

• C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Soluções de Elevada Eficiência Energética na Reabilitação de um Edifício de Habitação**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

**Autora**

**Sara Patrícia Marques Henriques**

**Orientador**

**Gonçalo Jorge Vieira Nunes Brites, Professor da Universidade de Coimbra**

**Coorientador**

**Nelson da Silva Brito, Arquiteto**

**Júri**

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

**Presidente**

**Engenheiro Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas**  
Professor da Universidade de Coimbra

**Engenheiro Gonçalo Jorge Vieira Nunes Brites**  
Professor da Universidade de Coimbra

**Coimbra, julho, 2015**

“To see what is in front of one’s nose needs a constant struggle.”

George Orwell, em *In Front of your Nose*, 1946.

Aos meus pais.

## Agradecimentos

Estes pequenos parágrafos que escrevo exprimem a imensa gratidão para com aqueles que, ao longo dos meus vinte e dois anos, marcaram positivamente e contribuíram para o meu sucesso académico.

Em primeiro, gostaria de agradecer ao Professor Gonçalo Brites, meu orientador da dissertação, por toda a amizade, disponibilidade, paciência e sabedoria demonstrada ao longo destes seis meses. Sem ele, a realização da minha dissertação teria sido muito mais complicada. Em segundo, agradeço ao meu coorientador, o Arquiteto Nelson Brito, por toda a ajuda demonstrada, pela disponibilização dos dados importantes da caracterização da habitação, que tornaram o início do meu trabalho mais facilitado e por todas as ideias que enriqueceram a dissertação.

Aos meus pais, Carlos e Rosa, pilares da minha vida, reconheço todo o esforço e carinho. Obrigada por me ensinarem a voar mais alto, sem nunca desistir dos sonhos, e por me possibilitarem ser a mulher que sou hoje. Agradeço também à Sofia, minha melhor amiga e irmã, assim como à restante família, sempre presente em todos os momentos, em especial ao meu tio Gabriel, por me ter disponibilizado o seu computador, quando eu pensava que as tecnologias informáticas me iam impedir de continuar a desenvolver a dissertação.

Por último, deixo um especial agradecimento a todas as pessoas magníficas que conheci em Coimbra nestes últimos cinco anos, por contribuírem com ótimas memórias, tendo sem dúvida um lugar especial no meu coração. Agradeço também aos meus amigos de infância, por estarem sempre presente e por fazerem parte da minha vida.



## Resumo

A presente dissertação consiste na análise energética e estudo do potencial de aplicação de equipamentos em pequena escala, que promovam a captação de energia produzida a partir de fontes renováveis, num edifício de habitação antigo, situado no centro histórico da cidade de Coimbra, na zona protegida pela UNESCO. Com esse intuito será utilizado o programa de simulação energética de edifícios *EnergyPlus* 8.3.

A realização de uma primeira simulação permite verificar a situação energética real da habitação, quando esta é utilizada apenas por dois ocupantes. Os dados iniciais, necessários para a modelação, centram-se no conhecimento dos seguintes parâmetros: soluções construtivas da habitação, envolvente externa, padrões de consumo e atividades dos ocupantes, iluminação artificial e natural, equipamentos elétricos e eletrónicos, sistemas de aquecimento das águas domésticas, aquecimento do ar, ventilação natural e artificial, entre outros.

A análise dos resultados desta simulação permite quantificar as diferentes formas do consumo energético, que ocorrem em cada hora do dia, ao longo de um ano. Estas são referentes ao consumo de energia elétrica e da água utilizada na habitação. A sua redução é possível, através da aplicação de estratégias de melhoria do desempenho energético. Estas estratégias são alcançadas pela utilização de isolamento térmico no exterior do edifício, através da aplicação de EPS, e em alguns dos pavimentos pela utilização de cortiça. A alteração das janelas existentes, a redução dos caudais de consumo de água sanitária, a eliminação de alguns consumos em “*Standby*” dos equipamentos elétricos, e a aplicação de medidas comportamentais a adotar por parte dos ocupantes, constituem outras medidas introduzidas numa nova simulação, e que possibilitam a redução do consumo energético previsto pela simulação inicialmente realizada.

Posteriormente são realizadas várias simulações com o intuito de se estudar e analisar a utilização de equipamentos em pequena escala que produzem energia a partir de fontes renováveis. Pretende-se que os valores energéticos obtidos permitam denominar o

edifício de “nearly Zero Energy Building” (nZEB), ou seja, que a energia por ele consumida seja igual ou aproximada à energia produzida através de fontes de energia renovável, apresentando assim um desempenho energeticamente sustentável, dando um pequeno contributo para que Portugal e a Europa alcancem as metas estabelecidas no Horizonte 2020 e no REBC 2050.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Energias Renováveis, nZEB, Conforto.

