

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar**

Natacha Sofia Mouco Morais

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:

Professora Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão (FCUL)

Engenheira Filipa Menezes (Blasting FM)

2017



## **Agradecimentos**

O meu maior agradecimento é para o João, que me acompanhou em grande parte do meu percurso académico, mas acima de tudo pelo apoio nesta etapa final, que acreditou sempre em mim e teve sempre uma palavra de apoio e carinho.

Um agradecimento à minha família: à minha mãe, à minha irmã Sofia, aos meus avós, aos meus tios e às minhas primas. Por me acompanharem desde sempre e terem sempre fé em mim.

De seguida quero agradecer à professora Doutora Marta Panão, primeiro por ter aceito esta tese e por ter ajudado a fazê-la ganhar forma e corpo e depois pelos conhecimentos que me transmitiu e pela ajuda sempre disponibilizada.

Também muito importante, um grande agradecimento à engenheira Filipa Menezes, que desde o primeiro dia me acolheu com muito entusiasmo e à vontade, dando sempre disponibilidade para me ajudar e tendo sempre uma palavra de apoio nas partes mais complicadas deste caminho.

Um grande obrigada às duas maiores amigas que o secundário me deu e cuja amizade é para vida, obrigada Joana e Bia, pelas conversas e pelos cafés que nos mantêm ainda juntas. Vocês já se despacharam da faculdade, agora é a minha vez.

Obrigada aos amigos que arranjei na faculdade, que me acompanharam neste percurso, me viram crescer estes anos e que dum forma ou outra contribuíram para melhorar os meus dias, obrigada à Márcia, à Laura, ao Rafael e ao Rama.

Por último, mas não menos importante, um obrigada aos meus pequenotes, o João, a Marta, o Carlos e o Toni.

## Resumo

Atualmente, cerca de 80% do nosso tempo é passado dentro de edifícios, o que aliado ao aumento dos aparelhos elétricos que usamos e da exigência do nosso conforto, em Portugal cerca de 30% da energia consumida corresponde a edifícios. O edificado português é bastante antigo, cerca de 70% foi construído antes de 1990, início da introdução de legislação de comportamento térmico de edifícios em Portugal. Como tal, é importante proceder agora à reabilitação dos edifícios mais antigos de forma a melhorar o seu desempenho energético, a estarem em conformidade com a atual legislação e para diminuir a sua parcela de energia consumida em Portugal.

Esta dissertação tem como objetivo principal o estudo e a melhoria do desempenho energético de um edifício de habitação que está a ser reabilitado. Para tal são usados dois métodos: o método quase-estacionário, usado pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e a simulação dinâmica com recurso ao programa *EnergyPlus*.

Em relação ao método quase-estacionário obteve-se para as necessidades anuais de energia útil para aquecimento o valor de 21.42kWh/m<sup>2</sup>.ano (inferior ao de referência que é 33.12kWh/m<sup>2</sup>.ano). Para as de arrefecimento, 25.14kWh/m<sup>2</sup>.ano (superior ao de referência que é 16.29kWh/m<sup>2</sup>.ano). O valor obtido das necessidades nominais anuais de energia primária foi 65.28kWh/m<sup>2</sup>.ano enquanto que o valor limite regulamentar obtido foi 84.58kWh/m<sup>2</sup>.ano. Com estes valores obteve-se um rácio  $R_{NT}$  igual a 0.77, que corresponde à classe energética B-. Foi feito ainda um pequeno estudo acerca da influência do COP da bomba de calor com a classe energética, do qual se concluiu que esta é alterada a partir do COP igual a seis.

Foram feitas quatro simulações, uma para comparar com o método quase-estacionário, duas mais realistas, em que se diferencia o intervalo de temperaturas desejadas (um é 18-25°C e o segundo de acordo com o desejado pelos ocupantes reais da habitação é 21-22°C) e a última é para estudar o comportamento térmico da habitação. Da primeira concluiu-se que existe uma grande discrepância nas cargas de aquecimento e arrefecimento nos dois métodos, a segunda é a que tem menores cargas porque tem um intervalo de temperaturas amplo, na terceira aumenta as cargas porque o intervalo diminuiu e da quarta simulação concluiu-se que conforme aumenta a exposição solar dos pisos, assim aumenta a temperatura interior.

Foram estudadas cinco medidas de melhoria (toldos no verão, no piso superior do lado esquerdo, caixilharia de PVC em vez de alumínio, instalação de painéis fotovoltaicos e coletores solares e aparelhos de ar-condicionado com melhor EER). Em relação ao método quase estacionário, obteve-se 20.85kWh/m<sup>2</sup>.ano e 22.58kWh/m<sup>2</sup>.ano para as necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento, respetivamente. As necessidades anuais de energia primária desceram para 44.16kWh/m<sup>2</sup>.ano e consequentemente o rácio desceu para 0.50, subindo para a classe A. Com a simulação observou-se um aumento da carga de aquecimento e uma diminuição da carga de arrefecimento, mas no geral, obteve-se sempre diminuição do total das cargas.

**Palavras-Chave:** edifícios, reabilitação, melhorar desempenho energético, REH, simulação dinâmica.

## Abstract

Nowadays, we spend about 80% of our time inside buildings, what allied with the increase of the electrical equipment's we use and with the requirement of our comfort, in Portugal about 30% of energy consumption is because of the buildings. Portuguese buildings are very old, about 70% were built before 1990, when it began the introduction of the thermic behavior buildings legislation. So it's important to proceed now to the rehabilitation of the oldest buildings to improve their energetic performance, to be in compliance with the actual legislation and to decrease its portion of energy consumption in Portugal

This dissertation has for main objective the study and improvement of energetic performance of a residential building which is being rehabilitated. For that are used two methods: the quasi-stationary method, used by Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) and the dynamic simulation with *EnergyPlus*.

With the quasi-stationary method we got 21.42kWh/m<sup>2</sup>.year for the annual energy heating needs (below the reference: 33.12kWh/m<sup>2</sup>.ano) and for the annual energy cooling needs we got 25.14kWh/m<sup>2</sup>.year (over the reference: 16.29kWh/m<sup>2</sup>.year). The value obtained for the annual primary energy needs was 65.28kWh/m<sup>2</sup>.year, while the limit is 84.58kWh/m<sup>2</sup>.year. With these values was obtained an energetic ratio of 0.77, which is class B-. Was also made a little study about the influence of the heating pump's COP with the energetic class, from which was concluded that this one is affected when the COP is equal or higher than six.

Four simulations were made, one to compare with the quasi-stationary method, two more realistic, in which it differs the range of desired temperatures (one is 18-25°C and the second according with the real occupants is 21-22°C), the last one is to study the thermal behaviour of the house. With the first we concluded that there's a large difference in the heating and cooling loads in the two methods, the second is the one with the lowest loads because of the large range of temperatures, the third the loads increased because of the decrease of the range and the fourth simulation we conclude that with the increase of solar exposition, the interior temperature increases also.

Were studied five improvement measures (sunshades on summer on the upper left side, PVC frames, instead aluminium, photovoltaic panels, solar collectors and better EER for air conditioning). For the quasi-stationary method, we got 20.85kWh/m<sup>2</sup>.year and 22.58kWh/m<sup>2</sup>.year for the annual energy heating and cooling needs respectively. The annual primary energy needs decreased for 44.16kWh/m<sup>2</sup>.year and the ratio also decreased to 0.50, and the class increased to A. With the simulation was obtained an increase of the heating load and a decrease on the cooling load, but on general there was a decrease on the loads total.

**Keywords:** buildings, rehabilitation, energetic performance improvement, REH, dynamic simulation.

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract .....	iii
Índice De Figuras .....	vi
Índice De Tabelas.....	vii
Simbologia e Notações.....	viii
Abreviaturas e acrónimos.....	x
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e metodologia.....	3
1.3 Organização da dissertação .....	3
Capítulo 2 – Conceitos fundamentais.....	4
2.1 Legislação de edifícios em Portugal e na Europa.....	4
2.2 Método quase-estacionário.....	5
2.3 Simulação dinâmica computacional .....	7
Capítulo 3 – Caso de estudo .....	9
3.1 Localização e dados climáticos .....	9
3.2 Descrição da moradia .....	10
3.3 Materiais e soluções construtivas .....	12
3.3.1 Vãos envidraçados.....	12
3.3.2 Vãos opacos.....	13
3.3.3 Paredes exteriores.....	14
3.3.4 Paredes interiores .....	15
3.3.5 Coberturas .....	15
3.3.6 Pavimentos .....	16
3.4 Horários e consumos adotados .....	17
3.5 Sistemas de climatização.....	20
Capítulo 4 – Método quase-estacionário.....	23
4.1 Introdução de dados.....	23
4.1.1 Identificação geográfica e levantamento dimensional.....	23
4.1.2 Envolvente exterior .....	24
4.1.3 Envolvente em contacto com o solo.....	27
4.1.4 Pontes térmicas lineares exteriores.....	28
4.1.5 Envolvente interior .....	28

4.1.6	Pontes térmicas lineares interiores .....	29
4.1.7	Ventilação.....	29
4.1.8	Sistemas técnicos.....	29
4.2	Análise de resultados.....	29
Capítulo 5	– Simulação dinâmica.....	33
5.1	Desenho em <i>SketchUp</i> .....	33
5.2	Introdução de dados no <i>EnergyPlus</i> .....	34
5.3	Análise de resultados.....	38
Capítulo 6	– Comparação de resultados .....	43
Capítulo 7	– Medidas de melhoria .....	44
7.1	Medidas estudadas.....	44
7.1.1	Uso de toldos nas janelas do Q4 e da sala do sótão.....	44
7.1.2	Troca da caixilharia de alumínio para PVC.....	44
7.1.3	Instalação de coletores solares para AQS.....	44
7.1.4	Instalação de painéis fotovoltaicos.....	45
7.1.5	Aparelhos de AC com melhor EER.....	46
7.2	Resultados obtidos.....	46
7.2.1	Método quase-estacionário.....	46
7.2.2	Simulação dinâmica .....	47
Capítulo 8	– Conclusão .....	51
Referências Bibliográficas	.....	53
Anexos.....		54
Anexo 1:	Coeficientes de transmissão térmica dos vãos opacos.....	54
Anexo 2:	Coeficientes de transmissão térmica dos pavimentos térreos .....	54
Anexo 3:	Coeficientes de transmissão térmica das PTL's exteriores.....	54
Anexo 4:	Coeficientes de transmissão térmica de paredes interiores.....	55
Anexo 5:	Coeficientes de transmissão térmica de pavimentos interiores .....	55

# Índice De Figuras

Figura 1.1- Edifícios portugueses existentes por data de construção, 2011. Fonte: INE, Censos 2011..	1
Figura 1.2- Distribuição do número de construções concluídas por tipo de obra. Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas .....	2
Figura 1.3- Distribuição da utilização de energia no setor residencial. Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010) .....	2
Figura 2.1- Distribuição da classe energética de edifícios novos e existentes. Fonte: ADENE- Implementation of the EPBD in Portugal: status in December 2014. ....	5
Figura 2.2- Percurso do sol no hemisfério Norte. Fonte: House Plans Helper.....	6
Figura 3.1- Insolação média diária em Cascais. Fonte: PVGIS .....	9
Figura 3.2- Pluviosidade ao longo do ano. Fonte: Climate-data. ....	10
Figura 3.3- Alçado frontal da moradia .....	10
Figura 3.4- Vista superior da moradia.....	11
Figura 3.5 – Planta do rés-do-chão.....	11
Figura 3.6- Planta do primeiro andar.....	12
Figura 3.7- Planta do sótão.....	12
Figura 3.8- Constituição da cobertura T1. Fonte: ITE50 .....	16
Figura 3.9- Constituição da cobertura T2 e T3. Fonte: ITE50 .....	16
Figura 4.1- Abertura que se deve ter em conta para encontrar o ponto mais alto para o cálculo do sombreamento do horizonte. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013 .....	26
Figura 4.2-Como calcular o ângulo de obstrução do horizonte. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013 ..	26
Figura 4.3- Como calcular o sombreamento das palas horizontais. Adaptado do Despacho n.º 15793-K/2013.....	27
Figura 4.4- Como calcular o sombreamento das palas verticais. Adaptado do Despacho n.º 15793-K/2013.....	27
Figura 4.5- Rácio $N_{tc}/N_t$ em função do COP das BC.....	32
Figura 5.1-Alçado frontal no SketchUp .....	33
Figura 5.2- Vista superior da moradia.....	33
Figura 5.3-Palas de representação dos edifícios à volta .....	34
Figura 5.4- Interface inicial do EnergyPlus.....	34
Figura 5.5- Ferramenta CLIMAS-SCE .....	35
Figura 5.6-Horários no Compact.....	35
Figura 5.7- Introdução do input “Equipamentos elétricos” .....	36
Figura 5.8- Introdução do input “pessoas” .....	36
Figura 5.9- Introdução do input “iluminação” .....	36
Figura 5.10- Definição no EnergyPlus dos vários materiais usados .....	36
Figura 5.11- Caracterização do vidro das janelas no EnergyPlus .....	37
Figura 5.12- Caracterização do gás da caixa-de-ar das janelas no EnergyPlus.....	37
Figura 5.13- Introdução das várias camadas das diversas superfícies no EnergyPlus .....	37
Figura 5.14- Introdução da infiltração no EnergyPlus .....	38
Figura 5.15- Termostato no EnergyPlus.....	38
Figura 5.16- HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem.....	38
Figura 5.17- Temperaturas médias diárias na semana representativa do inverno .....	40
Figura 5.18- Temperaturas médias diárias na primeira semana representativa de meia estação .....	40
Figura 5.19- Temperaturas médias diárias na segunda semana representativa de meia estação .....	41
Figura 5.20- Temperaturas médias diárias na semana representativa do verão .....	41
Figura 7.1- Resultados obtidos com o SolTerm para os coletores solares .....	45

Figura 7.2- Características do sistema fotovoltaico escolhido .....	45
Figura 7.3- Toldos de sombreamento e painéis fotovoltaicos .....	48
Figura 7.4- Resultados da quarta simulação para a sala do RC.....	49
Figura 7.5- Resultados da quarta simulação para o Q3 .....	50
Figura 7.6- Resultados da quarta simulação para a sala do sótão.....	50

## Índice De Tabelas

Tabela 2.1- Classes energéticas existentes .....	7
Tabela 3.1. Temperaturas médias diárias. Fonte: PVGIS .....	9
Tabela 3.2- Resistências térmicas superficiais .....	13
Tabela 3.3-Materiais da parede dupla normal e suas características [7] .....	14
Tabela 3.4- Constituição da parede simples com zinco.....	14
Tabela 3.5- Materiais extra das paredes exteriores [7].....	15
Tabela 3.6- Materiais da parede simples e as suas características.....	15
Tabela 3.7- Coeficientes de transmissão térmica das várias coberturas .....	16
Tabela 3.8-Pavimentos das divisões e as suas características .....	17
Tabela 3.9 – Horários de ocupação das várias zonas térmicas [9] .....	18
Tabela 3.10- Densidade de potência de iluminação necessárias [10].....	19
Tabela 3.11-Consumos de uma “Família Eco” [11].....	19
Tabela 3.12-Características do painel termodinâmico .....	20
Tabela 3.13-Características das bombas de calor.....	20
Tabela 3.14-Características do ar-condicionado .....	21
Tabela 3.15-Sistemas de climatização da habitação.....	21
Tabela 4.1- Valores de referência para ajustes em altitude para o inverno .....	23
Tabela 4.2-Critérios para determinação da zona climática de inverno.....	23
Tabela 4.3- Valores de referência para ajustes em altitude para o verão .....	24
Tabela 4.4- Critérios para determinação da zona climática de verão .....	24
Tabela 4.5- Fração envidraçada.....	25
Tabela 4.6- Constituição dos pavimentos do piso térreo e as suas resistências .....	28
Tabela 4.7-Pavimentos interiores .....	29
Tabela 4.8- Resultados do método quase-estacionário relativos ao clima .....	30
Tabela 4.9- Coeficientes das paredes exteriores e valores máximos pela legislação .....	30
Tabela 4.10- Coeficientes das coberturas e valores máximos pela legislação .....	30
Tabela 4.11- Coeficientes dos vãos envidraçados e valores máximos pela legislação .....	31
Tabela 4.12- Resultados dos sistemas de climatização .....	31
Tabela 4.13- Resultados obtidos das várias necessidades anuais de energia .....	32
Tabela 5.1-Resultados das duas primeiras simulações.....	39
Tabela 5.2-Resultados da segunda e terceira simulações .....	39
Tabela 6.1-Resultados obtidos pela simulação e pelo método quase-estacionário .....	43
Tabela 7.1- Novo modelo do aparelho de AC.....	46
Tabela 7.2- Consumos de energia dos vários equipamentos de climatização .....	47
Tabela 7.3- Resultados obtidos das várias necessidades anuais de energia .....	47
Tabela 7.4-Resultados da primeira simulação com e sem melhorias .....	48
Tabela 7.5-Resultados obtidos pela simulação e pelo método quase-estacionário .....	48
Tabela 7.6-Resultados da segunda simulação com e sem melhorias .....	49
Tabela 7.7-Resultados da terceira simulação com e sem melhorias.....	49

## Simbologia e Notações

$A_p$	Área interior útil de pavimento do edifício [ $m^2$ ]
$c_p$	Calor específico [ $kJ/(kg.K)$ ]
DPI	Densidade de potência de iluminação [ $W/m^2$ ]
$F_g$	Fração envidraçada
GD	Graus-dia [ $^{\circ}C.dia$ ]
$g_{\perp Tp}$	Fator solar do vidro com os dispositivos de proteção solar permanente totalmente ativados com incidência da radiação normal à sua superfície
$g_{\perp Tvc}$	Fator solar do vidro com vidro corrente e dispositivos de proteção solar
$g_{\perp T}$	Fator solar do vidro com os dispositivos de proteção solar permanente ou móveis totalmente ativados com incidência da radiação normal à sua superfície
$g_{\perp vi}$	Fator solar do vidro com incidência da radiação normal à sua superfície
H	Coefficiente de transmissão térmica [ $W/^{\circ}C$ ]
L	Espessura [m]
lux	Intensidade de iluminação [ $lm/m^2$ ]
$N_i$	Valor limites das necessidades anuais de energia útil para aquecimento [ $kWh/m^2.ano$ ]
$N_t$	Valor limite das necessidades nominais anuais de energia primária [ $kWh_{EP}/m^2.ano$ ]
$N_{tc}$	Necessidades nominais anuais de energia primária [ $kWh_{EP}/m^2.ano$ ]
$N_{ic}$	Necessidades anuais de energia útil para aquecimento [ $kWh/m^2.ano$ ]
$N_v$	Valor limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento [ $kWh/m^2.ano$ ]
$N_{vc}$	Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento [ $kWh/m^2.ano$ ]
$P_d$	Pé direito médio [m]
$Q_{gu,i}$	Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes de ganhos solares pelos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh]
$Q_{g,v}$	Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh]
$Q_{tr,i}$	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente de dos edifícios [kWh]
$Q_{ve,i}$	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh]
RPH	Renovações por hora [ $h^{-1}$ ]
$R_{NT}$	Rácio energético

$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior [ $m^2K/W$ ]
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior [ $m^2K/W$ ]
$T_s$	Temperatura da superfície [K]
$T_{si}$	Temperatura interior da superfície [K]
$T_{sup}$	Temperatura do ar que entra na zona [K]
$T_z$	Temperatura da zona [K]
$T_\infty$	Temperatura do ar exterior [K]
$U$	Coefficiente de transmissão térmica [ $W/m^2.K$ ]
$z$	Altitude [m]
$\alpha$	Ângulo de sombreamento [°]
$\theta_{ext}$	Temperatura média do ar exterior [°C]
$\rho$	Massa volúmica aparente [ $kg/m^3$ ]
$\lambda$	Condutividade térmica [ $W/(m.K)$ ]
$\eta_v$	Fator dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

## Abreviaturas e acrónimos

AQS	Águas quentes sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BC	Bomba de Calor
BLAST	<i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i>
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DL	Decreto-Lei
DOE	<i>Department of Energy</i>
ENU	Espaço não-útil
EPBD	Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
IteCons	Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade
ITE 50	Informação Técnica Edifícios
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
PTL	Ponte Térmica Linear
PTP	Ponte Térmica Plana
PV	<i>Photovoltaic</i>
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
RC	Rés-do-chão
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RPH	Renovações de Ar Por Hora
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

## Capítulo 1 – Introdução

### 1.1 Enquadramento

Os edifícios têm como principal função proteger do ambiente exterior e, atualmente, uma pessoa passa dentro de edifícios cerca de 20 horas por dia [1], o que corresponde a cerca de 80% do seu tempo. Devido ao aumento da exigência do conforto térmico e com o avanço tecnológico têm aumentado as necessidades energéticas mundiais. De acordo com o Plano de Eficiência Energética de 2011 os edifícios representam 40% do consumo de energia final da União Europeia [2] sendo que em Portugal esse valor atinge os 30% [3].

De acordo com o relatório “*O Parque Habitacional e a sua Reabilitação, Análise e Evolução*” com estatísticas de 2001 a 2011, a distribuição da idade dos edifícios portugueses na Figura 1.1 indica que existem cerca de 37% anteriores a 1970.

