paredes exteriores e em cobrir esses materiais com um revestimento, reforço ou reboco adequado, que pode ser pintado ou revestido de outros materiais. Esta forma de isolar as paredes exteriores proporciona vantagens significativas em termos de capacidade de aquecimentos do edifício. Uma vez que o isolamento externo é ininterrupto, as pontes térmicas são quase totalmente eliminadas.

#### – Cobertura

A cobertura de um edifício assume uma contribuição decisiva para o conforto e o abrigo que o espaço interior deve proporcionar. Um dos fatores que concorrem para estas funções da cobertura é o isolamento térmico.

A necessidade de isolar termicamente a cobertura de um edifício torna-se particularmente evidente ao verificar-se que a cobertura, de todos os elementos da envolvente, é aquele que se encontra mais exposto, tanto nas estações de aquecimento como de arrefecimento.

#### – Vidros e janelas

As superfícies envidraçadas desempenham um papel muito importante no domínio da eficiência térmica do edifício. Estima-se que até 25% das necessidades de aquecimento se devem a perdas de calor com origem nas janelas. Se, por um lado, estes elementos podem contribuir para a entrada de calor sem custos, por outro, podem constituir-se como veículos de saída de calor ou por onde este se dissipa.

Podem ser feitas intervenções nas janelas com o objetivo de reduzir as infiltrações de ar não controladas, aumentar a captação de ganhos solares no inverno, reforçar a proteção da radiação solar no verão e melhorar as condições de ventilação natural.

O isolamento térmico de uma janela depende da qualidade do vidro e do tipo de caixilharia utilizado. As janelas que possuem vidros duplos têm uma maior capacidade de isolamento do que as de vidros simples, já que o espaço entre os dois vidros reduz quase metade das perdas de calor. Para prevenir a entrada de calor em excesso no verão, o vidro exterior pode ser refletor. Para tornar as janelas mais eficientes reduzindo as perdas ou ganhos de calor, podem ser executadas intervenções simples e de custo pouco significativo, como seja aplicar tiras vedantes nas juntas das janelas ou injetar borracha de silicone em eventuais fissuras.

#### **2.2.4. Ventilação dos edifícios**

Os edifícios estão sujeitos a trocas de massa de ar entre o interior e o exterior, dependendo das diferenças de temperatura no caso de processos de ventilação natural. Noutros edifícios a ventilação é forçada por equipamento mecânico, de forma regulada e controlada. Uma terceira ação, a do vento, poderá influenciar também de forma significativa o desempenho energético dos edifícios, contribuindo também para a ventilação natural.

Qualquer destes processos induz no edifício uma carga térmica (fria ou quente) que importa ter em atenção no balanço térmico de qualquer edifício. No caso de uma carga térmica fria, estamos perante um processo de infiltrações que se efetuam através das frinchas das portas e janelas e podem representar uma carga considerável de arrefecimento no inverno, que deverá ser contrariada através de uma boa vedação dessas frinchas.

A ação do vento deverá ser tomada em consideração, particularmente naquelas regiões em que o clima é apresentado como característica muito relevante. A utilização de vegetação para proteção de ventos dominantes que provocam efeitos desconfortáveis nos edifícios, bem como a existência de sistemas de captação do vento e de indução de correntes de circulação de ar para arrefecimento, são estratégias que deverão ser tidas em consideração e atendendo ao clima do local.

Acresce que estes processos são, na maioria dos casos, os únicos que permitem a renovação do ar interior, necessária por questões de salubridade, e a necessidade de se manter esse mesmo ar num estado higrométrico que possa evitar a ocorrência de condensações interiores.

De salientar o importante papel da ventilação natural no verão, como processo de arrefecimento noturno ou quando tal se torna necessário no sentido de arrefecer o ambiente interior. Mas não é só no verão que tal efeito é importante. Nas estações intermédias, a ventilação natural é o processo mais eficiente no controlo do sobre/sub aquecimento dos edifícios.

### **2.3. Aquecimento e Arrefecimento**

Para a conceção de um edifício, a adoção de certas estratégias poderá influenciar significativamente o desempenho desse edifício em termos de conforto térmico no seu interior e, conseqüentemente, dos seu ocupantes.

Como o consumo energético depende das condições de conforto que os ocupantes querem atingir, se o edifício estiver pouco adaptado ao clima será necessário um maior consumo energético para atingir os níveis de conforto térmico pretendido. As estratégias que têm em atenção as condições do local e da sua interação com o clima, proporcionando a adequação do edifício com o clima, são designadas por estratégias bioclimáticas. Trata-se de regras gerais que se destinam a orientar a conceção do edifício tirando o máximo partido das condições climáticas de cada local.

Quando na criação de um edifício são utilizadas as estratégias bioclimáticas corretas, o edifício está mais próximo de atingir as condições de conforto térmico ou de diminuir os respetivos consumos energéticos para atingir esses fins.

O projeto dum edifício bioclimático deverá começar por uma criteriosa escolha na implementação e a orientação do edifício, de modo a otimizar os ganhos solares no mesmo. Importa, já nesta fase, saber se o clima é favorável a esses ganhos solares nas diferentes estações do ano e quais os cuidados a ter quando às proteções solares no período de arrefecimento. O conhecimento da temperatura exterior ao longo do ano, e a amplitude térmica de extrema importância em virtude do papel que desempenha no estabelecimento de fluxos energéticos, designadamente ao nível de perdas e ganhos térmicos e do potencial em termos de ventilação natural.

De modo a obterem-se os tipos de estratégias que devem ser utilizadas para cada clima em particular, é utilizada a carta bioclimática de Baruch-Givoni.

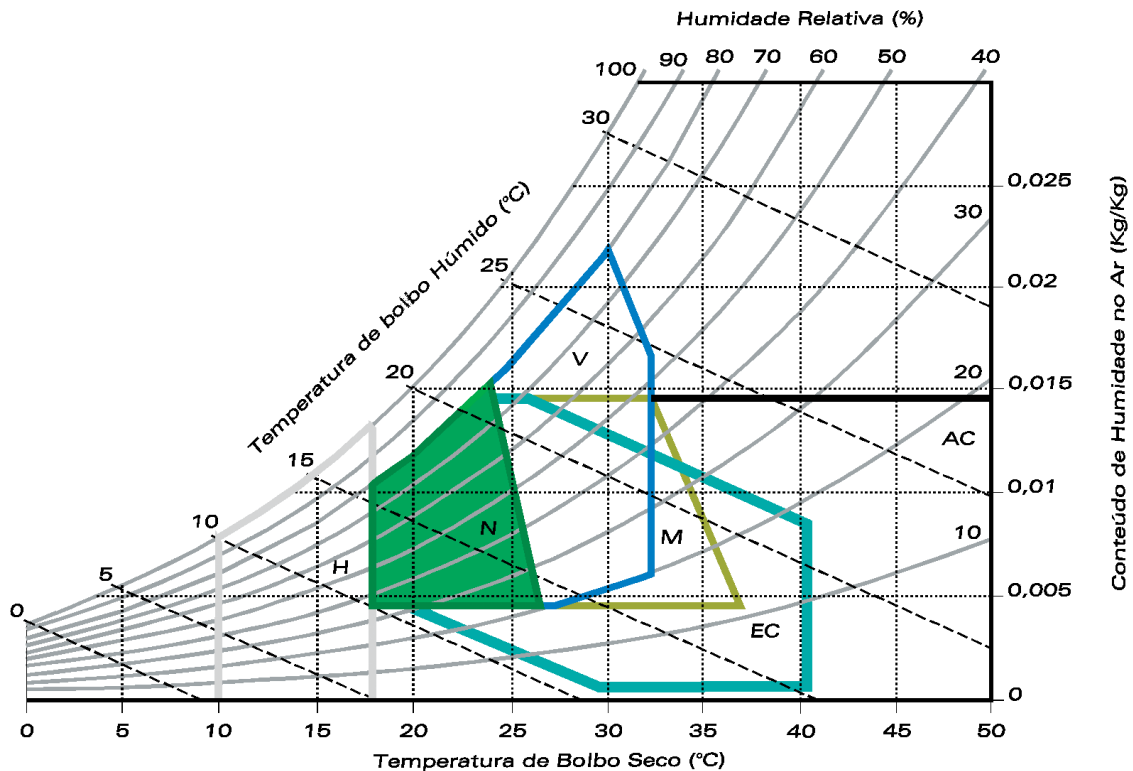


Figura 3 - Carta bioclimática de Baruch-Givoni [21]

Nesta carta, são registradas as ocorrências dos estados do ar (temperatura e umidade) verificados no exterior. As diferentes localizações dessas ocorrências na carta assumem geralmente a forma de uma mancha, sendo essa localização indicadora do tipo de clima do local e conseqüentemente do tipo de estratégias mais adequadas ao bom desempenho do edifício nesta matéria [19].

#### Estratégias bioclimáticas de aquecimento

- Restringir a perda por condução – Zona H na carta bioclimática, correspondendo a climas de inverno agressivo – aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos (paredes, coberturas, pavimentos e envidraçados) são exemplos deste tipo de estratégias;
- Restringir as perdas por infiltração e reduzir o efeito da ação do vento no exterior do edifício – Zona H da carta, correspondendo a climas de inverno agressivo – como exemplos de aplicação são a utilização de caixilharias de janelas com uma vedação eficiente, proteção dos ventos dominantes com vegetação e escolha de uma boa localização para o edifício;
- Promover os ganhos solares – Zona H – existem bons exemplos de aplicações deste tipo de estratégias nos sistemas solares passivos para aquecimento.



### Estratégias bioclimáticas de arrefecimento

- Promover ventilação natural – Zona V, correspondendo a climas de tipo tropical e equatorial, ou temperado de influência marítima;
- Restringir ganhos solares – Zonas V, EC, AC, M e E, da carta correspondendo a todos os climas que necessitam de arrefecimento;
- Promover o arrefecimento por evaporação – zonas EC e M da carta, correspondendo a climas temperados secos, e climas de regiões desérticas áridas e muito secas;
- Promover o arrefecimento por radiação – Zonas M, correspondendo a todos os climas quentes de influência continental de elevadas amplitudes térmicas – são exemplos desta estratégia toda a arquitetura no sul da europa, e particularmente no Alentejo e Algarve.
- A zona N corresponde à zona neutra de conforto para o ser humano onde as condições de clima exterior estão próximas das condições de conforto;
- Nas zonas AC não é possível atingir estados de conforto térmico sem recurso à utilização de meios mecânicos não passivos.

O mapa climático existente no RCCTE divide Portugal Continental em três zonas para o verão e três para o inverno.

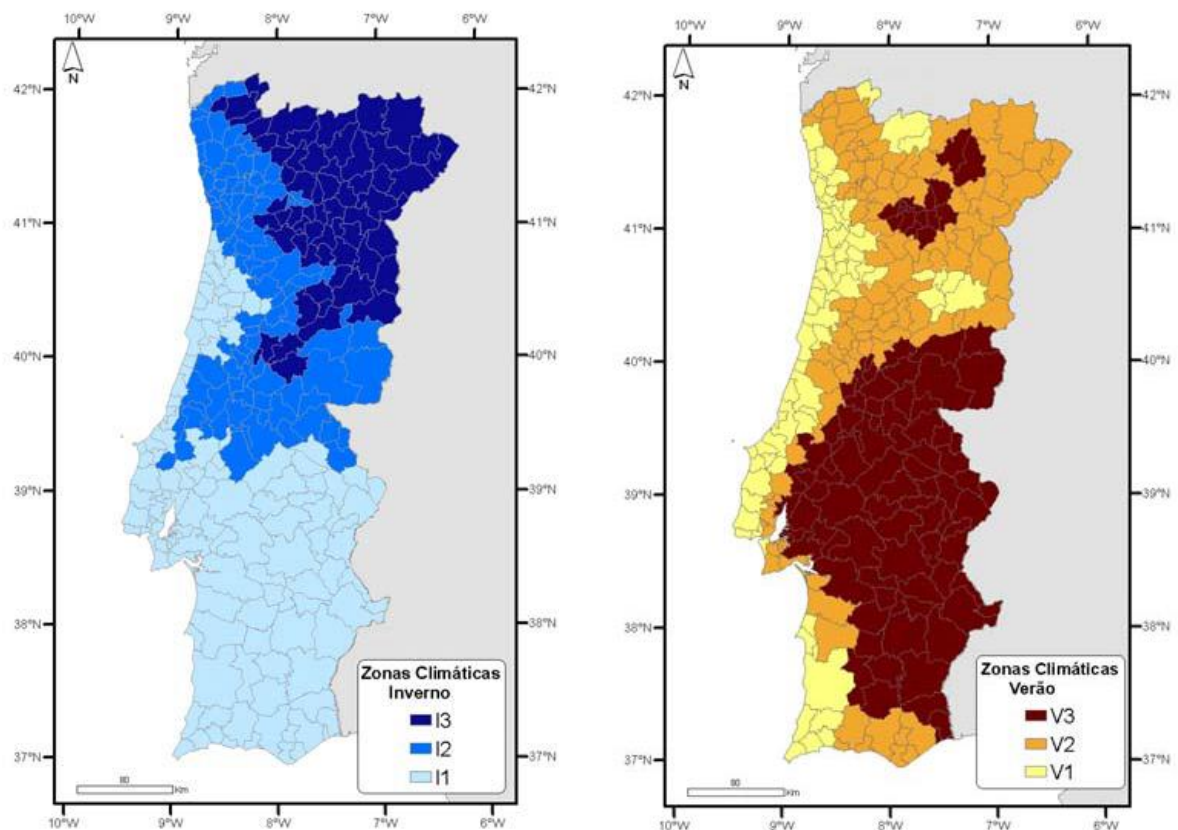


Figura 4 - Mapa climático de Portugal Continental [22]

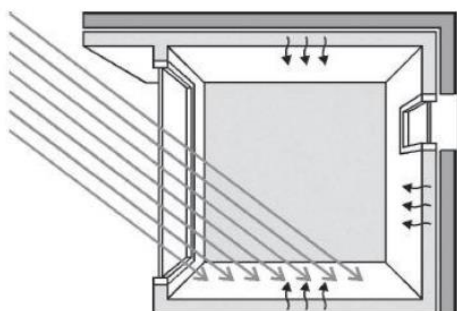
Assim, os estudos efetuados mostram que no inverno, havendo três zonas climáticas definidas para Portugal Continental (I1,I2,I3) interessa em primeiro lugar e como estratégia principal, isolar a envolvente dos edifícios numa graduação proporcional à correspondente divisão climática, sendo a zona I3 aquela que maior cuidado necessita. Complementarmente, é necessário salvaguardar excessos de infiltrações de ar frio exterior. Por outro lado, importa em qualquer das zonas climáticas, promover os ganhos solares, sendo também a zona I3 a que mais necessita de intervenção ou atenção. A obtenção destes ganhos é feita através de vãos envidraçados devidamente orientados, sendo que a área de captação deverá ter em conta a especificidade de cada edifício (orientação, tipo de vidro e clima local).

No verão, as três zonas climáticas (V1,V2,V3) também apresentam características comuns, ainda que com severidades distintas. Por regra a seguir em todas as zonas, interessa diminuir os ganhos solares mediante a adoção de soluções eficazes de sombreamento dos vãos envidraçados, e promover a ventilação natural durante períodos em que a temperatura exterior seja favorável, dependendo de cada zona e de cada tipo de edifício. Para evitar a necessidade de ar condicionado no verão, não basta evitar os ganhos solares, é também necessário adotar soluções construtivas de inércia elevada, para que possa haver estabilidade da temperatura interior e, portanto, minimizar situações de sobreaquecimento. A inércia é também essencial para um correto aproveitamento dos ganhos solares no inverno [22].

### **2.3.1. Sistemas passivos para Aquecimento**

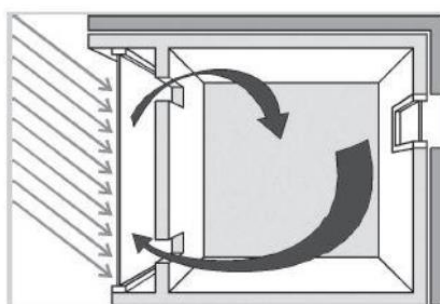
Consoante o tipo de captação e armazenamento de energia, os sistemas solares passivos para aquecimento podem ser classificados de ganhos diretos, indiretos ou isolados.

O ganho direto é o método mais simples de captação de energia de radiação solar para aquecimento do interior do edifício. Denomina-se por ganho direto por se tratar de um mecanismo de absorção, armazenamento e libertação de energia que é feito diretamente nos diversos compartimentos de uma habitação, isto é, a radiação incidente num vão ou numa parede exterior é transmitida ao compartimento correspondente. Devido ao efeito de estufa, a massa térmica que o elemento exterior possui é aquecida através da radiação solar durante o período diurno, sendo libertada para o interior do edifício durante o período noturno. Para que este sistemas seja o mais eficaz possível, deve ter sido em conta a dimensão e a orientação do vão envidraçada, que, se for a sul, as perdas por condução de calor não superem os ganhos, no inverno. Outro dado importante a considerar é o isolamento térmico eficiente dos elementos opacos e a proteção móvel dos envidraçados, que devem permitir reduzir as perdas de calor.



**Figura 5 - Sistema de ganho direto [23]**

Nos sistemas passivos de aquecimento através de ganhos indiretos, a radiação solar que incide na envolvente de um edifício provoca o aquecimento da massa de ar situada entre a envolvente exterior e o interior do compartimento. A energia solar é transformada em energia térmica sendo depois transferida para o interior do edifício através da ventilação natural, permitindo ao utilizador regular o sistema de forma a evitar sobreaquecimentos. O sistema mais usual de ganho indireto é a parede acumuladora, conhecida por parede de Trombe, podendo existir outros mecanismos como por exemplo as paredes e coberturas de água e o ganho indireto através do pavimento. A figura 6 representa essa parede, que funciona como uma pequena estufa, constituída por um vidro exterior, uma caixa-de-ar e uma parede de grande inércia. Esta parede interior apresenta um conjunto de orifícios possibilitando a recirculação de ar, permitindo que todo o edifício possa ser aquecido através deste sistema.



**Figura 6 – Sistema de ganhos indiretos- Parede de Trombe [23]**

O objetivo deste sistema é a captação e acumulação de energia proveniente da radiação solar. Esta radiação, ao incidir no vidro, faz com que o ar existente na caixa-de-ar seja aquecido, provocando também o aquecimento da parede interior, fazendo com que a energia acumulada por esta parede seja transferida para o interior do edifício durante o período noturno. A inércia da parede interior, servindo de acumulador, torna-se importante para retardar a transmissão de energia.

Por fim, os ganhos isolados, que, como o próprio nome indica, capta a energia da radiação solar através de um espaço ou elemento separado da zona habitável do edifício. Normalmente a opção é a construção de uma estufa acoplada ao edifício. É importante referir que, durante a conceção da estufa, é fundamental ter em atenção alguns aspetos que o tornarão o mais eficiente possível, tais como, a orientação solar e o tipo de material utilizado. Assim, o ideal será a estufa estar orientada a sul, utilizando na sua construção material que possua um amplo

espectro de transmissividade, o que possibilita um aumento da quantidade de energia transmitida e retida.

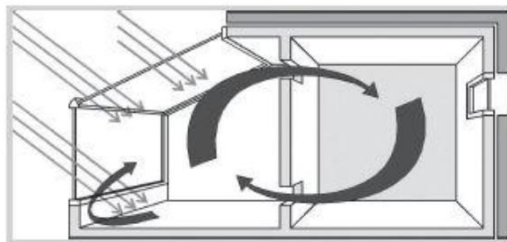


Figura 7 – Sistema de ganhos isolados [23]

### 2.3.2. Sistemas passivos para arrefecimento

Os principais sistemas passivos de arrefecimento são a ventilação natural e o arrefecimento pelo solo. No entanto, existem também o arrefecimento evaporativo e o radiativo.

A ventilação natural é um processo que consiste na entrada de ar frio e a saída de ar quente, provocado pelas diferentes pressões entre o interior e o exterior, devido ao diferencial de temperatura. Para retirar o máximo das potencialidades deste sistema é imprescindível dimensionar corretamente as aberturas úteis para entradas e saídas de ar, por forma a satisfazer o caudal de renovação de ar exigível.

No caso de se tratar de um sistema de arrefecimento pelo solo, o ar é conduzido por um sistema de condutas enterradas, entrando no edifício pelo piso inferior e, conseqüentemente, expulsando o ar quente na parte superior do edifício através de aberturas reguladas. O desempenho destes sistemas depende do tipo de condutas e da profundidade a que estão colocadas, bem como da temperatura do ar e do solo.

O arrefecimento evaporativo baseia-se na diminuição de temperatura associada à mudança de fase da água do estado líquido ao de gasoso. Quando o decréscimo é acompanhado por um aumento do conteúdo do vapor de água, trata-se de um arrefecimento evaporativo direto. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício.

No arrefecimento radiativo, a emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior de um edifício poderá ser utilizada no arrefecimento do mesmo. As perdas por radiação ocorrem durante os períodos diurnos e noturnos, tratando-se pois de um processo contínuo. É, no entanto, durante o período noturno que os seus efeitos se fazem sentir mais em virtude da ausência de radiação solar direta.

### **2.3.3. Sistemas ativos para aquecimento e arrefecimento**

Existem vários sistemas que, hoje em dia, são utilizados no quotidiano da população para lhe fornecer conforto térmico. Esses instrumentos, além de serem aqueles com maior impacto no ambiente de uma habitação, são, também, responsáveis por grande parte da fatura elétrica da mesma e pelas emissões de gases poluentes na atmosfera (GEE). Assim, é importante que a sua eficiência energética seja um fator fundamental. Atualmente, alguns destes sistemas mais utilizados são os sistemas de aquecimento central e o ar condicionado.

## **2.4. Síntese do capítulo**

Neste capítulo foi apresentado os princípios fundamentais dos conceitos bioclimáticos e a sua aplicação nos edifícios. De um modo muito geral, foram estudadas as fontes climatéricas mais importantes para uma redução do consumo energético.

Apresentados os princípios fundamentais dos conceitos bioclimáticos e a sua aplicação nos edifícios, analisaram-se as fontes climatéricas mais determinantes na redução do consumo energético.

Pela interação que tem com os edifícios, verifica-se que o sol é a fonte de calor que mais importa compreender, quer em termos energéticos (valores da radiação solar) com em termos da sua posição ao longo de todo o ano, para deste modo melhor projetar os edifícios em termos bioclimáticos.

De uma forma geral, no inverno interessa promover os ganhos de radiação pelo que se apresenta benéfica a abertura de vãos envidraçados no quadrante sul. No verão interessa restringir os ganhos de radiação, pelo que se afigura importante que os vãos sejam dotados de dispositivos de sombreamento eficazes. Uma atenção a ter sobretudo nos vãos a poente e nascente.

Um isolamento adequado da envolvente do edifício proporciona poupanças ao nível dos custos de aquecimento e arrefecimento.

## 3. O clima em Portugal

### 3.1. Introdução

A evolução do clima no planeta nas últimas décadas colocou o problema das alterações climáticas na agenda internacional. A partir da última década do século XX, foi bastante notória uma tendência de aquecimento, ainda que moderada mas acima do nível usual de variabilidade interanual. De facto, nos últimos anos têm sido registadas situações extremas de calor, com grande impacto económico e social, obrigando a sociedade a olhar para o aquecimento global como uma problema permanente, a requerer estudo, monitorização e planeamento.

Em Portugal Continental, segundo diversas observações meteorológicas realizadas e que incluem também os arquipélagos dos Açores e da Madeira, indicam que o clima sofreu, também ao longo do século XX, uma evolução caracterizada por dois períodos de aquecimento intercalados por um período de arrefecimento. Desde a década de 1970 que a temperatura média subiu em todas as regiões do país a uma taxa de cerca de 0,5°C/década. Na generalidade das regiões portuguesas, observou-se uma subida mais intensa das temperaturas mínimas traduzida numa redução da amplitude térmica diária [2].

Vejamos de seguida como será o comportamento do clima daqui por diante, utilizando cenários climáticos. Estes constituem uma estimativa da evolução do clima global ao longo do século XXI. Para o efeito, foram considerados dois cenários de emissões de gases com efeito de estufa, compatíveis com os cenários SRES do Painel Intergovernamental para as alterações climáticas, recorrendo-se a dados climáticos provenientes do modelo global *HadCM3*, transferidos para as estações de referência.

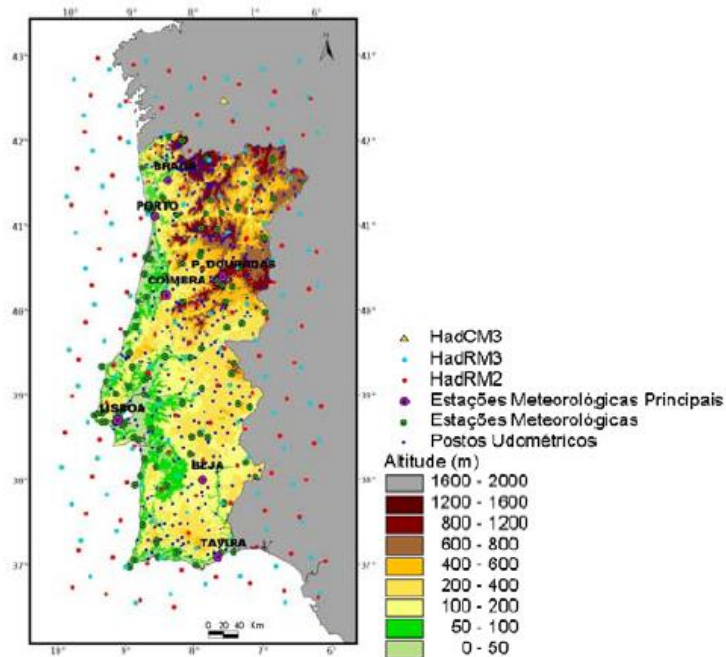


Figura 8 – Mapa topográfico de Portugal continental, com localização das estações meteorológicas e postos udométricos do Instituto Português do Mar e da Atmosfera e dos pontos de grelha dos modelos utilizados

### 3.2. Evolução climática em Portugal Continental

O território de Portugal Continental, compreendido entre as latitudes de 37° e 42°N, está situado na região de transição da zona dos anticiclones subtropicais para a zona das depressões subpolares. Os fatores que mais condicionam as condições climáticas em Portugal Continental são, para além da latitude, a orografia, a influência do oceano Atlântico e a continentalidade [24, 25].

Portugal Continental tem uma extensão longitudinal somente de cerca de 5° de latitude, os valores mais altos de altitude estão compreendidos entre os 1000 e os 1500m, à exceção da Serra da Estrela, com cerca de 2000m e, no que respeita à continentalidade, as regiões mais interiores distam cerca de 220 km do oceano Atlântico.

Devido à conjugação destes fatores ocorrem variações significativas de alguns parâmetros meteorológicos nomeadamente da temperatura do ar e da precipitação, quer do ponto de vista espacial, que ao longo do ano. A temperatura média anual varia entre os 7°C, nas temperaturas altas da região centro e os 18°C junto à costa sul. A temperatura média mensal varia regularmente ao longo do ano, atingindo o seu máximo em agosto e o mínimo em janeiro.

Portugal está também associado a um clima mediterrânico, com verões longos, quentes e sem chuva e invernos moderados. Mas são efetivamente os ventos soprados do Atlântico sobre o território português os grandes reguladores da atmosfera e do clima, apenas com menor intensidade no verão e menos acentuadamente no sul. Existem também três contrastes básicos que dividem climaticamente o território continental: norte/sul, em que o norte é mais

atlântico e o sul o mais mediterrânico; litoral/interior, onde o primeiro é mais rico em água e em cobertura vegetal e o segundo mais árido; e terras altas/terras baixas, sendo as terras altas mais frias e chuvosas.

Um estudo de análise estática de séries climatológicas da temperatura média do ar em Portugal Continental, com base em 40 estações no período 1931-1998 [26], mostra que:

- O ano de 1997 foi o mais quente, com um desvio de +1,6°C em relação à média do período 1961-1990;
- Os seis anos mais quentes neste período ocorreram em 1989 e na década de 90;
- Desde 1972 que se verifica uma tendência para aquecimento, o que é coincidente com as tendências globais observadas.

Outros estudos efetuados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera de análise das séries mais longas de observações meteorológicas permitem detetar sinais de alterações climáticas em Portugal. As séries serão analisadas por métodos estatísticos procurando testar se existe uma alteração, ao longo do tempo, da distribuição de probabilidade da grandeza climática em estudo. Detetam-se sinais da existência de alterações climáticas na temperatura do ar, na quantidade de precipitação e na temperatura da água do mar.

A análise de séries longas da temperatura do ar, que é o parâmetro que mais interessa no presente estudo, indica que a temperatura do ar tem aumentado. Esse aumento ocorre não só na temperatura mínima como também na máxima, o que se traduz num aumento da temperatura média diária, apesar de traduzir uma menor amplitude entre as temperaturas máximas e mínimas.