## Abstract

The present dissertation consists of the energy analysis, and the study on a small scale, of the potential equipment to be applied that can produce renewable energy, in an old residential building, located in the historic center of Coimbra, in an area protected by UNESCO. With this intent in mind, the simulation program *EnergyPlus* 8.3 will be used to assess the energy consumption.

The first simulation set allows us to verify the actual energy situation of the house with two occupants and at a point where no energy consumption strategy was applied. The initial data, needed for modeling, focusses on the awareness of the following parameters: construction solutions applied to the building, the external environment, consumer habits and activities of the occupants, artificial and natural lighting, electrical and electronic equipment used, heating water and air systems, and natural and artificial ventilation processes, among others.

By examining the simulation results, it is possible quantify the different types of energy consumption which occur at different times of the day, over a period of a year. These results are associated with the consumption of electricity and water used in the building. A reduction is possible through the application of energy performance improvement strategies. These are achieved through the use of an outer insulation of the building using EPS and on some flooring with cork layer, the modification of the existing windows, and changes in the behavior attitude to be taken by the occupants. These measures, when introduced in a new simulation, allow for a reduction of the energy consumption of the initial simulation.

Subsequently, several more simulations are carried out in order to study and investigate the use of small scale devices for the production of energy from renewable sources. It is intended that the energy values obtained may permit labelling the building "nearly Zero Energy Building" (nZEB), this means that the energy consumption will equal or be almost equivalent to the energy produced from renewable energy sources. The result

should represent an energy sustainable performance thus giving a small contribution to Portugal and Europe's goals set in the Horizon 2020 and REBC 2050.

**Keywords:** Energy Efficiency, Renewable Energy, nZEB, Comfort.

---

## Índice

Índice de Figuras .....	xi
Índice de tabelas .....	xiii
Simbologia e siglas .....	xvii
Simbologia .....	xvii
Siglas .....	xix
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento e motivação .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodologia .....	4
1.4. Estrutura da dissertação .....	5
2. ESTADO DA ARTE .....	9
2.1. Edifícios habitacionais de elevada eficiência energética .....	9
2.1.1. Geração de energia eficiente .....	10
2.1.1.1. Energia solar fotovoltaica .....	10
2.1.1.2. Sistemas solares térmicos .....	11
2.1.1.3. Sistemas de micro cogeração .....	13
2.1.1.4. Energia eólica .....	14
3. MODELO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL .....	15
3.1. Edifício habitacional em estudo .....	16
3.1.1. Envolvente externa, pavimentos, coberturas, portas, janelas e portadas .....	17
3.1.2. Cargas internas da habitação .....	21
3.1.2.1. Ocupantes .....	21
3.1.2.2. Iluminação artificial .....	22
3.1.2.3. Equipamentos elétricos e eletrónicos .....	23
3.1.3. Ventilação natural .....	25
3.1.4. Sistema de climatização e produção de água quente sanitária .....	27
3.1.4.1. Sistema de aquecimento de águas sanitárias .....	27
3.1.4.2. Sistema de aquecimento do ar ambiente .....	28
3.2. Resultados da simulação inicial .....	29
3.2.1. Medidas de diminuição dos consumos .....	32
3.2.1.1. Isolamento térmico .....	32
3.2.1.2. Vidro duplo .....	35
3.2.1.3. Caudal de água .....	36
3.2.1.4. Equipamentos eléctricos e eletrónicos .....	37
3.2.1.5. Iluminação .....	37
3.2.1.6. Resultados finais .....	38