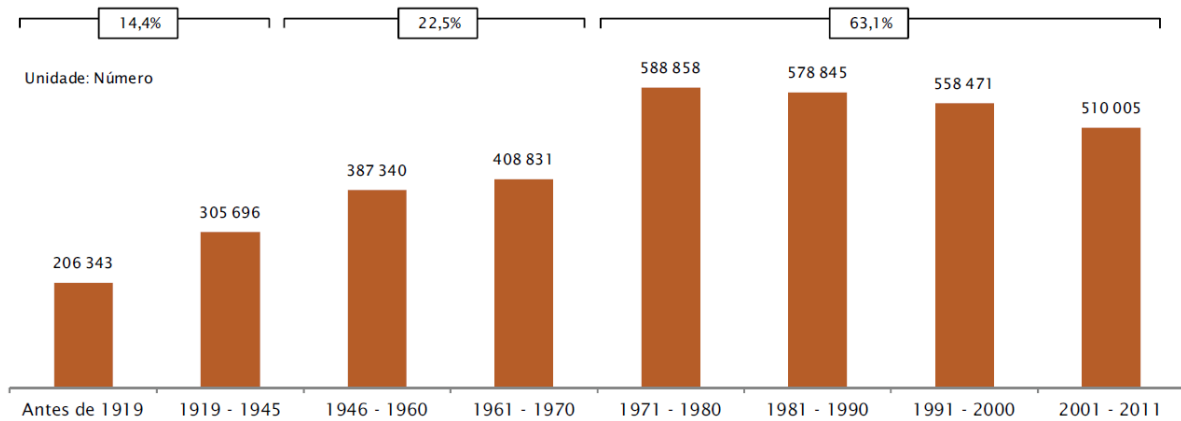


Figura 1.1- Edifícios portugueses existentes por data de construção, 2011. Fonte: INE, Censos 2011

De notar que 70% do edificado português é anterior a 1990, ano em que ocorreu a publicação do primeiro regulamento relativo a edifícios em Portugal e começou a haver preocupação em relação à qualidade da construção dos edifícios e aos seus gastos energéticos. Os edifícios anteriores a 1990, além de serem potencialmente maiores consumidores de energia do setor residencial, poderão não providenciar condições de conforto térmico.

Tão importante quanto apostar nas novas construções sustentáveis e eficientes, é apostar na reabilitação dos edifícios existentes. Como se pode observar na Figura 1.2, o número de reabilitações de edifícios tem aumentado em relação ao número de construções novas e verificou-se que a maior parte dessas ocorre em edifícios residenciais.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

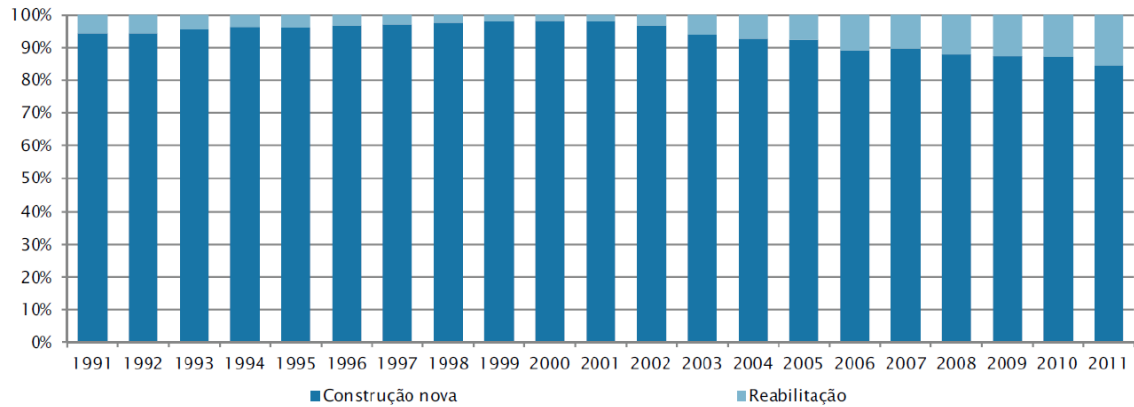


Figura 1.2- Distribuição do número de construções concluídas por tipo de obra. Fonte: INE, Estatísticas das Obras Concluídas

A reabilitação de edifícios divide-se em três tipos: reconstrução, alteração e ampliação. Existem vários tipos de medidas de melhorias que podem ser aplicados numa casa aquando da sua reabilitação com o objetivo de melhorar os seus gastos energéticos. Podem ser ao nível do isolamento, da caixilharia das janelas, do tipo de vidro usado, entre outras. Estas medidas ajudam a diminuir os gastos de climatização numa habitação, que atualmente chegam aos 22%, como se pode observar na Figura 1.3.

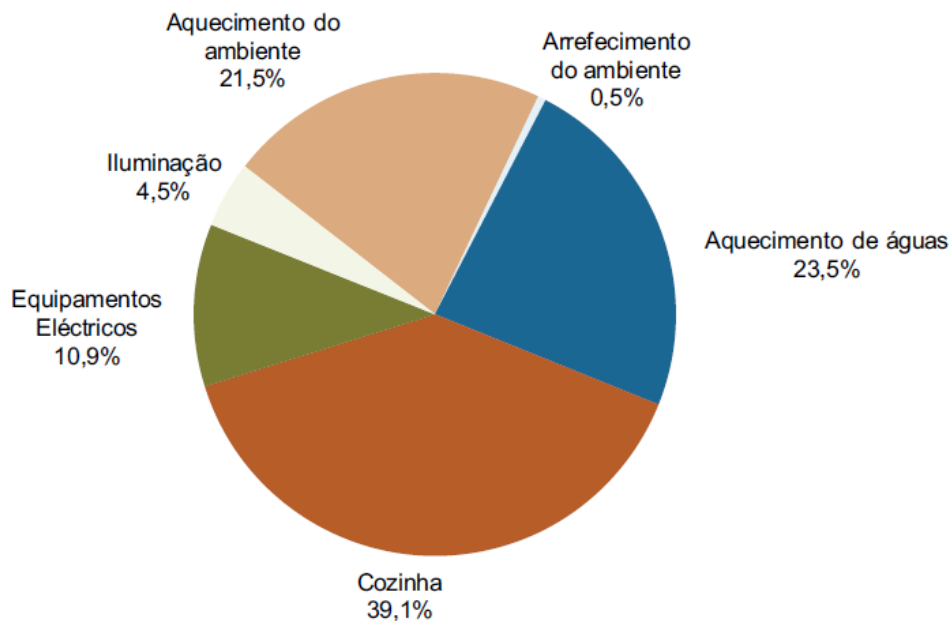


Figura 1.3- Distribuição da utilização de energia no setor residencial. Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010)

Além das medidas ao nível da envolvente do edifício, existem outras que podem ajudar a diminuir o consumo de energia numa casa, como por exemplo o uso de iluminação e equipamentos elétricos mais eficientes, pois estes representam cerca de 15% da energia consumida nesta. Ainda de salientar a grande parcela que representa o aquecimento das Águas Quentes Sanitárias (AQS), 23,5%, que pode ser fornecido por uma Bomba de Calor (BC) e também coletores solares térmicos, ou seja, energia renovável. Todas estas medidas de melhoria da eficiência energética e a construção de novos edifícios estão regulamentadas pela legislação atual, em que existem requisitos quantitativos e qualitativos a ser cumpridos.

A simulação dinâmica, que surgiu nos anos 60, tem sido uma valiosa ferramenta no estudo das medidas de melhoria do desempenho térmico e energético. No início essa era maioritariamente utilizada pelos laboratórios em investigação, até que no início dos anos 90, começou a existir uma maior preocupação ambiental e a simulação passou a ser uma ferramenta essencial na procura de edifícios mais sustentáveis.

Assim, a simulação tem-se vindo a revelar muito importante na fase de projeto pois estuda o comportamento térmico e energético. Permite ainda prever alguns parâmetros como consumos de energia, temperaturas interiores, caudais de ventilação, entre outros, levando a um estudo preliminar bastante completo e fiável, ajudando a fazer alterações necessárias no projeto antes da sua construção.

### 1.2 Objetivos e metodologia

O principal objetivo desta tese é o estudo de medidas de otimização do desempenho energético na reabilitação de uma habitação unifamiliar, que se encontra efetivamente em fase de conclusão da obra. Primeiramente efetua-se uma análise do estado da arte da legislação de edifícios e da simulação dinâmica. Posteriormente, aplica-se a metodologia simplificada do REH de forma a obter um pré-certificado energético para o caso de estudo e realiza-se a simulação dinâmica do edifício recorrendo à ferramenta *EnergyPlus*. Assim, é possível comparar os dois métodos e analisar as potenciais diferenças. A simulação permite avaliar as necessidades energéticas da habitação para aquecimento e arrefecimento e o seu desempenho térmico global ao longo do ano. Por fim, estudam-se quais as medidas de melhoria mais adequadas a aplicar à moradia para melhorar o seu desempenho energético, através de uma avaliação de benefício das mesmas, comparando os resultados com as medidas preconizadas na reabilitação efetiva do edifício.

### 1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em 8 capítulos.

- O capítulo 1 consiste numa introdução ao tema energético de edifícios, onde se aborda a distribuição da idade do edificado português, os gastos energéticos de um edifício do setor residencial, assim como algumas melhorias que podem ser aplicadas para diminuir os mesmos. São também apresentados os objetivos da dissertação e a sua organização.
- O capítulo 2 contextualiza a evolução da legislação térmica e energética de edifícios na Europa e em Portugal, abordando em particular o método quase-estacionário usado para a metodologia do REH. Esse inclui ainda uma breve descrição da forma como os fenómenos de transferência são modelados pelo *EnergyPlus* no contexto da simulação dinâmica.
- O capítulo 3 apresenta o caso de estudo desta dissertação, onde se abordam a geometria, os materiais e as soluções construtivas da moradia, a sua localização e parâmetros climáticos e quais os horários e consumos adotados.
- Os capítulos 4 e 5 tratam respetivamente da metodologia do REH e da simulação do *EnergyPlus* e uma análise dos vários resultados obtidos.
- O capítulo 6 apresenta uma comparação dos dois métodos anteriormente utilizados.
- No capítulo 7 estudam-se os resultados da inclusão de medidas de melhoria bem como uma análise do seu benefício.
- O capítulo 8 apresenta as conclusões finais dos métodos abordados e dos resultados obtidos.

## Capítulo 2 – Conceitos fundamentais

### 2.1 Legislação de edifícios em Portugal e na Europa

Portugal foi dos últimos países europeus a ter uma legislação sobre comportamento térmico de edifícios e esta surgiu através do Decreto-Lei (DL) n.º 40/90 a 6 de fevereiro de 1990, sendo este o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este primeiro regulamento surge com o objetivo de racionalizar a utilização de energia dos edifícios, diminuindo as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e impondo requisitos mínimos da qualidade térmica dos edifícios.

Com o passar dos anos, verificou-se um aumento do uso de sistemas de climatização e a 7 de maio de 1998 surge o DL n.º 118/98, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este regulamento introduziu algumas medidas de racionalização de energia, impondo limites à potência máxima dos sistemas instalados nos edifícios.

Em 16 de dezembro de 2002 surge a Diretiva Europeia n.º 2002/91/CE, referente ao Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), cujo objetivo era promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade Europeia. Esta diretiva determinou requisitos para uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios, requisitos mínimos do desempenho energético dos novos edifícios e daqueles que sofressem grandes renovações, certificação energética dos edifícios e a inspeção regular de caldeiras e aparelhos de ar condicionado.

A EPBD foi transposta para Portugal através dos Decretos-Lei n.º 78/2006; 79/2006 e 80/2006 de 4 de abril. O primeiro é relativo ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o segundo e o terceiro renovaram o RSECE e o RCCTE, respetivamente.

A diretiva europeia de 2002 foi reformulada em 2010 tendo sido publicada nessa altura a Diretiva n.º 2010/31/EU a 19 de maio. Esta reformulação vem melhorar e clarificar alguns pontos pouco claros da antiga diretiva, introduzir novos conceitos e reforçar a necessidade de certificados energéticos com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios de acordo com as metas acordadas pelos Estados-Membros para 2020.

Esta diretiva foi transposta para a jurisdição nacional com o DL 118/2013 que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e o REH. Este decreto foi complementado com a Lei n.º 58/2013 e várias portarias e despachos.

Desde 2007 que se encontra em vigor a certificação energética de edifícios, e esta tem vindo a ganhar importância, apesar de apenas a partir de dezembro de 2013 se ter tornado obrigatório incluir o certificado em anúncios de venda e aluguer de imóveis. Entre julho de 2007 e dezembro de 2014 foram emitidos 800,000 certificados energéticos em Portugal, dos quais 90% são de edifícios residenciais. De acordo com o Instituto Nacional de Estatística, existem cerca de 5.9 milhões de edifícios residenciais no país, o que significa que apenas cerca de 12% destes estão atualmente certificados [4].

Nos edifícios novos (com pedido de licença de construção após a entrada em vigor do SCE), as classes energéticas variam apenas entre as classes A+ e B-, sendo esta última o limiar inferior a que estes estão

sujeitos. Os edifícios sujeitos a grandes intervenções têm um limiar inferior C. Já os existentes poderão apresentar qualquer classe.

Na Figura 2.1 é possível observar a distribuição das classes energéticas dos edifícios novos e existentes já certificados em Portugal, em que para os edifícios novos a classe mais comum é a B e para os existentes é a C.

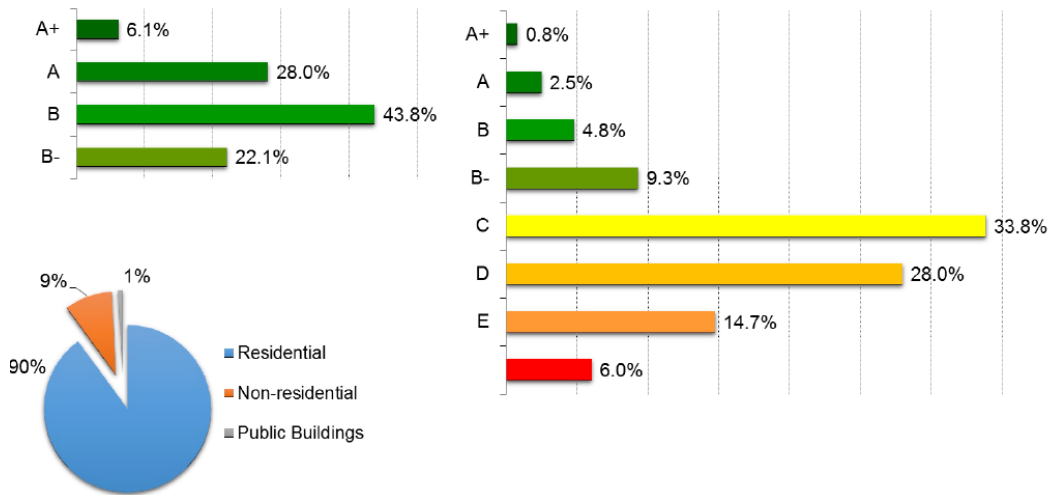


Figura 2.1- Distribuição da classe energética de edifícios novos e existentes. Fonte: ADENE- Implementation of the EPBD in Portugal: status in December 2014.

## 2.2 Método quase-estacionário

O REH baseia-se no método quase-estacionário, que faz uma análise dos ganhos e perdas de energia de um edifício, tendo em conta uma determinada temperatura interior de referência nas estações de aquecimento e arrefecimento. Este regulamento apresenta então as metodologias de cálculo das necessidades anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) e arrefecimento ( $N_{vc}$ ) que não podem ultrapassar os valores limites regulamentados das necessidades de aquecimento e arrefecimento,  $N_i$  e  $N_v$ . O  $N_{ic}$  e o  $N_{vc}$  são dados pelas seguintes equações:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} [kWh/m^2 \cdot ano] \quad \text{Equação 2.1}$$

$Q_{tr,i}$  e  $Q_{ve,i}$  correspondem a valores de energia de transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios e por ventilação na estação de aquecimento, respetivamente.  $Q_{gu,i}$  são ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento derivados de ganhos solares e ganhos internos, como sejam, os equipamentos e os ocupantes.  $A_p$  é a área interior útil de pavimento do edifício. Para estes cálculos são necessários alguns parâmetros como o número de graus-dia (GD), coeficientes de transferência de calor por transmissão (H), pé direito médio ( $P_d$ ) do edifício e taxa de renovação do ar interior.

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v)Q_{g,v}}{A_p} [kWh/m^2 \cdot ano] \quad \text{Equação 2.2}$$

$\eta_v$  é o fator dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento e  $Q_{g,v}$  são os ganhos térmicos brutos na mesma estação.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Para usar a metodologia do REH é necessário fazer uma caracterização do edifício em estudo, em termos de geometria, soluções construtivas, sistemas energéticos, localização e condições climáticas médias.

Em relação aos vãos envidraçados, o ideal seria que fossem orientados a Sul de forma a maximizar o aproveitamento da luz natural, como é demonstrado na Figura 2.2 que ilustra o percurso do sol no hemisfério Norte durante as várias estações do ano.

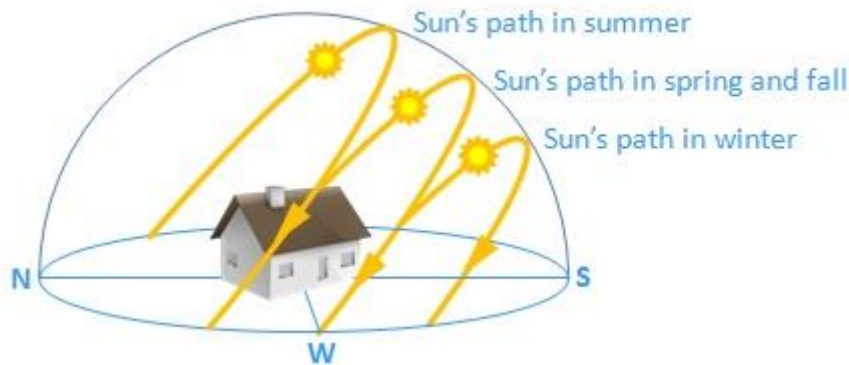


Figura 2.2- Percurso do sol no hemisfério Norte. Fonte: House Plans Helper

Além de determinar as necessidades energéticas do edifício, o REH determina também a sua classificação energética. De acordo com o Despacho nº1579-J/2013, de forma a calcular a classe energética de edifícios de habitação para os pré-certificados e certificados, usa-se o seguinte rácio ( $R_{Nt}$ ):

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad \text{Equação 2.3}$$

$N_{tc}$  é o valor das necessidades nominais anuais de energia primária e  $N_t$  é o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária.

$N_{tc}$  é a soma das necessidades nominais específicas de energia primária de acordo com os seus vários usos: aquecimento, arrefecimento, produção de AQS e ventilação mecânica e à qual se subtrai, se houver, contribuições de fontes de energia renovável.

Na Tabela 2.1 podem observar-se as classes energéticas de acordo com o valor de  $R_{Nt}$ .

Tabela 2.1- Classes energéticas existentes

Classe Energética	Valor de $R_{Nt}$
A+	$R_{Nt} \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R_{Nt} \leq 0.50$
B	$0.51 \leq R_{Nt} \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R_{Nt} \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R_{Nt} \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R_{Nt} \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R_{Nt} \leq 2.50$
F	$R_{Nt} \geq 2.51$

Todos os valores acima mencionados serão obtidos com recurso à ferramenta de cálculo do IteCons, abordada em maior detalhe no Capítulo 4.

## 2.3 Simulação dinâmica computacional

Em relação ao *software* de simulação usado nesta dissertação, o *EnergyPlus* foi lançado em abril de 2001 e é atualmente um dos *softwares* de simulação mais completos e com resultados mais fiáveis. Este surgiu com base em dois programas do início dos anos 70, o BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e o DOE-2 (*Department of Energy*).

Para o uso do *EnergyPlus* é necessário ter primeiramente um modelo geométrico, sendo que neste caso recorreu-se ao programa *SketchUp Make 2015* para o desenho do mesmo. De seguida é necessário associar ao modelo geométrico alguns parâmetros como: a localização e o ficheiro climático do edifício, os materiais e as soluções construtivas existentes, o número de ocupantes de cada zona térmica, a iluminação, os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), os eletrodomésticos e as suas respetivas potências e horários de utilização, entre outros. Estes parâmetros são *inputs* do *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* usa a cada intervalo de tempo da sua simulação, a seguinte equação de balanço de energia e massa para cada zona  $z$ :

$$C_z \frac{dT_s}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sis} \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde:

$T_{si}$  e  $T_z$ - Temperatura interior da superfície em análise e temperatura da zona  $z$  [K];

$T_{\infty}$ - Temperatura do ar exterior [K];

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

$C_z \frac{dT_s}{dt}$  – Energia armazenada no ar [W];

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$  – Somatório de ganhos internos convectivos [W];

$\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  – Transferência de calor convectivo pelas superfícies da zona [W];

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$  – Transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas [W];

$\dot{m}_{inf} C_p (T_\infty - T_z)$  – Transferência de calor devido à infiltração de ar exterior [W];

$T_s$  e  $T_{sup}$  – Temperatura da superfície em análise e temperatura do ar que entra zona [K];

$\dot{Q}_{sis} = \dot{m}_{sis} C_p (T_{sup} - T_s)$  – Carga térmica do sistema de AVAC introduzido na zona [W].

Com os *inputs* mencionados anteriormente e com a Equação 2.4, o *software* gera *outputs* variáveis como a temperatura do ar das várias zonas, energias necessárias para aquecimento e arrefecimento e caudais de ventilação e infiltração.

## Capítulo 3 – Caso de estudo

Neste capítulo pretende-se apresentar o caso de estudo, no que diz respeito à sua localização e respetivos dados climáticos utilizados na simulação com o *EnergyPlus*, materiais e soluções construtivas e, por fim, geometria. Esses dados são necessários para o método quase-estacionário do REH e para a simulação dinâmica. Por último descrevem-se os potenciais consumos e horários típicos para a família que habitará esta moradia, que serão depois usados no *EnergyPlus*.