Outro fator que indica alterações climáticas é a ocorrência de períodos prolongados com valores elevados da temperatura máxima do ar. Este é um fenómeno que ocorre cada vez com mais frequência em Portugal Continental.

Desde a década de 1940, altura a partir da qual existe informação meteorológica em maior número de estações, têm-se verificado ondas de calor, ainda que de extensão e duração variável. Em 1970 registou-se um número elevado de dias de ondas calor, e posteriormente esse valor diminuiu. Até à última década, em que o número de dias de ondas de calor tem vindo a aumentar e é muito superior a qualquer outro período de tempo [27].

Surge então, a necessidade de avaliar os potenciais impactos associados às alterações climáticas.

No âmbito do projeto *Scenarios Impacts and Adaptation Measures* – [24], foram avaliados impactes de cenários de alterações climáticas em diversos domínios, florestas, agricultura, saúde humana, recursos hídricos, entre outros. Neste estudo os resultados disponíveis dos modelos numa escala global foram utilizados para definir cenários de alterações climáticas a uma escala mais pequena, regional ou local. Estes cenários constituem a base para a avaliação dos impactes das alterações climáticas em Portugal.



### 3.3. Cenários Climáticos

O comportamento do complexo sistema climático da Terra - resulta da interação particularmente determinante dos subsistemas atmosfera e hidrosfera, mas também da criosfera, da litosfera e da biosfera – é simulado por modelos computacionais de circulação geral da atmosfera – oceanos. Com base nestes, é possível reconstituir, avaliar e interpretar os climas das últimas décadas e gerar cenários climáticos futuros. Mas estes dependem de como evoluirá a própria atividade humana, nomeadamente no que respeita às emissões de GEE, de acordo com quadros de desenvolvimento para grandes intervalos de tempo. Assim, os exercícios prospetivos no âmbito das alterações climáticas para médio – longo prazo, normalmente até ao ano 2100, com vista à determinação dos seus impactes, fazem-se identificando pressupostos sobre as principais forças e ações presentes. As tendências dessas variáveis constroem descrições plausíveis e necessariamente simplificadas do modo como as sociedades humanas e o ambiente mundial evoluirão [24,25].

Os cenários estão sujeitos a incerteza, uma vez que não é possível reproduzir com precisão a complexidade dos sistemas climáticos, económico e social. Em Portugal, são utilizadas as prospetivas feitas pelos cenários socioeconómicos *Special Report on Emission Scenarios (SRES)* do *Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC)*. Esta cenarização pode ser simplificada considerando-se apenas duas variáveis mestras: tipo/ nível de governamentação – de regional a global; e prioridade aos valores – economia *versus* ambiente. Daqui resultam quatro famílias de cenários – A1, A2, B1 e B2.



Figura 9 – Quatro cenários do IPCC

Ao cenário A1 estão associadas mais emissões, resultado da prioridade aos interesses económicos e, conseqüentemente, é atribuída menor atenção ao ambiente. Para alguns especialistas este cenário é considerado de “Economia Global” ou “Conforto e Eficiência sem Fronteiras”: trata-se de um futuro com elevada equidade económica e tendência para a aproximação entre os rendimentos *per capita* nos padrões que atualmente se designa de

países “ricos” e “pobres”. O crescimento económico mundial continua a manifestar-se no seguimento da tendência média verificada desde 1850, ou seja, cerca de 3% por ano. A população mundial chega a um máximo de 9000 milhões até 2050, mas depois a perspectiva é de descer para 7000 até 2100. O ambiente é encarado de uma forma utilitária, de acordo com a sua influência na economia.

O cenário B1, “Sustentabilidade Global Equitativa”, é caracterizado por elevadas preocupações sociais e ambientais, com equidade e educação elevadas. Em suma, uma implementação bem-sucedida a nível global do conceito de desenvolvimento sustentável. Há um rápido desenvolvimento e difusão de tecnologias com ênfase para a eficiência do uso de recursos energéticos e materiais. Daí resultam emissões mais baixas do conjunto dos cenários SRES. O crescimento económico global é apenas um pouco menor do que no cenário anterior, mas existe uma maior qualidade de vida a nível não económico. O padrão de evolução de população é o mesmo que em A1. A economia tem um maior enfoque em serviços do que em bens e em qualidade em vez de quantidade. Estes efeitos resultam, tal como em A1, de uma acentuada redução da intensidade energética, neste caso acompanhada por uma transição suave das fontes primárias de energia fóssil para as energias renováveis. A poluição é muito controlada e regulamentada e a produção total de resíduos e as emissões de GEE e outros poluentes baixam continuamente.

Ao cenário A2, “Proteccionismo” ou “Autossuficiência Regional”, corresponde a um futuro com menos equidade quando comparado com o par A1/B1, mas tensões internacionais, menos cooperação internacional; menos desenvolvimento económico e com a tecnologia a desenvolver-se e a generalizar-se mais devagar. A população mundial cresce continuamente até atingir os 15000 milhões em 2100. O desenvolvimento da economia é moderado pela escassez de recursos e pelo relativo isolamento dos blocos regionais. Onde os recursos naturais são elevados, o seu uso é intenso e predominam as fontes fósseis de energia; a intensidade energética e as emissões de GEE são mais elevadas do que em B1 e B2.

Finalmente no cenário B2, “sustentabilidade Rural” ou “De volta à natureza e à Comunidade” a população cresce continuamente atingindo um limite de 10000 milhões em 2100. De realçar a auto-suficiência regional em particular no uso de recursos e produtos locais. A preocupação com a sustentabilidade do uso dos solos é elevada; as atitudes voluntaristas são muito relevantes neste cenário; há redução das necessidades de mobilidade, menor utilização do automóvel e diminuição da extensão dos subúrbios. É preferido o uso de tecnologias de baixo impacto ambiental e de recursos energéticos renováveis, mas globalmente a energia fóssil perde domínio lentamente.

A diferença entre os diferentes resultados, no conjunto dos cenários considerados, permite avaliar a incerteza associada às projeções climáticas analisadas.

No presente estudo foram utilizados dois dos quatro cenários climáticos: O A2 e o B1, intitulados respetivamente por pessimista e otimista. Daqui por diante terão sempre esta denominação. Para cada um dos cenários foram ainda selecionadas três períodos de 30 anos, igualmente separados por um intervalo de trinta anos: o período de referência, correspondendo aos anos de 1961-1990; o período de 2020-2050; e o período 2070-2100.

Estas séries são designadas daqui em diante por “clima recente”, “meados do século” e “finais do século”.

### **3.4. Downscaling de cenários climáticos**

Os dados necessários ao estudo das alterações climáticas consistem em valores climáticos (médias sobre períodos de 30 anos) e séries de valores diários de parâmetros meteorológicos, dos quais os mais importantes são a temperatura mínima e máxima, precipitação, radiação solar global, humidade relativa, intensidade do vento à superfície e a pressão atmosférica.

Os modelos numéricos acoplados de circulação geral (GCM) constituem a melhor forma, possivelmente a única cientificamente credível, de simular cenários de alteração climática. Os GCM's são elaborados a partir de equações que representam os processos físicos que ocorrem na atmosfera e nos oceanos. As equações são discretizadas no espaço e no tempo, em redes que cobrem todo o globo, com resoluções horizontais da ordem de centenas de km.

Com a implementação de modelos globais cada vez mais sofisticados e com o aumento da capacidade computacional, é possível reproduzir, com precisão crescente, os padrões de larga escala das distribuições sazonais de temperatura e pressão. Deste modo, diversos modelos globais têm sido capazes de reproduzir satisfatoriamente as principais características das tendências do clima passado, quando se tem em consideração as concentrações observadas de GEE e as emissões de aerossóis. Por exemplo o modelo do *Hadley Centre HadCM3* é capaz de reproduzir de forma aproximada as tendências da temperatura média global observadas desde 1860 [28]. E é exatamente esse modelo que será utilizado no presente trabalho.

A confiança nos resultados dos modelos globais de clima tem vindo a crescer gradualmente, aumentando igualmente a confiança na representatividade dos cenários climáticos produzidos por estes modelos. No entanto existem sempre incertezas associadas às simulações de modelos. Estas incertezas resultam, quer dos próprios cenários de emissão dos GEE, sendo ilustrada pelo conjunto dos cenários SRES, quer por diferenças nas formulações dos diversos modelos globais.

Mas por si só, os GCM's não são capazes de avaliar as alterações climáticas a nível local/regional. Ao longo das últimas décadas têm vindo a ser estudadas inúmeras técnicas para “ligar” as baixas escalas fornecidas pelos GCM's e as escalas requeridas pelas diversas comunidades que estudam os impactos a jusante. Estas metodologias são designadas por regionalização - *downscaling*.

Por definição, a regionalização permite identificar as relações existentes entre padrões de circulação de larga escala e variáveis climáticas observadas à escala local. Estas relações são depois utilizadas nas saídas de GCMs de forma a traduzir as alterações futuras da circulação geral em anomalias de parâmetros meteorológicos à escala local.

Existem dois processos de regionalização de cenários climáticos: estática e dinâmica. A tese de Mestrado de Pedro Lopes discute estas abordagens ao pormenor [5]. Havendo que fazer escolhas, a opção selecionada foi a estática, uma vez que é possível obter os mesmos resultados e sem requerer qualquer custo computacional.

### 3.4.1. Da escala global às estações de referência

Para o *downscaling* estático podem ser ainda adotados dois métodos. O primeiro corresponde a um gerador estocástico que pode ser utilizado para a simulação do clima para um local em específico, sob condições climáticas atuais e futuras. Este foi o método utilizado no presente trabalho, utilizando a ferramenta LARS WG (*Long Ashton Research Station Weather Generator*), desenvolvido por Steven e Brooks [29]. Este é considerado como o método de “anomalias” e crê-se que a escolha deste não afetou a qualidade dos resultados pois a variabilidade entre os próprios cenários SRES é bastante maior do que a incerteza adicionada pelo uso de um método de *downscaling* menos sofisticado do que as alternativas [5,10].

O segundo método estático é um híbrido de gerador de tempo e é em função de transferência de métodos estocásticos. Neste caso, os padrões de circulação de larga escala e as variáveis atmosféricas fornecidas mais concisas são a ocorrência e a intensidade de precipitação. Este método é utilizado recorrendo à ferramenta SDSM (*Statistical DownScaling Model*) e foi desenvolvido por Wilby, Downson e Barrow [30]. Este método poderá ser aprofundado por exemplo no projeto europeu 2-FUN – “*Methodologies for downscaling socio-economic, technological and emission scenarios, as well as meteorological scenario data, to country level and smaller regions – part II: climate*” [31].

Um primeiro passo na regionalização dos cenários climáticos consiste em transferir os dados para a célula do modelo global para a localização de uma estação meteorológica representativa das regiões em análise. Os *input* climáticos utilizados foram as temperaturas mínimas e máximas e a intensidade solar, obtidos no ECA&D [32] para as seguintes estações meteorológicas:

Tabela 1 – Dados das estações meteorológicas utilizadas

Região	WMO	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Bragança	08575	41:48:00	-06:44:00	691
Évora	08562	37:01:00	-07:52:00	246
Faro	08554	37:01:00	-07:58:00	7
Lisboa	08535	38:43:00	-09:09:00	77
Porto	08545	41:14:00	-08:41:00	69

O período utilizado para climatologia base do modelo foi compreendido entre 1961 e 1990. Esta escolha provém do padrão meteorológico adotado pela Organização Mundial de Meteorologia e é utilizado pelo IPCC como período base em projeções das alterações climáticas futuras.

Estatísticas similares são compiladas com os dados do HadCM3, para o mesmo período de tempo, bem como simulações diárias para as janelas temporais do clima futuro, sob os dois cenários distintos. Estes foram obtidos pelo projeto PRUDENCE (*Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining EuropeN Climate change risks and Effects*) [33].

À diferença dos dados climáticos obtidos, (do período recente para o futuro) desta climatologia diária do GCM são as designadas *anomalias*. Estas são aplicadas à climatologia de referência em cada estação em causa obtendo-se a climatologia nas janelas temporais futuras. Por exemplo, se numa dada região a diferença de temperatura entre um período futuro e o clima atual, ambos fornecidos pelos GCMs, for 4°C basta adicionar esse aumento ao período de referência para cada estação em estudo.

Para incorporar as alterações na variabilidade climática, com o intuito de gerar os cenários futuros, os dados meteorológicos foram então inseridos no *software* LARS-WG, que se encontra disponível para download site CCIS (Canada Climate Impact Scenarios) [34].

Foi então feita a regionalização dos dados do modelo HadCM3 para as estações em estudo. De seguida são compilados os valores obtidos.

### **3.5. Análise da temperatura segundo os cenários climáticos**

Neste subcapítulo será mostrado o resultado da variação média da temperatura do ar. Estes novos valores vão influenciar não só a relação de trocas de calor exterior/interior como também o número de Graus-Dia em cada região. Além da temperatura o modelo também forneceu dados relativos à intensidade da radiação solar, mas este apenas será abordado no capítulo 5, uma vez que a análise deste parâmetro requer uma abordagem e ajustes específicos.

Os resultados obtidos indicam que durante este século a temperatura em todo o território português vai aumentar, como se poderá ver nas tabelas abaixo.

- Norte

Bragança é o distrito do país em que o aumento da temperatura média à superfície será mais acentuado.

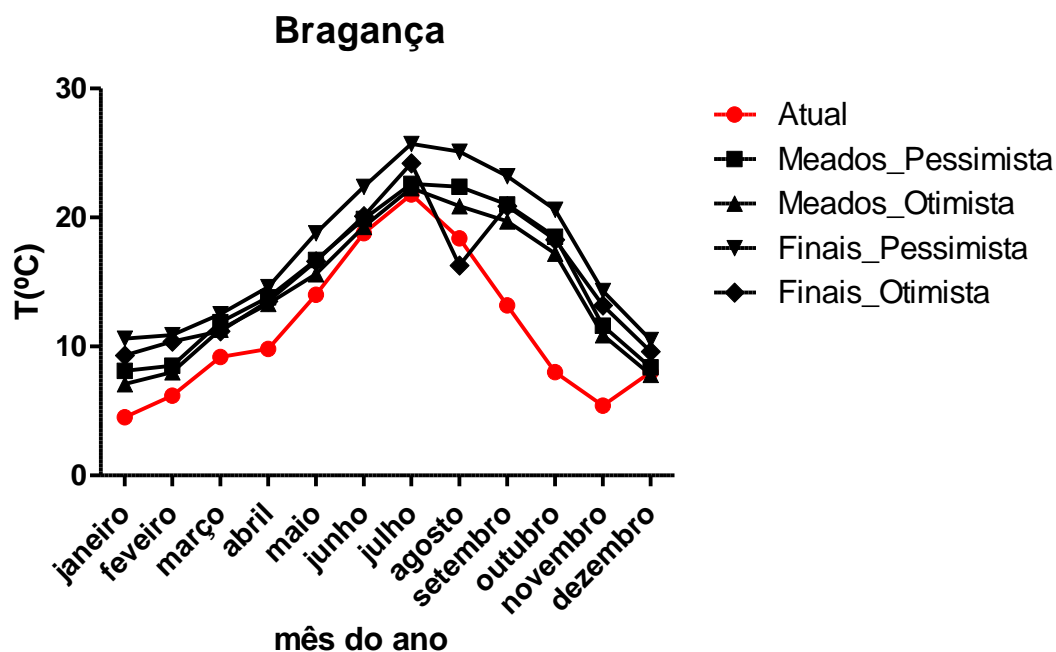


Figura 10 – Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Bragança

Bragança tem o maior aumento da temperatura registado nos meses de outubro e novembro. A temperatura em outubro varia entre um aumento de 9°C e 13°C até final do corrente século. E novembro entre 5°C e 9°C. Segundo o cenário pessimista, o aumento máximo é sempre registado em final do século. Verifica-se também que nos meses de janeiro e setembro também vai haver um agravamento da temperatura, mas menos intenso do que o anterior. Verifica-se que, segundo o cenário otimista, há um aumento de temperatura de cerca de 2°C até finais do século.

Para o caso do Porto, o aumento esperado de temperatura não é tão abrupto como no caso anterior.

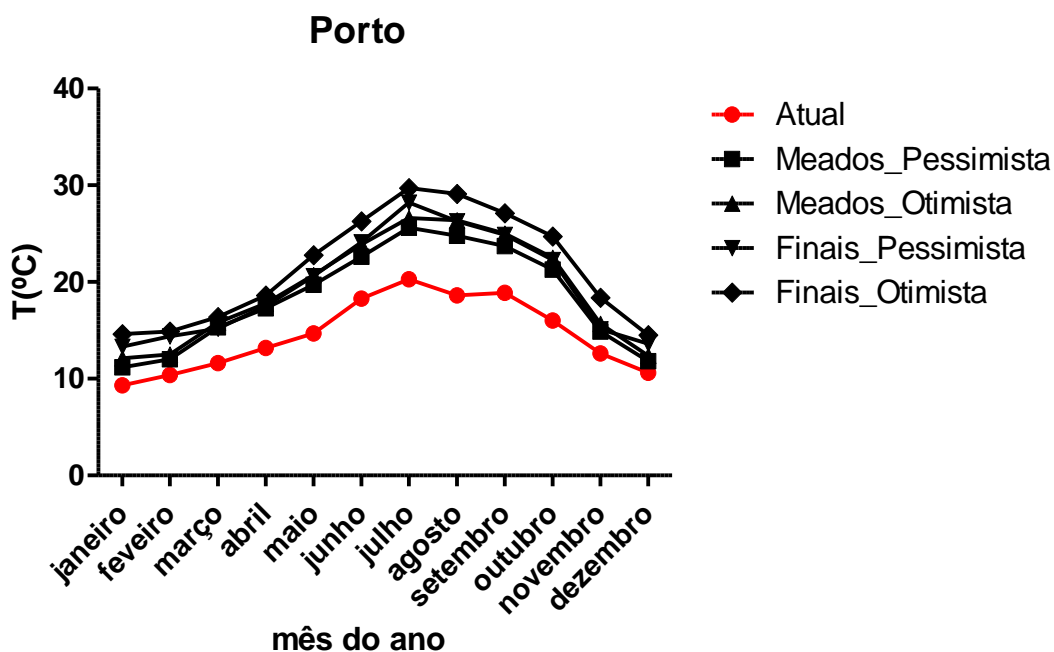


Figura 11 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para o Porto

No Porto os aumentos de temperatura oscilam entre 1 e 10,5°C. Uma vez mais os valores mais elevados de temperatura verificam-se no final do século, no cenário pessimista. Para o Porto os meses em que houve um maior aumento de temperatura foram agosto, julho e outubro. De um modo geral, a média da temperatura dos meses de verão para finais do século, oscilarão entre 26 e 29,7°C.

Para toda a região Norte, verifica-se que em ambos pode-se verificar que os cenários, as temperaturas sofrem um aumento mais significativo no final do século, comparativamente a meados deste. Em termos de médias anuais, este aumento é mais relevante entre os meses de agosto a outubro.

- Centro

Na região centro, em que a temperatura é mais amena do que no norte ou sul do país, o aumento de temperatura não é tão significativo.

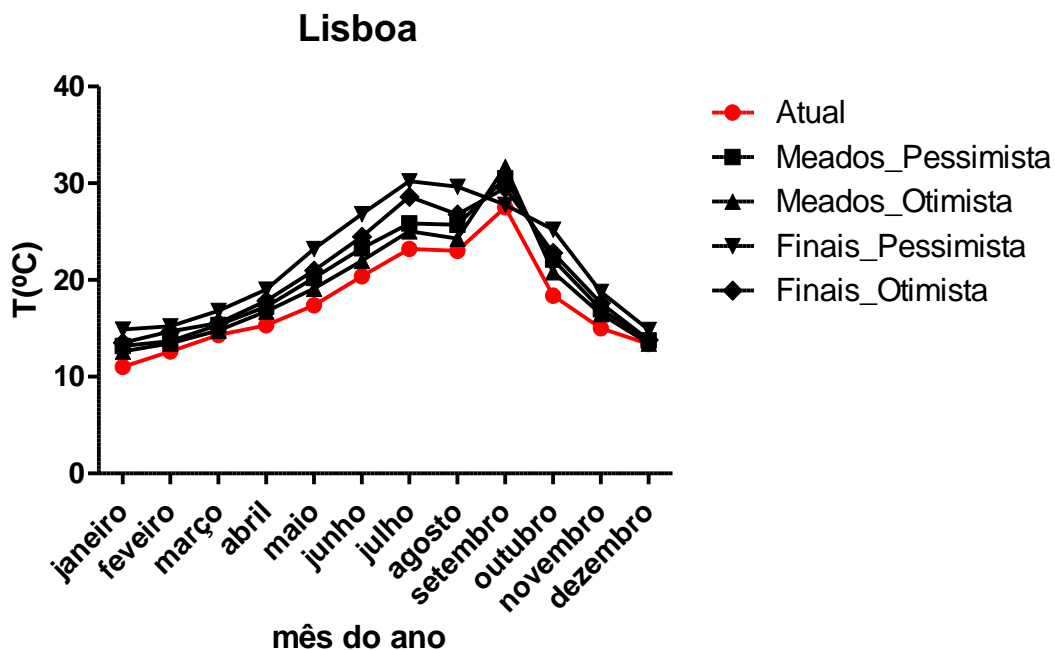


Figura 12 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Lisboa

Em Lisboa, o aumento de temperatura oscila entre 0,06 e 7°C, em meados do cenário otimista e finais do pessimista respetivamente. Os meses em que há um maior aumento da temperatura são os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro com temperaturas de 23, 26, 30, 29, 28 e 25°C, respetivamente.

- Sul

A Sul do território português, as temperaturas oscilam entre cerca de 1°C até um máximo de 7°C.



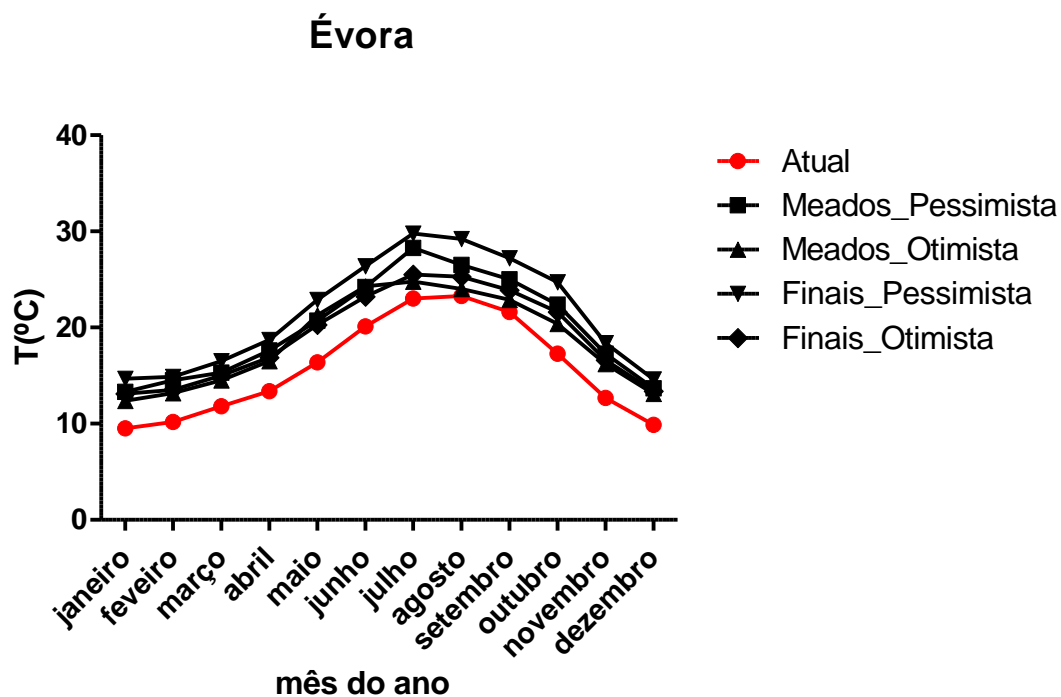


Figura 13 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Évora

Uma vez mais as temperaturas mais elevadas são registadas nos cenários Pessimistas e no final do século. As temperaturas máximas de verão chegam a atingir quase 32°C. Os meses em que o gradiente de temperatura foi mais elevado foram maio e outubro, com aumento de temperaturas a variar entre 3,9 e 6,5°C, e 3,1 e 7,4°C, respetivamente.

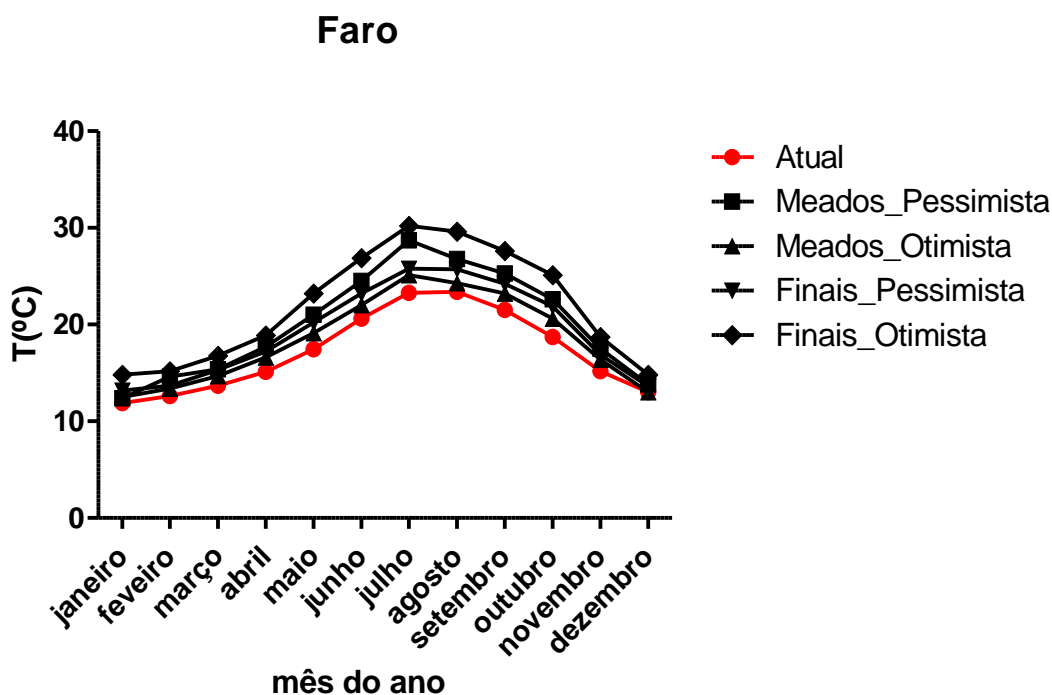


Figura 14 - Projeção da temperatura nos diferentes cenários climáticos para Faro

Verifica-se que a partir do mês de maio o gradiente de temperatura começa a aumentar. Os meses em que a subida de temperatura foi maior, foram nos meses de julho a outubro, com aumentos máximos de até 7°C.

De um modo geral Portugal Continental é, atualmente, considerado como confortável, embora no futuro passe a ser desconfortavelmente quente em alguns dias e não apenas no verão mas também ocasionalmente em dias de maio a outubro.

### 3.6. Síntese do capítulo

Neste capítulo foi feito um estudo da evolução do clima em Portugal Continental durante o corrente século. Os resultados apresentados, integrando a informação disponível na rede de observação de observação nacional, indicam uma clara tendência de aumento da temperatura.

Os diferentes cenários de alteração climática projetam modificações importantes no clima de Portugal Continental. São estimados aumentos sistemáticos da temperatura, que podem atingir até um máximo de 13°C, com aquecimento mais forte na região norte e um forte incremento da frequência e intensidade das ondas de calor.

A variação de temperatura entre o norte e o sul do país é muito acentuada. No futuro, essa variação tenderá a diminuir, passando Portugal Continental a ter um clima mais quente, embora mais homogéneo.

Os estudos sobre mudanças climáticas são, por natureza, provisórios estando limitados pela incerteza nos cenários de emissão de GEE e pelas deficiências dos modelos utilizados. A grande importância social, econômica e política da inevitável alteração climática durante o próximo século, obriga-nos, no entanto, a recorrer às melhores estimativas que a ciência nos pode fornecer e a utilizá-la para prever os seus potenciais impactos e planejar eventuais medidas de mitigação e adaptação.

Nos próximos capítulos irá ser feita a verificação de como estas projeções do clima futuro influenciarão o consumo médio anual das necessidades energéticas no setor residencial, objetivo principal desta dissertação.