4. MODELO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EFICIENTE.....	41
4.1. Sistema fotovoltaico .....	41
4.2. Sistema solar térmico .....	44
4.3. Sistema de micro cogeração .....	47
4.4. Turbina eólica.....	50
4.5. Sistema fotovoltaico e solar térmico .....	54
4.6. Sistema fotovoltaico e micro cogeração.....	57
5. CONCLUSÃO.....	61
5.1. Sugestões para trabalho futuro .....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
ANEXO A .....	74
Especificidades dos materiais de construção.....	75
ANEXO B .....	81
ANEXO C .....	83
APÊNDICE A .....	84
APÊNDICE B.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação energética de um edifício nZEB adaptado de (Deng, S., Wang, R. Z., e Dai, Y.J., 2014), e de (Santori, I. <i>et al.</i> , 2010). .....	9
Figura 3.1- Vista panorâmica da habitação em estudo, localizada em Coimbra, Portugal (Brito, N. <i>et al.</i> , 2015) .....	16
Figura 3.2 - Representação do alçado principal da habitação, no <i>Sketchup</i> 2015 .....	17
Figura 3.3 - Representação do alçado secundário da habitação, no <i>Sketchup</i> 2015 .....	18
Figura 3.4 – Consumos energéticos mensais para cada tipo de energia .....	30
Figura 3.5 - Percentagens do consumo energético total ao longo do ano .....	31
Figura 3.6- Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras dos isolamentos vertical em EPS .....	34
Figura 3.7-Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras dos isolamentos horizontais em cortiça .....	34
Figura 3.8 - Consumos energéticos mensais para cada tipo de energia depois de efetuadas as melhorias .....	39
Figura 4.1 – Valores energéticos associados à produção de energia renovável fotovoltaica na habitação e ao consumo de energia elétrica da rede nacional, ao longo de um ano .....	43
Figura 4.2- Consumos energéticos mensais, quando existe ou não coletor solar .....	46
Figura 4.3- Gráfico que relaciona a potência produzida na turbina com a velocidade do ar, e o número total de horas em que uma determinada velocidade se faz .....	51
Figura 4.4 – Imagem da habitação obtida no <i>Sketchup</i> , quando se simula cinco coletores fotovoltaico com um coletor solar térmico .....	54
Figura 4.5- Gráfico comparativo dos valores do consumo energético para quatro sistemas: situação inicial, solar térmico com fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico .....	56
Figura 4.6- Gráfico comparativo dos valores do consumo energético para quatro sistemas: situação inicial, micro cogeração fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico .....	58
Figura C 1.1 –Gráfico da potencia produzida na turbina LE-450 (Leading Edge, 2014)) .....	83
Figura B 2.1- Esquema do circuito de aquecimento da água doméstica utilizado na habitação .....	90
Figura B 2.2- Esquema do circuito de aquecimento da água doméstica utilizado na	

habitação através da utilização de coletores solares  
térmicos.....91

Figura B 2.3- Esquema do circuito de aquecimento da água doméstica e do ar ambiente da  
habitação através do sistema de micro cogeração .....92

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Valores de U para as várias envolventes externas, pavimentos, portas, janelas e portadas do edifício e suas respectivas localizações .....	20
Tabela 3.2 – Número e tipo de lâmpadas e respectivas potências, em cada piso da habitação .	23
Tabela 3.3 – Equipamentos elétricos e respectivas potências existentes na habitação .....	24
Tabela 3.4 - Requisitos de qualidade do ar interior (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto de 2013).....	25
Tabela 3.5 – Características do fluxo de ar (Pereira, H. <i>et al.</i> 2013).....	27
Tabela 3.6- Consumos de energia na habitação por mês e respetivos custos.....	30
Tabela 3.7 – Consumos de água [m <sup>3</sup> ] para cada mês do ano e respetivo custo [€] .....	32
Tabela 3.8- Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras dos isolamentos .....	33
Tabela 3.9- Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras do vidro que constitui as janelas da habitação .....	36
Tabela 3.10 -Somatório dos consumos e custos da água quente utilizada na habitação e a respetiva energia necessária para o seu aquecimento, durante um ano .....	37
Tabela 3.11 – Consumos de energia na habitação por mês e respetivos custo, para a situação global de melhoria energética.....	38
Tabela 3.12 – Consumos mensais de energia na habitação, quando se aplicam medidas que promovem a diminuição dos consumos energéticos anteriormente existentes .....	39
Tabela 3.13 – Consumos de água com medidas de melhoria aplicadas [m <sup>3</sup> ] para cada mês do ano e respetivo custo [€].....	40
Tabela 4.1- Valores energéticos associados à produção de energia renovável fotovoltaica na habitação, ao longo de um ano, assim como os custos e os lucros que estão associados à utilização e venda da energia fornecida pela rede nacional .....	42
Tabela 4.2 - Consumos energéticos destinados ao aquecimento da água, quando se utiliza ou não coletor solar e os consumos totais mensais .....	46
Tabela 4.3 – Produção e consumos energéticos associados à utilização de micro cogeração .	49
Tabela 4.4- Valores necessários ao cálculo da energia eólica produzida na habitação .....	51
Tabela 4.5 – Valores pertinentes para o cálculo do retorno do investimento quando se utiliza uma turbina eólica .....	51
Tabela 4.6- Valores resultantes da aplicação de uma turbina na habitação e a respetiva potência elétrica calculada sem o programa da simulação <i>EnergyPlus 8.3</i> .....	53