### 3.1 Localização e dados climáticos

A moradia em estudo encontra-se no concelho de Cascais, o que de acordo com o Despacho n.º 15793-F/2013, usando a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) corresponde à zona da Grande Lisboa. O edifício em estudo encontra-se no interior de uma zona urbana, com uma distância inferior a 5km da costa.

De acordo com o *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [5] as temperaturas médias diárias na zona variam entre os 12.2 e 20.0°C (Tabela 3.1), sendo uma zona com um clima bastante ameno.

Tabela 3.1. Temperaturas médias diárias. Fonte: PVGIS

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>T<sub>média diária</sub></b> (°C)	12.9	12.2	13.5	15.1	16.8	18.4	19.5	20.0	19.7	18.6	15.4	13.6	16.3

A temperatura média diária de verão (junho, julho e agosto) é 19.3°C e de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro) é 12.9°C.

Em relação à insolação média diária, os valores variam entre os 2.10 kWh/m<sup>2</sup>/dia (dezembro) e os 7.84 kWh/m<sup>2</sup>/dia (julho) (Figura 3.1).

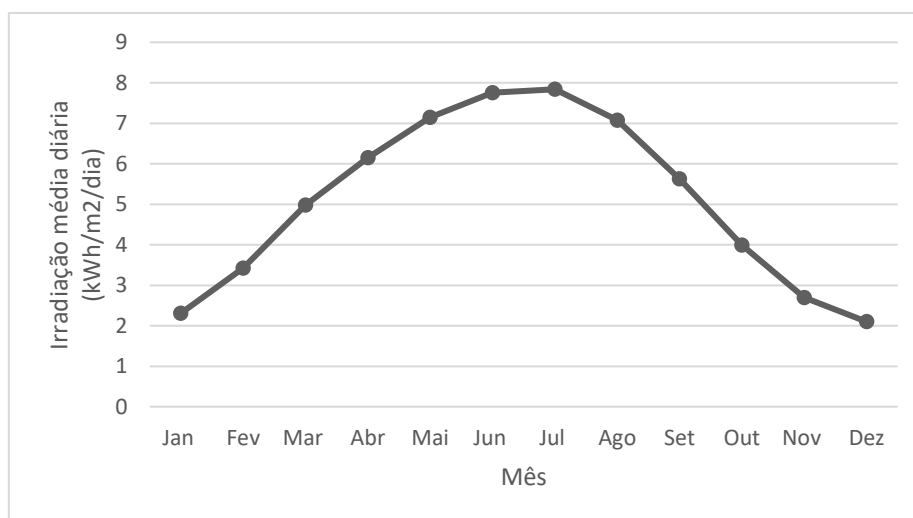


Figura 3.1- Insolação média diária em Cascais. Fonte: PVGIS

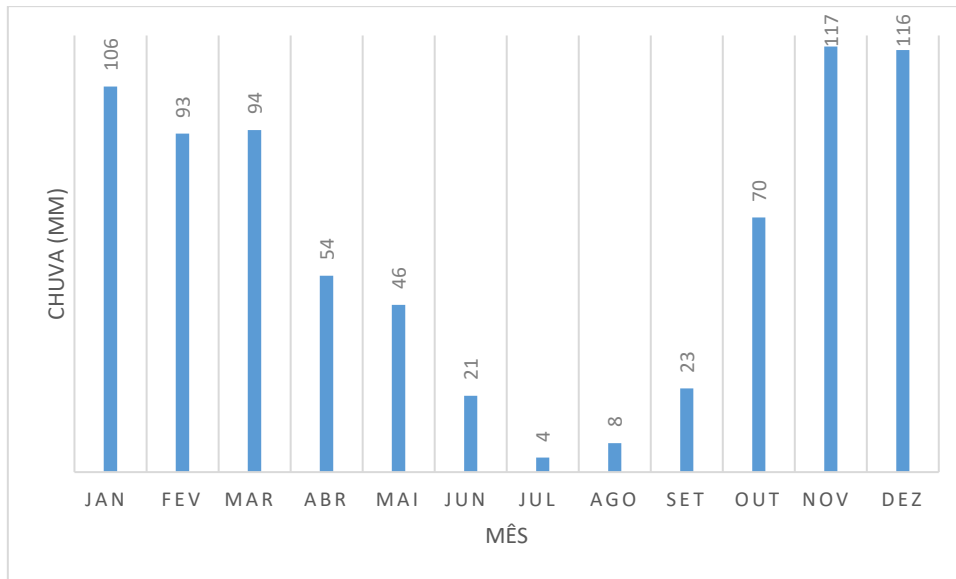


Figura 3.2- Pluviosidade ao longo do ano. Fonte: Climate-data.

É uma zona com uma pluviosidade variável, entre os 4mm/mês em julho e os 117mm/mês em novembro, tendo uma média mensal de 63mm/mês, não sendo portanto uma zona com elevada pluviosidade (Figura 3.2) [6].

## 3.2 Descrição da moradia

A moradia em estudo é um edifício antigo, provavelmente do início do século XX, não se sabendo exatamente a sua data de construção. Sabe-se que tem sido reabilitado ao longo dos anos. Atualmente está a sofrer uma nova reabilitação e a ser construído um piso adicional ao nível do sótão. Existem duas frações distintas no edifício, como se pode observar na Figura 3.3, das quais apenas se vai estudar a assinalada a vermelho. A outra fração servirá para alojamento local.

A fração em estudo é um T5, com uma área útil ( $A_p$ ) de 278m<sup>2</sup> dividida por três pisos e com um pé direito médio ( $P_d$ ) de 2.7m. O seu alçado frontal encontra-se orientado a Sudeste.



Figura 3.3- Alçado frontal da moradia

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

A Figura 3.4 representa a vista superior do edifício em estudo. Como se pode observar é uma moradia que se encontra em contacto com outros edifícios a noroeste e a sudoeste e é fortemente sombreada no rés-do-chão e no primeiro andar devido à proximidade do edifício da frente. Este é um fator importante que irá diminuir os ganhos solares nestes dois pisos.

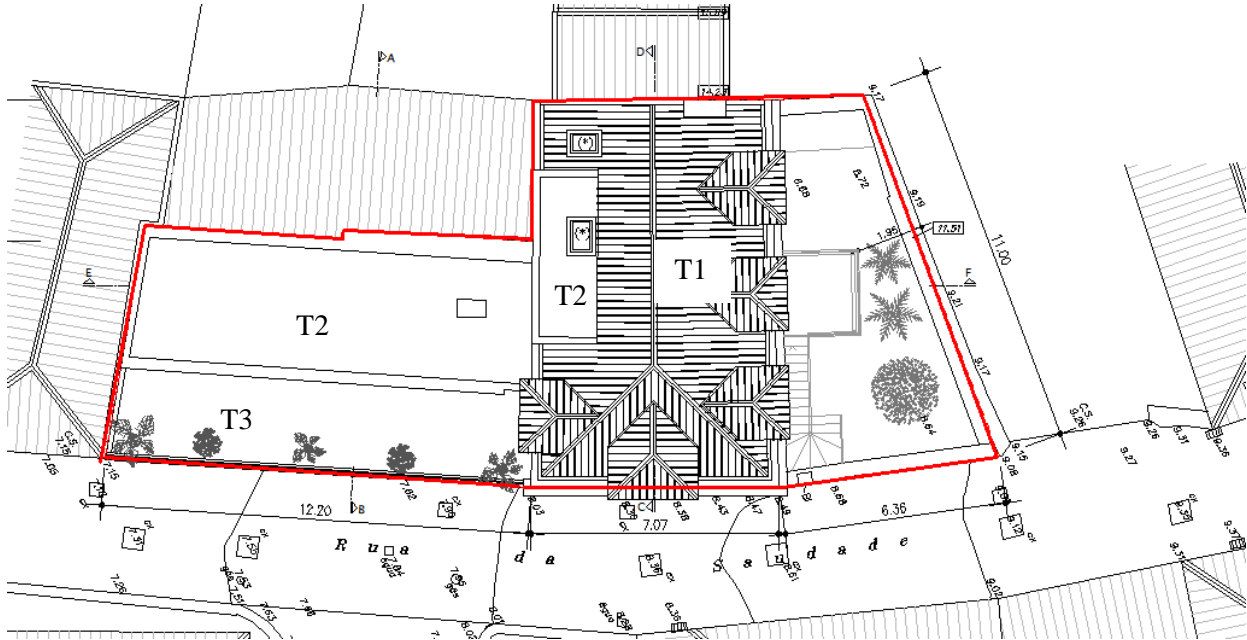


Figura 3.4- Vista superior da moradia

No rés-do-chão encontra-se o *hall* de entrada, uma casa de banho (WC), uma sala de estar com um recuperador de calor, uma garrafeira e as escadas (E) de acesso ao andar superior. As restantes divisões que se vêem na planta da Figura 3.5 pertencem à fração que servirá como alojamento e não é alvo deste estudo. É neste piso que se encontra o único espaço não-útil (ENU) da moradia, a garrafeira.

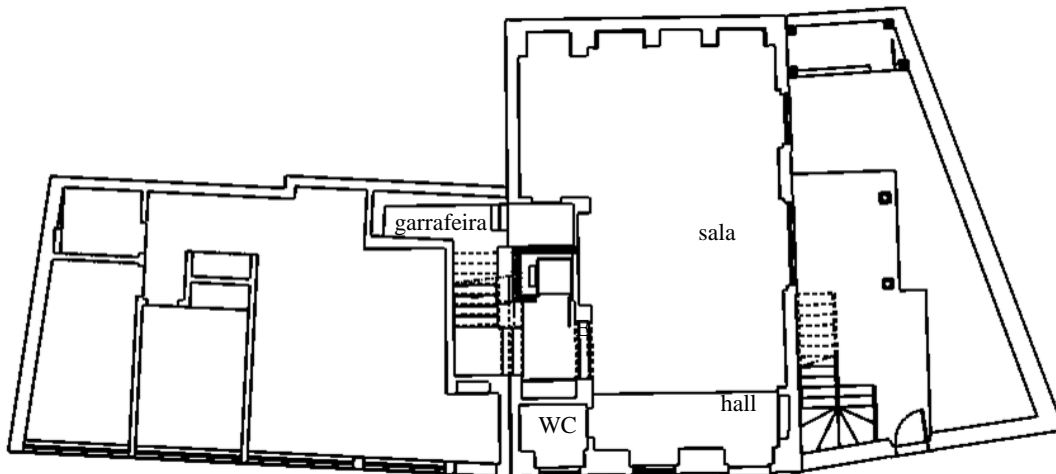


Figura 3.5 – Planta do rés-do-chão

No primeiro andar encontram-se três dos cinco quartos (Q), a cozinha, três WCs, uma zona técnica (ZT) onde se encontram alguns eletrodomésticos e uma sala de jantar (Figura 3.6).

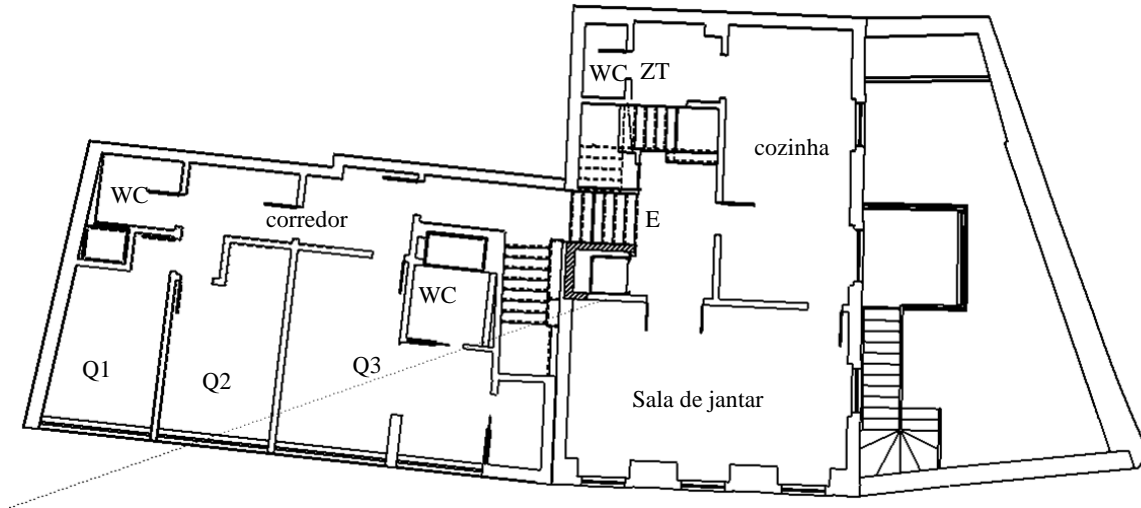


Figura 3.6- Planta do primeiro andar

Na Figura 3.7 é possível observar o piso superior, que do lado direito é em desvão, e onde se encontra uma suíte (Q5), um *closet*, e um dos dois WCs do piso. Do lado esquerdo é horizontal e encontra-se uma sala de estar, o outro WC, um terraço e um quarto de hóspedes (Q4). É o piso com maior incidência solar pois está aproximadamente ao mesmo nível do edifício da frente e já não é tão afetado pelo seu sombreamento.

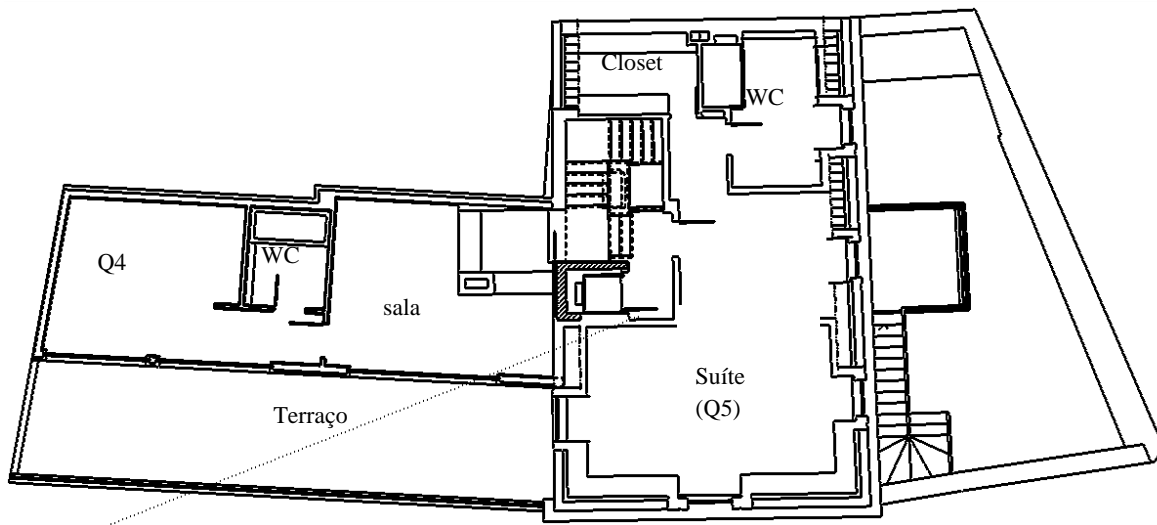


Figura 3.7- Planta do sótão

### 3.3 Materiais e soluções construtivas

#### 3.3.1 Vãos envidraçados

Existem muitas janelas nesta moradia, o que potencia os ganhos solares da casa. As janelas estão maioritariamente orientadas a Sudeste e Nordeste. A orientação a Sudeste é benéfica pois apresenta uma maior incidência solar. Pelo contrário a orientação a Nordeste tem muito pouca incidência solar, havendo a necessidade de recorrer a luz artificial.

As janelas são todas de vidro incolor duplo, havendo dois tipos: i) com 5mm no pano interior, caixa-de-ar de 22mm e 6mm no pano exterior e ii) com os dois panos de vidro com 5mm de espessura e caixa-de-ar com 20mm. Em ambos os tipos de janela o gás da caixa-de-ar é Argon. A caixilharia é de alumínio, com corte térmico e as janelas são do tipo oscilobatente ou de correr. Apenas sete janelas possuem estores exteriores orientáveis e estas não possuem quadrícula, sendo que as restantes têm como dispositivo de oclusão cortinas interiores opacas e quadrícula. Existem ainda três janelas na cobertura que não possuem nenhum dispositivo de oclusão e que foram consideradas horizontais por fazerem um ângulo com a horizontal de cerca de 30°.

Existe ainda uma grande porta em vidro entre o *hall* de entrada e a sala de estar do rés-do-chão e que consiste em vidro simples com 5mm de espessura, que não tem influência no desempenho térmico uma vez que se localiza no interior da área útil.

### 3.3.2 Vãos opacos

Existem dois tipos de portas nesta moradia: as portas interiores e a porta exterior. As interiores são pré-fabricadas e a exterior é uma porta antiga compacta, sendo todas de pinho. O pinho é uma madeira leve, com uma massa volúmica aparente de 500 kg/m<sup>3</sup>, condutividade térmica de 0.133 W/mK, e calor específico de 1.61 kJ/(kg.K) [7].

A porta exterior tem uma espessura de 5cm e será revestida com uma tinta verde-escuro. As interiores têm 3.7cm de espessura e são brancas.

Pode-se obter a resistência térmica total de um vão opaco ou de uma parede somando as resistências das várias camadas e as resistências térmicas superficiais, que segundo a publicação de Informação Técnica de Edifícios (ITE 50) [8] tomam os seguintes valores:

Tabela 3.2- Resistências térmicas superficiais

Sentido do fluxo de calor	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> K/W)	
	Exterior (R <sub>se</sub> )	Interior (R <sub>si</sub> )
<b>Horizontal</b>	0.04	0.13
<b>Vertical</b>	<b>Ascendente</b>	0.04
	<b>Descendente</b>	0.04
		0.17

No caso de paredes, portas e janelas verticais, as resistências a usar referem-se às do fluxo horizontal. Quando se trata de pavimentos, coberturas ou janelas horizontais, usam-se as resistências do fluxo vertical.

O coeficiente de transmissão térmica (U) é obtido pelo inverso da resistência térmica total. O valor de U obtido para a porta exterior é de 1.83 W/m<sup>2</sup>K e para as portas interiores é de 2.23 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3.3 Paredes exteriores

As paredes exteriores são maioritariamente duplas com tijolo furado de 11cm e isolamento poliestireno expandido moldado (EPS) com 10cm de espessura entre os dois panos de tijolo. Na Tabela 3.3 encontram-se listados os materiais usados nas paredes exteriores e as suas propriedades termofísicas.

*Tabela 3.3-Materiais da parede dupla normal e suas características [7]*

<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>Resistência Térmica (m<sup>2</sup>K/W)</b>	<b>Massa volúmica aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Calor específico (kJ/(kg.K))</b>	<b>Condutividade térmica (W/(m.K))</b>
<b>Estuque tradicional</b>	0.01	0.0115	1600	1.10	0.870
<b>Tijolo</b>	0.11	0.2245	1200	0.84	0.490
<b>Isolamento EPS</b>	0.10	2.7027	20	1.45	0.037
<b>Tijolo</b>	0.11	0.2245	-	-	-
<b>Estuque tradicional</b>	0.01	0.0115	-	-	-

Para as paredes exteriores a sua resistência térmica total toma o valor de 3.34 m<sup>2</sup>K/W. O coeficiente de transmissão térmica é 0.30 W/m<sup>2</sup>K.

Na fachada a Sudeste existem três tipos paredes exteriores (pode ser visto na Figura 3.3): a parede dupla mencionada já em cima (N), uma parede dupla à qual se acrescentou uma camada de pedra valverde (P), que é uma espécie de calcário macio, e uma parede simples (Tabela 3.4) com uma camada exterior de zinco.

*Tabela 3.4- Constituição da parede simples com zinco*

<b>Material</b>	<b>Espessura (m)</b>
<b>Estuque tradicional</b>	0.01
<b>Isolamento EPS</b>	0.10
<b>Tijolo</b>	0.11
<b>Zinco</b>	0.002

As características do zinco e da pedra valverde encontram-se na Tabela 3.5.

Tabela 3.5- Materiais extra das paredes exteriores [7]

Material	Espessura (m)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> K/W)	Massa volúmica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (kJ/(kg.K))	Condutividade térmica (W/(m.K))
Zinco	0.002	1.8182 x 10 <sup>-5</sup>	6860	0.38	110
Calcário	0.015	0.0043	2600	0.87	3.488

Desta forma, somando à resistência da parede normal a resistência do calcário, obtém-se para esta parede uma resistência térmica de 3.35 m<sup>2</sup>K/W e em relação ao U mantem-se inalterado (0.30 W/m<sup>2</sup>K). No caso da parede simples com zinco têm-se uma resistência de 2.94 m<sup>2</sup>K/W e um coeficiente de transmissão térmica de 0.34 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3.4 Paredes interiores

As paredes interiores são paredes simples com tijolo furado de 11cm e revestidas em ambas as faces por estuque, tendo uma espessura total de 13cm.

Tabela 3.6- Materiais da parede simples e as suas características

Material	Espessura (m)	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> K/W)
Estuque tradicional	0.01	0.0115
Tijolo	0.11	0.2245
Estuque tradicional	0.01	0.0115

Com os valores da Tabela 3.6 e da Tabela 3.2 é possível calcular a resistência térmica total da parede simples, obtendo-se o valor de 0.51 m<sup>2</sup>K/W e o coeficiente de transmissão térmica é 1.97 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.3.5 Coberturas

Existem três tipos de coberturas como se pode ver na Figura 3.4: o T1 que é a única cobertura em desvão, o T2 que se encontra na parte de cima do último andar e o T3 que é um terraço, sendo estes dois últimos, coberturas horizontais.