## 4. Metodologia de cálculo segundo o RCCTE

### 4.1. Introdução

O RCCTE é o atual regulamento português que estabelece os requisitos mínimos de qualidade térmica dos edifícios, sendo a sua aplicação feita logo desde a fase de licenciamento, garantido assim que os projetos licenciados satisfaçam todos os requisitos regulamentares. O primeiro RCCTE surgiu em Portugal em 1990, sendo o primeiro instrumento legal no país a impor requisitos ao projeto de novos edifícios e de grande remodelações. Estes requisitos tinham como objetivo melhorar a qualidade térmica da construção e garantir a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem gastos excessivos de energia quer no verão, quer no inverno, mas também garantir a não ocorrência de condensações superficiais e internas de modo a minimizar os efeitos patológicos por elas provocados. Estes requisitos contribuíram para uma melhoria da qualidade de construção em Portugal [7].

A metodologia de cálculo para a verificação regulamentar dos edifícios consiste na determinação dos valores nominais de consumo para as condições de referência. Os índices térmicos necessários de quantificar são as necessidades anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) e para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) e estes não podem exceder os respetivos valores limites para aquecimento ( $N_i$ ) e arrefecimento ( $N_v$ ). Visto que, a utilização de sistemas solares ou outros sistemas de energias renováveis é obrigatória, a metodologia de cálculo prevê a quantificação de um índice para esse propósito. Esse índice serve para a determinação das necessidades nominais anuais de energia para a produção de águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ) e não pode exceder o respetivo requisito energético ( $N_a$ ). O regulamento também impõe limites no consumo global de energia (aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas quentes sanitárias), através da quantificação do índice energético ( $N_{tc}$ ) e do seu respetivo limite ( $N_t$ ) [35].

O RCCTE é aplicado a cada fração autónoma dos novos edifícios de habitação e aos novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, estabelecendo regras de modo a que as exigências de conforto térmico possam ser satisfeitas sem consumo excessivo de energia e que as situações patológicas nos elementos de construção devido à ocorrência de condensações superficiais ou internas sejam minimizadas. É ainda aplicado a grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de AQS dos edifícios de habitações e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados já existentes e também a ampliações de edifícios existentes, exclusivamente na área construída. Existem alguns casos que não são abrangidos pelo Regulamento, sendo que essas exceções encontram-se no ponto 9 do artigo 2.º do mesmo. De notar, que os edifícios ou frações autónomas que satisfaçam cumulativamente as condições indicadas no ponto 4 do Anexo IX do RCCTE estão isentos de verificação [7].

## 4.2. Índices e parâmetros de correção

A caracterização do comportamento térmico dos edifícios ou frações autónomas é feita através da quantificação dos índices  $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{ac}$  e  $N_{tc}$ , calculados com base nas condições de referência determinadas pelo artigo 14.º do RCCTE.

O presente estudo é feito para um edifício padrão a ser analisado, de modo a variar apenas as condições climáticas, tendo por base as alterações climáticas referidas no capítulo anterior, para cada uma das regiões.

### 4.2.1. Metodologia de cálculo das necessidades de Aquecimento, $N_{ic}$

De acordo com o regulamento as necessidades anuais de aquecimento do edifício ( $N_{ic}$ ) são calculadas pela expressão seguinte:

$$N_{ic} = \frac{(Q_t + Q_v + Q_{gu})}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \text{ ano}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Onde  $Q_t$  são as perdas pela condução através da envolvente,  $Q_v$  são as perdas devido à renovação de ar normal ou mecânica,  $Q_{gu}$  são ganhos úteis resultantes da iluminação, etc. e  $A_p$  é a área útil do pavimento.

- i. Perdas de condução através da envolvente

$$U_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \text{ (W)} \quad (2)$$

$$Q_{ext} = 0,024 \times U \times A \times GD \text{ (kWh)} \quad (3)$$

$$Q_{pe} = 0,024 \times L_{pe} \times GD \text{ (kWh)} \quad (4)$$

$$Q_{pt} = 0,024 \times L_{pt} \times GD \text{ (kWh)} \quad (6)$$

Onde  $Q_{ext}$  são as perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos,  $Q_{lna}$  são perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, que é desprezado no caso em questão, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos,  $Q_{pe}$  são perdas de calor pelos pavimentos e pelas paredes em contacto com o solo,  $Q_{pt}$  são perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício,  $A$  é a área do elemento da envolvente medida pelo interior,  $L_{pe}$  são as perdas por pavimentos e paredes em contacto com o solo e  $L_{pt}$  são as perdas através das pontes térmicas.

- ii. Perdas de calor resultantes da renovação do ar

Ventilação natural

$$Q_v = 0,024 \times (0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times GD \text{ (kWh)} \quad (6)$$

Ventilação mecânica

$$Q_v = 0,024 \times (0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times GD \times (1 - \eta) \text{ (kWh)} \quad (7)$$

Ventiladores

$$E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M \text{ (kWh)} \quad (8)$$

Onde  $R_{ph}$  é o número de renovações horárias do ar interior,  $A_p$  é a área útil do pavimento,  $P_d$  é o pé-direito médio do edifício e  $\eta$  é a eficiência do sistema de ventilação.

iii. Ganhos térmicos úteis

$$Q_{gu} = \eta \times Q_g \text{ (kWh)} \quad (9)$$

Onde  $\eta$  é o fator de utilização e  $Q_g$  deriva de ganhos de calor de fontes internas e ganhos solares de acordo com as seguintes expressões:

$$Q_g = Q_i + Q_s \text{ (kWh)} \quad (10)$$

$$Q_i = q_i \times M \times A_p \times 0,720 \text{ (kWh)} \quad (11)$$

$$Q_s = G_{sul} \times \sum [X_j \times \sum A_{snj}] \times M \text{ (kWh)} \quad (12)$$

Onde  $q_i$  está presente no quadro IV.3 no RCCTE que varia consoante a utilização do edifício,  $X_j$  é o fator de orientação para as diferentes exposições (quadro IV.4 do RCCTE) e  $A_{snj}$  é a área efetiva coletora da radiação solar da superfície  $n$  que tem a orientação  $j$  e  $A_s$  pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$A_s = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_{\perp} \quad (13)$$

Em que  $A$  é a área do envidraçado,  $F_s$  é o fator de obstrução (secção 4.3.3),  $F_g$  é a fração envidraçada (4.3.4) e  $g_{\perp}$  é o fator solar do vão envidraçado (4.3.2).

$\eta$  é o fator de utilização dos ganhos térmicos que deriva da inércia térmica do edifício e da relação ( $\gamma$ ) entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas totais do edifício de acordo com as seguintes expressões.

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \text{ se } \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{1 + a} \text{ se } \gamma = 1 \end{array} \right. \quad (14)$$

Em que  $a$  depende da inércia: se fraca toma o valor de 1,8, 2,6 inércia média e 4,2 para inércia forte.

E

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (15)$$

Sendo  $Q_g$  a soma dos ganhos térmicos brutos solares e internos, podemos constatar que o  $U_t$  (perdas de calor pela condução através da envolvente) e  $Q_{ue}$  (perdas de calor através da ventilação) são influenciados pelos graus dia da região em causa e o  $Q_s$  (ganhos térmicos brutos solares) influenciado por  $G_{sul}$  e  $M$ .

#### 4.2.2. Metodologia de cálculo das necessidades de Arrefecimento, $N_{vc}$

No caso da estação de verão (arrefecimento) as variáveis existentes que irão influenciar o cálculo, mediante uma habitação tipo, poderão ser o  $\theta_m$  (temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento na zona climática em estudo) e o  $I_r$  (intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento).

As necessidades anuais de arrefecimento do edifício ( $N_{vc}$ ) são calculadas pela expressão abaixo.

$$N_{vc} = \frac{Q_g \times (1 - \eta)}{A_p} \text{ (kWh/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)} \quad (16)$$

Onde  $Q_g$  são os ganhos totais brutos do edifício,  $\eta$  é o fator de utilização dos ganhos térmicos e  $A_p$  a área útil do pavimento.

$$Q_g = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (17)$$

Com

$$Q_1 = 2,928 \times U \times A \times (\theta_m - \theta_i) + U \times A \times \left( \frac{\alpha \times I_r}{h_e} \right) \text{ (kWh)} \quad (18)$$

$$Q_2 = \sum [I_{rj} \times \sum A_{snj}] \text{ (kWh)} \quad (19)$$

$$Q_3 = 2,928 \times (0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times (\theta_m - \theta_i) \text{ (kWh)} \quad (20)$$

$$Q_4 = 2,928 \times q_i \times A_p \text{ (kWh)} \quad (21)$$

Onde  $U$  é o coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento da envolvente,  $A$  é a área do elemento da envolvente,  $\theta_i$  é a temperatura do ambiente interior,  $\alpha$  é o coeficiente de absorção da superfície exterior da parede,  $h_e$  é a condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente,  $I_r$  é a intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento, 2,928 é o resultado do quociente 122 dias x 24h/1000, e  $q_i$  são os ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento.

Ao longo do trabalho, o valor 2,928 deixará de ser constante, pois o número de dias de verão irá aumentar no futuro, e como tal este tomará valores superiores.

### 4.2.3. Metodologia de cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS

Como está descrito no Anexo VI do RCCTE, para efeitos regulamentares, as necessidades anuais de energia útil para preparação de Água Quente Sanitária (AQS),  $N_{ac}$ , são calculadas através da expressão:

$$N_{ac} = \frac{Q_a / \eta_a - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)} \quad (22)$$

Em que  $Q_a$  é a energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS,  $\eta_a$  corresponde à eficiência dos sistemas de preparação de AQS a partir da fonte primária de energia,  $E_{solar}$  são as contribuições de sistemas de coletores solares para aquecimento de AQS e  $E_{ren}$  as contribuições de quaisquer outras formas de energias renováveis para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou e fluidos residuais.

#### I. Energia despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, $Q_a$

A energia despendida com sistemas convencionais utilizados na preparação das AQS durante um ano,  $Q_a$ , é dada pela seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3\,600\,000} \text{ (kWh/ano)} \quad (23)$$

Sendo  $M_{AQS}$  o consumo médio diário de referência de AQS,  $\Delta T$  é o aumento de temperatura necessário para preparar as AQS ( $\Delta T=45^\circ\text{C}$ ),  $n_d$  é o número anual de dias de consumo de AQS (Quadro VI.2).

#### II. Eficiência de conversão do sistema de preparação das AQS, $\eta_a$

A eficiência de conversão do sistema de preparação das AQS,  $\eta_a$ , é definida pelo respetivo fabricante com base em ensaios normalizados. Na ausência de informação mais precisa, podem ser utilizados os valores convencionais indicados no quadro VI.3 do RCCTE.

Caso o sistema de preparação das AQS não esteja definido em projeto, considera-se que a fração autónoma vai dispor de um termoacumulador elétrico com 50 mm de isolamento ( $\eta_a=0,90$ ) em edifícios sem alimentação de gás, ou um esquentador a gás natural ou GPL ( $\eta_a=0,50$ ) quando estiver previsto o respetivo abastecimento.

#### III. Contribuição de sistemas solares de preparação de AQS, $E_{solar}$

O cálculo do  $E_{solar}$  deve ser efetuado utilizando o *software* SOLTERM do INETI. A contribuição de sistemas solares só pode ser contabilizada, para efeito do RCCTE, se os



sistemas ou equipamentos forem certificados de acordo com as normas e legislação em vigor, instalados por profissionais acreditados pela DGEG, e, cumulativamente se houver a garantia de manutenção do sistema em funcionamento eficiente durante um período mínimo de 6 anos após a instalação.

#### IV. Contribuição de outras fontes de energia renovável, $E_{ren}$

A contribuição de outras formas de energias renováveis, tais como solar fotovoltaica, biomassa, eólica, ou geométrica, para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residenciais, deve ser calculada com base num método devidamente justificado e reconhecido, e aceite pela entidade licenciadora.

### 4.3. Necessidades globais de energia primária, $N_{tc}$

As necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária  $N_{tc}$  de uma fração autónoma são calculadas com base na seguinte equação:

$$N_{tc} = 0,1 \left( \frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) F_{pui} + 0,1 \left( \frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua} \text{ (kgep/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)} \quad (24)$$

Em que  $F_{pui}$ ,  $F_{puv}$  e  $F_{pua}$  são os fatores de ponderação das necessidades de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS,  $\eta_i$  e  $\eta_v$  são as eficiências nominais dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, 0,1 corresponde a uma redução de 10%. Esta redução aplicada às situações de arrefecimento e aquecimento são baseadas no fato das habitações não serem aquecidas nem arrefecidas 24 horas por dia, ao longo de toda a estação correspondente.

Os fatores de conversão  $F_{pu}$  entre energia útil e primária adotados pelo RCCTE são:  $F_{pu}=0,290$  kgep/kWh no caso da eletricidade e  $0,086$  kgep/kWh no caso de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Para a eficiência nominal dos equipamentos deverão ser utilizados os valores correspondentes aos equipamentos instalados, fornecidos pelos fabricantes na base de ensaios normalizados. Na ausência de informação mais precisa, podem ser adotados os valores de referência indicados no quadro VI.4.

Quando um edifício não tiver previsto, especificamente, um sistema de aquecimento ou de arrefecimento ambiente ou de aquecimento de AQS, considera-se, para efeitos do cálculo de  $N_{tc}$ , que: o sistema de aquecimento é obtido por resistência elétrica; o sistema de arrefecimento é uma máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3; o sistema de produção de AQS é um termoacumulador elétrico com 50 mm de isolamento térmico em edifícios sem alimentação de gás, ou um esquentador a gás natural ou GPL quando estiver previsto o respetivo abastecimento.

### 4.3.1. Coeficiente de transmissão térmica, U

Como se encontra definido no anexo VII do RCCTE, o coeficiente de transmissão térmica, por definição, represente a quantidade de calor que atravessa perpendicularmente, um elemento de faces planas e paralelas, por unidade de tempo e de superfície, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre ambientes que separa.

Este coeficiente é de extrema importância no cálculo de eficiência energética de um edifício.

O coeficiente de transmissão térmica de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é calculado pela seguinte equação:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ (W/m}^2\text{C}^{-1}\text{)} \quad (25)$$

Em que  $R_j$  é a resistência térmica da camada  $j$  ( $\text{m}^2\text{C/W}$ ) e  $R_{si}$ ,  $R_{se}$  são as resistências térmicas superficiais, interior e exterior, respetivamente ( $\text{m}^2\text{C/W}$ ).

Tratando-se de camadas de materiais não homogéneos, a resistência térmica,  $R_j$  é calculada como sendo o quociente entre a espessura da camada  $j$ ,  $d_j$  (m), e o valor de cálculo da condutividade térmica do material que a constitui,  $\lambda_j$  ( $\text{m}^2\text{C/W}$ ).

Para camadas não homogéneas (alvenarias, lajes aligeiradas, espaços de ar, etc.) os valores das correspondentes resistências térmicas devem ser obtidos diretamente em tabelas. Os valores da condutibilidade térmica dos materiais correntes de construção e das resistências térmicas das camadas homogéneas mais utilizadas constam na publicação LNEC Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios [23].

Os valores das resistências térmicas superficiais em função da posição do elemento construtivo e do sentido do fluxo de calor constam no Quadro VII.1.

No quadro VII.2 são apresentados os valores da resistência térmica dos espaços de ar não ventilados, que devem ser adotados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, em função da posição e da espessura do espaço de ar, e do sentido do fluxo de calor.

### 4.3.2. Inércia térmica

O cálculo da Inércia Térmica é explicitado no Anexo VII do RCCTE.

A inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade calorífica que os locais apresentam e depende da massa superficial de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento é calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p} \quad (26)$$

Em que  $M_{si}$  é a massa superficial útil do elemento ( $\text{kg/m}^2$ );  $S_i$  é a área da superfície interior do elemento  $i$  ( $\text{m}^2$ ) e  $A_p$  é a área útil de pavimento ( $\text{m}^2$ ).

As classes de inércia térmica são definidas no RCCTE do seguinte modo:

$$\left\{ \begin{array}{ll} I_t < 150 \text{ kg/m}^2 & \rightarrow \text{Classe fraca} \\ 150 \leq I_t \leq 400 \text{ kg/m}^2 & \rightarrow \text{Classe média} \\ I_t > 400 \text{ kg/m}^2 & \rightarrow \text{Classe forte} \end{array} \right. \quad (27)$$

A massa superficial útil  $M_{si}$  dos elementos de construção depende da massa total por unidade de área do elemento  $m_t$  e, ainda, dos seguintes aspetos:

- A sua localização no edifício;
- A própria massa superficial e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e da qualidade do isolamento térmico;
- As características térmicas do revestimento superficial interior.

Os valores do fator de redução ( $r_i$ ) em função da qualidade térmica dos revestimentos superficiais são dados no quadro VII.7.

#### 4.4. Limitação das necessidades nominais globais de energia primária

Como é referido no Anexo IX do RCCTE, os valores de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  calculados para cada fração autónoma sujeita a verificação regulamentar deverão ser inferiores aos correspondentes valores limites de referência  $N_v$  e  $N_i$  impostor no RCCTE.

##### I. Valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, $N_i$

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento de uma fração autónoma dependem dos valores do fator de forma (FF) da fração autónoma e dos Graus-dia correspondentes ao concelho onde o edifício se situa, e são os seguintes:

$$\begin{aligned}
FF \leq 0,5 & \quad N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD (kWh/m}^2\text{.ano);} \\
0,5 \leq FF \leq 1 & \quad N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD (kWh/m}^2\text{.ano);} \\
1 \leq FF \leq 1,5 & \quad N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}] (1,2 - 0,2 \cdot FF) \\
& \quad \text{(kWh/m}^2\text{.ano);} \\
FF > 1,5 & \quad N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD (kWh/m}^2\text{.ano);.}
\end{aligned}
\tag{28}$$

O fator de forma traduz a compacidade do edifício, sendo que quanto menor for o FF, menor o valor de  $N_i$ .

$$FF = \frac{\sum A_{ext} + \sum i(\tau \times A_{int})}{V}
\tag{29}$$

O fator de forma de um edifício é definido como o quociente entre o somatório das áreas das envolventes exterior e as áreas da envolvente interior afetadas do coeficiente  $\tau$ , através dos quais se verificam trocas de calor, e o respetivo volume interior  $V$  correspondente.

## II. Valores nominais das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, $N_v$

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ), foram estabelecidos com base em estudos paramétricos levados a cabo para as diferentes zonas climáticas de verão e para diversas tipologias de frações autónomas, ou seja, diferentes fatores de forma.

O RCCTE determina que “cada fração autónoma de um edifício abrangido por este regulamento não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_v$ ”.

Estes limites impostos, são os seguintes:

**Tabela 2 – Limites das necessidades nominais de energia para arrefecimento, impostos pelo RCCTE**

Zona climática	Valor limite	Zona climática	Valor limite
<b>V1 norte</b>	$N_v=16 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$	<b>V1 sul</b>	$N_v=22 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$
<b>V2 norte</b>	$N_v=18 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$	<b>V2 sul</b>	$N_v=32 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$
<b>V3 norte</b>	$N_v=22 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$	<b>V3 sul</b>	$N_v=32 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$

## III. Valor limite das necessidades de energia para preparação das AQS, $N_a$

O limite máximo para os valores das necessidades de energia para preparação das AQS é dado por:

$$N_a = \frac{0,081 \times M_{AQS} \times n_d}{A_p} \text{ (kWh/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)} \quad (30)$$

Em que  $M_{AQS}$  representa o consumo médio de referência de AQS e  $n_d$  o número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias que é considerado igual a 365 dias.

#### IV. Valor máximo admissível de necessidades nominais globais de energia primária, $N_t$

O valor máximo admissível de energia primária é dado pela expressão:

$$N_t = 0,9 \times (0,01N_t + 0,01N_v + 0,15N_a) \text{ (kgep/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)} \quad (31)$$

Os fatores de ponderação presentes nesta equação são provenientes de levantamentos estatísticos.

Os coeficientes de  $N_t$ ,  $N_v$  e  $N_a$  derivam da aplicação dos valores das eficiências nominais dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e de produção de AQS que o RCCTE assume, e dos correspondentes fatores de conversão para energia primária.

### 4.5. Descrição do edifício em estudo

Para realizar o estudo energético pretendido foi projetado um edifício de arquitetura bastante simples. Dado que se pretende perceber as respostas energéticas mais adequadas tendo em conta o aumento da temperatura média exterior, não seria necessário realizar este estudo num edifício real. Neste sentido foi projetado uma fração, denominada Edifício Base com uma forma paralelepípedica possuindo, portanto, uma cobertura horizontal. O edifício terá as quatro paredes com iguais dimensões (10 x 10 m). Para que os ganhos solares sejam estudados, cada parede terá vãos envidraçados. A variação do tamanho destes últimos é também um fator a estudar no presente estudo. No que diz respeito à sua vizinhança, o edifício encontra-se isolado e, portanto, sem contacto com outros edifícios.

Quanto ao interior do edifício e uma vez que este foi projetado para que possa ocorrer qualquer tipo de alteração no tipo de ocupação, não existem paredes no seu interior. Trata-se de um edifício residencial unifamiliar funcionando em *open-space*.

É importante referir que para além de não existir nenhum tipo de sombreamento provocado por edifícios vizinhos ou por qualquer elemento natural (vegetação, por exemplo) também não são consideradas palas de sombreamento no edifício, sejam elas horizontais ou verticais.

A figura 15 mostra o aspeto exterior do Edifício Base.

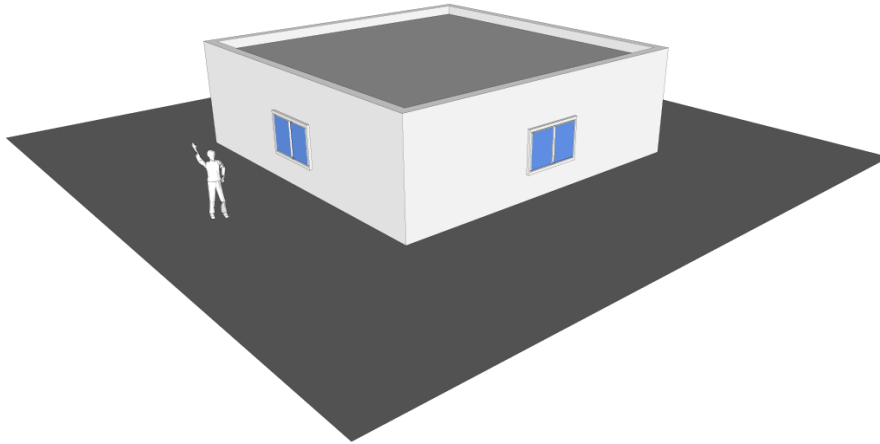


Figura 15 – Edifício base

O edifício tem uma área útil de  $100 \text{ m}^2$  e o pé direito de 2,70 m.

#### 4.5.1. Envolvente opaca

##### – Paredes

Uma vez que o Edifício Base funcionará em *open-space*, as únicas paredes existentes são as paredes exteriores, paredes essas que são duplas com isolamento preenchendo totalmente a caixa-de-ar. As duas superfícies são revestidas a reboco tradicional.

Sendo uma parede dupla, existem dois planos de alvenaria na sua constituição. Estes planos são compostos por panos em alvenaria de tijolo furado normal, (15+6+11 cm), com caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de poliestireno expandido extrudido de 60 mm de espessura, rebocadas pelo exterior e interior.

Em relação às características térmicas da parede e de todos os seus constituintes, tem-se que o valor do coeficiente global de transmissão térmica da mesma,  $U_{\text{parede}}=0,4 \text{ W/m}^2\text{C}^{-1}$ .

##### – Cobertura

A cobertura do Edifício é um terraço horizontal, com uma área de  $100 \text{ m}^2$ . Esta apresenta cor média e é constituída por uma laje aligeirada de betão normal, de espessura 130 a 150 mm, e isolante térmico EPS de espessura 80 mm. A cobertura apresenta, então, o valor de coeficiente global de transmissão térmica,  $U_{\text{cobertura}}=0,35 \text{ W/m}^2\text{C}^{-1}$ .

#### 4.5.2. Vãos envidraçados

O Edifício Base tem vãos envidraçados nas quatro paredes. Dado que se pretendia um edifício com um elevado índice de simplicidade, toda a área envidraçada respeita esta condição.

As características dos vãos envidraçados são as seguintes:

- Vãos simples;
- Vidro duplo com lâmina de ar;
- Caixilharia em plástico;
- Cortinas interiores muito transparentes;
- Na estação de aquecimento considera-se a utilização de estores venezianos de lâminas metálicas.

Apesar da importância do coeficiente U para a eficiência de um vão envidraçado, existem outros elementos relevantes quando se trata de efetuar um estudo energético a um qualquer edifício, designadamente o fator solar desse envidraçado. Todos os vidros ou materiais semelhantes utilizados com vão envidraçado possuem um valor, dependendo do vão ser constituído por vidro duplo ou simples e, claro está, do material que o compõe. Para o caso do Edifício Base esse fator toma o valor  $g_{\text{vidro}}=0,63$ .

Uma vez que na estação de arrefecimento é considerada a proteção, é necessário saber qual o fator solar da proteção escolhida. Para o caso dos estores venezianos de lâminas metálicas esse valor é  $g_{\text{proteção } 100\%}=0,09$ .

Dado que para uma estação a proteção é considerada e para a outra não, é fácil depreender que o fator solar do vão envidraçado não é constante ao longo do ano. Na estação de aquecimento verifica-se que  $g_{\text{inverno}}=g_{\text{vidro}}$ .

Já na estação de arrefecimento, como referido atrás, a proteção solar é considerada pelo que o fator solar do vão envidraçado será:

$$g_{\text{verão}}=(0,3 \times g_{\text{vidro}})+(0,7 \times g_{\text{proteção } 100\%})$$

Então os fatores solares do edifício base serão:

$$g_{\text{inverno}}=0,63$$

$$g_{\text{verão}}=0,25$$

No que diz respeito ao coeficiente global de transmissão térmica, para o edifício em estudo este toma o valor  $U_{\text{vão envidraçado}}=2 \text{ W/m}^2\text{C}^{-1}$ .

Para o estudo inicial, as dimensões adotadas para os vãos envidraçados foram de dois envidraçados por parede, cada um com  $1,85 \text{ m}^2$ , perfazendo um total de  $14,8 \text{ m}^2$ . Esta área corresponde a aproximadamente 15% do edifício base.

### 4.5.3. Características gerais da fração autónoma

Uma vez caracterizado a célula de teste, é necessário definir as características gerais da fração autónoma a inserir na folha de cálculo. Nela, serão inseridos os dados quanto ao tipo de sistema de climatização, tipo de sistema de ventilação e necessidades de AQS.

#### I. Definição de sistema de climatização

Foi considerado para efeitos de cálculo um sistema de ar condicionado com as características previstas por defeito no RCCTE, conforme indicado na tabela abaixo:

Tabela 3 – Sistemas de aquecimento e arrefecimento utilizados

Sistema de aquecimento	Bomba de calor	Sistema de arrefecimento	Bomba de calor
$\eta_j$	4	$\eta_j$	3
$F_{pui}$	0,29	$F_{pui}$	0,29
Potência (kW)	$\leq 0,25$	Potência (kW)	$\leq 0,25$

#### II. Definição do sistema de ventilação

A ventilação da fração autónoma será processada de forma natural, com dispositivos de admissão de ar na fachada, não tem aberturas autorreguladas e não são cumpridas os pressupostos da norma NP 1037-1.

#### III. Definição do sistema de preparação de AQS

Será utilizado um coletor solar, com uma área de 6m<sup>2</sup> e capacidade para 300l. Este terá uma contribuição de 2500 kWh/ano para aquecimento de AQS, cuja fração solar corresponde a 79%. O sistema de apoio escolhido foi o gás natural, com um rendimento de 82%. O desempenho do sistema foi calculada para a região em que as condições climáticas são mais adversas- Bragança- e poderá ser consultado no Anexo B1.

## 4.6. Síntese do capítulo

Iniciou-se este capítulo com a explicação dos métodos de cálculo das necessidades de energia: necessidades de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e energia primária. Verificou-se que esses cálculos são baseados na integração das respetivas equações de perdas/ganhos instantâneos de calor no intervalo de tempo correspondente à estação em análise.

Ao longo deste capítulo verificaram-se quais os fatores climáticos com influência no consumo energético do edifício base. E estes são: para a estação de aquecimento (inverno) os



graus dia, a duração da estação de aquecimento e o valor médio mensal da energia incidente; para a estação de arrefecimento serão a duração dessa estação e a intensidade média da radiação solar segundo as várias orientações.

Por fim foi gerada uma célula de teste intitulada de “Edifício Base”, em que foram definidos todos os parâmetros necessários ao cálculo das necessidades nominais de energia.

## **5. Apresentação e análise do caso de estudo**

### **5.1. Introdução**

Neste capítulo pretende-se avaliar os desvios provocados pela alteração dos parâmetros climáticos no cálculo das necessidades nominais de energia. Como objetivos secundários será feita uma análise de sensibilidade ao nível de espessura de isolamento e alteração da fração de envidraçados com o intuito de verificar até que ponto as suas variações são benéficas no consumo energético.