Tabela 4.7 -Consumos energéticos quando se aplicam coletores solares térmicos e coletores fotovoltaico na habitação.....	55
Tabela 4.8 – Consumos energéticos referentes a quatro sistemas simulados: situação inicial, solar térmico com fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico.....	56
Tabela 4.9 -Consumos energéticos quando se aplica a cogeração e coletores fotovoltaico na habitação.....	57
Tabela 4.10 – Consumos energéticos referentes a quatro sistemas simulados: situação inicial, micro cogeração com fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico .....	58
Tabela A 1.1 - Características das soluções construtivas.....	74
Tabela A 1.2 - Valores da condutividade térmica (k) de cada material, pertencente as soluções construtivas, das fontes Cengel Y. A., (2008), Cengel, (2015) e ITE50, (2006).....	78
Tabela A 1.3 - Valores da densidade ( $\rho$ ) de cada material, pertencente as soluções construtivas, das fontes Cengel Y.A.(2008), Cengel,(2015) e ITE50, (2006).....	78
Tabela A 1.4 - Valores do calor específico ( $c_p$ ) de cada material, pertencente as soluções construtivas, das fontes (Cengel Y. A., 2008), (ITE50, 2006), (Cengel T. H., 2015) e (Frade, J e Paiva, A. 2006).....	79
Tabela A 1.5 - Dados caracterizantes das soluções construtivas no nomeadamente o valor de U de Rsi e Rsee para cada material o valor característico de $\epsilon$ , k, $\rho$ , Rj, e CP.....	80
Tabela B 1.1 – Dados caracterizantes do EPS utilizado no isolamento externo, obtidos em Cengel, (2015) e ITE50, (2006).....	81
Tabela B 1.2 – Valores de U para as soluções construtivas quando se aplica isolamento vertical e horizontal.....	82
Tabela C 1.1 - Número de horas em que se verificou uma determinada velocidade do vento (m/s) na estação meteorológica da cidade de Coimbra (IWEC, 2012).....	83
Tabela A 2.1 – Fração de ocupação do piso 00 e 01 ao longo do ano.....	84
Tabela A 2.2 – Fração de ocupação do piso 02 ao longo do ano.....	85
Tabela A 2.3 – Fração de iluminação utilizada no piso 00 e piso 01.....	85
Tabela A 2.4 – Fração de iluminação utilizada no piso 02.....	86
Tabela A 2.5 – Fração de utilização dos equipamentos elétricos e eletrónicos no piso 00 e piso 01.....	86
Tabela A 2.6 – Fração de utilização dos equipamentos elétricos e eletrónicos no piso 02.....	87

Tabela A 2.7 – Perfil de utilização da AQ no lavatório e no chuveiro .....87

Tabela A 2.8 – Perfil de utilização da AQ na cozinha e para a máquina de lavar a roupa....88

Tabela A 2.9 – Fração de utilização do sistema de aquecimento nos pisos 01 e 02.....89



---

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

€ - euros

°C- Graus Celsius

A – Intensidade da corrente elétrica [Ampere]

Bq/m<sup>3</sup> - Becquerel por metro cubico

CO<sub>2</sub> eq/hab – Dióxido de carbono equivalente por habitante

Cp - Calor especifico [J/kg.K]

K - Condutividade Térmica [W/(m.°C)]

kg/s – Quilograma por segundo

kWh - Quilowatt hora

L - litros

L/s - Litros por segundo

m – Metro

m/s - Metro por segundo

m<sup>3</sup>/s - Metro cúbico por segundo

m<sup>3</sup>/W.s – Metro cúbico por watt segundo

mg/m<sup>3</sup> - Miligrama por metro cubico

mm - Milímetro

ppm – Partes por milhão

Qcond - Transferência de calor por condução [W]

Rj - Resistência térmica do elemento j [m<sup>2</sup>.°C/W]

R<sub>se</sub> - Resistência térmica superficial externa [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

R<sub>si</sub> - Resistências térmica superficial interna [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

tep - Tonelada equivalente de petróleo

U – Coeficiente de transferência de calor [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

V – Diferença de potencial elétrico [Volt]

W - Watt

W/m<sup>2</sup> – Watt por metro quadrado

$\rho$  - Densidade do elemento [kg/m<sup>3</sup>]

## Siglas

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

AQS - Água Quente sanitária

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*

BP - British Petroleum

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CP - Coeficiente de pressão

CST – Coletores solares térmicos

DEE - Desempenho energético de edifícios

DEEU – Departamento de Energia dos Estados Unidos

EPS - Poliestireno expandido moldado

ER – Energias renováveis

FV – Fotovoltaico

GEE - Gases de efeito de estufa

INE - Instituto Nacional de Estatística

ITE50 - Informação Técnica de Edifícios

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NOCT - *Nominal Operating Cell Temperature*

NREL - *Nacional Renewal Energy Laboratory*

NUTS III - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estáticos 3

nZEB - *nearly Zero Energy Building*

OMIE - Operador de Mercado Ibérico de Energia

OMS - Organização Mundial de Saúde

QAQ – Caudal de água quente

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REBC 2050 - Roteiro Europeu do Baixo Carbono 2050

UE - União europeia

UE28 – 28 Estados-membros da União Europeia

UFC - Unidades Formadoras de Colónias

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento e motivação

A União Europeia (UE) tem na sua vanguarda enormes desafios ambientais. Ao longo dos últimos dois séculos o profundo desenvolvimento industrial, tecnológico e social das populações promoveu o crescimento e a evolução, de modo a que hoje tenhamos um elevado nível de qualidade de vida. No entanto, o crescimento e o conforto estão intrinsecamente relacionados com o consumo intensivo de energia, proveniente maioritariamente de origem fóssil. Este consumo inconsciente contribui para o aumento das temperaturas no planeta, devido à intensificação do efeito de estufa na atmosfera, o qual é provocado pelas elevadas emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