Na Figura 3.8 é possível observar a constituição da cobertura inclinada. A sua estrutura é metálica, a esteira inclinada é em laje aligeirada com blocos de betão normal e o seu isolamento é 10cm de EPS mais 12cm de lã mineral. A lã mineral tem uma condutividade térmica de 0.035 W/(m.K), uma resistência térmica de 3.43 m<sup>2</sup>K/W, uma massa volúmica aparente de 65 kg/m<sup>3</sup> e um calor específico de 1.03 kJ/(kg.K) [7].

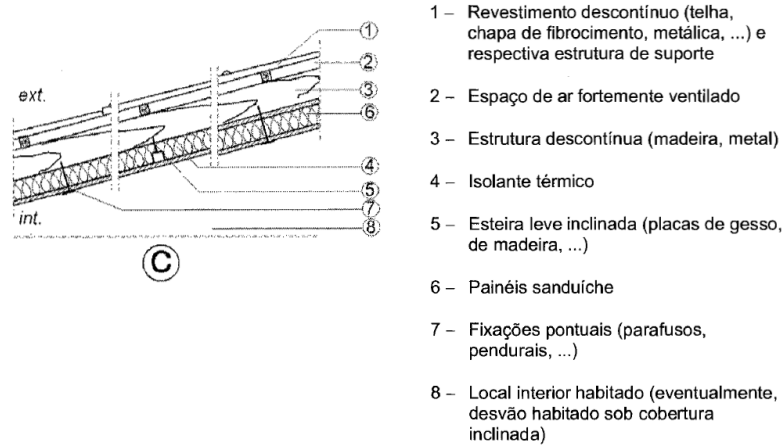


Figura 3.8- Constituição da cobertura T1. Fonte: ITE50

As coberturas horizontais T2 e T3, possuem a constituição da Figura 3.9, cuja estrutura resistente é uma laje aligeirada com blocos de betão normal e isolamento pelo exterior. No caso do T2 é EPS com 10cm mais 12 cm de lã mineral e no T3 é apenas 10 cm de EPS.

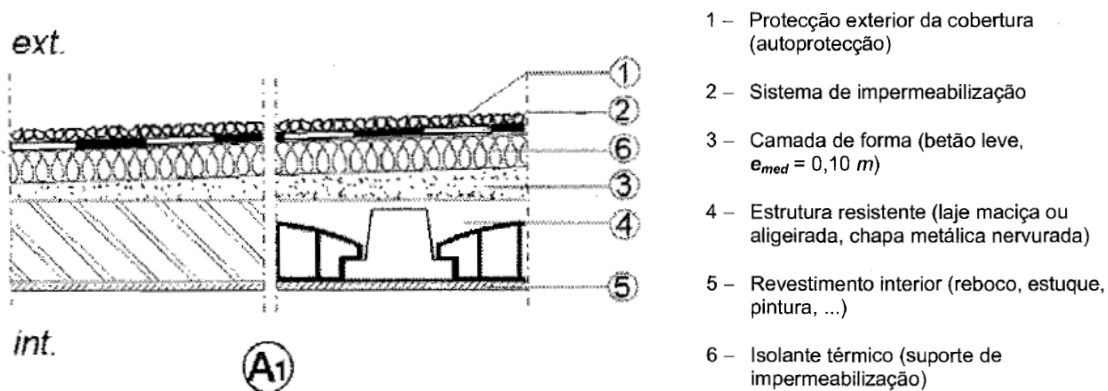


Figura 3.9- Constituição da cobertura T2 e T3. Fonte: ITE50

Em casos de superfícies inclinadas e horizontais é necessário calcular o coeficiente de transmissão térmica ascendente e descendente, tendo em conta as resistências superficiais da Tabela 3.2. Com recurso ao ITE 50 obtém-se a seguinte tabela com os vários coeficientes de transmissão térmica.

Tabela 3.7- Coeficientes de transmissão térmica das várias coberturas

U (W/m <sup>2</sup> K)	Cobertura		
	T1	T2	T3
Ascendente	0.16	0.15	0.32
Descendente	0.15	0.15	0.31

### 3.3.6 Pavimentos

Em termos de pavimentos, existem apenas pavimentos interiores sobre um ENU. Os pavimentos da moradia consistem em laje maciça com 20cm de espessura e cujas camadas superiores se encontram

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

descritas na Tabela 3.8. A laje maciça consiste em betão e como tal apresentam-se as características do betão necessárias: massa volúmica aparente de  $2400 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica  $1.630 \text{ W/(m.K)}$  e o calor específico de  $1.06 \text{ kJ/(kg.K)}$  [7]. Para os pavimentos não será necessário calcular coeficientes de transmissão térmica.

Tabela 3.8-Pavimentos das divisões e as suas características

Divisão	Material superior	Espessura (mm)	Massa volúmica aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Calor específico ( $\text{kJ/(kg.K)}$ )	Condutividade térmica ( $\text{W/(m.K)}$ )
Hall de entrada, sala RC, escadas, sala de jantar, Q5, closet	Madeira Pinho	22	500	1.61	0.133
Q1, Q2, Q3,	Linóleo	3	1200	1.40	0.190
Cozinha, ZT, WC da ZT	Mosaico hidráulico	10	2000	0.92	1.050
Garrafeira, Q4, sala sótão, WC sótão	Cimento Afagado	20	2400	1.06	1.630
WC RC, WC do Q3, WC 1º andar, WC do Q5	Mármore	10	2850	0.87	3.488

Existem ainda algumas divisões que entre a laje e a camada superior têm 2cm de EPS mais 10 cm de argamassa de cimento. Essas divisões são as que possuem o piso radiante, que será abordado no ponto 3.5 Sistemas de climatização. A argamassa de cimento tem as seguintes características: massa volúmica aparente de  $1800 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica de  $0.900 \text{ W/(m.K)}$ , e calor específico de  $1.10 \text{ kJ/(kg.K)}$  [7].

### 3.4 Horários e consumos adotados

A família que habitará esta moradia é constituída por um casal com quatro filhos com idades entre os 18 e os 25 anos. Assumiram-se horários de utilização para as zonas com maior utilização, como os quartos, cozinha, sala e alguns WC's. Existem duas salas que serão utilizadas: a do rés-do-chão, maioritariamente no inverno e a do sótão, no verão. No entanto assumiu-se um perfil de ocupação igual nas duas estações. Não se considerou um perfil de ocupação no Q4 por ser um quarto de hóspedes. Na Tabela 3.9 é possível ver os horários considerados.

Tabela 3.9 – Horários de ocupação das várias zonas térmicas [9]

Zonas	% ocupação (100%=6 pessoas)	Semana	Fim de semana
<b>Q1, Q2</b>	17	22h-7h	23h-8h
	0	7h-22h	8h-23h
<b>Q3</b>	33	22h-7h	23h-8h
	0	7h-22h	8h-23h
<b>Q5</b>	33	00h-7h	1h-8h
	0	7h-00h	8h-1h
<b>Cozinha/sala de jantar</b>	33	7h-8h	8h-9h
	100	8h-9h	9h-10h
	0	9h-12:30h	10h-13h
	100	12:30h-14:30h	13h-15h
	0	14:30h-19h	15h-19h
	33	19h-20h	19h-20h
	100	20h-21h	20h-21h
	0	21h-7h	21h-8h
	100	21h-22h	21h-23h
	<b>Sala de estar</b>	33	22h-00h
	0	00h-21h	1h-21h
<b>WC do Q5, WC do Q3 e WC do 1ºandar</b>	33	7h-8h	8h-9h
	0	8h-18h	9h-18h
	33	18h-19h	18h-19h
	0	19h-7h	19h-8h

Em termos de iluminação, procuraram-se valores de intensidade de iluminação (unidade: lux), que representassem segurança e conforto para a realização de diversas tarefas nas várias divisões. Um lux corresponde a 1 lumen por metro quadrado ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), sendo o lumen a unidade de fluxo luminoso. Assumindo que se usam os típicos LEDs na moradia e sabendo que estes têm uma eficácia de  $60\text{lm}/\text{W}$ , é possível calcular a densidade de potência de iluminação, (unidade:  $\text{W}/\text{m}^2$ ). Na Tabela 3.10 apresentam-se os valores de lux e as densidades de potência de iluminação obtidas para as várias divisões:

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Tabela 3.10- Densidade de potência de iluminação necessárias [10]

Divisão	Lux	Densidade de potência de iluminação (W/m <sup>2</sup> )
Quartos	431	7.18
Cozinha/sala de jantar	538	8.97
Sala de estar	323	5.38
WC	323	5.38

Em relação ao tempo de uso da iluminação, considerou-se o seu uso sempre que houvesse pessoas na divisão em questão, exceto nos quartos em que se considerou apenas uma hora por dia.

Em termos de consumos elétricos, sabe-se que é uma família preocupada com o ambiente. Como tal, assumiu-se os consumos duma “Família Eco” [11], em que apenas usam equipamentos de Classe Energética A, como se pode ver na Tabela 3.11.

Tabela 3.11-Consumos de uma “Família Eco” [11]

Divisão	Equipamento	Eletricidade (kWh/ano)	Potência (W)
Cozinha	Frigorífico	140	15.98
	Congelador	225	25.68
	Máquina de lavar loiça	264	723.29
	Máquina de lavar roupa	180	493.15
	Forno elétrico	250	342.47
Quartos	Computadores	380	1041.10
Sala de estar	Audiovisual	220	200.91
<b>Total</b>		<b>1659</b>	

Em relação aos computadores, assumiu-se um por cada quarto, havendo, portanto, quatro computadores que consomem 95kWh/ano cada um. Para calcular a potência de cada equipamento, supôs-se sempre uma utilização diária, em que: o frigorífico e o congelador trabalham vinte e quatro horas por dia; as máquinas de lavar loiça e roupa funcionam uma hora por dia; o forno elétrico duas horas por dia, uma hora ao almoço e uma ao jantar; os computadores funcionam uma hora por dia e os audiovisuais funcionam três horas por dia.

### 3.5 Sistemas de climatização

Existem duas bombas de calor (BC) na habitação, com fins diferentes: uma para as AQS e outra para aquecimento do ambiente. Estão ambas ligadas a painéis termodinâmicos iguais e cujas características se encontram na Tabela 3.12. Estes captam a energia da radiação solar direta e difusa e têm a função de evaporador no circuito da BC.

Tabela 3.12- Características do painel termodinâmico

<b>Marca</b>	<b>Energy Panel</b>
<b>Modelo</b>	Solar Panel STD01
<b>Dimensões (comprimento, largura) (mm)</b>	1700 x 800
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	1.36

No caso da primeira bomba de calor, para AQS, a água é aquecida na BC e é diretamente usada. No caso da segunda, trata-se de um circuito fechado em que a água com glicol (um anticongelante) aquecida na BC passa em vários tubos mergulhados na camada de argamassa de cimento do chão, este sistema de distribuição de calor é chamado de piso radiante. No inverno, a argamassa absorve o calor dissipado pelos tubos e transfere-lo para o pavimento e posteriormente para o ar. No verão ocorre o oposto, o pavimento absorve o calor, que transmite à argamassa e aos tubos.

Tabela 3.13- Características das bombas de calor

	<b>AQS</b>	<b>Climatização</b>
<b>Marca</b>	Energy Panel	Energy Panel
<b>Modelo</b>	Thermoboil 300E	GTC04
<b>COP</b>	3-7	3-7
<b>Tensão / Frequência</b>	230V / 50Hz	230V / 50Hz
<b>Nº de painéis</b>	1	4
<b>Volume acumulador</b>	300 L	-
<b>Potência (elétrica + Térmica)</b>	2500 W	8700 W
<b>T saída água</b>	55°C	40°C

A cerâmica radiante consiste num radiador em cerâmica que aquece o ambiente com radiação infravermelha e que funciona com um termostato regulado a 22°C, ou seja, se a temperatura diminuir, a cerâmica liga-se; quando se atinge uma temperatura superior, desliga-se.

Os aparelhos de AC são *Multi Split*, o que significa que se podem ter várias evaporadoras (unidade interior) e apenas uma condensadora (unidade exterior). São o tipo ideal para climatizar várias zonas em simultâneo e se tem pouco espaço para a unidade condensadora. Neste caso existem quatro unidades

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

interiores e apenas uma exterior. São ambos do tipo *inverter*, o que significa que o compressor não se desliga, controla apenas a sua velocidade de rotação, conforme a necessidade de refrigeração. O equipamento que está relacionado com a eficiência do ar condicionado (*energy efficiency ratio*, EER) é a unidade exterior, sendo então apenas apresentada essa unidade na tabela seguinte:

*Tabela 3.14- Características do ar-condicionado*

<b>Marca</b>	<b>Hitachi</b>
<b>Modelo</b>	RAM-70NP4B
<b>Potência de aquecimento nominal (min-máx) [kW]</b>	8.5 (2.6-9.5)
<b>Potência de arrefecimento (min-máx) [kW]</b>	7.0 (2.4-8.8)
<b>Potência de entrada de aquecimento nominal (min-máx) [kW]</b>	2.11 (0.46-3.20)
<b>Potência de entrada de arrefecimento (min-máx) [kW]</b>	2.11 (0.48-3.12)
<b>COP</b>	4.03
<b>EER</b>	3.32

Pode-se ver na Tabela 3.15 a distribuição dos vários sistemas já mencionados.

*Tabela 3.15-Sistemas de climatização da habitação*

<b>Divisão</b>	<b>Sistema</b>
<b>Hall de entrada</b>	Piso radiante
<b>WC RC</b>	Piso radiante
<b>Sala RC</b>	Piso radiante
<b>Cozinha</b>	Piso radiante
<b>Sala de jantar</b>	Piso radiante
<b>Q1</b>	Cerâmica radiante (550W) e pré-instalação AC
<b>Q2</b>	Cerâmica radiante (550W) e pré-instalação AC
<b>Q3</b>	Cerâmica radiante (550W) e pré-instalação AC
<b>Q4</b>	AC
<b>Q5 (suíte)</b>	2 AC
<b>Sala sótão</b>	AC
<b>Closet</b>	Cerâmica radiante (350W)

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Esta distribuição deve-se a vários fatores. O facto de só haver aparelhos de ar-condicionado no último andar é por ser um piso com maior exposição solar e, por consequência existirem potencialmente necessidades de arrefecimento superior. Por enquanto não se justifica instalar ar-condicionado nos quartos do primeiro andar e como os filhos se encontram em idade de sair de casa, as divisões deixarão de ter ocupação, daí só existir uma pré-instalação do AC. Nesses mesmos quartos não existe cota suficiente no pavimento para colocar piso radiante, além de que também não se achou justificativo devido à sua eminente desocupação, daí se ter recorrido apenas às cerâmicas radiantes. O piso radiante está nas zonas essenciais, que com ou sem filhos terão sempre utilização, que necessitam de aquecimento e com cota suficiente para que este seja colocado.

## Capítulo 4 – Método quase-estacionário

Os valores das necessidades anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento e o rácio da classe energética foram obtidos com recurso a uma ferramenta de cálculo do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (IteCons). Foi usada a versão mais recente até ao momento (V3.05 de 19 de maio de 2017) que tem em conta as alterações legislativas mais recentes.

### 4.1 Introdução de dados

#### 4.1.1 Identificação geográfica e levantamento dimensional

Primeiramente é necessário inserir os dados da localização geográfica do edifício, tais como as coordenadas, o concelho e a altitude, já caracterizados no capítulo anterior: 3.1 Localização e dados climáticos. Sabendo que a moradia se encontra na zona da Grande Lisboa e de acordo com o Despacho n.º 15793-F/2013 é possível saber quais os parâmetros, que aplicando a equação em baixo, dão os resultados necessários para associar as zonas climáticas de verão e de inverno e saber as temperaturas médias de verão e inverno.

$$X = X_{REF} + a (z - z_{REF}) \quad \text{Equação 4.1}$$

Tabela 4.1- Valores de referência para ajustes em altitude para o inverno

	<b>Z</b>		<b>M</b>		<b>GD</b>		<b><math>\theta_{ext,v}</math></b>	
	REF	REF	a	REF	a	REF	a	
	m	meses	mês/km	°C	°C/km	°C	°C/km	
<b>Grande Lisboa</b>	109	5.3	3	1071	1700	10.8	-4	

Com os valores da tabela acima é possível calcular o valor de graus-dia para determinar a zona climática de inverno. Sabendo que a altitude da habitação (z) é 8m, o valor de GD obtido é 899 e de acordo com a Tabela 4.2 isso corresponde à zona II. É também possível calcular a temperatura média exterior de no mês mais frio (normalmente janeiro) que dá 11.2°C.

Tabela 4.2-Critérios para determinação da zona climática de inverno

<b>Critério</b>	<b>GD ≤ 1300</b>	<b>1300 &lt; GD ≤ 1800</b>	<b>GD &gt; 1800</b>
<b>Zona</b>	I1	I2	I3

Tabela 4.3- Valores de referência para ajustes em altitude para o verão

	<b>Z</b>	<b><math>\theta_{ext,v}</math></b>	
	REF (m)	REF (°C)	a (°C/km)
<b>Grande Lisboa</b>	109	21.7	-10

Com os valores da tabela acima e aplicando a Equação 4.1 é possível calcular que a temperatura média exterior de verão dá 22.7°C e, portanto, de acordo com a tabela seguinte, corresponde à zona climática de verão V3.

Tabela 4.4- Critérios para determinação da zona climática de verão

<b>Critério</b>	<b><math>\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>20^{\circ}\text{C} &lt; \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>\theta_{ext,v} &gt; 22^{\circ}\text{C}</math></b>
<b>Zona</b>	V1	V2	V3

Seguidamente é necessário fazer uma caracterização geral da moradia, indicando a área útil do pavimento, o seu pé-direito, a sua tipologia e o levantamento dimensional das várias divisões. Para além disso é necessário caracterizar detalhadamente as várias superfícies existentes na moradia.

#### 4.1.2 Envolvente exterior

As primeiras superfícies a caracterizar são as paredes exteriores e, para tal, é necessário indicar o seu coeficiente de transmissão térmica, área (sem incluir vãos opacos e envidraçados e as pontes térmicas planas), orientação e grau de sombreamento a que estão sujeitos, isto porque neste caso se optou pela regra de simplificação relativa ao sombreamento.

É preciso ainda explicitar as pontes térmicas planas (PTP), que são vigas, pilares e caixas de estores e indicar em que paredes estão incluídas, além de se indicar o seu coeficiente de transmissão térmica. De salientar que foi necessário desprezar as vigas, pois nos desenhos técnicos disponíveis não era possível identificá-las.

De seguida caracterizaram-se as coberturas exteriores, que como mencionado anteriormente são três. Para a sua caracterização é necessário indicar os coeficientes de transmissão térmica ascendentes e descendentes, a sua área e a sua cor (são todas escuras no caso de estudo).

Posteriormente é preciso saber algumas características dos vãos envidraçados exteriores, como por exemplo, o coeficiente de transmissão térmica, a fração envidraçada, vários fatores solares dos vidros e o seu sombreamento.

Em relação ao valor do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados recorreu-se ao ITE50 que tem em conta os dispositivos de oclusão noturna. Assim obtiveram-se os seguintes valores para o  $U_{wdn}$  (coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite): 2.8, 2.9 e 3.3 W/m<sup>2</sup>.K para as janelas com caixa de estores (VE2), com as cortinas interiores (VE1) e sem dispositivos de oclusão (VE3), respetivamente.

Salienta-se que as janelas sem dispositivos de oclusão são horizontais (têm uma inclinação inferior a 60°), sendo portanto necessário calcular o  $U_{asc}$  e o  $U_{desc}$  com as duas seguintes equações provenientes do ITE50:

$$U_{asc} = \frac{1}{\frac{1}{U_{wdn}} - 0.04} \quad \text{Equação 4.2}$$

$$U_{des} = \frac{1}{\frac{1}{U_{wdn}} + 0.04} \quad \text{Equação 4.3}$$

Obtém-se 3.8 e 2.9 W/m<sup>2</sup>.K, respetivamente, para  $U_{asc}$  e o  $U_{des}$ , optando-se por inserir o valor que representa o caso em que há mais transferência de calor, o 3.8 W/m<sup>2</sup>.K.

Para saber a fração efetiva de envidraçado ( $F_g$ ) das janelas foi usada a simplificação do Despacho n.º 15793-K/2013, que toma os valores da seguinte tabela:

Tabela 4.5- Fração envidraçada

Caixilharia	$F_g$	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0.70	0.60
Madeira ou PVC	0.65	0.57

É preciso ainda saber o fator solar do vidro com incidência da radiação normal à sua superfície ( $g_{\perp, vi}$ ), o fator solar do vidro com os dispositivos de proteção solar permanentes ou móveis totalmente ativados com incidência da radiação normal ( $g_{\perp, T}$ ) e o fator solar do vidro com os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados com incidência da radiação normal ( $g_{\perp, Tp}$ ). No segundo e terceiro casos, se não existirem dispositivos estes fatores tomam o valor do fator solar do vidro. Com recurso ao Despacho n.º 15793-K/2013 o  $g_{\perp, vi}$  toma o valor de 0.75. O  $g_{\perp, T}$  é calculado pelo Despacho n.º 15793-K/2013 da seguinte forma:

$$g_{\perp, T} = g_{\perp, vi} \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0.75} \quad \text{Equação 4.4}$$

Em que o  $g_{Tvc}$  é dado pelo mesmo despacho e toma os valores 0.09 e 0.55 para os vãos que têm persianas de réguas plásticas de cor escura e para os que têm cortinas interiores opacas. Assim o  $g_{\perp, T}$  apresenta os valores de 0.09 e 0.55. No caso das janelas da cobertura como não possuem dispositivos de proteção solar,  $g_{\perp, T}$  toma o valor do fator solar do vidro. No caso do  $g_{\perp, Tp}$  não existe nenhuma janela com fator de proteção solar permanente (palas), assim sendo este toma o valor de 0.75.