Numa primeira etapa, começou-se pela caracterização dessas alterações e, para compreender melhor as diferenças existentes nas diversas regiões de Portugal, optou-se por considerar o mesmo edifício em cinco regiões climáticas distintas. Foram feitas simulações para os distritos de Bragança, Évora, Faro, Lisboa e Porto.

### **5.2. Parâmetros de correção das alterações climáticas**

No capítulo 3 foram verificadas as projeções climáticas ao longo do século XXI. De seguida, proceder-se-á à análise de como o aumento da temperatura poderá implicar uma variação dos valores atualmente existentes no RCCTE.

Os parâmetros que sofrerão uma correção, tendo por base a projeção das alterações climáticas, são: os Graus-Dia de aquecimento, a duração das estações de aquecimento e arrefecimento e a energia solar média mensal incidente na estação de aquecimento. Os dois primeiros parâmetros decorrem diretamente da manipulação da temperatura do ar. Os dois restantes requerem um cálculo específico, sendo seguida uma metodologia que será explicada abaixo.

#### **5.2.1. Graus-Dia**

O método Graus-Dia é um método de cálculo estático utilizado para a determinação das necessidades térmicas de aquecimento ou arrefecimento (Graus-Dia de aquecimento e arrefecimento respetivamente). Tanto um como outro são obtidos a partir de medições da temperatura do ar exterior e é o método mais simples para análise energética e o mais adequado quando o uso do edifício e a eficiência de condicionamento de ar são constantes [35].

Este método é baseado no princípio de que as perdas de energia da construção são proporcionais às diferenças de temperatura interna e externa. A energia é adicionada ou retirada da construção quando existe perdas de modo a manter as condições ideais de

conforto no ambiente durante as estações de verão e inverno. Assume-se que a eficiência dos equipamentos destinados a proporcionar conforto térmico não é afetada pelas alterações extremas de temperatura exterior [35].

Graus-Dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). Após a escolha de uma temperatura base, verifica-se a temperatura média diária ( $T_{méd}$ ) para cada região, durante todo o ano e, quando esta tomar um valor menor que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_b - T_{méd}$ ), somando-se estas diferenças, dia a dia, para todo o ano.

Portanto, o cálculo dos Graus-Dia de aquecimento é dado por:

$$HDD = \sum(T_b - T_{méd}) \quad (32)$$

De forma análoga, para o cálculo dos Graus-Dia de arrefecimento são consideradas as temperaturas que excedem a temperatura base.

$$CDD = \sum(T_{méd} - T_b) \quad (33)$$

No presente estudo apenas serão calculados os Graus-Dia de aquecimento para cálculo das necessidades energéticas de aquecimento. Estes serão calculados a partir das provisões de alterações climáticas verificadas no capítulo anterior 3.

A temperatura base ( $T_b$ ) é a temperatura necessária para que haja conforto térmico e é considerada como 15°C, para cada região. A figura 16 apresenta os valores obtidos.

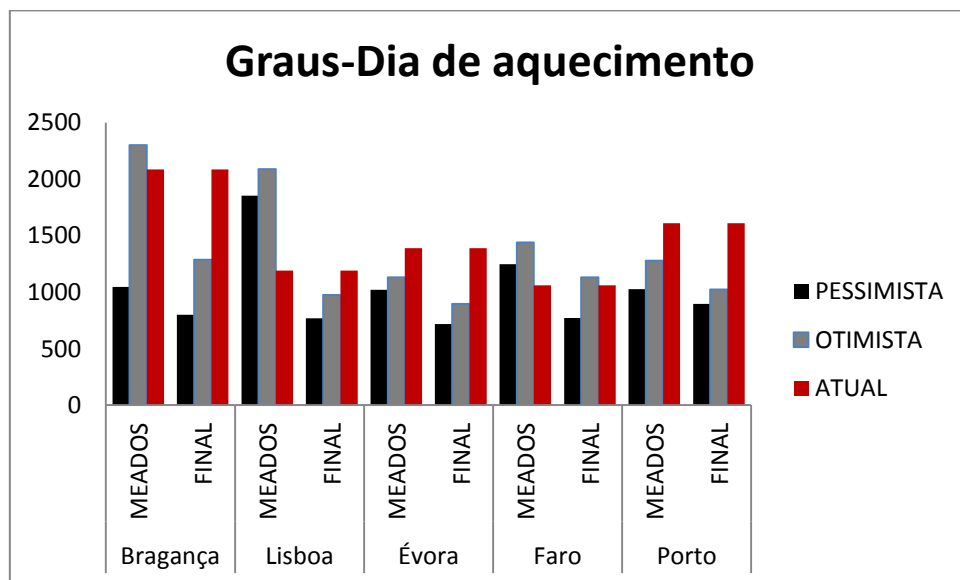


Figura 16 - Gráfico da média dos Graus-Dia, para uma  $T_b=15^\circ\text{C}$  em todas as regiões de Portugal ao longo dos próximos anos, segundo os diferentes cenários

Pelo gráfico acima representado, verifica-se que os valores dos Graus-Dia até final do século são muito diferentes dos considerados atualmente, segundo o Manual do RCCTE. A região com maior variação no número de Graus-dia é em Bragança e a de menor variação são as de Faro e Lisboa. Este resultado é coincidente com as regiões do país em que as variações de temperatura foram mais ou menos acentuadas. Deste modo, é possível concluir que os valores dos Graus-Dia de aquecimento são tanto maiores quanto menores forem os valores das temperaturas exteriores.

A análise daqui por diante introduzirá um novo período temporal designado por “intermédio”. Como o próprio nome indica, corresponde ao valor médio dos dados obtidos entre os “meados” e “finais” do século. Este, como o próprio nome indica, corresponde ao valor médio dos dados obtidos entre os “meados” e finais” do século. Este novo período difere dos restantes na medida em que representa apenas um intervalo de 20 anos, contrariamente aos outros, que são de 30 anos, e representa uma média dos outros dois períodos. Este intervalo temporal compreende os anos 2050 até 2070.

### **5.2.2. Duração da estação de aquecimento**

Segundo o RCCTE, a duração da estação convencional de aquecimento corresponde ao período do ano, com início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro, em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C, e com termo no último decêndio anterior a 31, de maio em que a referida temperatura é ainda inferior a 15°C.

No presente estudo, este período foi calculado, sem base nos decêndios, mas sim contabilizando todos os dias em que a temperatura exterior não excedeu os 15°C, entre os meses de outubro e maio (inclusive). Uma vez que o aumento da temperatura é visível em todo o território continental, se se tivesse tido em conta os dez dias seguidos cuja temperatura fosse inferior a 15°C, haveria localizações sem meses de inverno, uma vez que podem não haver esses dez dias seguidos. Assim, optou-se por contabilizar simplesmente o número de dias entre outubro e maio cujas temperaturas sejam inferiores a 15°C.

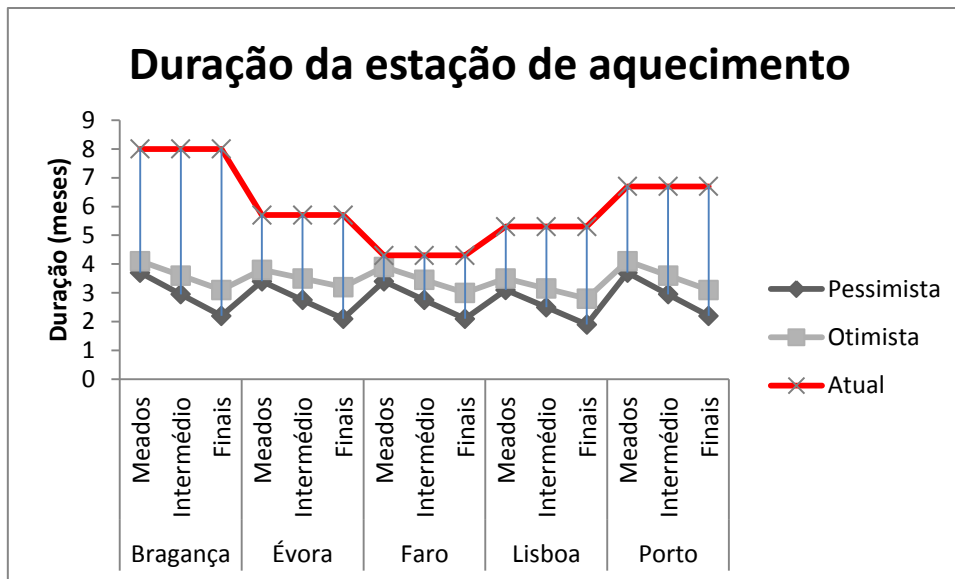


Figura 17 – Comparação entre a duração de inverno atual e projeções dos cenários climáticos

Pela figura acima, verifica-se que a duração das estações de aquecimento diminuiu bastante nos diversos cenários. A região em que esta diminuição foi mais acentuada foi em Bragança, que foi a zona em que o aumento da temperatura foi mais elevado. O contrário passa-se em Faro, que atualmente já possui um clima quente, em que a duração dos meses de inverno é baixo, 4 a 3 meses, quando comparado com os 8 meses de Bragança. Enquanto atualmente a duração da estação de aquecimento é de cerca de 6 meses, as projeções indicam que segundo o cenário otimista, este valor passa para 3,5 e no cenário pessimista para apenas 2,8 meses.

### 5.2.3. Duração da estação de arrefecimento

A estação de arrefecimento tem atualmente exatamente 122 dias. Estes correspondem aos 4 meses de verão – junho, julho, agosto e setembro. De forma análoga ao caso anterior, a tendência desses valores será para aumentar. Neste estudo, tendo em conta a projeção das alterações climáticas, não serão considerados apenas os 4 meses de verão, mas sim os dias em que a temperatura exterior seja superior a 20°C.

Estes dias variam entre 140 dias até um máximo de 226, consoante a zona do país.

### 5.2.4. Energia solar média durante a estação de aquecimento

Para além do número de Graus-dia e a duração da estação de aquecimento para o cálculo dos ganhos solares úteis de inverno, são necessários os valores da energia solar média mensal incidente numa superfície orientada a sul ( $G_{sul}$ ) na estação de aquecimento.

Tal como para a temperatura, este valor foi obtido através do *downscaling* dos ficheiros climáticos.

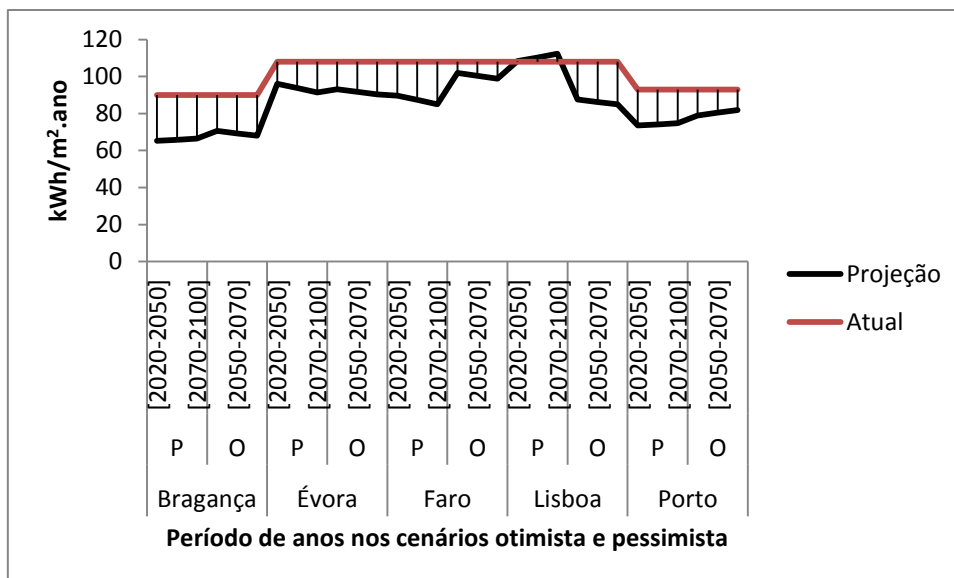


Figura 18 – Variação da intensidade de radiação solar

Seria de esperar que o valor da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul da estação de aquecimento aumentasse ao longo do século. Mas como se pode ver na figura 18 tal não acontece. À exceção de Lisboa, segundo o cenário pessimista, em todas as regiões em estudo o valor da energia solar média assume um valor superior ao atual. Para as restantes localidades, a intensidade de radiação solar incidente diminui cerca de 33% em Bragança, 16% em Évora, 15% em Faro e 20% no Porto.

Nestas regiões, a maior diminuição da intensidade de radiação solar verifica-se no cenário pessimista. Ou seja, as projeções indicam que o aumento de temperatura e a intensidade da radiação solar são inversamente proporcionais. E como o aumento da temperatura está relacionado com o cenário de emissões de GEE, poderá significar que a radiação solar ao incidir na atmosfera irá ser difratada e absorvida mais intensamente, diminuindo então o seu valor.

### 5.2.5. Intensidade da radiação solar durante a estação de arrefecimento

Da mesma forma que para o caso anterior, foi calculada a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento. Em todos os cenários foram seleccionados os dias do ano cuja temperatura fosse superior a 20°C e para estes dias foi feito o somatório da intensidade da radiação solar incidente ( $I_{DN}$ ). Neste caso, foi necessário calcular a radiação segundo várias orientações - ( $I_{t\theta}$ )-, e para tal recorreu-se ao método de cálculo de ASHRAE [9]. A principal metodologia deste cálculo é dada por:

$$I_{t\theta} = I_{DN} \cos \theta + I_d + I_r \quad (34)$$

Em que  $\theta$  é o ângulo de incidência,  $I_d$  é a componente da irradiação difusa e  $I_r$  corresponde à intensidade da radiação que é reflectida pela superfície terrestre.

O valor de  $I_{DN} \cos \theta$ , é a contribuição da radiação direta normal à irradiação total. Num dia sem nuvens, este constitui cerca de 85% do total da radiação solar incidente numa superfície. No entanto, nos dias nublados a percentagem da radiação difusa e reflectida é maior. E como tal, estes valores terão que ser tidos em conta, e que dependerão fortemente da geometria solar, em especial do ângulo de incidência.

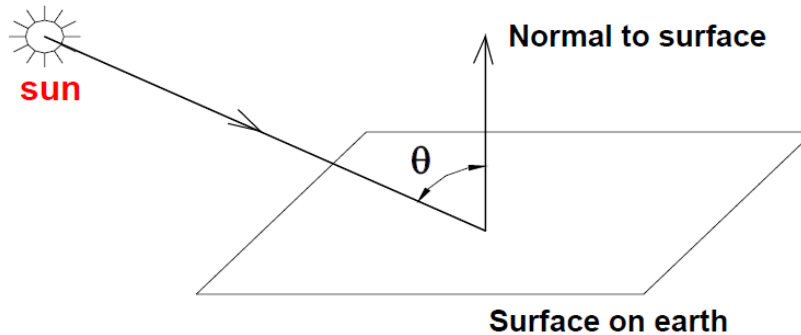


Figura 19 - Definição do ângulo de incidência

Para uma superfície horizontal o ângulo de incidência será dado por:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \beta \quad (35)$$

Este valor depende da localização da região em estudo, do dia do ano e da hora do dia. Uma vez que o presente estudo foi feito para uma série de dias durante longos períodos de anos e o modelo fornece as provisões da intensidade da radiação solar, o valor do ângulo de altitude,  $\beta$ , será dado por:

$$\sin \beta = \frac{B}{\ln(A/I_{DN})} \quad (36)$$

Com A e B sendo valores tabelados que podem ser verificados em ASHRAE [9]. Uma vez mais estes valores são específicos para cada mês do ano. Destes, foram seleccionados os meses de arrefecimento e feita uma média aritmética para os respetivos valores.

Para a radiação difusa, tem-se que:

$$I_d = C \times I_{DN} \times F_{WS} \quad (37)$$

De forma análoga ao A e B da equação (36) foi obtido o valor de C, e  $F_{WS}$  é designado de fator de configuração que corresponde à fração entre as radiações difusa e incidente, e é igual a 1, uma vez que se trata de uma superfície horizontal.

Por fim, o valor da intensidade da radiação reflectida da superfície terrestre é dado por:

$$I_r = (I_{DN} + I_d) \times \rho_g \times F_{WG} \quad (38)$$

Neste caso, o fator de configuração tem o valor de 0,5 e  $\rho_g$  correspondente à reflectividade da superfície – albedo - e foi considerada igual a 0,6.

Os resultados obtidos encontram-se em Anexo (A6), para não sobrecarregar uma vez mais o trabalho. Verificou-se que, tal como na estação de aquecimento, a intensidade da radiação sofreu uma diminuição na projeção dos cenários, quando comparado com o clima atual.

### 5.3. Situação de referência

No capítulo anterior, foi feita uma breve descrição do método de funcionamento do RCCTE e de todas as características do Edifício que serão necessárias para que seja efetuado o estudo. De seguida recorrer-se-á à folha de cálculo do Excel que irá avaliar as necessidades energéticas com o intuito de verificar se o Edifício se encontra ou não em situação regulamentar, para que sejam, então, incorporadas os fatores provenientes das alterações climáticas.

Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia para aquecimento ( $N_{ic}$ ), arrefecimento ( $N_{vc}$ ), produção de AQS ( $N_{ac}$ ), bem como das necessidades globais de energia primária ( $N_{tc}$ ). A tabela seguinte apresenta os índices térmicos fundamentais que foram quantificados através da utilização do RCCTE para as cinco localizações acima referidas.

Tabela 4 – Necessidades nominais de energia para o edifício base

	$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> ano <sup>-1</sup> )	$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> ano <sup>-1</sup> )	$N_{ac}$ (kWh/m <sup>2</sup> ano <sup>-1</sup> )	$N_{tc}$ (kgep/m <sup>2</sup> ano <sup>-1</sup> )
<b>Bragança</b>	112,85	1,57	12,27	1,89
<b>Évora</b>	49,67	11,46	12,27	1,53
<b>Faro</b>	38,02	11,44	12,27	1,44
<b>Lisboa</b>	41,29	11,44	12,27	1,47
<b>Porto</b>	57,33	16	12,27	1,48

#### 5.3.1. Verificação do RCCTE

De acordo com os artigos 5.º, 6.º, 7.º e 8.º, a verificação do RCCTE pressupõe:

$$N_{ic} \leq N_i \text{ (kWh/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)}$$

$$N_{vc} \leq N_v \text{ (kWh/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)}$$

$$N_{ac} \leq N_a \text{ (kWh/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)}$$

$$N_{tc} \leq N_t \text{ (kgep/m}^2\text{ano}^{-1}\text{)}$$

Ou seja, a relação  $\frac{N_{xj}}{N_x}$  tem de ser sempre inferior a um, como se pode verificar na tabela 4.

Tabela 5 – Relação das necessidades nominais de energia e o seu valor limite

	$N_{ic}/N_i$	$N_{vc}/N_v$	$N_{ac}/N_a$	$N_{tc}/N_t$
<b>Bragança</b>	0,78	0,09	0,26	0,24
<b>Évora</b>	0,68	0,36	0,26	0,21
<b>Faro</b>	0,67	0,36	0,26	0,20



<b>Lisboa</b>	0,65	0,36	0,26	0,20
<b>Porto</b>	0,68	0,09	0,26	0,20

Como se verifica, todas as são regulamentares, apresentando valores bastante aceitáveis e dentro das normas estabelecidas no RCCTE.

Quanto à relação  $N_{tc}/N_t$ , esta indica-nos qual o nível de desempenho energético do edifício. Como todas tomam um valor inferior a 0,25 significa que têm uma eficiência energética de classificação A+, correspondente à classe com melhor desempenho energético (figura 1). Recorda-se que o RCCTE, que obriga a que todos os edifícios novos variem entre as classes A+ e B, o que significa que este edifício tem a melhor classificação possível.

## **5.4. Cálculo das necessidades nominais de energia com as projeções climáticas**

Embora todos os fenómenos de transmissão de calor aqui apresentados sejam por natureza fenómenos não estacionários, eles são abordados no âmbito do RCCTE em regime permanente. Os cálculos das necessidades energéticas baseiam-se, portanto, na integração das respetivas equações de perdas/ganhos instantâneos de calor no intervalo de tempo correspondente à estação em análise [22].

### **5.4.1. Necessidades nominais de aquecimento**

De acordo com a metodologia descrita no Anexo IV do RCCTE, as necessidades nominais de aquecimento corresponde à energia útil que é necessário fornecer à fração autónoma para manter no seu interior à temperatura de referência de 20°C. E este valor encontra-se, para cada região, nas figuras abaixo:

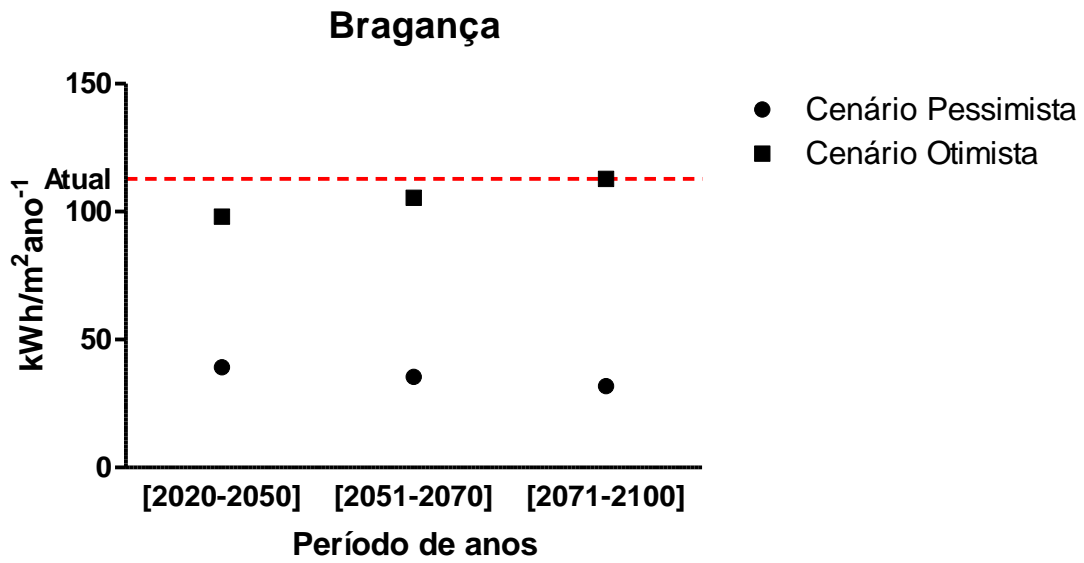


Figura 20 – Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para Bragança

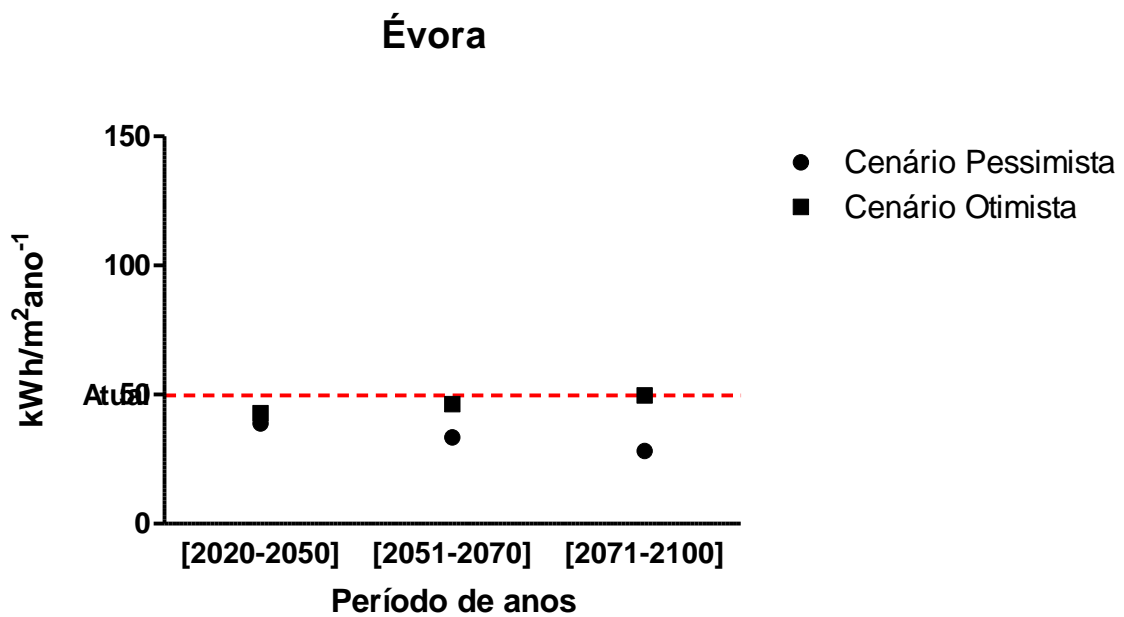


Figura 21 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos em Évora

## Faro

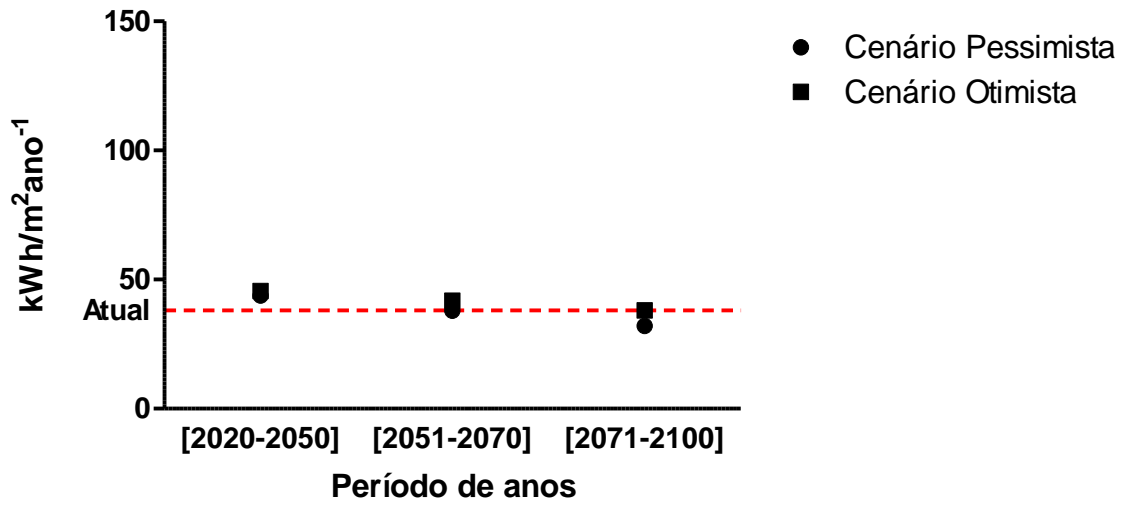


Figura 22 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para Faro

## Lisboa

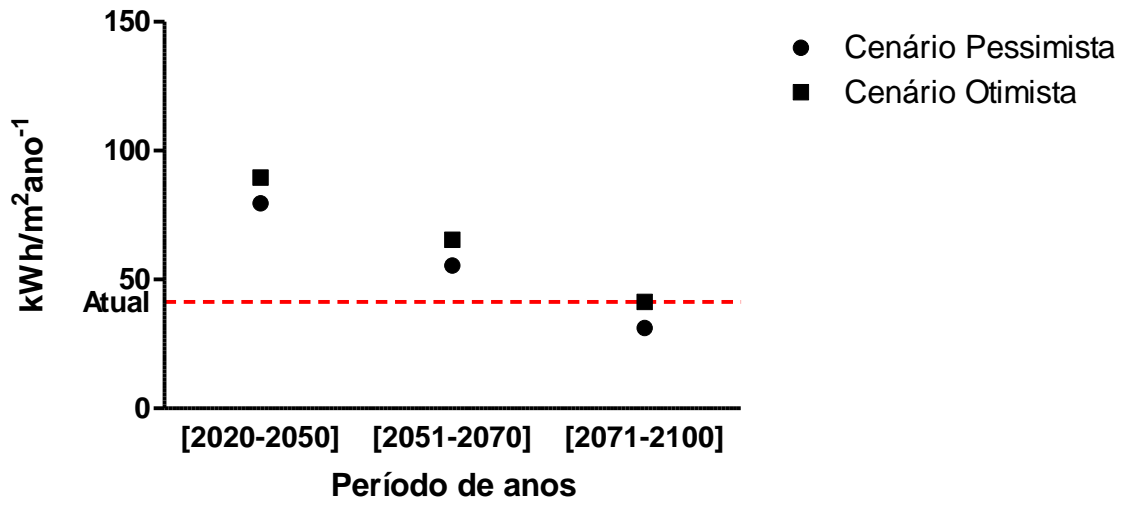


Figura 23 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para Lisboa

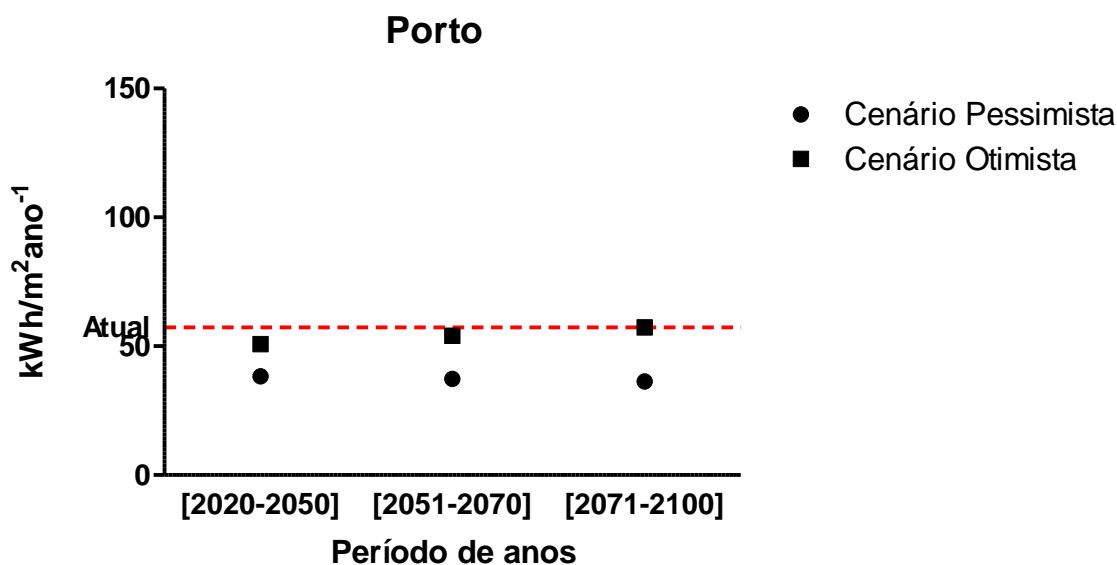


Figura 24 - Necessidades nominais de aquecimento ao longo dos anos para o Porto

Uma vez que a temperatura média exterior deve aumentar no futuro, será de esperar que as necessidades nominais para aquecimento apresentem um valor inferior aos atuais. E de uma forma geral é o que se verifica.