Com o intuito de melhorar a situação económica e ambiental existente, a UE estabeleceu planos a longo prazo, que possibilitam o crescimento económico de forma sustentável e mais eficiente. Estes objetivos serão possíveis de alcançar através da redução da utilização dos recursos naturais, da diminuição das importações de energia em virtude da utilização de energia renovável (ER), permitindo assim a resolução dos vários problemas relacionados com as alterações climáticas.

Neste conceito enquadra-se a estratégia Europeia, conhecida por Horizonte 2020. A Diretiva 2012/27/UE de 14 de novembro de 2012 estabelece que, até ao ano 2020 sejam atingidas as seguintes metas:

- redução das emissões de GEE em 20%, face aos níveis medidos de em 1990 (o valor de CO<sub>2</sub> registado nesse ano foi de 354,27 ppm, em 2014 o seu valor foi de 398,55 ppm (NOAA, 2015));
- aumento de 20% no consumo energético proveniente de fontes de ER no cabaz (mix) energético da UE;
- melhorar em 20% a eficiência energética.

Esta diretiva contribui também para a realização dos objetivos estabelecidos no Roteiro Europeu Baixo Carbono 2050 (REBC 2050), reformulado pela APA (2015), no qual os países desenvolvidos deverão, até ao ano 2050, proceder à redução de 80 a 95% dos GEE, em comparação com os níveis medidos em 1990. No entanto, para Portugal, segundo uma análise efetuada pelo Conselho de Ministros, que consta no Diário da Republica n.º 93/2010, de 26 de Novembro, apenas se prevê uma possível redução global de emissões na ordem de 50 a 60%, em relação ao ano estipulado que consta no REBC, mas que ainda assim permitirá alcançar uma redução de 2 toneladas de dióxido de carbono equivalente por habitante (CO<sub>2</sub> eq/hab). Se todos os requisitos forem cumpridos, a Europa apresentará uma “Economia Hipocarbónica Competitiva” (Comissão Europeia, 2011), com baixos consumos de energia primária e com menores emissões de GEE, promovendo a eficiência energética de forma a gerar impactes menos significativos no clima e atenuar as alterações climáticas.

Segundo a publicação INE, (2013a), no ano 2013 o setor doméstico foi responsável por 26.2% do consumo de energia final nos UE28. Em Portugal, no mesmo ano, o consumo de energia final foi de 17.3%, dos quais 27.2% correspondem ao consumo final de eletricidade. Quando se analisa o consumo de energia final de todo o tipo de edifícios, constata-se que estes representam 40 % do consumo total na Europa, o que equivale a 36% das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera por parte dos UE28 (European Commission, 2015). Em Portugal este consumo equivale a 30% (DGEG, 2015a). Porém, é neste setor que se encontra o maior potencial de poupança de energia, uma vez que, segundo uma análise efetuada pela Comissão Europeia (2011), se prevê que seja possível reduzir as suas emissões em cerca de 90 %, até 2050.

Em 2013, existiam em Portugal 3 581 843 edifícios de habitação familiar clássica (PORDATA, 2014), o que corresponde a um aumento de 0,3% face ao ano anterior (INE, 2013b). Dos imóveis existentes hoje, 75% ainda estará em utilização em 2050 (BPIE, 2014). Estes valores demonstram a importância que deve ser dada aos edifícios habitacionais de modo que, a UE alcance as metas propostas para a eficiência energética em 2050.

Neste contexto, a presente dissertação enquadra-se no estudo e avaliação de propostas de melhoria do desempenho energético de um edifício de habitação existente, uma vez que os novos edifícios podem ser construídos com performances energéticas

muito elevadas e com baixos consumos energéticos. Com esse intuito pretende-se que o edifício em estudo seja do tipo nZEB.

## **1.2. Objetivos**

Pretende-se com a presente Dissertação de Mestrado, contribuir para realização das metas estipuladas pela UE, nomeadamente o Horizonte 2020 e REBC 2050. Para tal serão analisadas e propostas soluções que promovam a elevada eficiência energética nos edifícios existentes e que impulsionem a utilização de ER, diminuindo as emissões de GEE, tendo sempre em consideração as necessidades de conforto associadas à sua utilização. Os objetivos propostos encontram-se descritos seguidamente:

- Realização de um modelo de simulação energética, para a situação real em que se encontra a habitação, sem nenhum tipo de melhoria aplicado, utilizando os programas informáticos EnergyPlus 8.3, SketchUp 2015 e OpenStudio 1.6. A realização da simulação implica o conhecimento das soluções construtivas, da envolvente externa, do padrão de utilização dos ocupantes, do tipo de equipamentos elétricos e eletrónicos existentes, da iluminação natural e artificial, dos sistemas de ventilação natural ou mecânica, dos sistemas de aquecimento do espaço ambiente, dos sistemas de aquecimento da água sanitária e do ar, e outros que se achem pertinentes.
- Análise dos resultados fornecidos pelo modelo de simulação criado, nomeadamente, os consumos energéticos correspondentes à iluminação, aos equipamentos e ao aquecimento de água sanitária, os consumos de água quente e fria.
- Aplicação de estratégias que promovam a diminuição dos consumos energéticos na habitação, com o intuito de atingir mais facilmente a denominação de nZEB.
- Realização de novas simulações que permitem o estudo da aplicação de soluções, que promovam a produção de energia proveniente de fontes

renováveis, através de equipamentos de pequena escala, alcançando assim a eficiência energética no edifício.

- Verificação de todas as estratégias de melhoria de eficiência energéticas aplicadas no edifício e respetivas conclusões;

### 1.3. Metodologia

Os métodos necessários para a realização desta dissertação, são maioritariamente a utilização dos programas de simulação energética *EnergyPlus* 8.3, o *OpenStudio* 1.6 e o programa de desenho *SketchUp* 2015.

Segundo Crawley, D.B. *et al.* (2000), os métodos de simulação energética em edifícios foram criados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DEEU), nos anos 60. Com o contínuo crescimento tecnológico e com a melhoria dos métodos de análise computacional foi possível aperfeiçoar e tornar mais flexíveis estes programas. O DEEU em 1995, utilizando as melhores funcionalidades dos programas DOE-2 e BLAST, planeou e criou uma nova geração de ferramentas que permitem a simulação (Crawley, D.B. *et al.*, 2000). A denominação dada foi *EnergyPlus*. Esta ferramenta possui capacidades inovadoras de simulação, pois possibilita a introdução de modelos detalhados de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, entre outros fluxos de energia, assim como o consumo de água da habitação, permitindo integrar, por exemplo, os sistemas fotovoltaicos solares (Department of Energy, 2015a). O programa calcula os resultados tendo em consideração o equilíbrio das zonas térmicas, as trocas de calor por condução radiação e convecção, os balanços de fluxo de massa, nomeadamente da ventilação e infiltrações de ar e da ventilação natural.

Como dados de entrada é também necessário considerar que, o *EnergyPlus* requer os dados de caracterização do clima da região. Estes incluem as componentes da radiação solar (radiação solar no exterior da atmosfera terrestre, radiação direta e radiação difusa horizontal), as temperaturas médias do ar exterior e do solo, a velocidade do vento, entre outros. A localização da habitação (latitude, longitude e elevação) também constitui um dos dados de entradas importantes para a correta simulação, assim como o conhecimento das cargas internas que os ocupantes, os equipamentos elétricos e eletrónicos e o sistema de iluminação exercem em cada uma das zonas térmicas existentes.

A introdução das coordenadas espaciais que definem as várias zonas térmicas da habitação pode ser facilmente conseguida através da utilização do programa informático *SketchUp*. Este permite criar a habitação em estudo em três dimensões. A utilização de um módulo de extensão, designado *Openstudio*, permite converter o formato criado pelo *SketchUp* para o formato utilizado pelo programa de simulação *EnergyPlus*.

Com o conhecimento de todas estas variáveis de entrada é possível simular o edifício e obter, para um determinado intervalo de tempo à escolha, a caracterização energética da habitação.

## **1.4. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação é constituída por seis capítulos, três anexos e dois apêndices. A sua divisão está relacionada com os vários conteúdos abordados, possibilitando ao leitor a sua fácil identificação.

No presente capítulo, a “INTRODUÇÃO” encontra-se o enquadramento da situação atual europeia, face as normas e legislação existentes para alcançar as metas estabelecidas, nomeadamente o Horizonte 2020 e REBC 2050. Nele estão também presentes os dados estáticos que caracterizam o setor imobiliário atual e futuro, assim como os seus consumos energéticos e as emissões consequentes de GEE na atmosfera. Todos estes dados, detalhadamente descritos, contribuem para a motivação da realização da dissertação, com vista à resolução dos problemas enunciados, possibilitando a denominação do edifício em estudo de nZEB. Para tal ser possível estão também descritos os objetivos e a metodologia utilizada.

No segundo capítulo encontra-se o “ESTADO DA ARTE”. Aqui consta uma definição do conceito nZEB, assim como os pressupostos necessários para que o edifício em estudo atinja tal designação. Estes são principalmente a utilização de energia renovável obtida a partir da energia solar, do vento, assim como da energia obtida pela utilização de gás natural.