É ainda necessário classificar a caixilharia, tendo-se classificado entre 3 e 4 por terem uma boa estanquidade ao ar, e definir a orientação dos vãos.

No caso dos vãos envidraçados, não se optou pela regra de simplificação do sombreamento, tendo-se calculado os vários ângulos de sombreamentos das várias obstruções. Existem vários tipos de ângulos

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

de sombreamento: a obstrução do horizonte, que está relacionado com os edifícios vizinhos, e as palas horizontais (palas de sombreamento ou varandas) e verticais.

No caso da obstrução do edifício vizinho, é necessário ter em conta qual o ponto mais alto da obstrução existente num intervalo de  $60^\circ$  para a esquerda e para a direita, do ponto central da janela, como se pode ver na figura seguinte.

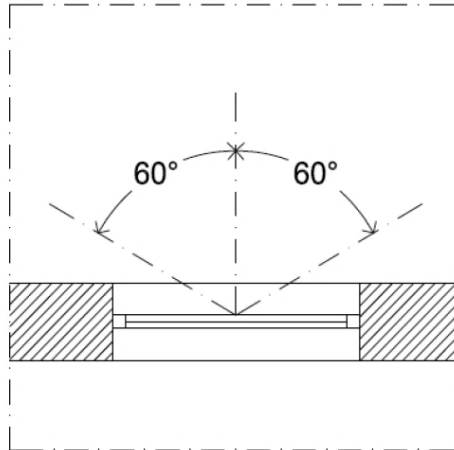


Figura 4.1- Abertura que se deve ter em conta para encontrar o ponto mais alto para o cálculo do sombreamento do horizonte. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013

Para o cálculo do ângulo de sombreamento dos vários vãos envidraçados e tendo em conta o ângulo de abertura da Figura 4.1 é necessário calcular na horizontal a distância do vão ao ponto mais alto, sendo esse o cateto adjacente representado na Figura 4.2. Depois mede-se a distância do centro da janela ao ponto mais alto de sombreamento, representado na mesma figura pela hipotenusa. Tendo estes dois valores e recorrendo à seguinte equação é possível encontrar o ângulo de obstrução do horizonte. Para o cálculo destas distâncias recorreu-se ao *Google Earth Pro*.

$$\cos^{-1}\left(\frac{c. \text{adjacente}}{\text{hipotenusa}}\right)$$

Equação 4.5

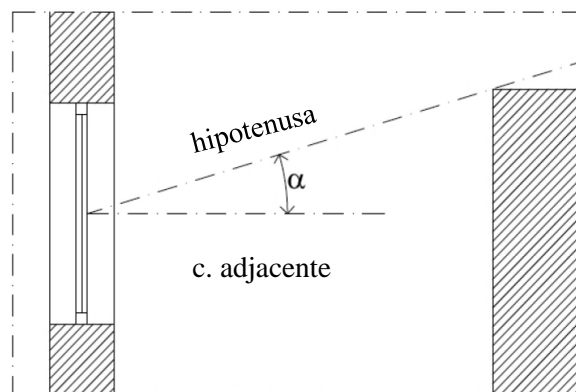


Figura 4.2-Como calcular o ângulo de obstrução do horizonte. Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013

Quando se tratam de palas horizontais o ângulo é calculado sabendo o comprimento da pala (cateto oposto) e a altura do meio da janela à pala (cateto adjacente), como se pode ver na Figura 4.3 e usando a Equação 4.6.

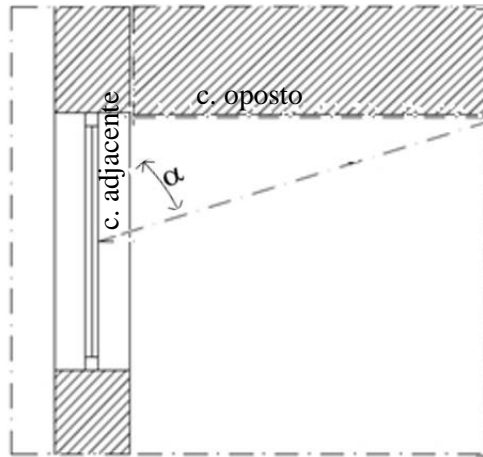


Figura 4.3- Como calcular o sombreamento das palas horizontais. Adaptado do Despacho n.º 15793-K/2013

$$\tan^{-1}\left(\frac{c. \text{oposto}}{c. \text{adjacente}}\right) \quad \text{Equação 4.6}$$

Em relação ao sombreamento das palas verticais, este é calculado sabendo a distância do meio da janela ao obstáculo (cateto oposto) e o comprimento do objeto que está a sombrear (cateto adjacente), como se pode ver na seguinte figura e usando a Equação 4.6.

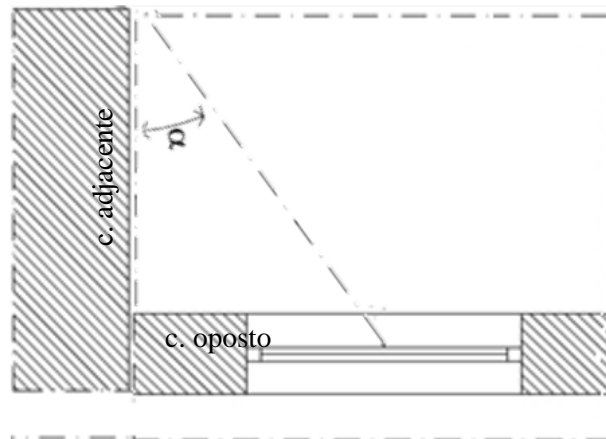


Figura 4.4- Como calcular o sombreamento das palas verticais. Adaptado do Despacho n.º 15793-K/2013

No caso dos vãos opacos exteriores apenas é necessário referir o seu coeficiente de transmissão térmica, orientação, área, a cor (escuro) e mencionar que são fortemente sombreados.

#### 4.1.3 Envolvente em contacto com o solo

De seguida é necessário caracterizar toda a envolvente em contacto com o solo, que será apenas o pavimento térreo (do RC). De salientar que não se considerou simplificação no que diz respeito ao cálculo da transmissão pelos elementos em contato com o solo e não se conhecendo a condutividade térmica do solo, deve-se assumir 2.0 W/(m.K), valor recomendado pela norma EN 13370.

Para a caracterização do pavimento térreo é necessário distinguir os vários pavimentos, o do hall de entrada e da sala de estar do RC, que são iguais, e o do WC do RC. É necessário referir a área de cada

pavimento, a resistência térmica respetiva (sem as resistências térmicas superficiais), que se encontra na Tabela 4.6, é preciso indicar o perímetro da parede que está exposta (em contacto com o exterior, com o edifício adjacente ou com uma zona não climatizada) e a sua espessura. E também indicar se existe isolamento perimetral, que existe devido ao piso radiante, indicando a espessura e a extensão do mesmo.

Tabela 4.6- Constituição dos pavimentos do piso térreo e as suas resistências

	Sala + hall		WC	
	L (m)	R (m <sup>2</sup> .K/W)	L (m)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
<b>Betão</b>	0.200	0.123	0.200	0.123
<b>EPS</b>	0.020	0.541	0.020	0.541
<b>Argamassa</b>	0.100	0.111	0.100	0.111
<b>Camada superior</b>	0.022	0.165	0.01	0.003
<b>Total</b>	0.342	0.940	0.330	0.777

Inserindo os dados já mencionados, o ficheiro *Excel* calcula o coeficiente de transmissão térmica de acordo com a legislação.

#### 4.1.4 Pontes térmicas lineares exteriores

As pontes térmicas lineares (PTL's) são zonas de ligação com um comprimento linear, em que se verificam maiores perdas de calor. As PTL's exteriores existentes neste caso de estudo são: a zona da caixa de estores, duas paredes verticais em ângulo saliente e fachadas com: os pavimentos térreos, intermédios ou pavimentos sobre o exterior ou espaços não úteis, com varanda ou com caixilharia. As informações a inserir são os comprimentos das pontes térmicas e a posição relativa do isolamento nas paredes (se está no interior, exterior ou na caixa-de-ar). Optou-se que os cálculos dos coeficientes de transmissão linear fossem os valores tabelados pela legislação.

#### 4.1.5 Envolvente interior

Primeiramente tem de se explicitar quais os espaços não-úteis existentes, que neste estudo se consideram a garrafeira e o edifício adjacente. As paredes, vãos opacos ou pavimentos interiores que são necessários definir são apenas os que se encontram em contacto com os ENU's.

As paredes que são definidas neste caso são todas paredes simples e o vão opaco é apenas a porta que está em contacto com a garrafeira. Os pavimentos em contacto com os ENU's têm a seguinte constituição:

Tabela 4.7-Pavimentos interiores

	<b>Escadas</b>	<b>Q1, Q2, Q3</b>	<b>WC do Q3, WC do 1º andar</b>
	Madeira	Linóleo	Mármore
	Laje betão	Laje betão	Laje betão
<b>U (W/m²K)</b>	1.59	2.09	2.04

#### 4.1.6 Pontes térmicas lineares interiores

As PTL's interiores são as mesmas que as exteriores, mas apenas se aplica a quando se encontram em contacto com ENU's, e a sua caracterização é feita de igual forma.

#### 4.1.7 Ventilação

A ventilação é calculada segundo o Despacho n.º 15793-K/2013 com recurso a uma ferramenta de cálculo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) que já se encontra incluída no ficheiro *Excel* do método quase-estacionário. É preciso fazer uma pequena caracterização da moradia em estudo (número de pisos, fachadas expostas ao vento e a sua altura) e do edifício que se encontra em frente (a sua altura e a distância à habitação em estudo).

É necessário ainda responder a várias questões, sendo estas são sobre a existência de aberturas de admissão de ar nas fachadas, condutas de ventilação natural e meios de exaustão ou insuflação por meios mecânicos ou híbridos. Não existe informação que confirme a sua existência, pelo que se presume que não existem.

Não se obtiveram as renovações de ar por hora (RPH) mínimas necessárias (da legislação tem-se 0.6 RPH no verão e 0.4 RPH no inverno), pois nas condições acima mencionadas obteve-se 0.02 RPH. Assim sendo, o ficheiro assume automaticamente os valores de RPH mínimos da legislação.

#### 4.1.8 Sistemas técnicos

Por último vem a definição dos sistemas técnicos e para os definir há que primeiro indicar a sua fonte de energia, qual o tipo de equipamento e o número de equipamentos iguais. Apesar da bomba de calor ter fonte renovável (porque o evaporador é o painel termodinâmico), não é possível inserir esses dados no ficheiro, pelo que se considerou como fonte de energia a eletricidade. A única forma de melhorar este aspeto é o facto do seu COP tomar valores elevados (assumiu-se o valor médio do COP igual a cinco). Em relação ao AC, como este só irá funcionar para arrefecimento, só se insere o EER no que diz respeito à eficiência e a potência é a de arrefecimento.

Posto isto tem de se indicar a função dos vários equipamentos (aquecimento, arrefecimento ou AQS), a sua potência, eficiência e a fração que serve, ou seja, qual a área de pavimento da divisão que climatiza.

## 4.2 Análise de resultados

Na Tabela 4.8 é possível observar os resultados obtidos para a localização da moradia.

Tabela 4.8- Resultados do método quase-estacionário relativos ao clima

<b>Graus-dia</b>	899
<b>Temperatura média no mês mais frio (°C)</b>	11.2
<b>Temperatura média de verão (°C)</b>	22.7

Comparando as temperaturas médias de verão e inverno obtidas pela legislação com as do PVGIS, pode-se analisar que a de inverno é subestimada e a de verão sobrestimada. Isto acontece devido à altura de referência da Grande Lisboa ser 109 m e a moradia se encontrar abaixo dessa altitude. Assim sendo, neste caso a legislação afasta-se um pouco da realidade o que significa que poderá afetar posteriormente os resultados obtidos.

Nos anexos 1 a 5 encontram-se os coeficientes de transmissão térmica dos vãos opacos, pavimentos térreos, pontes térmicas lineares, paredes e pavimentos interiores. Estes foram também analisados e comparados com os valores máximos ou de referência correspondentes, mas apenas são aqui apresentadas as análises das superfícies com mais relevância (paredes, coberturas e vãos envidraçados exteriores).

Em relação às paredes exteriores têm-se os seguintes resultados:

Tabela 4.9- Coeficientes das paredes exteriores e valores máximos pela legislação

<b>Tipo de solução</b>	<b>U solução (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>U máximo (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>Parede dupla N</b>	0.30	0.50
<b>Parede simples Z</b>	0.34	0.50
<b>Parede dupla P</b>	0.30	0.50

Naturalmente que a parede simples apresenta o maior coeficiente de transmissão térmica, no entanto encontra-se dentro dos valores máximos.

Sabe-se que houve algum investimento extra em isolamento, com o objetivo de minimizar os ganhos térmicos pelas paredes e isso nota-se pelo facto dos valores obtidos para U ainda terem uma diferença significativa relativamente aos valores máximos.

No caso das coberturas o coeficiente de transmissão térmica a usar para o cálculo das necessidades energéticas é o que apresentar maior valor, que é o ascendente.

Tabela 4.10- Coeficientes das coberturas e valores máximos pela legislação

<b>Tipo de solução</b>	<b>U solução (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>U máximo (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>T1</b>	0.16	0.40
<b>T2</b>	0.15	0.40
<b>T3</b>	0.32	0.40

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

No que diz respeito às coberturas, os coeficientes de transmissão térmica máximos são inferiores aos limites impostos. Existe uma discrepância entre os valores da T3 e da T1 e T2, devido a esta ter um menor isolamento (apenas 10cm de EPS para os 22 de EPS mais lã mineral das outras duas). Mais uma vez se salienta o investimento extra de isolamento com a diferença que existe dos valores obtidos para os máximos.

A Tabela 4.11 apresenta os coeficientes de transmissão térmica obtidos para os vãos envidraçados. VE1 corresponde aos vãos com cortinas interiores opacas, o VE2 são os vãos com estores exteriores e os VE3 são as janelas sem dispositivos de oclusão noturna.

*Tabela 4.11- Coeficientes dos vãos envidraçados e valores máximos pela legislação*

Vão envidraçado	U obtido (W/m <sup>2</sup> .K)	U máximo (W/m <sup>2</sup> .K)
VE1	2.9	2.8
VE2	2.8	2.8
VE3	3.8	2.8

Dos três tipos de vãos exteriores, apenas um se encontra no limite máximo do coeficiente de transmissão térmica.

*Tabela 4.12- Resultados dos sistemas de climatização*

Equipamento	Função	Eficiência		Fração servida (0 a 1)	Consumo energia final (kWh/ano)
		Do equipamento	De referência		
Cerâmica radiante (550W)	Aquecimento	1.00	1.00	0.14	818.11
Cerâmica radiante (350W)	Aquecimento	1.00	1.00	0.02	104.79
AC	Arrefecimento	3.32	3.00	0.24	505.25
BC	AQS	5.00	2.80	1.00	792.43
BC	Aquecimento	5.00	4.15	0.37	440.61

A Tabela 4.12 apresenta as eficiências dos equipamentos, em que todas se encontram iguais ou acima das de referência. De salientar que a BC que serve para aquecimento, apesar de servir a maior fração do edifício, corresponde ao segundo equipamento menos consumidor devido à sua elevada eficiência.

Por último surge a análise das necessidades anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) e arrefecimento ( $N_{vc}$ ), das necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{ic}$ ) e do valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_i$ ). Estes valores encontram-se na tabela seguinte:

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Tabela 4.13- Resultados obtidos das várias necessidades anuais de energia

	Valor obtido	Referência
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	21.42	33.12
$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	25.14	16.29
$N_{tc}$ (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)	65.28	-
$N_t$ (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)	-	84.58

Os valores obtidos encontram-se quase todos abaixo dos de referência (exceto arrefecimento) e com estes valores obtém-se um rácio  $R_{NT}$  igual a 0.77, que corresponde à classe energética B-.

O COP de uma bomba de calor depende da temperatura exterior a que está sujeito e consequentemente influencia o rácio das necessidades energéticas ( $N_{ic}/N_t$ ). Assim efetuou-se um pequeno estudo que relaciona o COP das duas BC com o rácio. O intervalo escolhido foi o fornecido pela ficha técnica das BC. Observando a Figura 4.5, a partir do COP igual a seis a classe energética sobe para B havendo uma diferença significativa

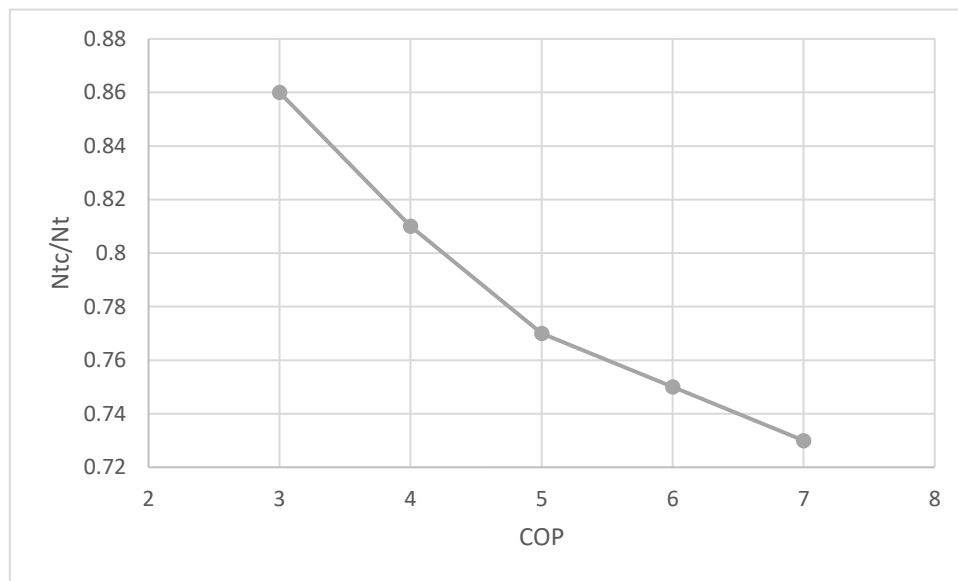


Figura 4.5- Rácio  $N_{tc}/N_t$  em função do COP das BC

Como as bombas de calor são responsáveis pelo aquecimento de grande área da habitação e das águas quentes sanitárias o seu COP influencia muito o rácio acima mencionado. O facto de terem um painel termodinâmico a servir de evaporador e, por consequência isso aumentar o seu COP, permite esperar diminuições nas suas necessidades de AQS e de aquecimento.

Apesar do painel termodinâmico não existe produção de energia renovável associada à habitação. As emissões de CO<sub>2</sub> da mesma são de 2.61 toneladas por ano.

## Capítulo 5 – Simulação dinâmica

### 5.1 Desenho em *SketchUp*

No *SketchUp* é necessário ter uma extensão chamada *Legacy OpenStudio*, que permite gravar o desenho da casa em .idf, o tipo de ficheiro que o *EnergyPlus* lê. Com as plantas e os alçados disponíveis apresentados na secção 3.2 Descrição da moradia foi possível desenhar a moradia em 3D no *SketchUp*, não esquecendo o edifício adjacente e os edifícios à volta.



Figura 5.1-Alçado frontal no *SketchUp*

Foram feitas algumas simplificações ao nível da geometria, como no interior não desenhar escadas, pois não é relevante e também não se teve em conta o desnível que existe entre o lado direito e esquerdo na casa, visível na Figura 3.3.

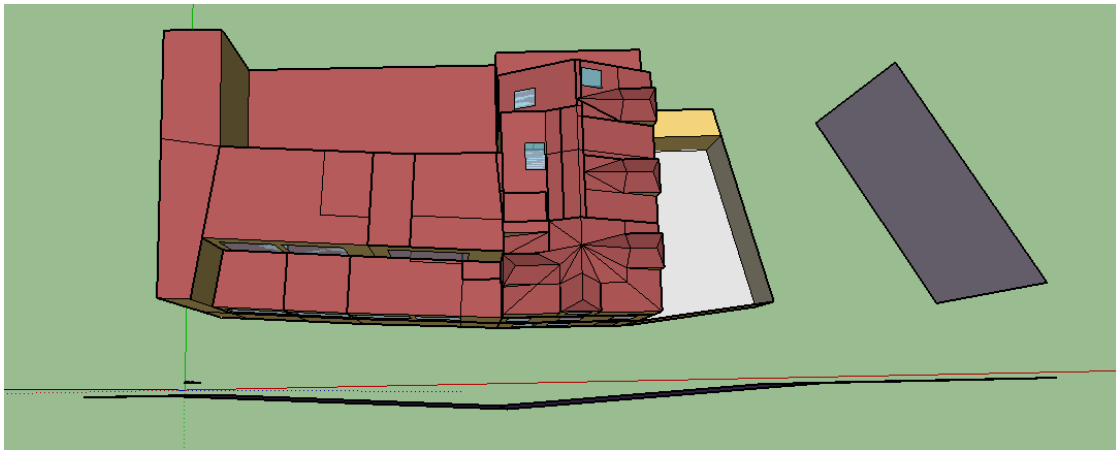


Figura 5.2- Vista superior da moradia

Além disso foi preciso criar zonas térmicas com recurso à extensão já mencionada, de modo a simplificar o número de divisões a estudar, isto porque uma zona térmica pode englobar várias divisões que se encontrem expostas ao mesmo tipo de condições (solares, que partilhem sistemas de climatização, entre outros).