Nos casos de Bragança, Évora e Porto as necessidades energéticas de aquecimento seguem o mesmo padrão: até ao final do século diminuem bastante no cenário pessimista e aumentam no otimista. Bragança foi a região em que a variação das necessidades foi maior. Presentemente, o edifício base toma valores de cerca de 112 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>, mas quando é incluído o efeito do clima futuro, esse valor varia, ao longo do século, entre 39 e 31 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> no cenário pessimista e entre 98 a 112 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> no pessimista.

As necessidades para Évora e o Porto atualmente rondam os 49 e 58 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> respetivamente, e com as projeções do clima futura, estes valores passam a um mínimo de 28 e 36 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> até 2100, ambos no cenário pessimista.

Quando comparados com o valor atual das necessidades de aquecimento, tanto num cenário como no outro, estes valores são sempre inferiores. A principal diferença entre o cenário pessimista e o otimista é o aumento de temperatura mais acentuado no primeiro, quando comparado com o clima atual, o que resulta numa menor procura de energia para aquecimento para esse mesmo cenário.

Para os concelhos de Lisboa e Faro as necessidades energéticas diminuem nos dois cenários. As necessidades nominais de energia com o clima de hoje são muito próximas: 42 e 38 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> respetivamente. Em Faro o valor ao longo do século não varia muito, mas para Lisboa, em meados do século, há uma procura de energia muito superior atingindo valores de 79 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> no cenário pessimista e 89 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> no otimista. Já no final do

século, é esperado que as necessidades diminuam bastante, altura em que o valor das necessidades nominais de aquecimento já passa a ser inferior ao atual, em ambas as regiões.

#### 5.4.2. Necessidades nominais de arrefecimento

As necessidades nominais de arrefecimento da fração autónoma de um edifício correspondem à energia útil que seria necessário retirar para que no seu interior não seja excedida a temperatura de 25°C durante toda a estação convencional de arrefecimento. As necessidades de arrefecimento para as cinco regiões tendo por base as projeções das alterações climáticas são as seguintes:

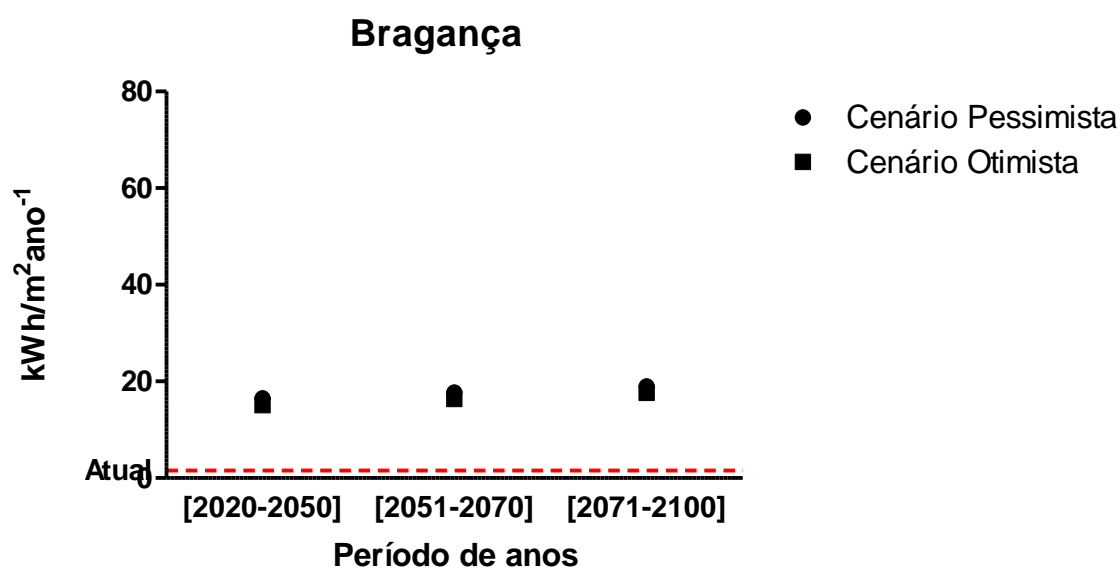


Figura 25 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Bragança

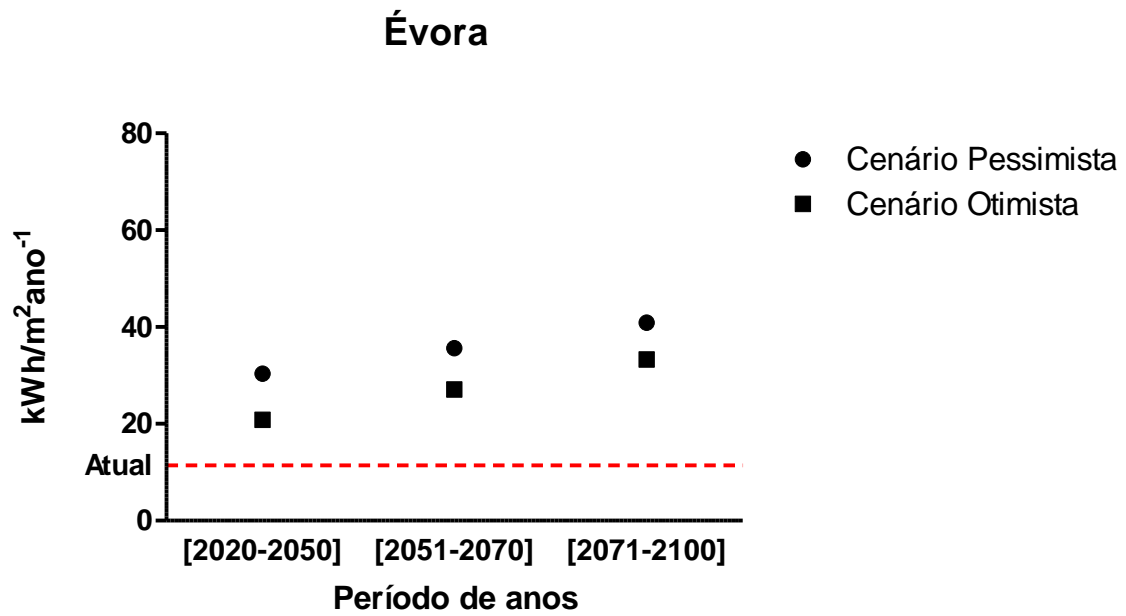


Figura 26 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Évora

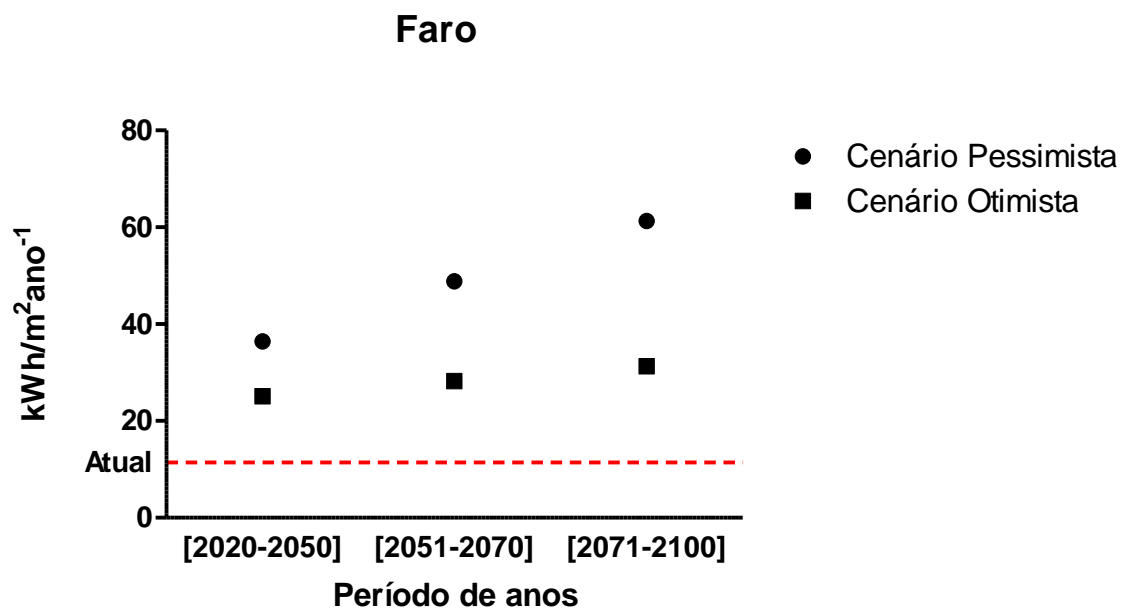


Figura 27 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Faro

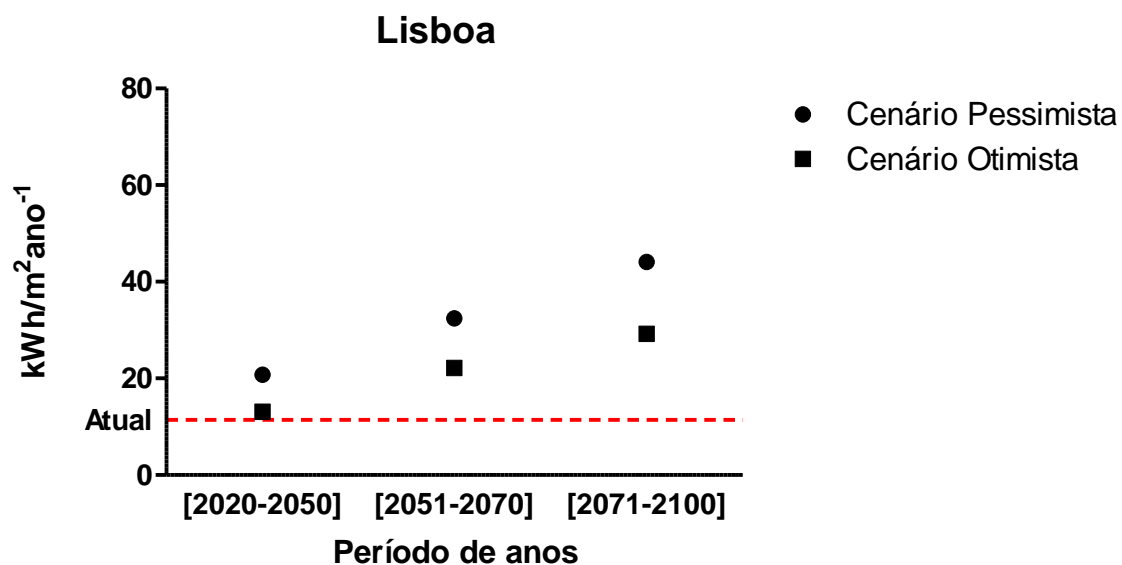


Figura 28 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para Lisboa

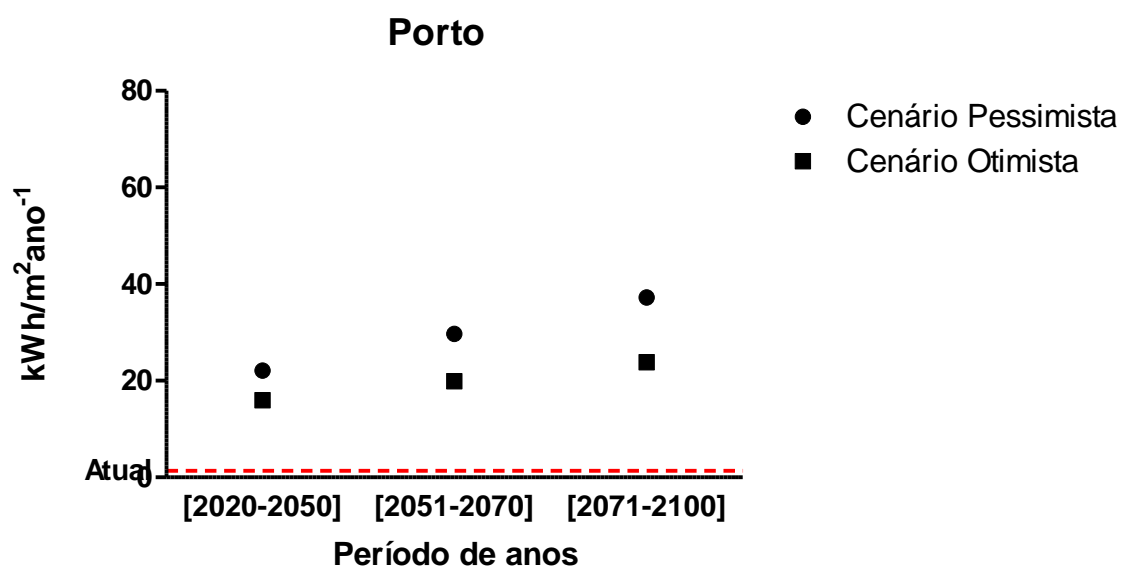


Figura 29 - Necessidades nominais de arrefecimento ao longo dos anos para o Porto

Como se pode analisar a partir dos gráficos acima, em todas as regiões as necessidades nominais para arrefecimento são muito superiores ao valor atual. Quer no cenário otimista quer no pessimista, o valor das necessidades aumenta exponencialmente à medida que a temperatura exterior também tende a aumentar. Esse aumento de temperatura leva também ao incremento da duração de verão (atualmente são contabilizados 122 dias), provocando assim um aumento das necessidades energéticas para arrefecimento.

A região do país em que verificou um maior aumento das necessidades nominais para arrefecimento foi Faro. Aí, as necessidades de arrefecimento quadruplicaram, passando de 16 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> para os 62 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>. no cenário pessimista até 2100. Este aumento deve-se ao facto de, com a inclusão do clima futuro o verão passar a ter cerca 200 dias de verão, ou seja, haverá mais dias com necessidade de arrefecimento, logo o valor deverá ser mais elevado.

#### 5.4.3. Necessidades globais de energia primária

As necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária do edifício base, para as diferentes regiões são as seguintes:

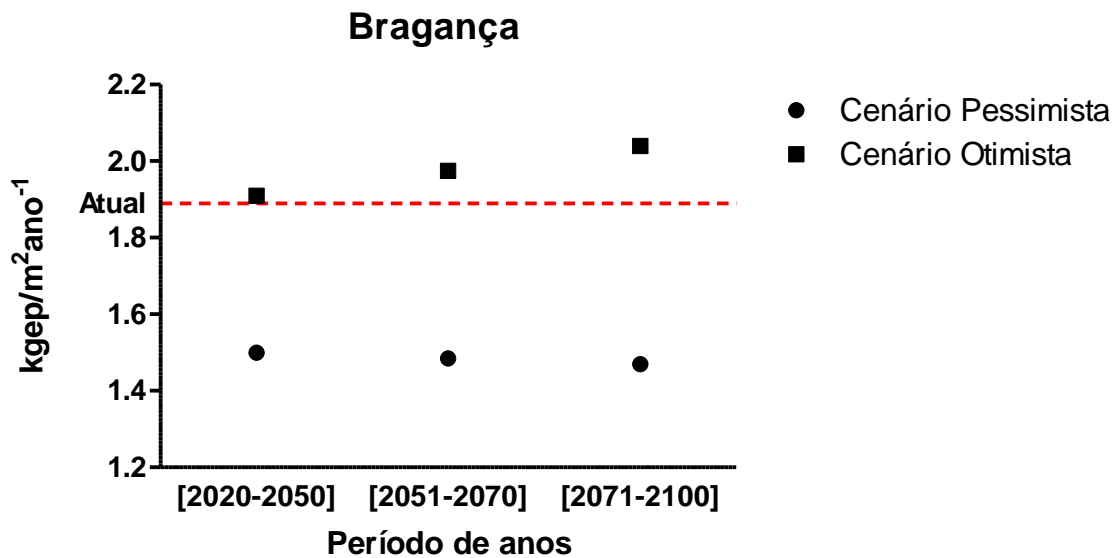


Figura 30 – Necessidades globais de energia primária para Bragança



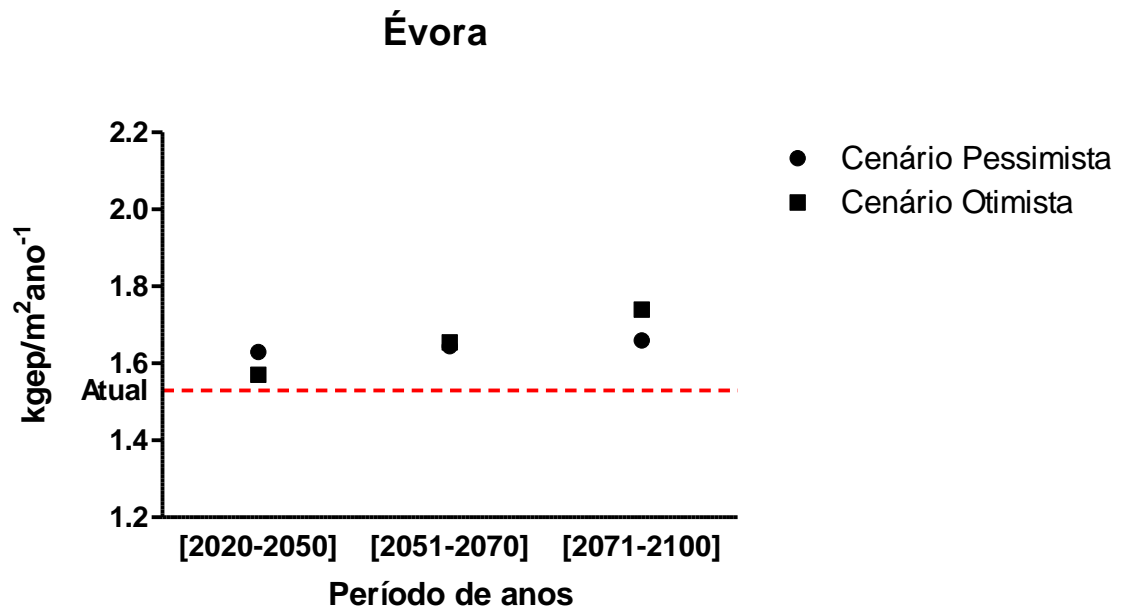


Figura 31 - Necessidades globais de energia primária para Évora

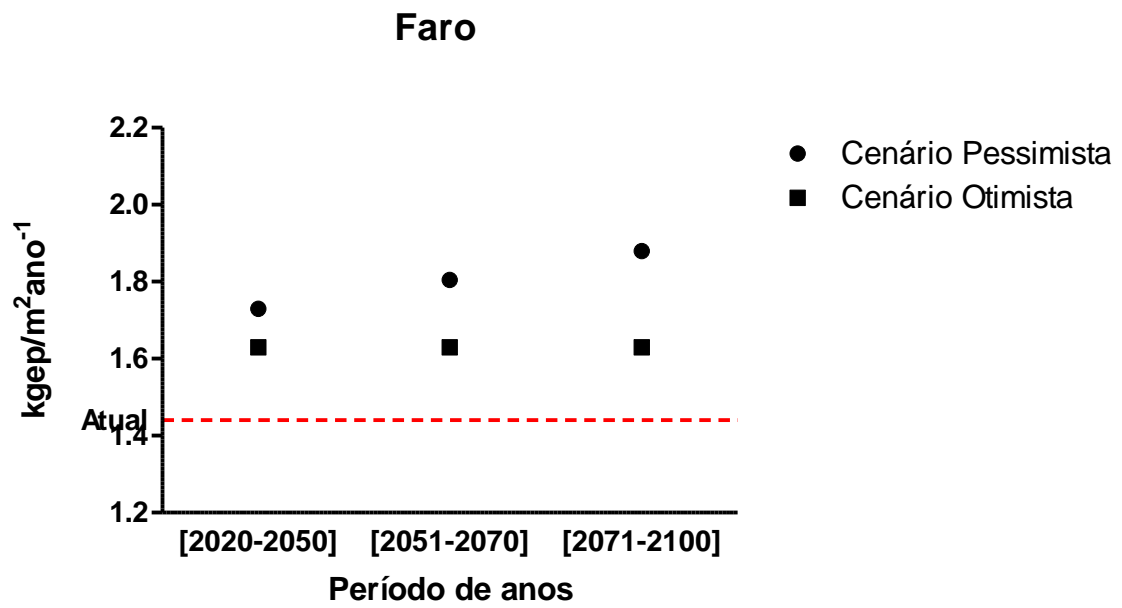


Figura 32 - Necessidades globais de energia primária para Faro

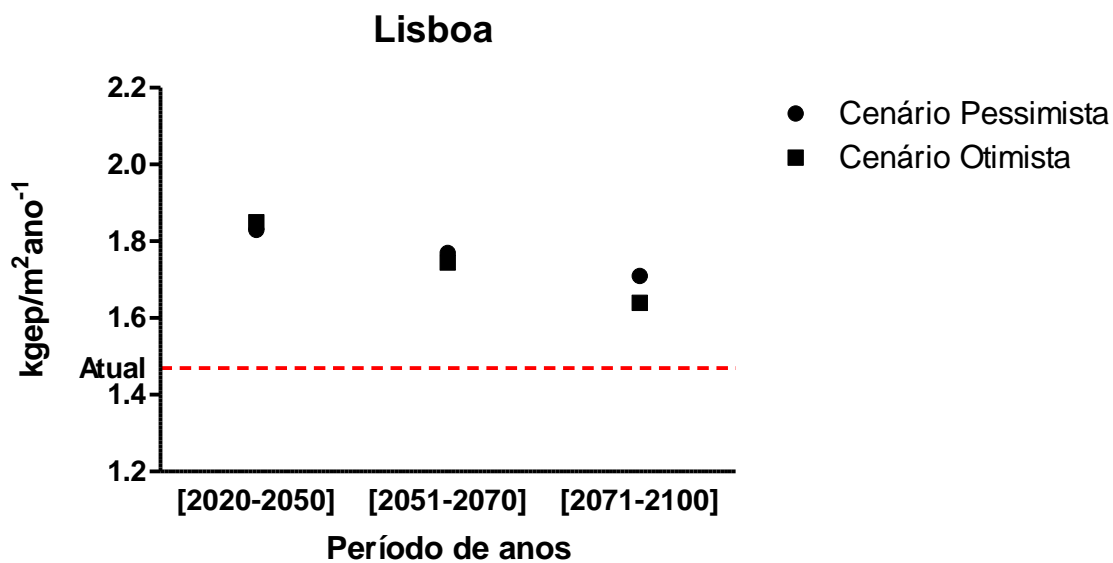


Figura 33 - Necessidades globais de energia primária para Lisboa

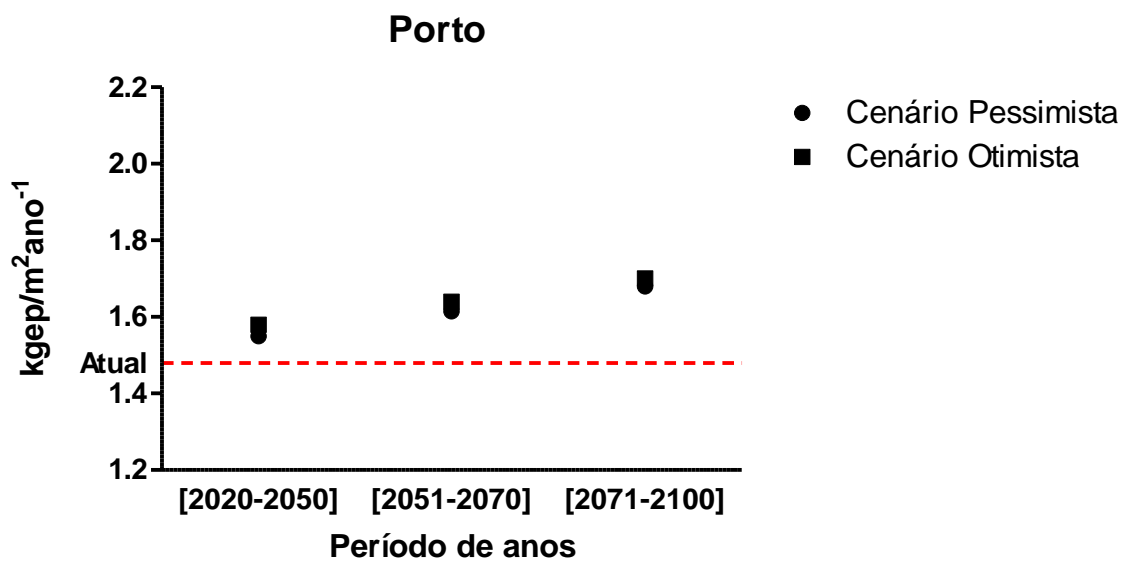


Figura 34 - Necessidades globais de energia primária para o Porto

As necessidades nominais globais de energia primária são, por definição, o parâmetro que exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento e de preparação de AQS, tendo em conta os sistemas adotados. Como se pode verificar nas figuras acima, o valor considerado atualmente para cada região é muito inferior quando comparado com os valores obtidos ao incluir as projeções do clima futuro. A única exceção é o caso de Bragança.

Em Bragança as necessidades de energia primária no cenário otimista é superior às necessidades atuais: Bragança atingirá um máximo de necessidades energéticas de 2 kgep/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>, no cenário pessimista, enquanto atualmente toma o valor de 1,85; no cenário otimista este valor é de apenas 1,4 kgep/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>. Este quadro deve-se ao facto de Bragança ser a região com condições climáticas mais adversas.

Faro será a região do país com mais procura energética: atualmente o valor das necessidades globais de energia primária rondam os 1,48 kgep/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> e no futuro esse valor poderá aumentar até finais do século 1,88 kgep/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> no cenário pessimista e 1,63 kgep/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> no otimista.

Pelo contrário Évora é a região que irá sofrer um menor incremento de procura energética: atualmente são 1,59 kgep/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> as necessidades energéticas, atingindo um aumento máximo de 9% em finais do século.

Como já foi visto anteriormente, o quociente entre as necessidades globais de energia primária e o seu valor limite, indica-nos qual a classificação energética do edifício. Para não sobrecarregar, uma vez mais o trabalho, o seu valor limite encontra-se no Anexo B2. Relembre-se que o Edifício Base tinha a certificação energética A+ em todas as regiões. Vejamos como esta classificação será alterada:

**Tabela 6 – Classificação energética do edifício base com base nos cenários climáticos**

	Pessimista			Otimista		
	[2020-2050]	[2051-2070]	[2071-2100]	[2020-2050]	[2051-2070]	[2071-2100]
<b>Bragança</b>	A+	A+	A+	A	A	A
<b>Évora</b>	A+	A+	A+	A+	A+	A+
<b>Faro</b>	A+	A	A	A+	A+	A+
<b>Lisboa</b>	A+	A+	A+	A+	A+	A+
<b>Porto</b>	A+	A+	A+	A+	A+	A+

Na primeira fase do presente trabalho, o Edifício Base em todas as localidades manteve a sua classificação máxima – A+. Mas com a introdução das projeções climáticas, Bragança passou para classe A, bem como Faro, ambos a partir da década de 50 do cenário pessimista. Estas alterações nas notas de classe energética estão de acordo com o esperado, pois foram as zonas com maior aumento das necessidades globais de energia primária.