O “MODELO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL” constitui o terceiro capítulo. Nele está compreendida uma descrição minuciosa dos aspetos característicos da envolvente externa e interna da habitação e dos padrões diários dos dois hipotéticos ocupantes. Os sistemas de iluminação artificial existentes na habitação, os

equipamentos elétricos e eletrônicos utilizados e o processo de ventilação natural também integram este capítulo, de modo a se obterem resultados fidedignos na simulação energética. Com os resultados obtidos para os vários tipos de consumos estão também enunciadas várias possibilidades de melhoria destes consumos, e os resultados dessas medidas idealizadas.

No quarto capítulo, “MODELO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EFICIENTE”, encontra-se toda a informação que permitiu simular os vários sistemas de produção energética eficiente, no programa de simulação energética *EnergyPlus* 8.3, nomeadamente a utilização de painéis fotovoltaicos, de coletores solares térmicos, de turbinas eólicas e de cogeração.

No capítulo cinco encontra-se a “CONCLUSÃO” desta dissertação. Aqui está presente uma descrição dos objetivos propostos e atingidos, as principais dificuldades encontradas durante a sua realização, e os resultados alcançados para cada tipo de produção de energética realizada. Encontra-se também uma lista de sugestão para a realização de possíveis temas a desenvolver no futuro e que se relacionam com a dissertação.

O capítulo seis constitui as “REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS”, na qual estão presentes, devidamente ordenadas, todas as referências citadas e utilizadas no enriquecimento da dissertação.

O “ANEXO A” contém toda a informação importante que permite caracterizar as soluções construtivas da habitação e as propriedades dos vários materiais que as constituem.

O “ANEXO B”, apresenta a mesma informação que o capítulo anterior, mas para os materiais isolantes, utilizados na redução dos consumos da simulação energética.

O “ANEXO C”, é destinado aos dados da produção de energia eólica, como a velocidade do vento e a potência da turbina.

O “APÊNDICE A” contém informação detalhada sobre os valores utilizados nas simulações que caracterizam as frações de ocupação, de iluminação, de utilização dos equipamentos elétricos e eletrônicos, os perfis de utilização de AQS e de aquecimento do ar interior da habitação, ao longo de um ano.

O “APÊNDICE B” compreende os esquemas de aquecimento do circuito de AQS quando o aquecimento é efetuado por resistências elétricas, por coletores solares térmicos ou por micro cogeração.



## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Edifícios habitacionais de elevada eficiência energética

Um edifício habitacional energeticamente sustentável, que apresente elevada eficiência energética é denominado por nZEB. Este conceito define que, a quantidade de energia por eles consumida, ao longo do ano, seja igual ou aproximada à quantidade de energia que produzem no mesmo período de tempo, como mostra a Figura 2.1. Segundo Marszal, A.J. e Heiselberg, P. (2011), as necessidades energéticas são alcançadas através de soluções tecnológicas que utilizam maioritariamente ER produzidas nas proximidades do local. No Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto estes edifícios são denominados por edifícios com necessidades quase nulas de energia e com um desempenho energético muito elevado.

Os autores Deng, Wang, e Dai (2011), demonstram que estes edifícios representam um conceito inovador e que constituem ótimas soluções na resolução dos problemas energéticos sentidos na EU e no resto do mundo, contribuindo para a proteção do ambiente, devido à consequente diminuição de CO<sub>2</sub> gerado no funcionamento destes edifícios.

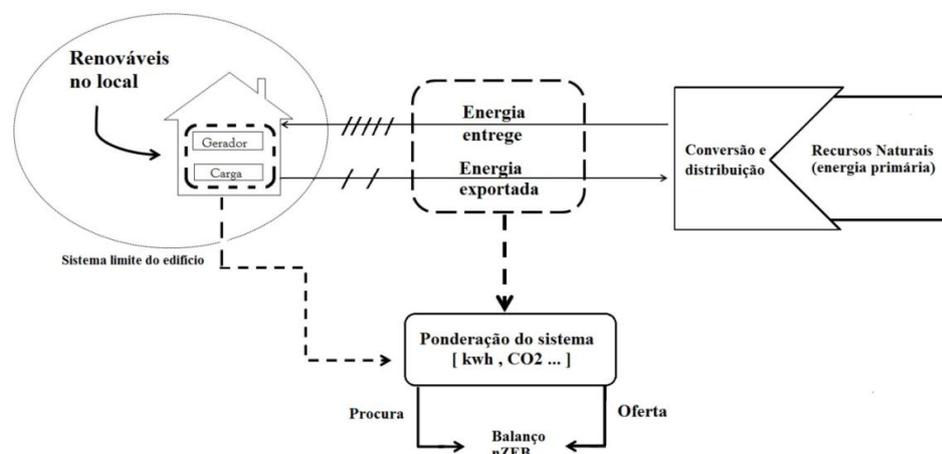


Figura 2.1 - Representação energética de um edifício nZEB adaptado de (Deng, S., Wang, R. Z., e Dai, Y.J., 2014), e de (Santori, I. *et al.*, 2010).