É necessário desenhar palas que representem os edifícios à volta, como se pode ver na Figura 5.3, de forma a que durante a simulação sejam calculados os ângulos de sombreamento.

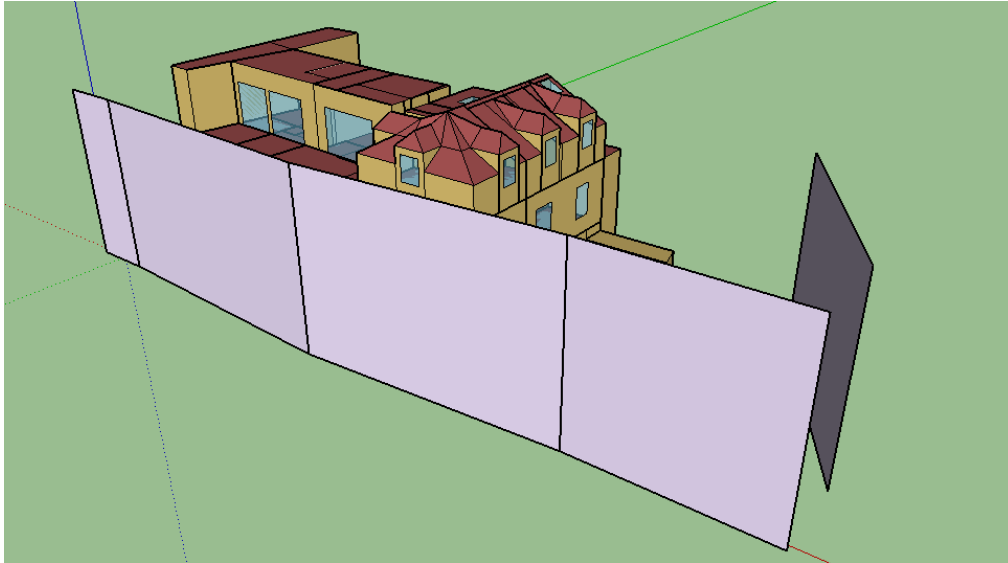


Figura 5.3-Palas de representação dos edifícios à volta

## 5.2 Introdução de dados no *EnergyPlus*

Após a conclusão da geometria, passa-se para o *EnergyPlus* onde se vão inserir as características dos materiais e as suas construções, horários de ocupação, potências de iluminação, entre outros. Na Figura 5.4 é possível observar a primeira interface do *EnergyPlus*, onde se selecciona o ficheiro .idf a utilizar e também o ficheiro do clima que será usado na simulação. É também nesta interface que se inicia a simulação.

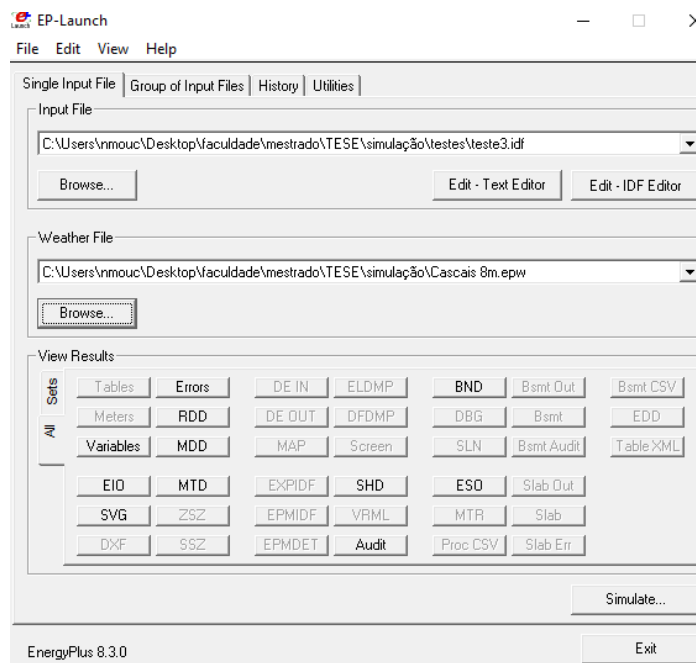


Figura 5.4- Interface inicial do *EnergyPlus*

O ficheiro do clima foi obtido com uma ferramenta do LNEG chamada CLIMAS-SCE, que é um ficheiro *Excel* e no qual é possível escolher o município e a altitude do lugar em questão, como se pode ver na

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Figura 5.5, e obter um ficheiro com dados estatísticos do clima e ainda um ano meteorológico de referência, estes dados vêm corrigidos com a altitude do lugar.

**Anos Meteorológicos de Referência** para simulação dinâmica  
versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

**Zona climática**

NUTS 3: Grande Lisboa  
Latitude: 38.9 °N (nominal)  
Longitude: 9.2 °W (nominal)  
Altitude: 109 m (referência)

**Local específico**

Município: Cascais  
Altitude: 8 m

**Dados climáticos**

	Referência	Neste local
<b>Estação de aquecimento</b>		
Período:	5.3	5.0 meses
T média:	10.8	11.2 °C
Graus-dia:	1071	899 °C
<b>Estação de arrefecimento</b>		
T média:	21.7	22.7 °C

**Zonas de verão e inverno**

V 3 I 1

«Cascais 8m.dat» foi criado

preparar ficheiro  
EPW (formato EnergyPlus Weather)

LNEG Software para Políticas Públicas  
Sistema Nacional de Certificação de Edifícios  
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.5- Ferramenta CLIMAS-SCE

O passo seguinte é inserir o número de *timesteps* por hora, ou seja, o número de vezes que vão ser calculados os vários parâmetros por hora. Foi escolhido o valor seis, por ser o valor mínimo que permite manter resultados fiáveis, sem complicar a simulação. De seguida, é preciso introduzir as temperaturas do solo a dois metros de profundidade, dados que se obtém da base de dados do *site* do *EnergyPlus*. Em relação aos horários (de iluminação, eletrodomésticos ou utilização), foram usados dois modelos, o *Compact*, que é o mais comum e que se pode observar na Figura 5.6 e o *Year* que foi usado para a utilização, iluminação e audiovisuais das duas salas. Neste segundo modelo é possível escolher um horário diferente para vários meses, sendo que se assumiu que a sala do RC é usada do início de outubro ao fim de abril e a sala do sótão é usada de maio a setembro.

Field	Units	Obj4	Obj5	Obj6
Name		ocupacao_q1 q2 q3	ocupacao_suite	iluminacaoEpcs que
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: Weekdays	For: Weekdays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 07:00	Until: 07:00	Until: 23:00
Field 4	varies	1	1	0
Field 5	varies	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 24:00
Field 6	varies	0	0	1
Field 7	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	
Field 8	varies	1	0	
Field 9	varies	For: Weekends	For: Weekends	
Field 10	varies	Until: 08:00	Until: 01:00	
Field 11	varies	1	0	
Field 12	varies	Until: 23:00	Until: 08:00	
Field 13	varies	0	1	
Field 14	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	
Field 15	varies	1	0	
Field 16	varies	For: Holiday	For: Holiday	
Field 17	varies	Until: 08:00	Until: 01:00	
Field 18	varies	1	0	

Figura 5.6-Horários no Compact

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

De seguida insere-se no *EnergyPlus* os ganhos internos, que se dividem em: equipamentos elétricos (Figura 5.7), pessoas (Figura 5.8) e iluminação (Figura 5.9).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		eletrodomesticos_s	pcs q1	pcs q2
Zone or ZoneList Name		zona_lazer	q1-1a	q2-1a
Schedule Name		iluminacao_sala	iluminacaoEpcs que	iluminacaoEpcs que
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	200.91	260.27	260.27
Watts per Zone Floor Area	W/m2			
Watts per Person	W/person			
Fraction Latent				
Fraction Radiant				
Fraction Lost				
End-Use Subcategory		General	General	General

Figura 5.7- Introdução do input “Equipamentos elétricos”

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		q1	q2	q3
Zone or ZoneList Name		q1-1a	q2-1a	q3-1a
Number of People Schedule Name		ocupacao_q1 q2 q3	ocupacao_q1 q2 q3	ocupacao_q1 q2 q3
Number of People Calculation Method		People	People	People
Number of People		2	1	1
People per Zone Floor Area	person/m2			
Zone Floor Area per Person	m2/person			
Fraction Radiant		0.5	0.5	0.5
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Activity Schedule	Activity Schedule	Activity Schedule
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s*W	0.0000000382	0.0000000382	0.0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name				
Work Efficiency Schedule Name				
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name				

Figura 5.8- Introdução do input “pessoas”

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		sala_sotao	q1	q2
Zone or ZoneList Name		zona_lazer	q1-1a	q2-1a
Schedule Name		iluminacao_sala	iluminacaoEpcs que	iluminacaoEpcs que
Design Level Calculation Method		Watts/Area	Watts/Area	Watts/Area
Lighting Level	W			
Watts per Zone Floor Area	W/m2	5.38	7.18	7.18
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction				
Fraction Radiant		0.5	0.5	0.5
Fraction Visible				
Fraction Replaceable		1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co				
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K			

Figura 5.9- Introdução do input “iluminação”

Passando para a definição dos materiais, é necessário a sua espessura, a sua condutividade térmica, a massa volúmica aparente e o calor específico, como se pode ver na Figura 5.10.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		estruque-tradicional	tijolo de 11	laje macica
Roughness		MediumSmooth	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.01	0.11	0.2
Conductivity	W/m-K	0.87	0.49	1.63
Density	kg/m3	1600	1200	2400
Specific Heat	J/kg-K	1100	840	1060
Thermal Absorptance				
Solar Absorptance				
Visible Absorptance				

Figura 5.10- Definição no *EnergyPlus* dos vários materiais usados

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

No caso dos vidros existem duas secções nos *inputs* que se chamam *Window Material: Glazing* e *Window Material: Gas*, em que no primeiro se caracteriza o vidro da janela (Figura 5.11) e no segundo o gás que preenche a caixa-de-ar das janelas (Figura 5.12). Utilizou-se a base de dados do *EnergyPlus* que se refere a vidro típico das janelas.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		VS 6mm	VS 5mm
Optical Data Type		SpectralAverage	SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name			
Thickness	m	0.006	0.005
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.837	0.837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	0.075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075	0.075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898	0.898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081	0.081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84	0.84
Conductivity	W/m-K	0.9	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc			
Solar Diffusing			
Young's modulus	Pa		

Figura 5.11- Caracterização do vidro das janelas no EnergyPlus

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Cx de ar 22mm	Cx de ar 20mm
Gas Type		Argon	Argon
Thickness	m	0.022	0.02
Conductivity Coefficient A	W/m-K		
Conductivity Coefficient B	W/m-K <sup>2</sup>		
Conductivity Coefficient C	W/m-K <sup>3</sup>		
Viscosity Coefficient A	kg/m-s		
Viscosity Coefficient B	kg/m-s-K		
Viscosity Coefficient C	kg/m-s-K <sup>2</sup>		
Specific Heat Coefficient A	J/kg-K		
Specific Heat Coefficient B	J/kg-K <sup>2</sup>		
Specific Heat Coefficient C	J/kg-K <sup>3</sup>		
Molecular Weight	g/mol		
Specific Heat Ratio			

Figura 5.12- Caracterização do gás da caixa-de-ar das janelas no EnergyPlus

Posteriormente caracteriza-se a construção por camadas das janelas, paredes, pavimentos, coberturas e portas como se pode observar na Figura 5.13.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		parede exterior	parede interior	porta interior
Outside Layer		estruque-tradicional	estruque-tradicional	madeira Porta int
Layer 2		tijolo de 11	tijolo de 11	
Layer 3		isolamento eps 10cr	estruque-tradicional	
Layer 4		tijolo de 11		
Layer 5		estruque-tradicional		
Layer 6				
Layer 7				
Layer 8				
Layer 9				
Layer 10				

Figura 5.13- Introdução das várias camadas das diversas superfícies no EnergyPlus

A infiltração de ar é a entrada não controlada de ar através de frinchas na envolvente, existindo sempre alguma nas várias divisões. Pelo facto das frinchas serem pequenas seria demasiado complexo calcular o caudal de ar que entra por estas, no entanto é um fator que deve ser tido em conta na simulação e que se introduz no *EnergyPlus* com o objeto *ZoneInfiltration: DesignFlowRate* como se pode ver na Figura 5.14. Foi criado um horário anual que se baseia na legislação atual e no qual existe uma infiltração de ar nas várias divisões com uma taxa de 0.6 RPH no verão e 0.4RPH no inverno.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Q1_infiltr verao	Q1_infiltr inverno
Zone or ZoneList Name		q1-1a	q1-1a
Schedule Name		infiltracao verao	infiltracao inverno
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s		
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2		
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2		
Air Changes per Hour	1/hr	0.6	0.4
Constant Term Coefficient		1	1
Temperature Term Coefficient			
Velocity Term Coefficient			
Velocity Squared Term Coefficient			

Figura 5.14-Introdução da infiltração no EnergyPlus

Para conhecer as necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento usou-se o método *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem* (Figura 5.16), que caracteriza um sistema de climatização ideal para garantir a gama de temperaturas desejadas. Estas temperaturas são definidas por um objeto chamado *HVACTemplate:Thermostat* (Figura 5.15), que é ativado quando a temperatura se encontra fora do intervalo desejado. Foram criados dois termostatos, um com os valores de conforto desejados na casa (21-22°C) e outro que serve para comparar os resultados com os do método quase-estacionário (18-25°C).

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		termostato normal	termostato certificacao
Heating Setpoint Schedule Name			
Constant Heating Setpoint	C	21	18
Cooling Setpoint Schedule Name			
Constant Cooling Setpoint	C	22	25

Figura 5.15-Termostato no EnergyPlus

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		q1-1a	q2-1a	q3-1a
Template Thermostat Name		termostato certificac	termostato certificac	termostato certificac
System Availability Schedule Name		Always On	Always On	Always On
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50	50	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13	13	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0156	0.0156	0.0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0077	0.0077	0.0077
Heating Limit		NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s			
Maximum Sensible Heating Capacity	W			
Cooling Limit		NoLimit	NoLimit	NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s			
Maximum Total Cooling Capacity	W			
Heating Availability Schedule Name				
Cooling Availability Schedule Name				
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe	ConstantSensibleHe
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0.7	0.7	0.7
Dehumidification Setpoint	percent	60	60	60
Humidification Control Type		None	None	None
Humidification Setpoint	percent	30	30	30

Figura 5.16- *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*

Posto isto, selecionam-se os *outputs* relevantes e é possível proceder à simulação.

### 5.3 Análise de resultados

Primeiramente foram realizadas duas simulações, ambas com o termostato 18-25°C. A primeira terá como objetivo comparar os resultados com o método quase-estacionário. Assim sendo o sistema *Ideal Loads* está ligado as 8760 horas do ano, com o objetivo de testar o edifício termicamente e calcular as suas cargas de aquecimento e arrefecimento. Neste momento não se tem em conta o perfil de ocupação

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

das divisões, nem os eletrodomésticos e iluminação, assumindo-se apenas ganhos internos médios de  $4\text{W/m}^2$  (de acordo com o Despacho n.º 15793-I/2013). Além disso, de salientar que foram simulados dois períodos diferentes para obter as duas cargas. A de aquecimento foi obtida na estação de aquecimento que segundo os dados do método quase-estacionário tem uma duração de 5 meses (assumiu-se do início de novembro a fim de março) e a carga de arrefecimento foi obtida na estação de arrefecimento que tem uma duração de quatro meses (assumiu-se do início de junho a fim de setembro). A segunda simulação tem o propósito de ser mais realista, pois tem em conta os horários de iluminação, eletrodomésticos e ocupação e tem um período de simulação anual.

Tabela 5.1-Resultados das duas primeiras simulações

	Simulação 1	Simulação 2	Diminuição
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	1.30	0.76	0.54
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	35.76	15.67	20.09
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	37.06	16.43	20.63

Como seria de esperar em ambos os casos, a carga de arrefecimento é muito superior à de aquecimento. Não havendo necessidades de arrefecimento ou aquecimento quando não existe ocupação da divisão, os resultados diminuem drasticamente (Tabela 5.1). No total existe uma redução de  $20.63\text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$  que corresponde a uma diminuição para mais de metade quando a climatização é feita apenas quando existe utilização no espaço.

A terceira simulação foi igual à segunda com alteração do termostato de  $18\text{-}25^\circ\text{C}$  para  $21\text{-}22^\circ\text{C}$ .

Tabela 5.2-Resultados da segunda e terceira simulações

	Simulação 2	Simulação 3	Aumento
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	0.76	5.53	4.77
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	15.67	29.07	13.40
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	16.43	34.60	18.17

Restringindo o termostato, de acordo com as necessidades dos ocupantes da habitação, existe um aumento significativo das necessidades de aquecimento, ultrapassando inclusive as necessidades da primeira simulação. Este aumento também se verifica para o arrefecimento e no todo existe um aumento superior ao dobro do inicial. Daqui se conclui que seria benéfico aumentar o intervalo de conforto imposto pelos residentes. De lembrar que o sistema *Ideal Loads* calcula as necessidades para um sistema ideal e não representa um sistema real de climatização, assim sendo, para os valores das cargas de climatização se aproximarem do real foi necessário ter em conta o COP e o EER da BC e do AC respetivamente.

Foi ainda feita uma quarta simulação com o intuito de estudar termicamente a habitação, nas condições extremas de verão e inverno e nos períodos de meia estação, sem climatização. Para este estudo escolheram-se as semanas de: 5 a 12 de agosto, 14 a 21 de janeiro, 15 a 22 de abril e 14 a 21 de outubro, respetivamente. Apenas se analisou uma divisão por cada piso, tendo-se escolhido no RC a sala, no primeiro piso o Q3 e no piso superior a sala.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

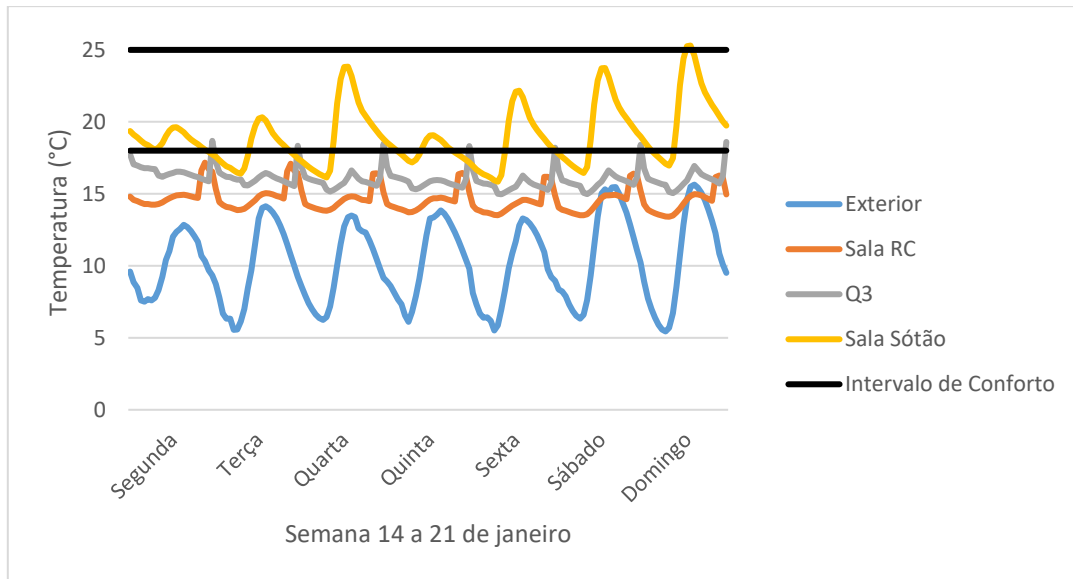


Figura 5.17-Temperaturas médias diárias na semana representativa do inverno

A semana representativa de inverno foi escolhida de acordo com a temperatura média semanal mais baixa. Na Figura 5.17 é possível analisar a temperatura exterior e as temperaturas interiores médias horárias das três divisões estudadas. Desta figura concluiu-se que a casa nas condições extremas de inverno, apesar das temperaturas internas serem quase sempre superiores à exterior, não se encontram maioritariamente nos intervalos de conforto na sala do RC e no Q3. Para a sala do sótão já se verifica em grande parte do tempo temperaturas no intervalo ótimo. Pode-se ainda observar que quanto menor o sombreamento dos pisos, maior a temperatura, havendo uma diferença maior do primeiro piso para o segundo do que do RC para o primeiro.