## 5.5. Análise de sensibilidade de ferramentas de análise

Uma vez que o Edifício Base está completamente caracterizado do ponto de vista energético, serão efetuadas alterações nas soluções construtivas do Edifício Bases na tentativa de perceber se estas trarão benefícios no seu consumo energético.

Do ponto de vista energético, a qualidade de um edifício depende das características dos elementos que fazem fronteira entre o edifício e o ambiente exterior, ou seja, da sua envolvente.

Neste subcapítulo serão efetuadas alterações das características da célula de teste, nomeadamente do nível de isolamento e da área da fração envidraçada na tentativa de perceber se os respetivos aumentos ou diminuições trarão benefícios energéticos ao Edifício Base.

### 5.5.1. Alteração do nível de isolamento

A quantidade de calor necessário para manter uma habitação à temperatura de conforto depende em larga escala do seu nível de isolamento térmico que previna a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior de um edifício. Um edifício mal isolado acarreta maiores custos com o aquecimento, pois consome mais energia: no inverno arrefece rapidamente podendo ocorrer condensações no seu interior, e no verão aquece mais e num curto espaço de tempo. Por esta razão é essencial diminuir as perdas e os ganhos de calor utilizando técnicas de isolamento adequadas nos edifícios. Pequenas intervenções de melhoria no isolamento de edifícios podem conduzir a economias energéticas avultadas, evitando gastos excessivos quer no aquecimento quer na refrigeração dos espaços.

Nesta fase do estudo proceder-se-á ao aumento gradual e redução do valor do coeficiente de transmissão térmica e desta forma pretende-se perceber qual a sua influência nas necessidades totais de energia (aquecimento + arrefecimento).

Como referido no capítulo 4, o isolante térmico utilizado no presente trabalho foi o Poliestireno Expandido (EPS). Para as paredes exteriores este tem uma espessura de 60 mm e para a cobertura 80 mm. Os valores correspondentes do coeficiente de transmissão térmica foram, respetivamente 0,4 e 0,35 W/m<sup>2</sup>°C<sup>-1</sup>. Os valores adotados para a análise de sensibilidade estão descritos na tabela 6.

Tabela 7 – Características do caso de análise

Fator multiplicação	U (W/m <sup>2</sup> °C <sup>-1</sup> )	
	Parede	Cobertura
½	0,2	0,175
1	0,4	0,35
2	0,8	0,7
4	1,45	1,4



Figura 35 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Bragança

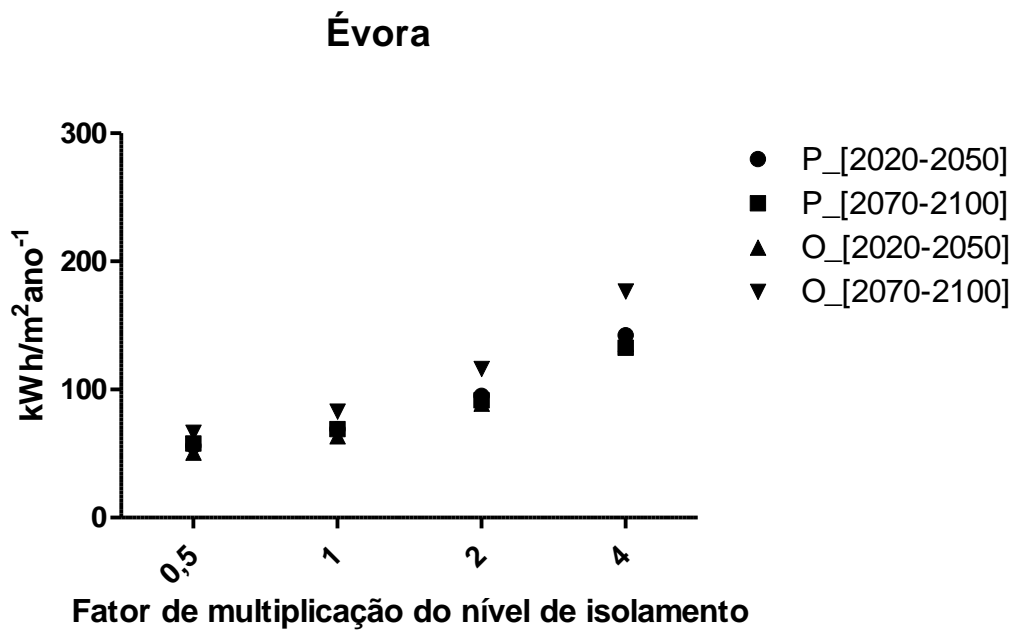


Figura 36 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Évora

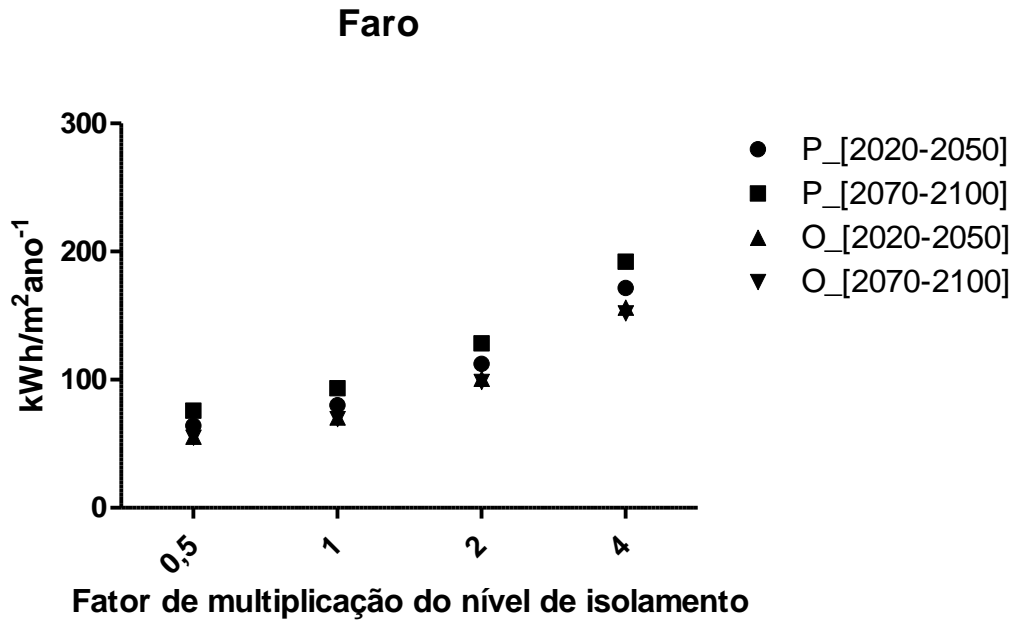


Figura 37 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Faro

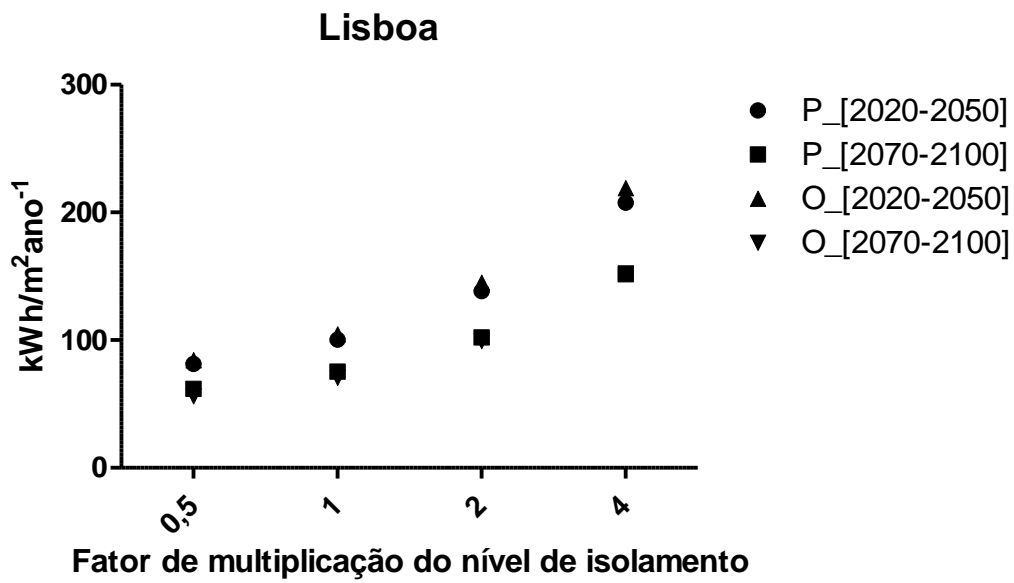


Figura 38 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Lisboa

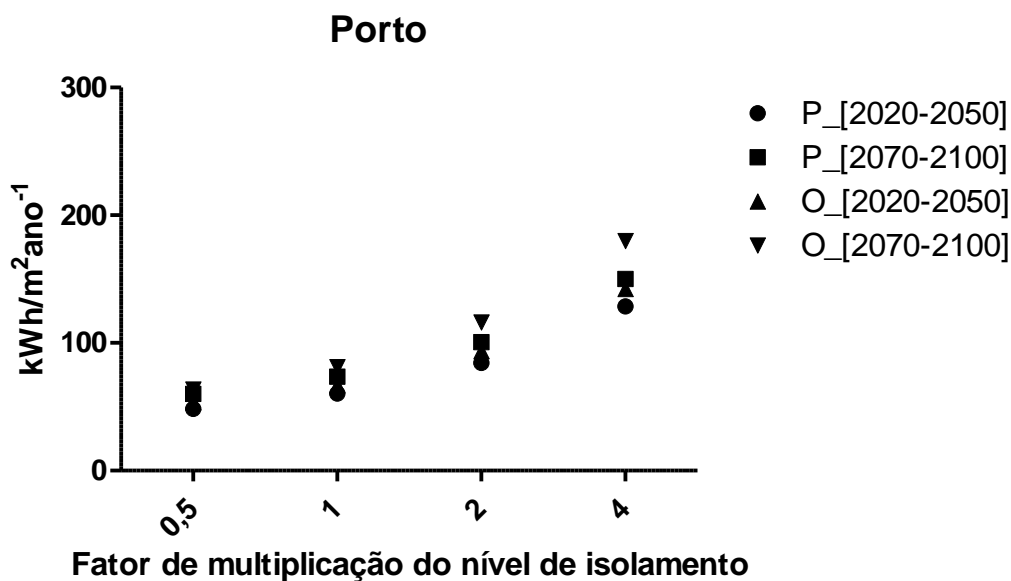


Figura 39 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação do nível de isolamento - Porto

Como se pode verificar nos gráficos acima, à medida que o coeficiente de transmissão térmica aumenta, ou seja a espessura de isolamento - quer da parede quer da cobertura - diminuem, o valor das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento aumentam consideravelmente. Da mesma forma, as necessidades energéticas totais também aumentam bastante, como se pode verificar na tabela 7.

Das regiões em estudo, quase todas tiveram um aumento máximo das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento em finais do século segundo o cenário otimista. Quando comparado com o valor utilizado no Edifício Base, ao aumentar o coeficiente de transmissão térmica, a variação percentual do valor das necessidades energéticas é semelhante. Com a aplicação do isolamento de mais baixa espessura nas cinco regiões nota-se uma redução significativa das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Ao aplicar as espessuras superiores de isolamento, as necessidades reduzem cada vez com menor peso.

Bragança foi a região que sofreu um aumento das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, variando de 50 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> para um máximo de 269 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>, ao aumentar 4 vezes o nível de isolamento em finais do século – cenário otimista. Isto deve-se à transferência de calor ser mais intensa com o aumento do valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes por que a temperatura exterior é mais baixa do que as restantes cidades.

De igual modo, para as necessidades globais de energia primária, Bragança foi a região em que se verificou um maior aumento, com o aumento do coeficiente de transmissão térmica.

Tabela 8 - Necessidades globais de energia primária com a variação do nível de isolamento

Cenário	Fator	Região
---------	-------	--------

	Fator x	Bragança	Évora	Faro	Lisboa	Porto
<b>P_[2020-2050]</b>	½	1,86	1,96	2,02	2,12	1,88
	1	1,93	2,06	2,16	2,26	1,98
	2	2,06	2,27	2,42	2,55	2,17
	4	2,3	2,65	2,91	3,08	2,52
<b>P_[2070-2100]</b>	½	1,42	1,56	1,73	1,59	1,57
	1	1,47	1,66	1,88	1,71	1,68
	2	1,57	1,84	2,18	1,94	1,9
	4	1,75	2,18	2,74	2,36	2,31
<b>O_[2020-2050]</b>	½	1,77	1,47	1,51	1,7	1,48
	1	1,91	1,57	1,63	1,85	1,58
	2	2,2	1,77	1,87	2,15	1,78
	4	2,73	2,13	2,32	2,71	2,16
<b>O_[2070-2100]</b>	½	1,87	1,61	1,52	1,52	1,57
	1	2,04	1,74	1,63	1,64	1,7
	2	2,4	2	1,87	1,87	1,97
	4	3,05	2,48	2,31	2,29	2,47

Através dos gráficos e da tabela anteriores, pode-se concluir que com a diminuição do nível de isolamento das paredes e da cobertura não é aconselhável para uma diminuição do consumo energético de um edifício sustentável, em qualquer ponto do país.

### 5.5.2. Alteração da fração envidraçada

Em qualquer construção a existência de vãos envidraçados é importante e com todas as preocupações ambientais que hoje em dia estão presentes torna-se necessário aproveitar e utilizar todas as potencialidades que a iluminação natural permite, assim como os ganhos solares. A presença de áreas envidraçadas nos edifícios é cada vez mais frequente. Mas é importante perceber se compensará essa colocação de vidro com o intuito de reduzir os custos associados à iluminação ou se os custos inerentes à correta climatização do espaço irão suplantar essa poupança. Em Portugal a incidência de radiação solar é das mais fortes da União Europeia e como tal será de esperar que na estação de arrefecimento, os ganhos solares através dos envidraçados aumentem consideravelmente as necessidades energéticas. Neste subcapítulo serão estudadas variações da fração dos vãos envidraçados e verificado como estas se vão refletir nas necessidades e consumo energético.

A disposição dos vãos envidraçados num edifício é um pormenor que tem uma elevada importância quando se pretende obter um bom desempenho energético do edifício. Nesta fase do estudo proceder-se-á ao aumento gradual e redução da área de envidraçados e desta forma pretende-se perceber qual a sua influência nas necessidades totais de energia (aquecimento + arrefecimento).



Cada fachada do edifício base possui duas janelas, de 1,85 m<sup>2</sup> cada. O aumento será efetuado multiplicando as áreas de envidraçados até 4 vezes a área original com intervalo de duas vezes, a redução será para metade. Serão os fatores de multiplicação que constarão no eixo horizontal dos gráficos que ilustram as evoluções.

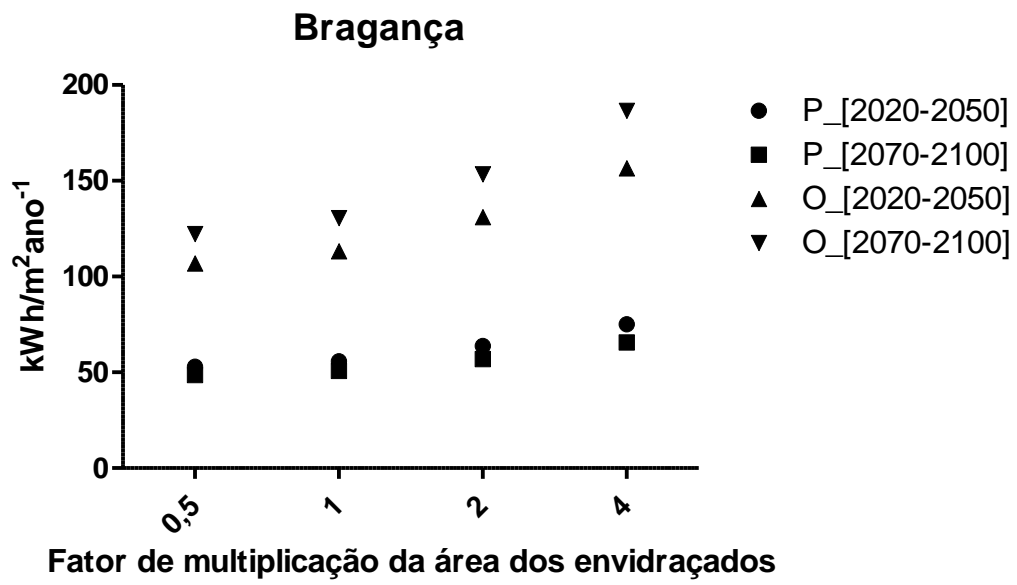


Figura 40 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Bragança

## Évora

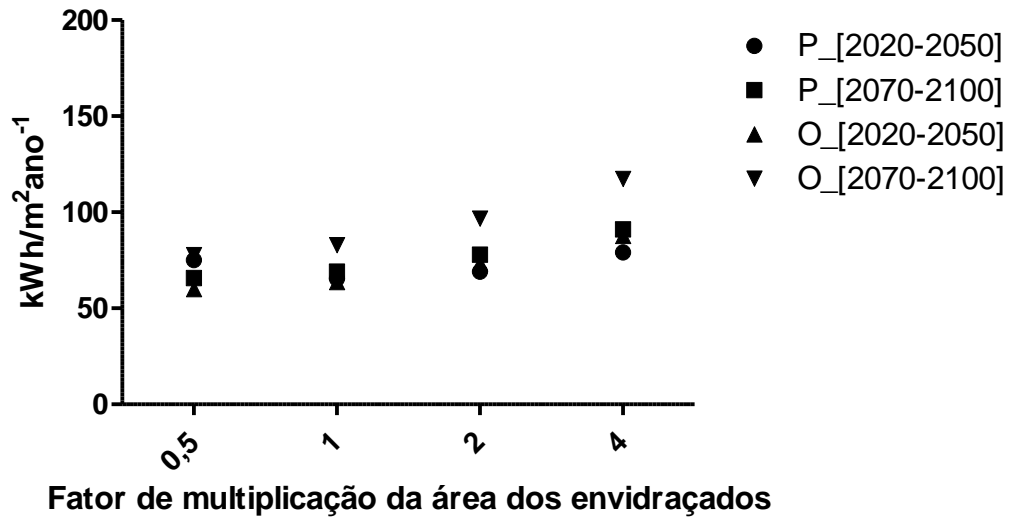


Figura 41 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Évora

## Faro

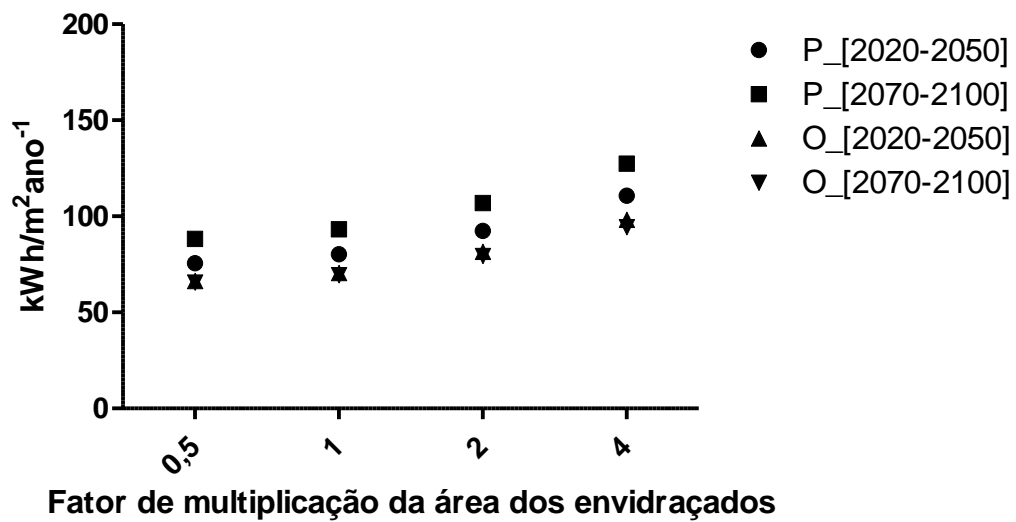


Figura 42 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Faro

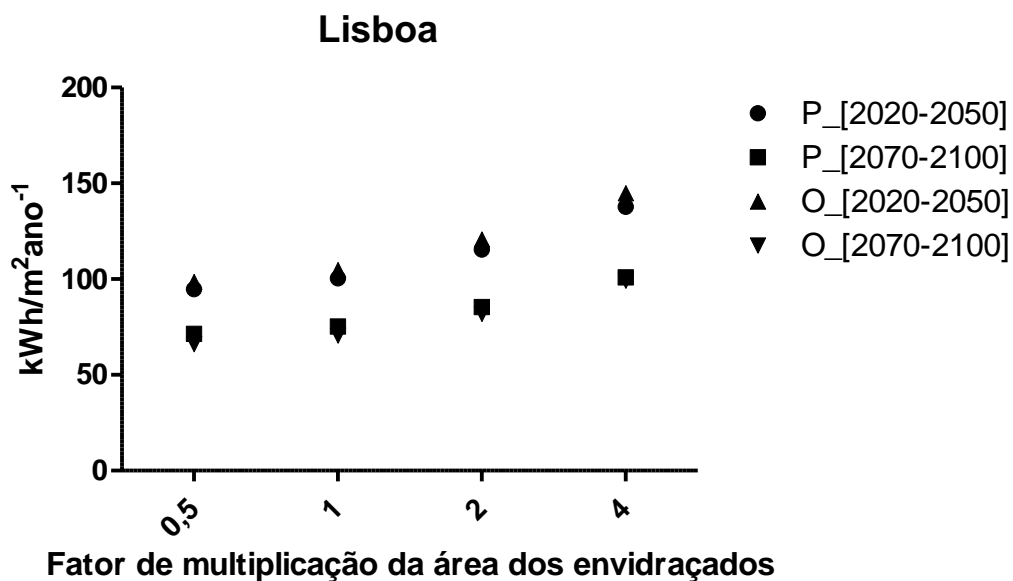


Figura 43 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Lisboa

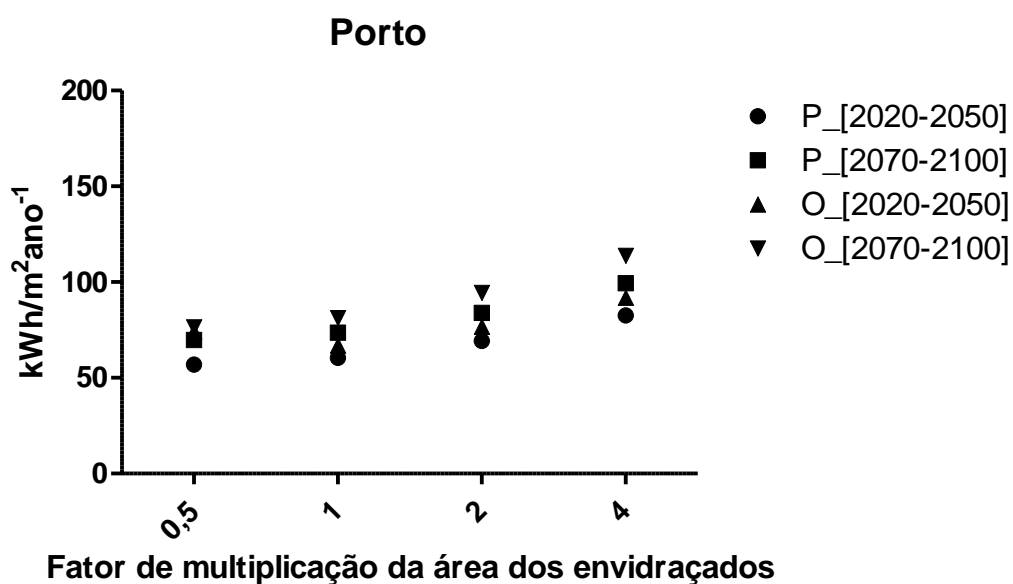


Figura 44 - Necessidades de aquecimento e arrefecimento VS variação da área de envidraçados - Porto

Com o aumento da área dos vãos envidraçados, sabe-se à partida que os ganhos solares irão aumentar consideravelmente, tal como as perdas térmicas por condução irão ocorrer de forma mais intensa.

Dos gráficos acima apresentados, constatasse que à medida que a fração dos vãos envidraçados aumenta, as necessidades energéticas totais também aumentam.

Évora e Porto foram as regiões em que a variação das necessidades energéticas foi menor: houve apenas variações máximas de 24 e 26 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> respetivamente, quando o aumento foi de quatro vezes o tamanho inicial. Também nestas regiões verifica-se um aumento das necessidades com a redução da fração de envidraçados, para o mesmo intervalo de tempo e respetivo cenário – medos do século – pessimista.

Nas restantes regiões analisadas, a que se verificou maior aumento nas necessidades foi Bragança, seguindo-se Lisboa e por último Faro. Em finais do século, e segundo o cenário pessimista, Bragança terá um aumento de mais de 50 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>, Lisboa 40 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> em meados do século e Faro 34 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>.

Em suma, o aumento da área de envidraçados contribui para um aumento das necessidades energéticas em todo o país, sendo que esta variação é bastante diferente consoante os cenários climáticos.

O RCCTE impõe que quando se verifica uma área envidraçada superior a 15% da área útil de pavimento o valor da taxa de renovação nominal do ar para o interior sofre um agravamento de 0,10. Logo, assim que a área de envidraçados do edifício base sofre um aumento para o dobro, o valor de  $R_{ph}$  é alterado de 0,85 para 0,95. Deste, as trocas de calor por renovação de ar irão aumentar, logo verifica-se que não é vantajoso o aumento da fração de envidraçados.

No entanto, verifiquemos de seguida como serão alteradas as necessidades globais de energia primária:

**Tabela 9 – Necessidades nominais de energia primária com a variação da área de envidraçados**

Região	Aumento x	Pessimista		Otimista	
		[2020- 2050]	[2070- 2100]	[2020- 2050]	[2070- 2100]
<b>Bragança</b>	0,5	1,48	1,45	1,86	1,98
	1	1,5	1,47	1,91	2,04
	2	1,56	1,51	2,04	2,21
	4	1,64	1,58	2,23	2,46
<b>Évora</b>	0,5	1,6	1,63	1,54	1,7
	1	1,63	1,66	1,57	1,74
	2	1,71	1,73	1,64	1,85
	4	1,93	1,84	1,75	2,01
<b>Faro</b>	0,5	1,69	1,84	1,6	1,6
	1	1,73	1,88	1,63	1,63
	2	1,82	2	1,71	1,71
	4	1,97	2,17	1,84	1,83
<b>Lisboa</b>	0,5	1,79	1,68	1,81	1,6
	1	1,83	1,71	1,85	1,64
	2	1,94	1,79	1,97	1,73
	4	2,11	1,92	2,14	1,86
<b>Porto</b>	0,5	1,52	1,65	1,63	1,67
	1	1,55	1,68	1,58	1,7

2	1,61	1,76	1,65	1,8
4	1,72	1,89	1,76	1,95

Pelos valores acima verificados confirma-se, uma vez mais, que não é vantajoso o aumento da área dos envidraçados, pois este aumento irá levar a um aumento da fatura energética uma vez que as necessidades crescem praticamente de forma linear com o aumento da área de vãos envidraçados.

## 5.6. Síntese do capítulo

As necessidades de aquecimento e arrefecimento de uma fração autónoma com vãos envidraçados é variável consoante a sua localização e o fator clima.

Quando é incluído o efeito do clima futuro, a procura de energia para aquecimento reduz-se de forma significativa, contudo a procura de energia para arrefecimento aumenta bastante. Deve ter-se em conta que os consumos na estação de arrefecimento são muito inferiores aos da estação de aquecimento, quer atualmente quer tendo em conta as projeções das alterações climáticas. Atualmente as necessidades para aquecimento são muito significativas, uma vez que o número de meses de inverno é mais elevado do que os meses de verão. Mas no futuro processar-se-á um cenário contrário, ou seja, o peso do aquecimento diminuirá com o decorrer do século. Esta variação será mais ou menos elevada dependendo da região em que o edifício se insere.

Com o intuito de evitar o sobreaquecimento de um edifício e o desperdício do consumo energético, é necessário ter em atenção ao seu nível de isolamento. O aumento da espessura do isolamento térmico, ou seja, diminuição do coeficiente de transmissão térmica resulta na diminuição das necessidades energéticas, especialmente nas regiões mais frias do país.

A análise das alterações de área dos vãos envidraçados num edifício é de extrema importância e requer um estudo prévio para que todos os benefícios provenientes do sol sejam utilizados ao máximo, não só em termos de ganhos solares térmicos mas também para que a iluminação natural permita uma redução dos custos associados à iluminação do espaço.

## **6. Conclusão**

### **6.1. Sumário**

O principal objetivo desta dissertação consistia em avaliar a variação dos consumos nominais de energia tendo em conta as projeções das alterações climáticas.

Para tal foram selecionadas cinco regiões de Portugal Continental e, após fazer a respetiva recolha de dados climáticos do passado, foi feita a regionalização estática destes, de modo a obter as previsões do clima futuro.

Foram projetados dois cenários climáticos distintos: um designado de pessimista e outro de otimista. Estes cenários correspondem aos cenários A2 e B1 do IPCC. Com os dados obtidos – temperatura média diária, insolação, radiação solar incidente, entre outros - foram calculadas os parâmetros do RCCTE que envolvem o clima exterior. Estes foram os Graus-Dia, a duração das estações de aquecimento e arrefecimento e a energia solar média mensal incidente na estação de aquecimento.

Seguidamente foi criado um Edifício modelo, cujas características mais semelhantes aos aspetos construtivos mais comuns em Portugal. Para o edifício em estudo, verificou-se que este era regulamentar, tendo em conta o clima atual. Na folha de cálculo do RCCTE, foram introduzidos os parâmetros alterados com as projeções de um clima futuro.

Foi feito então o levantamento das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento e observada a forma como estas variavam e, simultaneamente perceber se este valor é ou não significativo para que o atual RCCTE seja alterado.

Para o Edifício Base foram alteradas duas soluções construtivas – nível de isolamento e fração de envidraçados – para que fosse estudado o impacto da sua variação no consumo final de energia.

### **6.2. Conclusão**

O tema da eficiência energética tem estado no centro das preocupações de várias organizações e países, incluindo Portugal que, em conjunto com outros estados membros da União Europeia, estabeleceu algumas metas a nível energético de modo a incentivar a poupança energética.

O setor dos edifícios representa 40% do consumo energético primário da União Europeia, por isso o projeto de novos edifícios ou de grandes reabilitações, para além da estética e funcionalidade, confere uma atenção muito particular às questões energéticas.

No projeto de um edifício, uma boa orientação geográfica é fundamental para a redução dos consumos energéticos. Um edifício corretamente orientado a sul possui um maior aproveitamento direto da radiação solar que, por sua vez, permite uma redução das necessidades de aquecimento e de iluminação, reduzindo a fatura energética.

Outra das grandes preocupações a ter na projeção de edifícios é quanto ao seu isolamento. A par dessa preocupação há que ter em conta necessidades de ventilação natural ou mecânica, capazes de garantir o conforto térmico dos seus ocupantes.

Através de estratégias bioclimáticas e de eficiência energética, que foram descritas ao longo da presente dissertação, é possível que quase todas as edificações, existentes ou novas, atinjam as metas atrás referidas, tornando-se mais eficientes e, assim, mais adequadas quer para o consumidor quer para o meio ambiente.

Os diferentes cenários de alteração climática projetam modificações muito importantes do clima a nível global. Em Portugal Continental são estimados aumentos médios de temperatura, entre 3 a 9°C, com aquecimento mais forte no interior norte Bragança, chegando aí a atingir um aumento máximo de 12°C. Esses aumentos são mais acentuados nos meses de outubro, seguido de maio e os meses de verão. Estes passam a ter uma maior duração e o inverno necessariamente será mais. Até ao final do corrente século a temperatura em todo o território português vai aumentar, tendendo para um clima mais uniforme em todo o território.

Com o aumento da temperatura exterior, verificou-se uma redução significativa no número de Graus-dia, diminuição da duração dos meses de arrefecimento e aumento dos típicos 122 de arrefecimento. Contrariamente ao que seria esperado, verificou-se um decréscimo da intensidade da radiação solar. Este facto pode estar relacionado com o aumento da concentração dos GEE na atmosfera, provocando assim uma maior absorção e difração da intensidade.

No estudo do impacto das alterações climáticas no setor residencial, em todos os cenários utilizados, a busca de conforto é maior. Contudo, o consumo energético depende de fatores sociais – tempo passado na habitação, por exemplo, - do próprio edifício, intervalos térmicos de conforto, regulamento da construção vigente e tecnologia de aquecimento e arrefecimento disponíveis.

Ao longo do século a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários e em todas as regiões analisadas. Quanto à energia para aquecimento, este aumenta nas regiões de Bragança, Évora e Porto, mas apenas no cenário otimista. Quando comparados estes valores com os do clima atual, as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento são sempre muito superiores. A região onde se regista um aumento mais extremo foi a de Lisboa: Atualmente com um valor de 54 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> e atingindo um máximo de 100 e 104 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup> nos cenários pessimista e otimista, respetivamente. Estes valores diminuem até finais do século, com um valor ainda superior ao do clima atual – 75 e 70 kWh/m<sup>2</sup>ano<sup>-1</sup>.

Quanto à variação das necessidades globais de energia primária, a tendência é para aumentar. À exceção de Lisboa e Bragança (cenário pessimista), que diminuem, para as restantes regiões as necessidades globais de energia primária aumentam. Quando comparadas com o clima atual, as necessidades no futuro serão sempre superiores, à exceção de Bragança, que segundo o cenário otimista, em finais do século, terá um consumo inferior de cerca de 15%.

Efetou-se um estudo de sensibilidade à célula de teste, onde se pretendeu fazer sobressair algumas das suas potencialidades, utilizando exemplos concretos de melhoria de aspetos construtivos. Estes foram a alteração do nível de isolamento e a área da fração de envidraçados.

Quanto à modificação do nível de isolamento, foi verificado para todas as regiões um aumento gradual do consumo energético para climatização com o aumento do nível de isolamento. Como tal, quanto menor for este nível, mais energeticamente eficiente será o edifício.

Relativamente à variação da área da fração envidraçada em todas as zonas de estudo, o aumento das necessidades energéticas é diretamente proporcional ao aumento da área dos envidraçados. Embora em Évora e no Porto a situação ideal seja de 15% da área de envidraçados, nas restantes regiões, o mínimo possível conduz a uma diminuição das necessidades nominais de energia. Ou seja, do ponto de vista energético não é muito aconselhável o aumento de envidraçados uma vez que os as trocas de calor com o exterior na área do vidro ocorrem de forma muito mais intensa dado que o coeficiente de transmissão térmica deste elemento é muito maior do que o das paredes.

Em suma, para o projeto de um edifício novo ou sua reabilitação, é necessário ter em conta as projeções do clima futuro. Devendo ter-se especial atenção para a zona interior norte – Bragança.

É de salientar que os estudos sobre cenários de alterações climáticas são, por natureza, provisórios, estando limitados pela incerteza nos cenários de emissão dos GEE e pelas deficiências dos modelos utilizados. A grande importância social, económica e política da mudança climática inevitável durante o corrente século obriga-nos, no entanto, a recorrer às melhores estimativas que a ciência nos pode fornecer e a utilizá-las para prever os seus potenciais impactos e planear medidas de mitigação e adaptação.

### **6.3. Trabalho futuro**

Numa perspetiva de desenvolvimentos futuros e de modo a complementar este estudo seria interessante conhecer a importância de outros potenciais fatores de influência no consumo energético para climatização de edifícios. Uma vez que os resultados apresentados são apenas para uma célula de teste, que representa uma das várias hipóteses representativas no setor residencial, seria interessante uma continuação deste trabalho num estudo detalhado dos resultados obtidos no âmbito de comparar desvios resultantes de edifícios com características distintas no mesmo concelho.

Paralelamente a este estudo seria realizado um estudo ao nível de influência dos elementos de sombreamento, pontes térmicas e outros pressupostos que não foram, por questões de simplificações metodológicas, consideradas neste trabalho.



As simulações das necessidades energéticas poderiam ser estudadas com recursos a outras metodologias de cálculo, como por exemplo o *EnergyPlus*, que permitiriam uma segunda análise aos resultados obtidos para a metodologia de cálculo do RCCTE.

De igual modo, para a regionalização dos cenários climáticos poder-se-á recorrer a métodos estocásticos, utilizando a ferramenta SDSM permitindo obter um termo de comparação com os estáticos para a projeção das alterações climáticas.

Uma outra vertente muito importante que contribuiria para este estudo com uma visão derradeira do ponto de vista do utilizador seria a perspetiva económica. Fazendo um balanço em termos de despesa com a energia para a climatização e a diferença de preços nas soluções construtivas, assim como a avaliação do impacte ambiental traduzindo em valor monetário das emissões de CO<sub>2</sub> dado o corrente “mercado” gerado pelas coimas aplicadas no incumprimento dos limites máximos das emissões de CO<sub>2</sub>.

## 7. Bibliografia

- [1] M.L.Parry, O.F.Canziani, J.P.Palitiko, P.J.van der Linden and C.E.Hanson, Eds.; Climate changes 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press, Cambridge; UK, 976 pp;
- [2] Miranda, P.M.A., F.E.S. Coelho, A.R. Tomé e M.A. Valente.2002. 20th Century Portuguese Climate and Climate Scenarios. Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project. Godiva, Lisboa, Portugal, 454 pp;
- [3] Ibarra, Diego – Understanding weather files and visualizing data using computerized tools, Climate Analysis. Harvard University, Cambridge;
- [4] Government of Canada, Climate Change Adaptation Found, (Consult. maio.2013). Disponível em WWW:<URL: <http://www.cccsn.ec.gc.ca/index.php?page=aboutus>>;
- [5] Lopes, P. Assessment of Statistical Downscaling Methods- application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2008. Lisboa. 68pp;
- [6] Isolani, Peraldo; Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residenciais; Lisboa, 2008;
- [7] Decreto-Lei n.º80/2006 – Regulamento das Características de Conforto Térmico de Edifícios; Diário da República de 4 de abril de 2006;
- [8] Almeida, Manuela; Certificação Energética O Novo Enquadramento Europeu; Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009;
- [9] ASHRAE – Handbook of Fundamentals: Physiological Principles, Comfort, Health. New York, 1997;
- [10] IPCC - Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of IPCC. Reino Unido, Cambridge University Press, Cambridge;
- [11] Levine M, Urge-Vorsatz D, Blok K, Geng L, Harvey D, Lang S, et al. Residential and Commercial Buildings. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA, editors. Climate change 2007: mitigation. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 446 pp;
- [12] Levermore GJ. A review of the IPCC assessment report four, part 1: the IPCC process and greenhouse gas emission trends from buildings worldwide. Building Services Engineering Research and Technology, 2008; 349pp;
- [13] Kwok AG, Rajkovich NB. addressing climate change in comfort standards. Building and Environment, 2010; 22pp.

- [14] Yao R, Li B, Steemers K. Energy Policy and Standard for Built Environment in China. *Renewable Energy*, 2005; 88pp;
- [15] Lam JC, Tsang CL, Yang L, Li DHW. Weather data analysis and design implications for different climatic zones in China. *Building and Environment*, 2005; 277 pp;
- [16] Lam JC, Wan KKW, Tsang CL, Yang L. Building energy efficiency in different climates. *Energy Conversion and Management*, 2008;
- [17] Lam JC, Tsang CL, Li DHW. Long-term ambient temperature analysis and energy use implications in Hong Kong. *Energy Conversion and Management* 2004; 315 pp;.
- [18] Wan KKW, Wong SL, Yang L, Lam JC. An analysis of the bioclimates in different climates and implications for the built environment in China. *Building and Environment* 2010;
- [19] DGE – Direção Geral de Geologia e Energia, (Consult.abril 2013). Disponível em WWW:<URL: <http://www.dgeg.pt/>>;
- [20] Calixto, L. *Arquitetura e Urbanismo Sustentável*. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2008;
- [21] Gonçalves, H., Graça, J., *Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Lisboa, INETI, 2004;
- [22] RCCTE – *Manual de Apoio à utilização*. Lisboa, INETI, 2004;
- [23] Santos, C., Matias, L., *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa, LNEC, 2006;
- [24] Santos, F.D., Miranda, P. *Alterações Climáticas em Portugal- Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Projeto SIAMM. Lisboa, Gravida, 492pp;
- [25] Aguiar, R., Santos, F.D. *MISP- Energia e Emissões de Gases com Efeito de Estufa: Um exercício de Prospetiva para Portugal até 2070*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 48pp;
- [26] Santo, F.E., *Alterações Climáticas*. *Revista do Ambiente*, n.º 13, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2000;
- [27] *Base de Dados de Portugal Contemporâneo*, (Consult. agosto 2013). Disponível em WWW:<URL: <http://www.pordata.pt/Portugal/Numero+de+dias+com+onda+de+calor-1337>>;
- [28] Stott, P.A.,Tett,S.F.B., Jones, G.S., et al. External Control of Twentieth Century temperature by natural and anthropogenic forcing. (Consult.maio 2013), Disponível em WWW:<URL: <http://funnel.sfsu.edu/courses/gm310/articles/GlbIWrmng20thCenturyCauses.pdf>>
- [29]Semonov, A., Brooks, J. Spatioal inperpolation of the LARS-WG stohastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*, 1999, 148 pp;
- [30] Wilby, L., Dawson, W., Barrow, M., *SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate impacts*. *Environment Modeling & Software*, 2002, 159 pp;

[31] Aguiar, R., Lopes, P., Methodologies for Downcaling Socio-Economic, Technological and Emission Scenarios, As Well As Meteorological Scenario Data, to Country Level and Smaller Regions Part II: Climate. Faculdade de Ciências de Lisboa. Lisboa, 2008;

[32] Dados climáticos das estações meteorológicas nas Europa – The European Climate Assessment & Dataset (consultado em março de 2013) disponível em <[www.hhttp://eca-knmi.nl](http://eca.knmi.nl)>;

[33] Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects, (acedido em março de 2013) disponível em <[www.http://prudence.dmi.dk/](http://prudence.dmi.dk/)>;

[34] Software LARS WG, do projeto Canada Climate Impacts Scenarios, (fevereiro de 2013), disponível em <<http://www.cccsn.ec.gc.ca/index.php?page=lars-wg>>;

[35] Rodrigues, A.M., Piedade, A., Braga, A.M. – Térmica de edifícios. Amadora, Edições Orion, 2009;

[36] Li, D.H.W., Yang, L., Lam, J.C., Impact of Climate Change on Energy use in built Environment in Different Climate Zone – A Review. Building and Environment; 22 pp.

## **ANEXOS**

## Anexo A – Alterações climáticas

### A1. Exemplo do formato das séries climáticas obtidas

STATION,Bragança\_\_A2\_2020-47  
 LATITUDE(°N),41.7  
 LONGITUDE(°W),6,74  
 ALTITUDE(m),100  
 START\_YEAR,2020  
 END\_YEAR,2047  
 TIME\_SYSTEM,JULIAN  
 Source,method\_of\_fragments\_and\_stochastic\_models

YEAR	MONTH	DAY_OF_MONTH	TMIN(°C)	TMAX(°C)	TMED(°C)	RR24(mm)	U(%)	S(h)	G(MJ/m <sup>2</sup> )	v(m/s)
2020	1	1	8,6	12,6	10,6	11,06	76,37	0,09	0,72	2,9
2020	1	2	10,8	13,5	12,2	2,24	86,01	3,51	6,8	6
2020	1	3	9,0	13,4	11,2	0	75,19	1,9	1,28	4,9
2020	1	4	6,8	11,1	9,0	0	82,69	0	5,36	3,4
2020	1	5	4,4	11,4	7,9	0	76,47	6,06	4,48	9,8
2020	1	6	6,4	12,2	9,3	0	79,15	8,81	1,44	2,3
2020	1	7	7,7	12,7	10,2	1,26	79,26	4,45	6,08	2,5
2020	1	8	4,0	10,2	7,1	0	61,91	3,03	3,84	2,4
2020	1	9	4,5	9,8	7,2	0	55,80	9,67	4,08	3,5
2020	1	10	7,5	10,6	9,0	24,08	66,19	5,59	6,4	3,7
2020	1	11	8,5	12,6	10,6	0,28	66,30	3,03	8,08	3,3
2020	1	12	8,0	12,4	10,2	5,32	72,40	6,16	6,88	6,4
2020	1	13	9,0	12,6	10,8	11,62	70,48	5,31	3,76	5,5
2020	1	14	10,7	13,2	11,9	1,68	85,04	0,47	4,8	3,8

...

...

...

Com:

$T_{max}$ =média da temperatura diária (°C);  $T_{min}$ = média da temperatura mínima (°C);  
 $T_{med}=(T_{min}+T_{max})/2$ ; RR= precipitação acumulada mensal (mm); S= insolação média diária (h); G= radiação solar média diária (MJ/m<sup>2</sup>); U=humidade relativa média (%); e v= intensidade médio do vento a 2m (m/s).

### A2. Variação da temperatura exterior nos diferentes concelhos

Bragança

	Atual	Meados_P	Meados_O	Finais_P	Finais_O
Janeiro	4,5	8,1	7,1	10,6	9,3

<b>Fevereiro</b>	6,2	8,5	8	10,9	10,4
<b>Março</b>	9,2	11,9	11,3	12,5	11,2
<b>Abril</b>	9,8	13,8	13,3	14,6	13,5
<b>Maio</b>	14	16,7	15,6	18,8	16,6
<b>Junho</b>	18,8	19,9	19,3	22,4	20,1
<b>Julho</b>	21,8	22,6	22,3	25,7	24,2
<b>Agosto</b>	18,4	22,4	20,9	25,1	16,3
<b>Setembro</b>	13,2	21	19,7	23,2	20,9
<b>Outubro</b>	8	18,5	17,2	20,6	18,3
<b>Novembro</b>	5,4	11,6	10,9	14,3	13,2
<b>Dezembro</b>	8	8,4	7,8	10,5	9,6

Évora

	<b>Atual</b>	<b>Meados_P</b>	<b>Meados_O</b>	<b>Finais_P</b>	<b>Finais_O</b>
<b>Janeiro</b>	9,5	13,3	12,4	14,7	13,1
<b>Fevereiro</b>	10,2	14,5	13,2	14,9	13,5
<b>Março</b>	11,8	15,3	14,5	16,5	15
<b>Abril</b>	13,4	17,6	16,5	18,7	16,9
<b>Maio</b>	16,4	20,7	21,3	22,9	20,3
<b>Junho</b>	20,1	24,2	24,3	26,4	23,2
<b>Julho</b>	23	28,3	24,8	29,8	25,5
<b>Agosto</b>	23,3	26,5	24	29,2	25,3
<b>Setembro</b>	21,6	25	22,9	27,2	23,9
<b>Outubro</b>	17,3	22,4	20,4	24,7	21,6
<b>Novembro</b>	12,7	17,3	16,2	18,4	16,6
<b>Dezembro</b>	9,9	13,7	13,1	14,6	13,4

Faro

	<b>Atual</b>	<b>Meados_P</b>	<b>Meados_O</b>	<b>Finais_P</b>	<b>Finais_O</b>
<b>Janeiro</b>	11,9	12,4	12,5	13,2	14,8
<b>Fevereiro</b>	12,6	14,6	13,4	13,7	15,2
<b>Março</b>	13,7	15,4	14,7	15,3	16,8
<b>Abril</b>	15,1	17,7	16,6	17,2	18,9
<b>Maio</b>	17,45	21	19,1	20,2	23,2
<b>Junho</b>	20,6	24,5	22	23,2	26,9
<b>Julho</b>	23,3	28,7	25,1	25,8	30,2
<b>Agosto</b>	23,4	26,8	24,3	25,7	29,6
<b>Setembro</b>	21,5	25,3	23,2	24,2	27,6
<b>Outubro</b>	18,7	22,6	20,6	21,9	25,1
<b>Novembro</b>	15,2	17,5	16,4	16,9	18,7
<b>Dezembro</b>	13	13,8	13	13,6	14,8

Lisboa

	Atual	Meados_P	Meados_O	Finais_P	Finais_O
<b>Janeiro</b>	11	13,2	12,62	14,9	13,52
<b>Fevereiro</b>	12,6	13,7	13,44	15,22	14,69
<b>Março</b>	14,3	15,36	14,77	16,81	15,56
<b>Abril</b>	15,3	17,24	16,74	19,01	17,86
<b>Mai</b>	17,4	20,23	19,13	23,22	20,98
<b>Junho</b>	20,4	23,28	21,98	26,81	24,48
<b>Julho</b>	23,2	25,84	25,04	30,22	28,63
<b>Agosto</b>	23	25,71	24,28	29,66	26,77
<b>Setembro</b>	27,5	30,53	31,71	27,8	29,51
<b>Outubro</b>	18,4	22,12	20,82	25,2	22,81
<b>Novembro</b>	15	16,98	16,48	18,77	17,61
<b>Dezembro</b>	13,4	13,74	13,46	14,86	13,8

Porto

	Atual	Meados_P	Meados_O	Finais_P	Finais_O
<b>Janeiro</b>	9,3	11,2	12,1	13,3	14,6
<b>Fevereiro</b>	10,4	12	12,5	14,4	14,9
<b>Março</b>	11,6	15,3	15,8	15,2	16,4
<b>Abril</b>	13,2	17,3	17,8	17,5	18,6
<b>Mai</b>	14,7	19,7	20,7	20,6	22,8
<b>Junho</b>	18,3	22,6	23,9	24,1	26,3
<b>Julho</b>	20,3	25,6	26,6	28,2	29,7
<b>Agosto</b>	18,6	24,8	26,4	26,3	29,1
<b>Setembro</b>	18,9	23,7	25	24,9	27,1
<b>Outubro</b>	16	21,3	22,5	22,3	24,7
<b>Novembro</b>	12,6	14,9	15,7	15,1	18,4
<b>Dezembro</b>	10,6	11,8	12,4	13,6	14,5

### A3. Cálculo dos Graus-Dia

Exemplo de dados utilizados para cálculo do número de Graus-Dia para cada um dos concelhos no ano 2020, cenário pessimista

<b>Bragança</b>	<b>Évora</b>	<b>Faro</b>	<b>Lisboa</b>	<b>Porto</b>
10,62	11,625	9,97616	11,85	10,62
12,174	13,1675	8,90216	13,45	12,174
11,212	12,215	10,38032	12,45	11,212
8,958	9,9725	11,2168	10,15	8,958
7,908	8,935	8,20528	9,05	7,908
9,316	10,3325	8,15112	10,5	9,316



10,19	11,2	10,11888	11,4	10,19
7,116	8,145	11,65744	8,25	7,116
7,156	8,1825	11,21368	8,3	7,156
9,044	10,055	11,85328	10,25	9,044
10,572	11,5775	12,98456	11,8	10,572
10,184	11,1925	13,57624	11,4	10,184
10,812	11,815	13,04496	12,05	10,812
11,928	12,9225	12,34808	13,2	11,928
12,512	13,5025	12,20952	13,8	12,512
11,998	12,9975	11,80432	13,25	11,998
11,302	12,3025	13,57728	12,55	11,302
11,126	12,1325	14,16376	12,35	11,126
10,764	11,7675	13,63248	12	10,764
12,514	13,505	10,36888	13,8	12,514
13,086	14,07	12,63768	14,4	13,086
12,524	13,5175	13,18144	13,8	12,524
9,342	10,3525	11,54808	10,55	9,342
11,584	12,58	8,41984	12,85	11,584
12,122	13,115	7,11152	13,4	12,122
10,504	11,505	7,90112	11,75	10,504
7,442	8,4775	10,23344	8,55	7,442
6,126	7,1575	10,4376	7,25	6,126
6,906	7,9325	5,91568	8,05	6,906
9,124	10,1425	6,57088	10,3	9,124
9,43	10,45	5,49376	10,6	9,43
12,338	13,335	10,9272	0	12,338
11,712	12,715	11,8168	13,6	11,712
12,508	13,51	12,6512	12,95	12,508
9,798	10,7975	11,9168	13,75	9,798
11,298	12,2975	11,9168	11,05	11,298
10,738	11,735	12,6616	12,55	10,738
11,952	12,9525	12,4012	12	11,952
12,706	13,7075	12,2512	13,2	12,706
12,18	13,175	10,6168	13,95	12,18
9,96	10,975	11,9064	13,45	9,96
7,314	8,3425	12,15016	11,15	7,314
6,572	7,6025	11,61264	8,45	6,572
7,1	8,125	12,7856	7,7	7,1
8,452	9,465	12,9856	8,25	8,452
9,934	10,9425	14,9148	9,65	9,934
11,726	12,72	12,596	11,15	11,726
14,46	12,05	14,06688	13	14,46
14,354	11,24	14,52	12,3	14,354
14,814	11,225	14,46792	11,45	14,814
14,406	12,775	13,3856	11,45	14,406
14,14	13,3825	13,8752	13,05	14,14

11,05	12,8425	12,146	13,65	11,05
10,232	14,49	12,94704	13,1	10,232
10,22	14,785	14,71584	14,8	10,22
11,78	12,6175	13,0856	12,85	11,78
14,186	12,9725	12,6856	13,2	14,186
13,644	14,9925	12,8908	13,25	13,644
13,414	13,0025	10,8272	13,7	13,414
13,768	13,445	11,7064	11,95	13,768
13,802	11,735	14,96168	11,85	13,802
14,246	11,63	13,78872	10,6	14,246
12,528	10,41	14,57	9,3	12,528
12,424	9,17	14,52624	10,95	12,424
11,198	10,79	12,70744	12,95	11,198
9,946	12,745	14,03664	12,6	9,946
11,572	12,4	13,63664	12,95	11,572
13,536	12,7375	12,80328	13,4	13,536
13,19	14,945	11,90328	13,4	13,19
13,53	14,865	12,38248	14,75	13,53
13,942	13,14	13,83664	12,4	13,942
13,946	15	10,81784	13,35	13,946
13,008	14,87	10,68136	13,8	13,008
13,874	13,145	12,20328	12,8	13,874
14,368	14,4375	13,85224	14,55	14,368
13,334	12,2225	14,99496	13,5	13,334
14,052	13,0675	12,15952	14,2	14,052
14,73	13,5725	12,20744	15	14,73
14,266	12,53	12,53664	14,85	14,266
14,686	14,28	13,53248	13,75	14,686
13,614	13,2525	14,52624	14,15	13,614
12,264	13,925	13,34704	14,9	12,264
13,382	14,97	12,61472	14,9	13,382
13,266	14,6775	10,38656	13,5	13,266
13,358	14,5375	13,93248	14,65	13,358
11,94	13,4575	12,9856	14,55	11,94
12,396	13,8825	12,94184	14,65	12,396
11,846	14,6075	13,9856	13,2	11,846
13,174	14,605	13,29704	13,65	13,174
12,558	13,2675	14,33768	13,1	12,558
11,596	14,3775	12,58768	14,45	11,596
10,858	14,2575	13,60536	13,8	10,858
11,15	14,3475	13,13248	12,8	11,15
10,644	12,9375	12,22616	12,05	10,644
11,826	13,395	14,52	12,35	11,826
12,946	12,845	13,19392	11,85	12,946
12,698	14,1675	14,93352	13,05	12,698
13,26	13,56	12,76368	14,2	13,26

14,904	12,6075	12,41888	13,95	14,904
14,18	11,8725	14,52776	14,5	14,18
14,086	12,1625	14,44064	13,3	14,086
14,88	11,655	14,39008	13,15	14,88
12,078	12,8325	14,24496	12,05	12,078
14,67	13,945	14,9304	12,35	14,67
11,918	13,6975	14,38144	11,1	11,918
10,856	14,2625	14,63456	10,35	10,856
11,188	13,085	14,20224	10,85	11,188
9,934	12,9225	13,35848	11,55	9,934
9,202	11,87	14,0512	11,5	9,202
9,662	12,21	14,64808	13,5	9,662
10,314	10,955	14,30848	11,85	10,314
10,288	10,2275	14,74912	11,25	10,288
12,288	10,6775	13,2616	11,2	12,288
10,668	11,3175	13,34496	10,45	10,668
10,086	11,2975	14,53456	12,4	10,086
9,998	13,2975	12,5616	12,45	9,998
9,242	11,685	12,4012	12,15	9,242
11,138	11,1075	13,6012	12,85	11,138
11,252	11,01	11,51576	12,15	11,252
10,95	10,2525	12,89496	10,9	10,95
11,65	12,135	14,18768	11,3	11,65
10,93	12,265	14,03456	10,7	10,93
9,7	11,9625	9,14592	11,4	9,7
10,134	12,6625	12,07408	11,35	10,134
9,546	11,9375	11,46992	12,6	9,546
10,212	10,7125	11,47616	13,4	10,212
10,15	11,155	11,33136	13,35	10,15
11,36	10,57	12,81888	11,85	11,36
12,172	11,2275	12,86472	11,95	12,172
12,13	11,1625	12,10744	11,95	12,13
10,654	12,3625	10,87824	12,6	10,654
10,746	13,1775	10,88552	9,6	10,746
10,734	13,1375	10,2532		10,734
11,39	11,6675	10,84696		11,39
8,434	11,7575	10,42824		8,434
	11,7425	11,66784		
	12,4	12,37928		
	9,455	11,62928		
		11,98032		
		11,89496		
		10,02304		
		10,7272		
		10,798		
		11,38864		