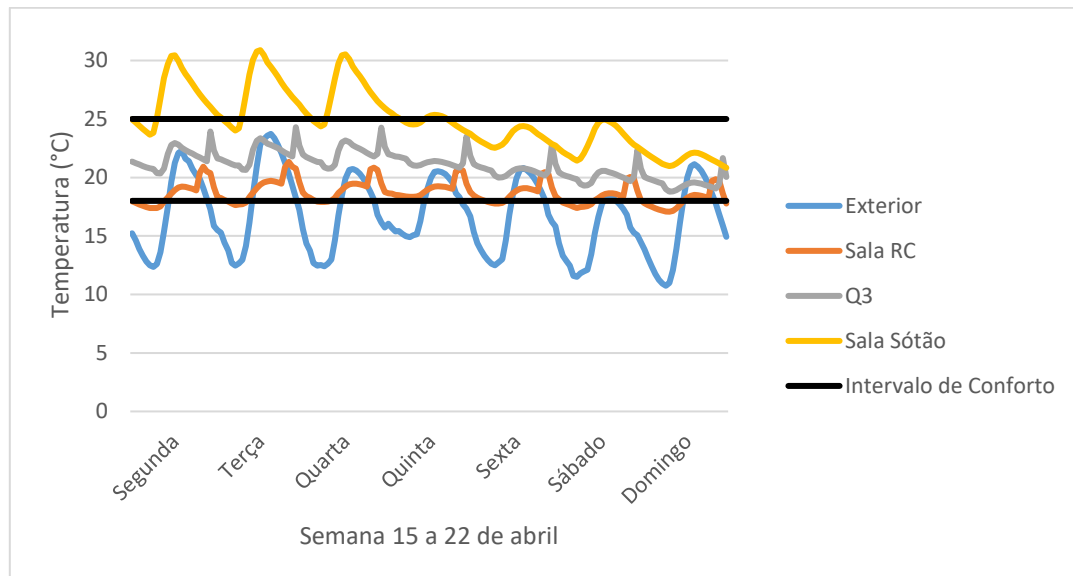


Figura 5.18-Temperaturas médias diárias na primeira semana representativa de meia estação

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

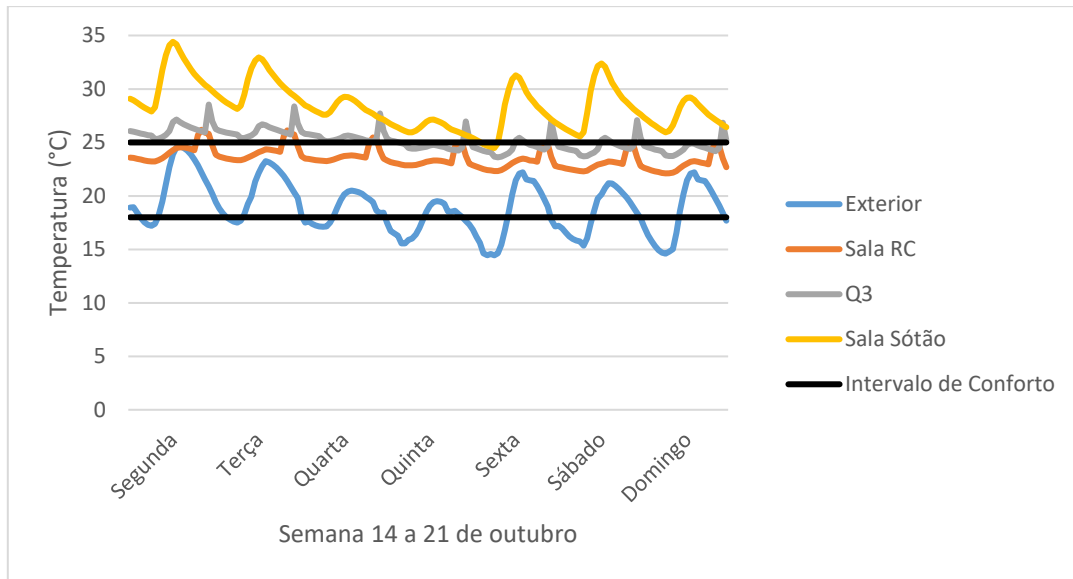


Figura 5.19- Temperaturas médias diárias na segunda semana representativa de meia estação

Em relação às semanas de meia estação estudadas (Figura 5.18 e Figura 5.19), pode-se observar o comportamento já observado anteriormente das temperaturas interiores serem sempre relativamente superiores à exterior e conforme se diminui o grau de sombreamento, aumentam as temperaturas interiores, havendo sempre maior proximidade de temperaturas do RC para o primeiro andar do que do primeiro andar para o segundo piso. No caso da semana de abril, grande parte das temperaturas interiores (exceto os três primeiros dias da semana para a sala do sótão) encontram-se no intervalo ótimo. Na semana de outubro, as temperaturas do Q3 e da sala do sótão estão grande parte do tempo acima do intervalo de conforto.

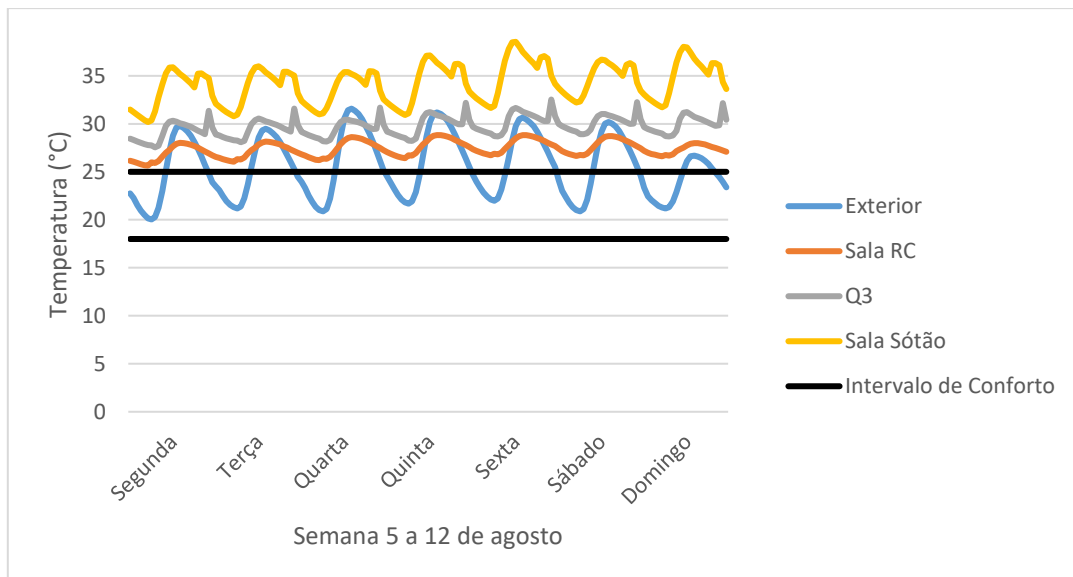


Figura 5.20-Temperaturas médias diárias na semana representativa do verão

A semana representativa de verão foi escolhida de acordo com a temperatura média semanal mais elevada. As observações e conclusões do comportamento das temperaturas exterior e interiores das semanas já estudadas também se aplicam a esta semana. No entanto, o comportamento da habitação no verão é negativo, sobretudo no piso superior, pois as temperaturas interiores são sempre superiores à exterior e sempre acima das temperaturas de conforto, sendo o caso mais crítico a sala do sótão. Isto

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

acontece devido à grande fração de envidraçado do piso superior, que no inverno é benéfico, aumentando os ganhos solares e diminuindo as necessidades de aquecimento, mas no verão é bastante prejudicial aumentando muito as necessidades de arrefecimento.

## Capítulo 6 – Comparação de resultados

A comparação entre dois métodos é muito complexa e difícil porque existem pressupostos e simplificações diferentes nos dois métodos. É possível fazê-la, mas isso não é o objetivo deste trabalho, sendo então objetivo deste capítulo apenas uma análise simples das diferenças nos resultados principais.

É de lembrar que para se poder comparar os dois métodos foi necessário homogeneizar alguns parâmetros como: duração das estações de aquecimento e arrefecimento; ganhos internos; RPH e intervalo da temperatura de conforto.

É também necessário mencionar que os dois métodos fazem os cálculos das cargas de climatização de forma diferente. No método quase-estacionário as necessidades de energia são calculadas uma vez para cada estação (aquecimento e arrefecimento), fazendo o balanço dos ganhos e perdas térmicas do edifício. O *EnergyPlus* com recurso ao sistema *Ideal Loads* analisa os *inputs* inseridos e verifica quais as necessidades de climatização de acordo com as temperaturas exterior e interior de cada zona térmica e calcula as cargas de climatização a cada hora. Assim a simulação dinâmica é um processo muito mais complexo e completo que o método quase-estacionário.

Tabela 6.1-Resultados obtidos pela simulação e pelo método quase-estacionário

	Método-quase estacionário	<i>EnergyPlus</i>	Diferença
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	21.42	1.30	-20.12
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	25.14	35.76	+10.62
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	46.56	37.06	-9.50

Como seria de esperar, os valores de cargas de climatização são diferentes devido aos diferentes métodos usados e na Tabela 6.1 é possível analisar as cargas de aquecimento e arrefecimento obtidas pelos dois métodos. Existe uma diminuição de 20.12kWh/m<sup>2</sup>.ano do método quase-estacionário para a simulação em relação à carga de aquecimento e para a carga de arrefecimento existe um aumento de 10.62kWh/m<sup>2</sup>.ano. No entanto no total apenas existe uma redução de 9.50kWh/m<sup>2</sup>.ano da energia necessária para climatização.

Devido à análise das temperaturas médias obtidas pelo método quase-estacionário (Tabela 4.8), onde se concluiu que a temperatura média de inverno era subestimada e a de verão sobrestimada já era expectável que os resultados das cargas de aquecimento e arrefecimento fossem afetadas. De facto, essa diferença apenas explica as maiores necessidades de aquecimento, pois apesar das maiores temperaturas de verão as necessidades de arrefecimento são inferiores. Esta conclusão foi verificada noutros estudos que comparam os dois métodos [12].

O método quase-estacionário tem ainda outros problemas como: considerar os ganhos internos constantes ao longo do ano e iguais a 4W/m<sup>2</sup>, que é um valor generalizado e pode influenciar bastante os resultados se os ganhos internos reais se afastarem deste valor; considerar também necessidades de climatização em todas as divisões mesmo quando estas não se encontram ocupadas, sobredimensionando assim as necessidades. Estes dois problemas são resolvidos na simulação dinâmica ao se definirem ganhos internos específicos (luz, eletrodomésticos e pessoas) e horários de utilização. Conclui-se que possivelmente a simulação fornecerá resultados muito mais próximos da realidade.

## Capítulo 7 – Medidas de melhoria

O desempenho térmico e energético de um edifício é dado de acordo com os seus ganhos solares, ocorrendo estes pela envolvente; pela eficiência dos seus sistemas de climatização e pelo uso de energias renováveis. As medidas de melhoria dependem do edifício em estudo, sendo adaptadas conforme os aspetos mais negativos da habitação.

### 7.1 Medidas estudadas

Após visita ao local de estudo em vários tipos de condições meteorológicas, analisando a caracterização do edifício e os resultados obtidos anteriormente pelos dois métodos, foram escolhidas as medidas de melhoria apresentadas de seguida. A primeira melhoria foca-se na diminuição dos ganhos solares; a segunda na redução das perdas pela caixilharia, pois o PVC é um material melhor que o alumínio; a terceira serve para introduzir energia renovável na produção de AQS. As duas últimas pretendem introduzir uma parcela de renováveis na produção de eletricidade e diminuir os consumos do arrefecimento.

#### 7.1.1 Uso de toldos nas janelas do Q4 e da sala do sótão

Tendo o piso superior do lado esquerdo uma grande área de envidraçado e não estando sujeito a muito sombreamento, esta zona tem muitos ganhos solares, que no verão se traduzem numa grande temperatura interior neste piso, facto que foi experienciado fisicamente em pleno verão. Assim sendo, estudou-se a colocação de uns toldos amovíveis, de forma a apenas serem usados na estação mais crítica, o verão, e mantendo os ganhos solares de inverno, que são desejados. Após uma breve análise, concluiu-se que o melhor comprimento dos toldos seria um metro.

#### 7.1.2 Troca da caixilharia de alumínio para PVC

A caixilharia é uma ponte térmica, ou seja, onde existe uma maior perda de calor. Tendo a habitação um grande número de janelas, estas perdas são maiores, sendo portanto de interesse minimizá-las com um material de caixilharia melhor que alumínio, surgindo então como alternativa o PVC.

#### 7.1.3 Instalação de coletores solares para AQS

O objetivo desta melhoria foi o de implementar diretamente energia renovável na produção de AQS, instalando coletores solares para substituir a BC com o mesmo efeito. Este estudo foi feito recorrendo ao programa SolTerm 5.3 do LNEG. Primeiro é necessário escolher o concelho e a altitude do edifício. De seguida é necessário escolher os sistemas a estudar. Optou-se por um sistema com termossifão, com cinco coletores do tipo padrão (2.3kW nominal) e que ocupam uma área de 3.25m<sup>2</sup>. Procedeu-se à simulação do sistema e obteve-se os resultados da Figura 7.1. Com este sistema é possível cobrir 89% das necessidades de AQS.

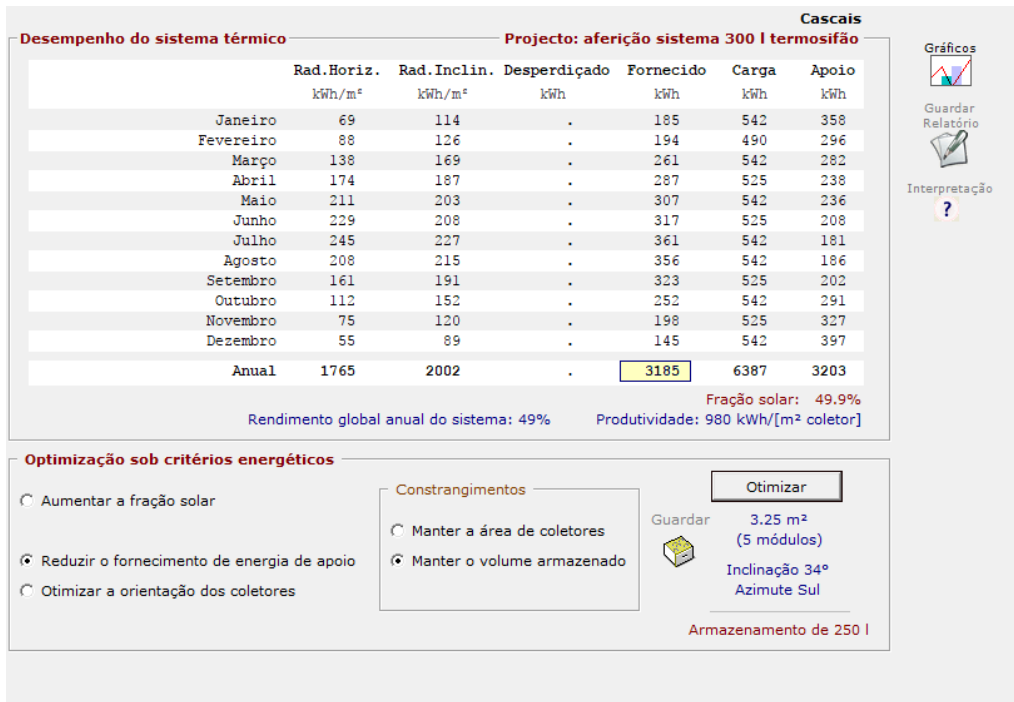


Figura 7.1-Resultados obtidos com o SolTerm para os coletores solares

### 7.1.4 Instalação de painéis fotovoltaicos

A instalação de painéis solares surge de forma a aumentar a fração de energia proveniente de energias renováveis. De acordo com o site do *PortalSolar* [13], uma casa com seis pessoas pode ter um sistema fotovoltaico com até 10kWp, que ocupa aproximadamente 70m<sup>2</sup>. No entanto devido ao espaço existente no edifício e já havendo painéis termodinâmicos, escolheu-se uma potência de 5kWp, que ocupa uma área aproximada de 35m<sup>2</sup> [14]. Para obter a produção do sistema recorreu-se ao PVGIS, assumindo as características do sistema que o PVGIS tem por defeito, que se encontram na Figura 7.2. Apenas se escolheu otimizar a inclinação para 34°.

Radiation database: Climate-SAF PVGIS ▾ [\[What is this?\]](#)

PV technology: Crystalline silicon ▾

Installed peak PV power 5 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

**Fixed mounting options:**

Mounting position: Free-standing ▾

Slope [0;90] 34 °  Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0 °  Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

**Tracking options:**

Vertical axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

Inclined axis Slope [0;90] 0 °  Optimize

2-axis tracking

Figura 7.2- Características do sistema fotovoltaico escolhido

Para usar na certificação retirou-se a produção anual do PVGIS igual a 8180kWh/ano. No caso da simulação, uma instalação de 5 kWp equivale aproximadamente a 20 painéis, e obteve-se uma produção de 8504kWh/ano. Pode-se desde já concluir que não existe uma grande discrepância nos dois valores obtidos, havendo apenas uma diferença de 4.0%.

Na certificação é necessário atribuir uma parcela da produção que servirá para aquecimento e arrefecimento. Para encontrar esses valores recorreu-se à simulação. Assim, analisou-se horariamente as necessidades e a produção, da qual se obteve os valores de PV que efetivamente se usaram para aquecimento e arrefecimento. Fez-se o rácio destes valores com a produção total, obtendo-se 7.7% e 8.8% de produção usada para arrefecimento e aquecimento respetivamente. Inserindo estes valores no *Excel* da certificação observa-se que cobre 0.54 da parcela das necessidades de energia elétrica (dos sistemas de climatização) para aquecimento e para arrefecimento cobre 1.58 da parcela das mesmas necessidades do AC. Assim, existe excedente de produção quando se trata de arrefecimento, isto acontece porque as maiores necessidades de arrefecimento ocorrem no verão, quando também existe maior produção de energia fotovoltaica.

### 7.1.5 Aparelhos de AC com melhor EER

Devido aos elevados ganhos solares do piso superior, existe um grande consumo associado ao arrefecimento, tendo-se escolhido um aparelho de AC que tivesse um melhor EER. Teve-se em conta a mesma marca do já instalado na habitação e teve de se ter o cuidado de escolher um modelo que permitisse ter quatro unidades interiores. Na Tabela 7.1 é possível observar as características do novo aparelho escolhido.

*Tabela 7.1- Novo modelo do aparelho de AC*

<b>Marca</b>	<b>Hitachi</b>
<b>Modelo</b>	RAM-90NP5B
<b>Potência de aquecimento nominal (min-máx) [kW]</b>	11.0 (1.5-11.5)
<b>Potência de arrefecimento (min-máx) [kW]</b>	8.5 (1.52-9.5)
<b>Potência de entrada de aquecimento nominal (min-máx) [kW]</b>	2.46 (0.20-3.85)
<b>Potência de entrada de arrefecimento (min-máx) [kW]</b>	2.23 (0.20-3.85)
<b>COP</b>	4.47
<b>EER</b>	3.81

## 7.2 Resultados obtidos

### 7.2.1 Método quase-estacionário

Aplicando as medidas anteriormente mencionadas, obtiveram-se consumos de energia dos equipamentos de climatização inferiores aos iniciais, como se pode observar na Tabela 7.2.

Tabela 7.2- Consumos de energia dos vários equipamentos de climatização

Equipamento	Consumo energia sem melhorias (kWh/ano)	Consumo energia após melhorias (kWh/ano)	Diminuição
<b>Cerâmica radiante (550W)</b>	818.11	796.43	21.68
<b>Cerâmica radiante (350W)</b>	104.79	102.02	2.77
<b>AC</b>	505.25	395.38	109.87
<b>BC</b>	440.61	428.94	11.67

Estes valores inferiores de consumo devem-se à diminuição das necessidades de aquecimento e arrefecimento, como se pode ver na Tabela 7.3. A diminuição mais relevante é ao nível do ar-condicionado devido ao aumento do seu EER. Na Tabela 7.3 observa-se que diminuíram todos os valores de necessidades de climatização em relação aos obtidos inicialmente, apesar de as necessidades de arrefecimento ainda se encontrarem acima das de referência. Mais uma vez a diminuição mais acentuada é ao nível das necessidades de arrefecimento.

Tabela 7.3- Resultados obtidos das várias necessidades anuais de energia

	Valor obtido inicialmente	Valor obtido com melhorias	Diminuição
<b><math>N_{ic}</math> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	21.42	20.85	0.57
<b><math>N_{vc}</math> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	25.14	22.58	2.56
<b><math>N_{tc}</math> (kWhEP/m<sup>2</sup>.ano)</b>	65.28	44.16	21.12
<b><math>R_{NT}</math></b>	0.77	0.50	0.27

Devido ao facto da climatização ter algum fornecimento de fonte renovável e ainda existir excedente no caso do arrefecimento, as necessidades nominais anuais de energia primária ( $N_{ic}$ ) reduziram 21.12kWh/m<sup>2</sup>.ano. O rácio obtido diminuiu 35.1% em relação ao inicial, passando a ser classe A. A contribuição de renováveis subiu para 46.57% e as emissões de CO<sub>2</sub> baixaram para 1.80 toneladas por ano.

Desta análise pode-se concluir a grande importância da existência de energias renováveis para a produção de energia elétrica e para AQS e a sua influência no rácio energético e nas emissões de CO<sub>2</sub>. Salienta-se a grande vantagem do fotovoltaico (PV) e dos coletores solares que neste caso ocupam uma área que não teria nenhum uso.

## 7.2.2 Simulação dinâmica

No caso da simulação dinâmica não é possível aplicar uma diferenciação da caixilharia, não tendo sido esta medida empregue nas seguintes simulações. Na Figura 7.3 é possível observar o desenho do edifício

com os toldos no último piso e os painéis fotovoltaicos no telhado. Em relação ao *EnergyPlus* é necessário atribuir um gerador, um inversor, as características do módulo e a sua configuração. Tentou-se aproximar estas características às retiradas do PVGIS.