13,02304
11,022
11,10848
10,38448
9,90632
10,64696
11,90008
11,5324
12,6616

#### A4. Duração das estações de aquecimento e arrefecimento

Região	Cenário	Intervalo	Aquecimento	Arrefecimento	
<b>Bragança</b>	Pessimista	[20-50]	3,7	5,7	
		[50-70]	3,0	6,2	
		[70-100]	2,2	6,6	
	Otimista	[20-50]	4,1	5,0	
		[50-70]	3,6	5,3	
		[70-100]	3,1	5,6	
	Atual		8,0	4,0	
	<b>Évora</b>	Pessimista	[20-50]	3,4	5,3
			[50-70]	2,8	6,0
[70-100]			2,1	6,6	
Otimista		[20-50]	3,8	4,8	
		[50-70]	3,5	5,4	
		[70-100]	3,2	5,9	
Atual			5,7	4,0	
<b>Faro</b>		Pessimista	[20-50]	3,4	5,3
			[50-70]	2,8	6,0
	[70-100]		2,1	6,6	
	Otimista	[20-50]	3,9	4,7	
		[50-70]	3,5	5,3	
		[70-100]	3,0	5,9	
	Atual		4,3	4,0	
	<b>Lisboa</b>	Pessimista	[20-50]	3,1	5,6
			[50-70]	2,5	6,2
[70-100]			1,9	6,8	
Otimista		[20-50]	3,5	4,9	
		[50-70]	3,2	5,5	
		[70-100]	2,8	6,0	
Atual			5,3	4,0	
<b>Porto</b>		Pessimista	[20-50]	3,7	5,7
			[50-70]	3,0	6,2
	[70-100]		2,2	6,6	

	Otimista	[20-50]	4,1	5,3
		[50-70]	3,6	5,6
		[70-100]	3,1	5,8
	Atual		6,7	4,0

## A5. Energia solar média durante a estação de aquecimento

Região	Cenário	Intervalo	n.º de dias	Somatório (MJ/m <sup>2</sup> )	(MJ/m <sup>2</sup> )mês	kWh/m <sup>2</sup> .mês	
Évora	Pessimista	Meados	3105	24368,08	235,4	65,28	
		Intermédio	2462	19432,96	237,3	65,835	
		Finais	1818	14497,84	239,2	66,39	
	Bragança	Meados	3434	29109,02	254,3	70,56	
		Intermédio	3104	25858,23	249,4	69,31	
		Finais	2773	22607,45	244,6	68,06	
	Faro	Pessimista	Meados	2879	33244,86	346,4	96,11
			Intermédio	2325	26321,9	337,6	93,75
			Finais	1770	19398,94	328,8	91,39
		Otimista	Meados	3241	36177,54	334,9	93,06
			Intermédio	2878	31720,29	330,1	91,67
			Finais	2514	27263,04	325,3	90,28
Lisboa	Pessimista	Meados	2879	30965,26	322,7	89,72	
		Intermédio	2324	24497,14	314,2	87,36	
		Finais	1769	18029,01	305,7	85	
	Otimista	Meados	3241	39623,02	366,8	101,94	
		Intermédio	2878	34741,27	361,5	100,415	
		Finais	2514	29859,52	356,3	98,89	
	Porto	Pessimista	Meados	2639	34309,3	390,0	108,33
			Intermédio	2101	27684,38	397,1	110,275
			Finais	1563	21059,45	404,2	112,22
Otimista		Meados	3015	31642,5	314,9	87,5	
		Intermédio	2667	27656,2	310,6	86,25	
		Finais	2318	23669,9	306,3	85	
Porto	Pessimista	Meados	3105	27414,09	264,9	73,61	
		Intermédio	2462	21862,08	267,0	74,165	
		Finais	1818	16310,07	269,1	74,72	
	Otimista	Meados	3434	32533,61	284,2	78,89	
		Intermédio	3004	28900,38	289,4	80,415	
		Finais	2573	25267,15	294,6	81,94	

## A6. Intensidade da radiação solar durante a estação de arrefecimento

Região	Cenário		Orientação									
			n	ne	e	se	s	sw	w	nw	horizontal	
Bragança	Pessimista	Meados	233	361	489	500	442	512	500	372	884	
		Intermédio	199	304	418	428	378	434	423	310	743	
		Finais	165	248	347	355	314	355	347	248	603	
	Otimista	Meados	223	345	468	479	423	490	479	356	846	
		Intermédio	218	338	459	469	415	480	469	349	830	
		Finais	214	332	449	460	407	471	460	342	813	
	<b>Atual</b>			200	320	450	470	420	470	450	320	790
	Évora	Pessimista	Meados	169	253	355	363	321	363	355	253	617
			Intermédio	198	302	415	425	376	431	421	308	739
Finais			227	351	476	487	431	499	487	363	861	
Otimista		Meados	179	269	376	385	341	385	376	269	654	
		Intermédio	177	266	372	381	337	381	372	266	647	
		Finais	175	263	368	377	333	377	368	263	639	
<b>Atual</b>			210	330	460	460	400	470	460	330	820	
Faro		Pessimista	Meados	215	365	505	494	408	494	505	365	881
			Intermédio	212	360	498	488	403	488	498	360	870
	Finais		209	356	492	482	398	482	492	356	858	
	Otimista	Meados	244	416	574	562	464	562	574	416	1002	
		Intermédio	241	409	566	553	457	553	566	409	987	
		Finais	237	403	557	545	450	545	557	403	971	
	<b>Atual</b>			200	340	470	460	380	460	470	340	820
	Lisboa	Pessimista	Meados	199	319	448	458	398	458	448	319	797
			Intermédio	197	315	442	452	393	452	442	315	787
Finais			194	311	437	447	388	447	437	311	777	
Otimista		Meados	201	321	451	461	401	461	451	321	802	
		Intermédio	198	316	444	454	395	454	444	316	790	
		Finais	194	311	437	447	389	447	437	311	778	
<b>Atual</b>			200	340	470	460	380	460	470	340	820	
Porto		Pessimista	Meados	190	298	415	415	361	424	415	298	740
			Intermédio	190	299	416	416	362	425	416	299	742
	Finais		190	299	417	417	363	426	417	299	744	
	Otimista	Meados	200	314	438	438	381	448	438	314	781	
		Intermédio	198	311	433	433	377	443	433	311	772	
		Finais	195	307	428	428	372	437	428	307	763	
	<b>Anual</b>			200	300	420	430	380	430	420	300	730

Com as seguintes direções: n-norte, s-sul, e-este, w-oeste, ne- nordeste, nw- noroeste, se- sudeste, sw- sudoeste e h- horizontal. Os valores vêm em kWh/m<sup>2</sup>.mês.



## Anexo B. Caso de Estudo

### B1. Sistema de preparação de AQS



### B2. Necessidades nominais de energia

#### B2.1. Aquecimento

		[2020-2050]			[2051-2070]			[2071-2100]		Atual	
		N <sub>i</sub>	N <sub>ic</sub>	N <sub>i</sub>	N <sub>ic</sub>	N <sub>i</sub>	N <sub>ic</sub>	N <sub>i</sub>	N <sub>ic</sub>		
<b>Bragança</b>	pessimista	56,3	39,2	50,2	35,5	44,1	31,8	145,6	112,8		
	otimista	119	98,1	132,2	105,5	145,6	112,9				
<b>Évora</b>	pessimista	54,9	38,8	47,5	33,5	40,1	28,2	73,3	49,7		
	otimista	60,4	42,8	66,9	46,3	73,3	49,7				
<b>Faro</b>	pessimista	60,2	43,8	52,2	37,9	44,1	32	56,9	38,1		
	otimista	63,6	45,6	60,3	41,8	56,9	38				
<b>Lisboa</b>	pessimista	96,3	79,6	69,4	55,4	42,6	31,2	63,4	41,3		
	otimista	107,8	89,55	85,6	65,42	63,4	41,3				
<b>Porto</b>	pessimista	55,34	38,25	52,1	37,3	48,81	36,35	84,20	57,33		
	otimista	67,77	50,85	76	54,09	84,20	57,33				



O valor das necessidades nominais para aquecimento é em kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## B2.2. Arrefecimento

		[2020-2050]		[2051-2070]		[2071-2100]		Atual	
		N <sub>v</sub>	N <sub>vc</sub>	N <sub>v</sub>	N <sub>vc</sub>	N <sub>v</sub>	N <sub>vc</sub>	N <sub>v</sub>	N <sub>vc</sub>
<b>Bragança</b>	pessimista	18	16,51	18	17,73	18	18,95	18	1,57
	otimista	18	15,12	18	16,39	18	17,66		
<b>Évora</b>	pessimista	32	30,4	32	35,655	32	40,91	32	11,46
	otimista	32	20,85	32	27,08	32	33,31		
<b>Faro</b>	pessimista	32	36,44	32	48,86	32	61,28	32	11,44
	otimista	32	25,07	32	28,2	32	31,33		
<b>Lisboa</b>	pessimista	32	20,78	32	32,42	32	44,07	32	11,44
	otimista	32	13,12	32	22,165	32	29,21		
<b>Porto</b>	pessimista	16	22,09	16	29,67	16	37,25	16	1,38
	otimista	16	15,99	16	19,92	16	23,85		

O valor das necessidades nominais para arrefecimento é expresso em kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## B2.3. Energia primária

		[2020-2050]		[2051-2070]		[2071-2100]		Atual	
		N <sub>t</sub>	N <sub>tc</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>tc</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>tc</sub>	N <sub>t</sub>	N <sub>tc</sub>
<b>Bragança</b>	pessimista	7,06	1,5	7	1,485	6,94	1,47	7,86	1,89
	otimista	7,61	1,91	7,7	1,975	7,86	2,04		
<b>Évora</b>	pessimista	7,17	1,63	7,1	1,645	7,03	1,66	7,33	1,53
	otimista	7,22	1,57	7,3	1,655	7,33	1,74		
<b>Faro</b>	pessimista	7,22	1,73	7,1	1,805	7,07	1,88	7,19	1,44
	otimista	7,25	1,63	7,2	1,63	7,19	1,63		
<b>Lisboa</b>	pessimista	7,54	1,83	7,3	1,77	7,06	1,71	7,24	1,47
	otimista	7,64	1,85	7,4	1,745	7,24	1,64		
<b>Porto</b>	pessimista	7,03	1,55	7	1,615	6,97	1,68	7,29	1,48
	otimista	7,14	1,58	7,2	1,64	7,29	1,7		

O valor das necessidades globais de energia primária é em kgep/m<sup>2</sup>.ano.

## B2.4. Classificação energética

		[2020-2050]	[2051-2070]	[2071-2100]	Atual
<b>Bragança</b>	pessimista	0,26	0,235	0,21	0,24
	otimista	0,25	0,255	0,26	
<b>Évora</b>	pessimista	0,23	0,23	0,23	0,21

<b>Faro</b>	otimista	0,21	0,22	0,23	0,2
	pessimista	0,22	0,24	0,26	
<b>Lisboa</b>	otimista	0,22	0,22	0,22	0,2
	pessimista	0,22	0,23	0,24	
<b>Porto</b>	otimista	0,24	0,23	0,22	0,2
	pessimista	0,23	0,235	0,24	
	otimista	0,22	0,225	0,23	

## Anexo C. Alteração do caso de estudo

### C1. Nível de isolamento

Bragança

		$N_{ic}$	$N_{vc}$	$N_{ac}$	$N_{tc}$	Classe	
<b>NORMAL</b>	$U_p$	0,2	88,14	1,38	12,27	1,71 A+	
	$U_c$	0,175					
	$U_p$	0,4	112,85	1,57	12,27	1,89 A+	
	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	162,28	1,97	2,27	2,25 A	
	$U_c$	0,7					
	$U_p$	1,45	251,59	1,89	12,27	2,91 A	
	$U_c$	1,4					
	<b>P_MEADOS</b>	$U_p$	0,2	30,15	16,51	17,27	1,86 A
		$U_c$	0,175				
		$U_p$	0,4	39,22	16,51	12,27	1,93 A
		$U_c$	0,35				
$U_p$		0,8	57,37	16,51	17,27	2,06 A	
$U_c$		0,7					
$U_p$		1,45	90,18	16,51	17,27	2,3 A	
$U_c$		1,4					
<b>P_FINALIS</b>	$U_p$	0,2	24,84	18,95	12,27	1,42 A+	
	$U_c$	0,175					
	$U_p$	0,4	31,76	18,95	12,27	1,47 A+	
	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	45,62	18,95	12,27	1,57 A+	
	$U_c$	0,7					
	$U_p$	1,45	70,66	18,95	12,27	1,75 A	

<b>O_MEADOS</b>	U <sub>c</sub>	1,4					
	U <sub>p</sub>	0,2	78,16	15,12	12,27	1,77	A+
	U <sub>c</sub>	0,175					
	U <sub>p</sub>	0,4	98,12	15,12	12,27	1,91	A
	U <sub>c</sub>	0,35					
	U <sub>p</sub>	0,8	138,05	15,12	12,27	2,2	A
<b>O_FINAIS</b>	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	210,2	15,12	12,27	2,73	A
	U <sub>c</sub>	1,4					
	U <sub>p</sub>	0,2	88,14	17,66	12,27	1,87	A+
	U <sub>c</sub>	0,175					
	U <sub>p</sub>	0,4	112,85	17,66	12,27	2,04	A
	U <sub>c</sub>	0,35					
	U <sub>p</sub>	0,8	162,28	17,68	12,27	2,4	A
	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	251,59	17,66	12,27	3,05	A
	U <sub>c</sub>	1,4					

Évora

		U	N <sub>ic</sub>	N <sub>vc</sub>	N <sub>tc</sub>	Classe
<b>NORMAL</b>	U <sub>p</sub>	0,2	37,66	9,5	1,42	A+
	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	49,67	11,46	1,53	A+
	U <sub>c</sub>	0,35				
	U <sub>p</sub>	0,8	73,76	15,39	1,74	A+
	U <sub>c</sub>	0,7				
	U <sub>p</sub>	1,45	117,31	23,15	2,13	A
	U <sub>c</sub>	1,4				
<b>P_[2020-2050]</b>	U <sub>p</sub>	0,2	29,92	26,3	1,96	A
	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	38,76	30,4	2,06	A
	U <sub>c</sub>	0,35				
	U <sub>p</sub>	0,8	56,44	38,6	2,27	A
	U <sub>c</sub>	0,7				
	U <sub>p</sub>	1,45	88,41	53,92	2,65	A
	U <sub>c</sub>	1,4				
<b>P_[2070_2100]</b>	U <sub>p</sub>	0,2	21,97	35,92	1,56	A+

<b>O_[2020_2050]</b>	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	28,2	40,91	1,66	A+
	U <sub>c</sub>	0,35				
	U <sub>p</sub>	0,8	40,67	50,91	1,84	A
	U <sub>c</sub>	0,7				
	U <sub>p</sub>	1,45	63,2	69,38	2,18	A
<b>O_[2070_2100]</b>	U <sub>c</sub>	1,4				
	U <sub>p</sub>	0,2	33,05	17,9	1,47	A+
	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	42,84	20,85	1,57	A+
	U <sub>c</sub>	0,35				
	U <sub>p</sub>	0,8	62,43	26,74	1,77	A+
<b>O_[2070_2100]</b>	U <sub>c</sub>	0,7				
	U <sub>p</sub>	1,45	97,84	37,91	2,13	A
	U <sub>c</sub>	1,4				
	U <sub>p</sub>	0,2	37,66	28,77	1,61	A+
	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	49,67	33,31	1,74	A+
<b>O_[2070_2100]</b>	U <sub>c</sub>	0,35				
	U <sub>p</sub>	0,8	73,76	42,4	2	A
	U <sub>c</sub>	0,7				
	U <sub>p</sub>	1,45	117,31	59,35	2,48	A
	U <sub>c</sub>	1,4				
	U <sub>p</sub>	0,4				

Faro

		<b>U</b>	<b>N<sub>ic</sub></b>	<b>N<sub>vc</sub></b>	<b>N<sub>tc</sub></b>	<b>Classe</b>
<b>NORMAL</b>	U <sub>p</sub>	0,2	28,86	9,48	1,36	A+
	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	38,02	11,44	1,44	A+
	U <sub>c</sub>	0,35				
	U <sub>p</sub>	0,8	56,39	15,39	1,61	A+
	U <sub>c</sub>	0,7				
<b>P_[2020-2050]</b>	U <sub>p</sub>	1,45	89,6	23,09	1,93	A
	U <sub>c</sub>	1,4				
	U <sub>p</sub>	0,2	34,03	30,06	2,02	A
	U <sub>c</sub>	0,175				
	U <sub>p</sub>	0,4	43,78	36,44	2,16	A
	U <sub>c</sub>	1,4				

<b>P_[2070_2100]</b>	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	63,29	49,2	2,42	A	
	$U_c$	0,7					
	$U_p$	1,45	98,55	73,01	2,91	A	
	$U_c$	1,4					
	$U_p$	0,2	25,1	50,71	1,73	A+	
<b>O_[2020-2050]</b>	$U_c$	0,175					
	$U_p$	0,4	32,03	61,28	1,88	A	
	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	45,89	82,41	2,18	A	
	$U_c$	0,7					
	$U_p$	1,45	70,92	121,32	2,74	A	
<b>O_[2070-2100]</b>	$U_c$	1,4					
	$U_p$	0,2	35,22	20,3	1,51	A+	
	$U_c$	0,175					
	$U_p$	0,4	45,56	25,07	1,63	A+	
	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	66,24	34,61	1,87	A	
<b>O_[2070-2100]</b>	$U_c$	0,7					
	$U_p$	1,45	103,63	52,7	2,32	A	
	$U_c$	1,4					
	$U_p$	0,2	28,86	25,98	1,52	A+	
	$U_c$	0,175					
	$U_p$	0,4	38,02	31,33	1,63	A+	
<b>O_[2070-2100]</b>	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	56,39	42,03	1,87	A	
	$U_c$	0,7					
	$U_p$	1,45	89,6	62,19	2,31	A	
	$U_c$	1,4					

Lisboa

	<b>U</b>	<b>N<sub>ic</sub></b>	<b>N<sub>vc</sub></b>	<b>N<sub>tc</sub></b>	<b>Classe</b>	<b>Nic</b>	
<b>NORMAL</b>	$U_p$	0,2	31,03	9,48	12,27	1,37	A+
	$U_c$	0,175					
	$U_p$	0,4	41,29	11,44	12,27	1,47	A+
	$U_c$	0,35					
	$U_p$	0,8	61,9	15,35	12,27	1,65	A+

<b>P_[2020-2050]</b>	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	99,18	23,09	12,27	2	A
	U <sub>c</sub>	1,4					
	U <sub>p</sub>	0,2	63,5	17,9	17,27	2,12	A
	U <sub>c</sub>	0,175					
	U <sub>p</sub>	0,4	79,58	20,78	12,27	2,26	A
<b>P_[2050-2100]</b>	U <sub>c</sub>	0,35					
	U <sub>p</sub>	0,8	111,74	26,56	17,27	2,55	A
	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	169,84	37,66	17,27	3,08	A
	U <sub>c</sub>	1,4					
	U <sub>p</sub>	0,2	24,52	37,26	12,27	1,59	A+
<b>O_[2020-2050]</b>	U <sub>c</sub>	0,175					
	U <sub>p</sub>	0,4	31,18	44,07	12,27	1,71	A+
	U <sub>c</sub>	0,35					
	U <sub>p</sub>	0,8	44,52	57,7	12,27	1,94	A
	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	68,62	82,97	12,27	2,36	A
<b>O_[2070-2100]</b>	U <sub>c</sub>	1,4					
	U <sub>p</sub>	0,2	71,44	12,97	12,97	1,7	A+
	U <sub>c</sub>	0,175					
	U <sub>p</sub>	0,4	89,55	15,12	12,27	1,85	A+
	U <sub>c</sub>	0,35					
	U <sub>p</sub>	0,8	125,75	19,42	12,27	2,15	A
<b>O_[2070-2100]</b>	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	191,15	27,86	12,27	2,71	A
	U <sub>c</sub>	1,4					
	U <sub>p</sub>	0,2	31,05	25,06	12,27	1,52	A+
	U <sub>c</sub>	0,175					
	U <sub>p</sub>	0,4	41,29	29,21	12,27	1,64	A+
<b>O_[2070-2100]</b>	U <sub>c</sub>	0,35					
	U <sub>p</sub>	0,8	61,9	37,52	12,27	1,87	A
	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	99,18	53,19	12,27	2,29	A
	U <sub>c</sub>	1,4					

Porto

		U	N <sub>ic</sub>	N <sub>vc</sub>	N <sub>tc</sub>	Classe	Nic	
<b>NORMAL</b>	U <sub>p</sub>	0,2	43,42	1,26	12,27	1,38	A+	
	U <sub>c</sub>	0,175						
	U <sub>p</sub>	0,4	57,33	1,38	12,27	1,48	A+	
	U <sub>c</sub>	0,35						
	U <sub>p</sub>	0,8	85,23	1,66	12,27	1,69	A+	
	U <sub>c</sub>	0,7						
	U <sub>p</sub>	1,45	135,67	2,32	12,27	2,06	A	
	U <sub>c</sub>	1,4						
	<b>P_[2020-2050]</b>	U <sub>p</sub>	0,2	29,36	18,95	17,27	1,88	A
		U <sub>c</sub>	0,175					
		U <sub>p</sub>	0,4	38,25	22,09	12,27	1,98	A
		U <sub>c</sub>	0,35					
U <sub>p</sub>		0,8	56,06	28,38	17,27	2,17	A	
U <sub>c</sub>		0,7						
	U <sub>p</sub>	1,45	88,24	40,38	17,27	2,52	A	
	U <sub>c</sub>	1,4						
	<b>P_[2070-2100]</b>	U <sub>p</sub>	0,2	28,59	31,51	12,27	1,57	A+
		U <sub>c</sub>	0,175					
		U <sub>p</sub>	0,4	36,35	37,25	12,27	1,68	A+
		U <sub>c</sub>	0,35					
U <sub>p</sub>		0,8	51,88	48,72	12,27	1,9	A	
U <sub>c</sub>		0,7						
	U <sub>p</sub>	1,45	79,93	70,07	12,12	2,31	A	
	U <sub>c</sub>	1,4						
	<b>O_[2020-2050]</b>	U <sub>p</sub>	0,2	39,77	13,75	12,27	1,48	A+
		U <sub>c</sub>	0,175					
		U <sub>p</sub>	0,4	50,85	15,99	12,27	1,58	A+
		U <sub>c</sub>	0,35					
U <sub>p</sub>		0,8	125,75	19,42	12,27	2,15	A	
U <sub>c</sub>		0,7						
	U <sub>p</sub>	1,45	191,15	27,86	12,27	2,71	A	
	U <sub>c</sub>	1,4						
	<b>O_[2070-2100]</b>	U <sub>p</sub>	0,2	31,05	25,06	12,27	1,52	A+
		U <sub>c</sub>	0,175					
		U <sub>p</sub>	0,4	41,29	29,21	12,27	1,64	A+
		U <sub>c</sub>	0,35					
U <sub>p</sub>		0,8	61,9	37,52	12,27	1,87	A	

	U <sub>c</sub>	0,7					
	U <sub>p</sub>	1,45	99,18	53,19	12,27	2,29	A
	U <sub>c</sub>	1,4					

## C2. Vãos envidraçados

Bragança

	Fator de multiplicação	N <sub>ic</sub>	N <sub>iv</sub>	N <sub>tc</sub>	Classificação
Pessimista_[2020-2050]	0,5	36,38	16,51	1,48	A+
	1	39,22	16,51	1,5	A+
	2	47,19	16,51	1,56	A+
	4	58,53	16,51	1,64	A+
Pessimista_[2070-2100]	0,5	29,58	18,95	1,45	A+
	1	31,76	18,95	1,47	A+
	2	37,9	18,95	1,51	A+
	4	46,65	18,95	1,58	A+
Otimista_[2020-2050]	0,5	91,73	15,12	1,89	A
	1	98,12	15,12	1,91	A
	2	115,97	15,12	2,04	A
	4	141,52	15,12	2,23	A
Otimista_[2070-2100]	0,5	105,05	17,16	1,98	A
	1	112,85	17,66	2,04	A
	2	134,72	18,65	2,21	A
	4	165,91	20,64	2,46	A

Évora

	Fator de multiplicação	N <sub>ic</sub>	N <sub>iv</sub>	N <sub>tc</sub>	Classificação
Pessimista_[2020-2050]	0,5	36,01	29,42	1,6	A+
	1	38,76	30,4	1,63	A+
	2	46,49	32,64	1,71	A+
	4	57,47	36,57	1,93	A
Pessimista_[2070-2100]	0,5	26,25	39,58	1,63	A+
	1	28,2	40,91	1,66	A+
	2	33,68	44,27	1,73	A+
	4	41,47	49,61	1,84	A
Otimista_[2020-2050]	0,5	39,8	20,27	1,54	A
	1	42,84	20,85	1,57	A
	2	51,4	21,94	1,64	A
	4	63,56	24,27	1,75	A
Otimista_[2070-	0,5	45,99	31,83	1,7	A+



<b>2100]</b>	1	49,67	33,31	1,74	A+
	2	60,11	36,63	1,85	A
	4	74,87	42,57	2,01	A

Faro

	<b>Fator de multiplicação</b>	<b>N<sub>ic</sub></b>	<b>N<sub>iv</sub></b>	<b>N<sub>tc</sub></b>	<b>Classificação</b>
<b>Pessimista_[2020-2050]</b>	0,5	40,74	34,88	1,69	A+
	1	43,78	36,44	1,73	A+
	2	52,34	40,08	1,82	A
	4	64,52	46,3	1,97	A
<b>Pessimista_[2070-2100]</b>	0,5	29,85	58,34	1,84	A
	1	32,03	61,28	1,88	A
	2	38,14	68,78	2	A
	4	46,84	80,54	2,17	A
<b>Otimista_[2020-2050]</b>	0,5	42,34	24,11	1,6	A+
	1	45,56	25,07	1,63	A+
	2	54,61	26,95	1,71	A+
	4	67,46	30,77	1,84	A
<b>Otimista_[2070-2100]</b>	0,5	35,2	30,38	1,6	A+
	1	38,02	31,33	1,63	A+
	2	45,98	33,4	1,71	A+
	4	57,24	37,23	1,83	A

Lisboa

	<b>Fator de multiplicação</b>	<b>N<sub>ic</sub></b>	<b>N<sub>iv</sub></b>	<b>N<sub>tc</sub></b>	<b>Classificação</b>
<b>Pessimista_[2020-2050]</b>	0,5	74,45	20,32	1,79	A+
	1	79,58	20,78	1,83	A+
	2	93,92	21,46	1,94	A
	4	114,43	23,32	2,11	A
<b>Pessimista_[2070-2100]</b>	0,5	29,08	42,31	1,68	A+
	1	31,18	44,07	1,71	A+
	2	37,08	48,37	1,79	A
	4	45,47	55,42	1,92	A
<b>Otimista_[2020-2050]</b>	0,5	83,77	14,89	1,81	A+
	1	89,55	15,12	1,85	A+
	2	105,69	15,14	1,97	A
	4	128,78	16,08	2,14	A
<b>Otimista_[2070-2100]</b>	0,5	38,16	28	1,6	A+
	1	41,29	29,21	1,64	A+
	2	50,18	31,72	1,73	A+
	4	62,74	36,57	1,86	A

Porto

	Fator de multiplicação	N <sub>ic</sub>	N <sub>iv</sub>	N <sub>tc</sub>	Classificação
<b>Pessimista_[2020-2050]</b>	0,5	35,48	21,51	1,52	A+
	1	38,25	22,09	1,55	A+
	2	460,06	23,14	1,61	A+
	4	57,15	25,47	1,72	A+
<b>Pessimista_[2070-2100]</b>	0,5	33,9	35,82	1,65	A+
	1	36,35	37,25	1,68	A+
	2	43,24	40,64	1,76	A
	4	53,07	46,35	1,89	A
<b>Otimista_[2020-2050]</b>	0,5	57,98	16,21	1,63	A+
	1	50,85	15,99	1,58	A+
	2	60,66	16,14	1,65	A+
	4	74,64	17,24	1,76	A+
<b>Otimista_[2070-2100]</b>	0,5	53,03	23,33	1,67	A+
	1	57,33	23,85	1,7	A+
	2	69,49	24,86	1,8	A+
	4	86,74	26,97	1,95	A