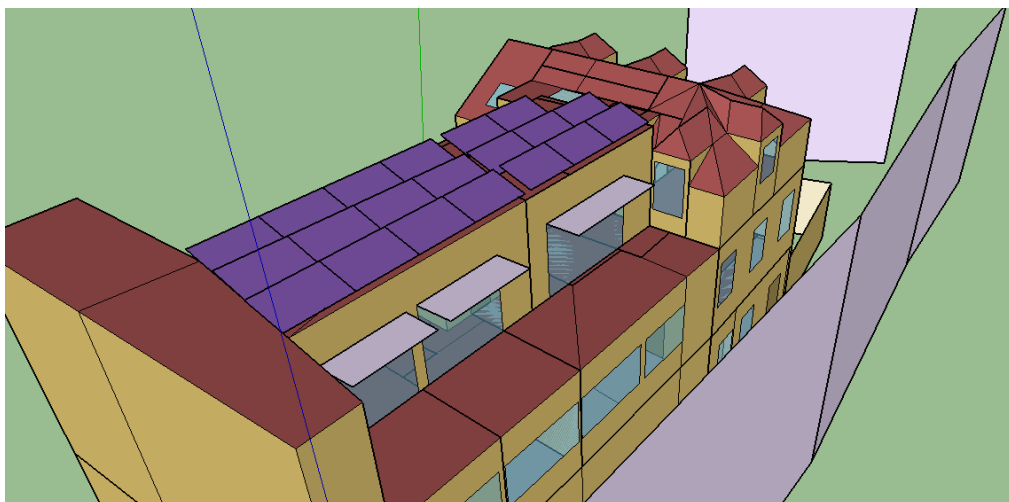


Figura 7.3- Toldos de sombreamento e painéis fotovoltaicos

Tabela 7.4-Resultados da primeira simulação com e sem melhorias

	Sem melhorias	Com melhorias	Diferença
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	1.30	1.85	+0.55
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	35.76	31.10	-4.66
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	37.06	32.95	-4.11

Na Tabela 7.4 é possível comparar os resultados da primeira simulação antes e depois de se aplicar as melhorias. Nota-se um aumento nas necessidades de aquecimento e uma diminuição nas de arrefecimento. O aumento do aquecimento deve-se ao facto dos painéis fazerem sombreamento em praticamente todo o piso superior, fazendo com que no inverno diminuam os ganhos solares pela cobertura. Além disso, os toldos no verão reduzem igualmente os ganhos solares nesta estação, diminuindo as temperaturas interiores e devido à inércia da casa, influenciam igualmente as temperaturas interiores no inverno, aumentando as necessidades de aquecimento. Em relação às necessidades de arrefecimento no verão o sombreamento afeta positivamente, pois diminui os ganhos solares e respetivamente a carga de arrefecimento.

Apesar de haver um aumento na carga de aquecimento, fazendo uma análise no total das duas cargas, acaba por existir uma diminuição de 10% anualmente com a aplicação das medidas anteriormente mencionadas.

Tabela 7.5-Resultados obtidos pela simulação e pelo método quase-estacionário

	Método-quase estacionário	<i>EnergyPlus</i>	Diferença
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	20.85	1.85	-19.00
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	22.58	31.10	+8.52
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	43.43	32.95	-10.48

Na Tabela 7.5 comparam-se de novos as cargas de aquecimento e arrefecimento para os dois métodos. As diferenças das cargas de um método para o outro são semelhantes às obtidas sem melhorias. No entanto, no total das cargas a diferença entre os dois métodos é superior do que sem melhorias.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Tabela 7.6-Resultados da segunda simulação com e sem melhorias

	Sem melhorias	Com melhorias	Diferença
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	0.76	1.08	+0.32
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	15.67	13.83	-1.84
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	16.43	14.91	-1.52

Os resultados da segunda simulação encontram-se na Tabela 7.6. Na segunda simulação observa-se que as diferenças de cargas com e sem melhorias são inferiores às da primeira simulação. Isto acontece pelo facto das cargas já estarem mais reduzidas que na primeira simulação devido aos horários de utilização.

Tabela 7.7-Resultados da terceira simulação com e sem melhorias

	Sem melhorias	Com melhorias	Diferença
<b>N<sub>ic</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	5.53	6.19	+0.66
<b>N<sub>vc</sub> (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	29.07	26.75	-2.32
<b>Total (kWh/m<sup>2</sup>.ano)</b>	34.6	32.94	-1.66

Em relação à terceira simulação o aumento da carga de aquecimento é superior às outras duas simulações e a diminuição da carga de arrefecimento é menores que a da primeira (Tabela 7.7). Na diferença do total a diminuição também é inferior à primeira simulação.

Na quarta simulação estudou-se de novo as temperaturas interiores de três zonas térmicas, de forma a comparar com as já obtidas sem melhorias.

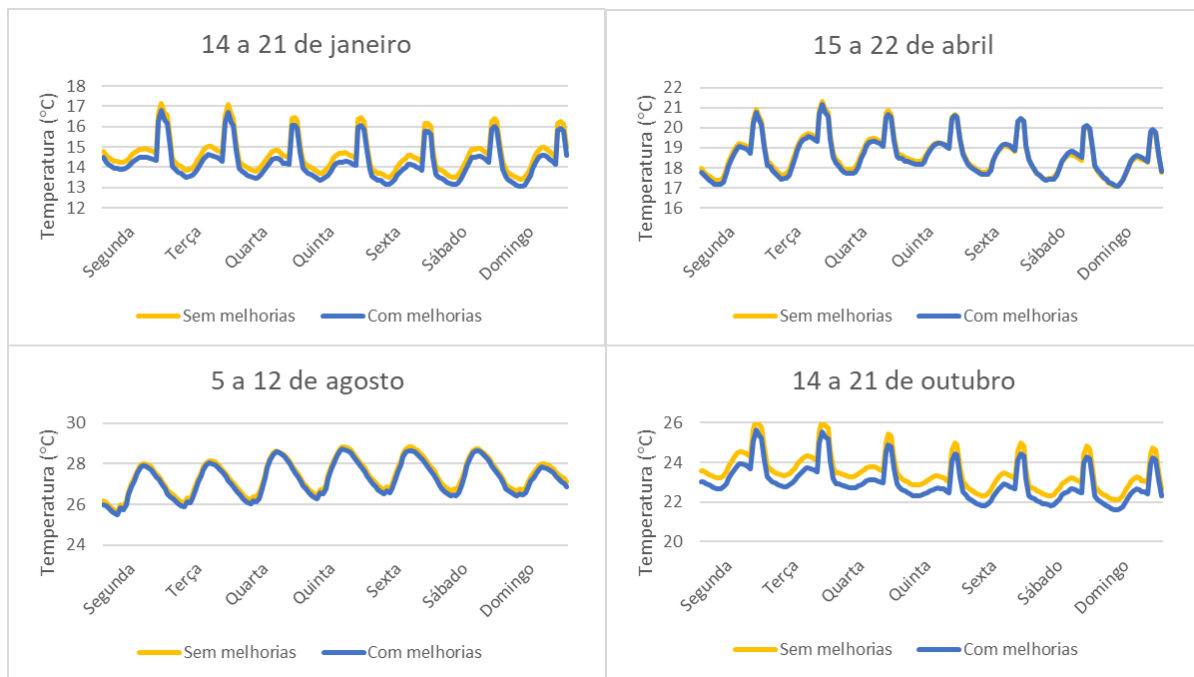


Figura 7.4- Resultados da quarta simulação para a sala do RC

Começando pela sala do RC, nas várias semanas estudadas (Figura 7.4) apesar das temperaturas após as melhorias serem sempre inferiores, esta diferença é muito pequena, pois o RC acaba por não sofrer tanto com as alterações do sombreamento do piso superior.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

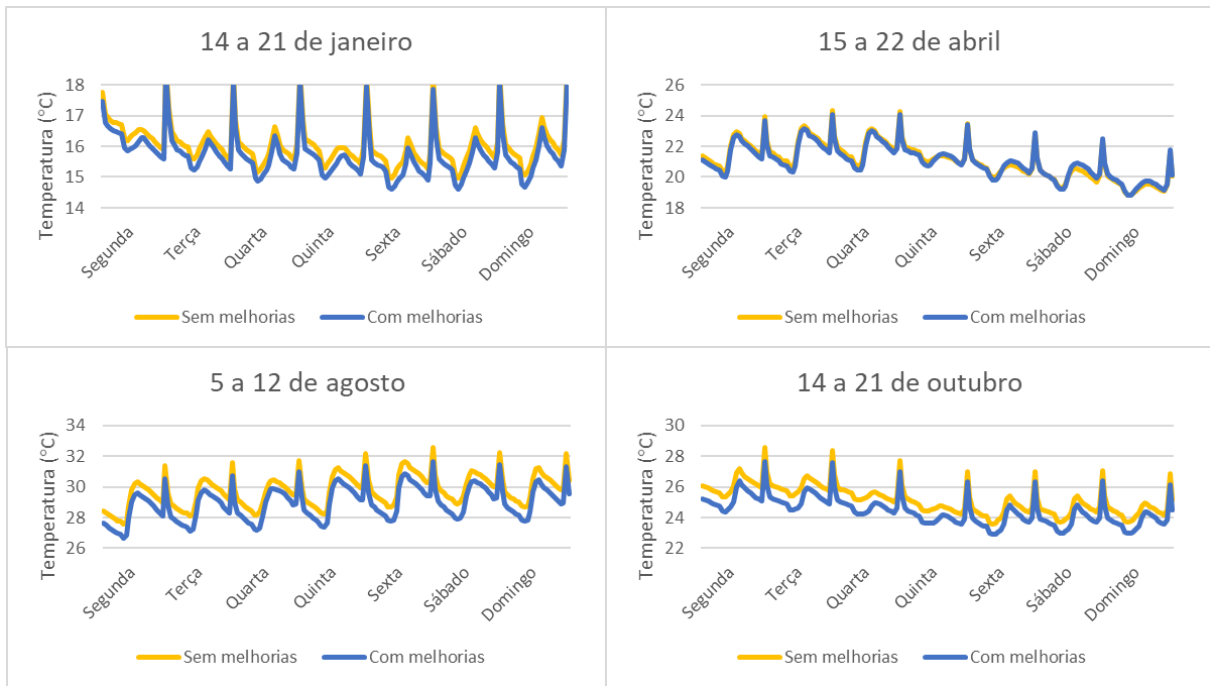


Figura 7.5- Resultados da quarta simulação para o Q3

Passando para o Q3 no primeiro piso, continua a verificar-se uma redução das temperaturas interiores após as melhorias e neste caso já começa a existir uma diferença visível sem e com melhorias (Figura 7.5). Estando o primeiro piso logo debaixo do último já se nota alguma influência do sombreamento do exterior.

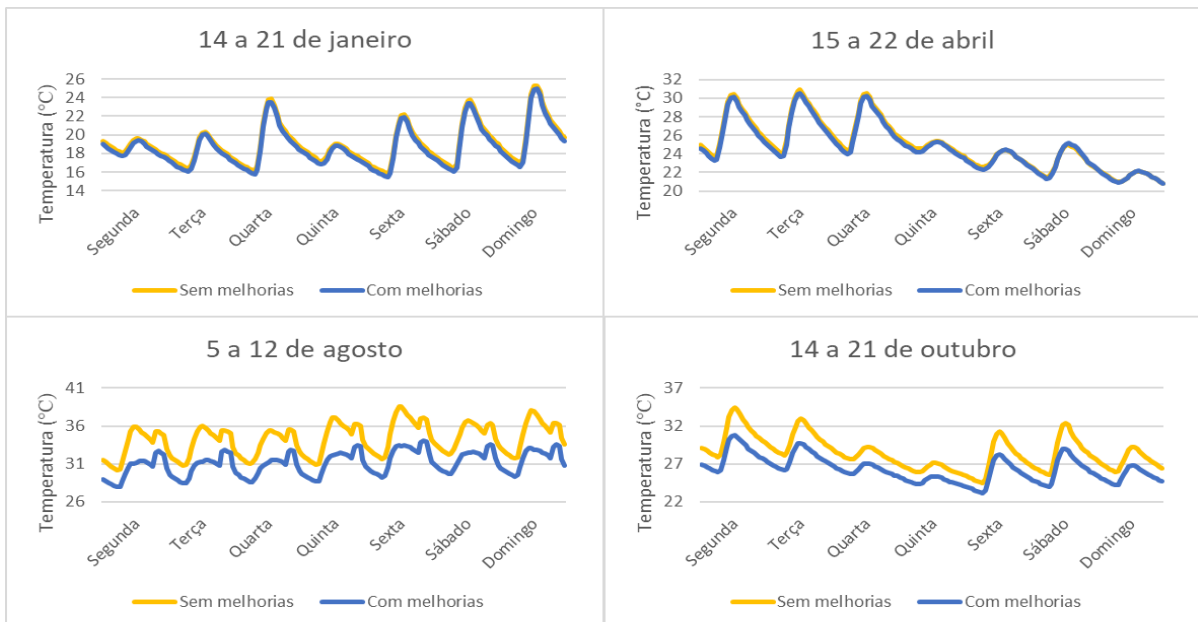


Figura 7.6- Resultados da quarta simulação para a sala do sótão

Por último estudou-se a sala do sótão, em que na semana de verão e de meia estação em outubro existe uma diminuição visível das temperaturas sem e com melhorias. Isto era esperado por ser precisamente a sala que sofre sombreamento dos toldos e dos painéis e explica a diminuição sempre mais acentuada da carga de arrefecimento. Na semana de inverno, existe também uma diminuição das temperaturas, sempre mais pequena que no verão, sendo essa a razão do aumento da carga de aquecimento no inverno.

## Capítulo 8 – Conclusão

O principal objetivo desta tese foi o estudo de medidas de otimização do desempenho energético na reabilitação de uma habitação que se encontra em Cascais. Fez-se uma análise do estado da arte da legislação de edifícios e da simulação dinâmica. Verificou-se que em Portugal a legislação de edifícios chegou mais tarde que no resto da Europa e isto só aconteceu em 1990. No entanto desde essa data já existiram diversas atualizações existindo atualmente, e abordado nesta tese, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Esta atualização da legislação vem para diminuir a grande parcela de energia gasta por edifícios.

Foi feita uma caracterização intensa do edifício, desde a geometria e tipos de construções aos horários de utilização e sistemas de climatização. Esta foi posteriormente usada de formas diferentes nos dois métodos abordados: o método quase-estacionário, usado pelo REH e a simulação dinâmica com recurso ao *EnergyPlus*.

Da análise com o método quase-estacionário concluiu-se que este sobrestima a temperatura de verão e subestima a temperatura de inverno da zona da habitação, desviando-se um pouco da realidade e produzindo resultados menos corretos. Após a reabilitação, as coberturas e as paredes exteriores do edifício têm um coeficiente de transmissão térmica inferiores aos máximos da legislação, no entanto para os vãos envidraçados o  $U$  é igual ou superior ao permitido legalmente. Os valores obtidos para as necessidades de aquecimento e arrefecimento foram 21.42 e 25.14 kWh/m<sup>2</sup>.ano respetivamente, o primeiro encontra-se abaixo do de referência e o segundo acima. O rácio energético obtido foi 0.77 e a classe energética B-. Um dos sistemas de climatização da habitação é uma BC cuja eficiência varia de acordo com a temperatura exterior, assim fez-se um pequeno estudo sobre a influência do COP neste rácio, do qual se concluiu que reduzir o rácio de 0.86 até 0.73 (quando o COP varia de 3 a 7), a classe energética muda para B a partir do COP igual a seis.

Com o *EnergyPlus* foram feitas quatro simulações: uma com alguns pressupostos semelhantes ao método quase-estacionário, de forma a se poder fazer algumas comparações simples entre métodos; a segunda e a terceira são as mais realistas (uma tem o intervalo de conforto estipulado pelos residentes da habitação e a outra tem um intervalo mais comum); a última simulação serviu apenas para estudar o comportamento térmico da casa e as suas temperaturas interiores sem climatização em duas semanas com condições extremas de inverno e verão e em duas semanas de meia estação. Neste caso apenas se estudou uma divisão por piso. Destas simulações concluiu-se que a segunda tem menos cargas de climatização porque apenas assume climatização nos horários de utilização de cada divisão e existe um aumento da segunda para a terceira porque o intervalo de temperaturas desejadas diminuiu. Do estudo das temperaturas interiores, verificou-se que conforme a maior exposição solar dos pisos, maior a temperatura a que se encontrava cada divisão e que tanto no inverno, como no verão devido às condições exteriores mais extremas a casa raramente se encontra com temperaturas dentro dos intervalos de conforto, exigindo climatização nessas alturas.

Da comparação dos dois métodos, foi possível observar discrepâncias nas cargas de aquecimento e arrefecimento, sendo a mais visível a da carga de aquecimento, que é muito superior no método quase-estacionário. Verificou-se que este método tem algumas desvantagens que são resolvidas na simulação dinâmica e que esta é muito mais complexa e completa que o método-quase estacionário. Conclui-se então que a simulação fornece resultados muitos mais próximos da realidade.

## Avaliação e melhoria do desempenho térmico na reabilitação de uma habitação familiar

Foram estudadas cinco melhorias: toldos nas janelas do piso superior apenas no verão, alteração de caixilharia de alumínio para PVC, aumento do EER do AC e instalação de painéis fotovoltaicos com uma potência de 5kWp e cinco coletores solares para substituir a BC no AQS. No método do REH verificou-se uma diminuição das necessidades de aquecimento e arrefecimento. A carga de arrefecimento foi a que teve uma diminuição mais acentuada, no entanto ainda se encontra acima da de referência. Foi possível passar para um rácio de 0.50 e com isto passar para a classe energética A, devido essencialmente à parcela de energia renovável produzida pelo sistema PV e pelos coletores solares para AQS, que ocupam uma zona que não teria outro uso. Devido ao sistema PV e os toldos a fazer sombreamento verificou-se que as temperaturas interiores diminuíram ligeiramente, aumentando um pouco a carga de arrefecimento, mas diminuindo mais a carga de aquecimento. No todo acabou por haver redução da climatização.

Sendo os edifícios grandes consumidores de energia é importante estudá-los de forma a poder reduzir esta parcela. Os dois métodos estudados têm as suas particularidades e diferenças, sendo usados com diversos fins. A simulação é mais completa e fiável e o método quase-estacionário baseia-se na legislação portuguesa, produzindo resultados bastante distintos. É importante apostar em mudanças da envolvente de forma a diminuir as necessidades energéticas, melhores equipamentos elétricos e de climatização para reduzir consumos e apostar no uso das renováveis.

## Referências Bibliográficas

- [1] Royal Institute of British Architects, “*Buldings Matter*” [Online]. Disponível em: <https://www.architecture.com/files/riaholdings/policyandinternationalrelations/policy/publicaffairs/buildingsmatter.pdf> consultado a 2/2/2017.
- [2] União Europeia - Diretiva 2012/27/EU Do Parlamento Europeu E Do Conselho De 25 De Outubro De 2012
- [3] Edifícios e Energia, “*Enerbuilding -Uma utilização eficaz da energia pode melhorar as casas e o ambiente.*” [Online]. Disponível em: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/enerbuiolding> consultado a 3/2/2017
- [4] Adene. (2014). *Implementation of the EPBD in Portugal: status in December 2014.*
- [5] JRC, “*Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps*” [Online]. Disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> consultado a 09/04/2017
- [6] Climate-Data.org, “*Clima: Cascais*”. [Online]. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/7051/> consultado a 10/04/2017
- [7] Gonzalez, F.J.N. (2004). *Arquitectura Bioclimatica En Un Entorno Sostenible. Ediciones Munilla-Lería.* Espanha.
- [8] dos Santos, C.A.P. e Matias, L. (2006). *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.* 2ª edição. LNEC. Lisboa.
- [9] Figueiredo, A., Kämpf, J. e Vicente, R. (2016). Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance. *Energy and Buldings.* **118**: 181-196.
- [10] House Plans Helper, “*Lighting Calculation*”. [Online]. Disponível em: <http://www.houseplanshelper.com/lighting-calculation.html> consultado a 23/08/2017
- [11] Portal Energia, “*Etiqueta de eficiência energética uma compra Inteligente*”. [Online]. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/etiqueta-da-eficiencia-energetica-uma-compra-inteligente/25/08/2017>
- [12] Ganhão, A.M.G.D. (2011). *Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 150pp.
- [13] Portal Solar, “*Quanto custa a energia solar fotovoltaica*”. [Online]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html> consultado a 27/09/2017
- [14] Portal Solar, “*Como preparar a sua construção para energia solar*”. [Online]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-preparar-a-sua-construcao-para-energia-solar.html> consultado a 27/09/2017

## Anexos

### Anexo 1: Coeficientes de transmissão térmica dos vãos opacos

Vão opaco	$U_{\text{obtido}} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$	$U_{\text{referência}} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$
Exterior	1.83	0.50
Interior	2.23	0.80

### Anexo 2: Coeficientes de transmissão térmica dos pavimentos térreos

Pavimento	$U_{\text{obtido}} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$	$U_{\text{referência}} \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$
Sala + Hall	0.50	0.50
WC	0.72	0.50

### Anexo 3: Coeficientes de transmissão térmica das PTL's exteriores

Tipo de Solução	$\Psi_{\text{solução}} \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$	$\Psi_{\text{referência}} \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$
Fachada com pavimentos térreos	0.80	0.50
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU	0.75	0.50
Fachada com varanda	0.55	0.50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0.50	0.40
Fachada com caixilharia	0.25	0.20
Zona de caixa de estores	0.30	0.20
Fachada com pavimento de nível intermédio	0.60	0.50

#### Anexo 4: Coeficientes de transmissão térmica de paredes interiores

---

<b>Tipo de solução</b>	<b><math>U_{\text{Solução}}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b><math>U_{\text{Máx}}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>Parede interior simples</b>	1.97	2.00

---

#### Anexo 5: Coeficientes de transmissão térmica de pavimentos interiores

---

<b>Tipo de solução</b>	<b><math>U_{\text{Solução}}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b><math>U_{\text{máximo}}</math> (W/m<sup>2</sup>.K)</b>
<b>PVI1</b>	1.59	1.65
<b>PVI2</b>	2.09	1.65
<b>PVI3</b>	2.04	1.65

---