Estes edifícios têm em comum alguns aspetos de eficiência energética, tais como: a geração de energia a partir de fontes renováveis; sistemas eficientes de ventilação, aquecimento e arrefecimento do ar; sistemas de aquecimento das águas domésticas; sistemas de iluminação; utilização do *design* passivo, no qual existe um bom isolamento térmico da envolvente (Thomas, W.D. e Duffy, J.J., 2013).

### **2.1.1. Geração de energia eficiente**

As tecnologias de produção de ER que se encontram nos edifícios nZEB utilizam recursos naturais como o sol, o vento, a biomassa, a água e por vezes o calor geotérmico. Os tipos de sistemas a estudar podem ser: fotovoltaicos (FV), sistemas de aquecimento de águas sanitárias (AQS) ou outros que utilizem coletores solares térmicos, sistemas com equipamentos de cogeração, microturbinas eólicas, bombas de calor geotérmicas, células de combustível, entre outros.

Alguns destes sistemas de produção de ER, encontram-se detalhadamente descritos nos subcapítulos seguintes. O seu conhecimento e a consequente aplicação no modelo de simulação permite alcançar os objetivos propostos para a dissertação.

#### **2.1.1.1. Energia solar fotovoltaica**

Uma parcela da energia que utilizamos chega até nós a partir do maior astro do nosso sistema solar, o sol.

Segundo o autor Sá, A.F.R. (2010), a fusão nuclear que ocorre no sol, liberta uma imensa quantidade de energia, que é transmitida para o exterior deste por irradiação sob a forma de ondas eletromagnéticas. Quando esta radiação atinge o planeta, as partículas com carga elétrica, que compõem os átomos e as moléculas, retiram energia às ondas eletromagnéticas, possibilitando assim as condições necessárias para que um determinado objeto aqueça ao sol.

As células fotovoltaicas são constituídas por materiais semicondutores como o silício (segundo elemento mais abundante na crosta terrestre), o arsenieto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio (GREENPRO, 2014). As células do tipo silício cristalino representam mais de 80% do mercado da energia dos coletores solares

fotovoltaicos, e de acordo com as previsões da Agencia Internacional da Energia esta proporção será mantida em 50% no ano de 2020 (Tan, L. *et al.*, 2014).

A produção de energia elétrica é possível devido ao fenómeno que ocorre nas células FV. Esta tecnologia, que utiliza o efeito fotovoltaico, foi descoberta pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel, em 1839 (Fralk, A. *et al.*, 2006). O polo positivo e negativo, que constituem a célula, ao serem atingidos pela luz solar, irão absorver a energia dos fotões. Se a energia que atinge a célula for superior à energia intrínseca característica da sua banda, é possível provocar a libertação de um eletrão da camada de valência. Este deslocar-se-á para o polo negativo, deixando uma lacuna (falta de eletrões) no polo positivo. A circulação destes eletrões é promovida pela força eletromotriz que cria uma corrente elétrica no sistema (Honsberg, C. e Bowden, S. 2013).

Quando o consumo energético é baixo e existe uma elevada produção de energia elétrica é necessário fornecer a energia em excesso à rede. Para realizar esta operação é necessário um inversor, que converte a corrente contínua, produzida nos módulos que constituem o gerador, para corrente alternada, de forma a ser possível a fornece-la à rede (Honsberg, C. e Bowden, S. 2013).

A utilização deste tipo de produção de energia constitui uma fonte inesgotável, limpa, gratuita e de elevada fiabilidade. No entanto acarreta algumas desvantagem devido as irregularidades de incidência da luz solar durante o dia, a não produção durante a noite e possíveis sombreamentos, sendo necessário instalar equipamentos adicionais de conversão e armazenamento da eletricidade produzida.

#### **2.1.1.2. Sistemas solares térmicos**

O sistema de captação solar térmico é constituído por um ou mais coletores solares térmicos. Estes coletores são geralmente caixas planas construídas em alumínio, isoladas termicamente na face inferior e dos lados. A face superior exposta à radiação solar possui uma superfície absorvora, normalmente construída em folha de cobre com um revestimento seletivo, que fica coberto por um vidro especial. A radiação solar é convertida em calor na placa absorvora, sendo este calor transferido para o fluido térmico, que circula por um conjunto de tubos soldados na placa absorvora. O vidro do coletor solar apresenta importantes propriedades no que respeita à absorção da radiação solar. É opaco à radiação infravermelha, impedindo o calor absorvido pela placa absorvora de sair novamente pelo vidro. Este processo é similar ao chamado efeito de estufa, permitindo

umentar significativamente a eficiência dos coletores, relativamente a um coletor solar sem vidro. As desvantagens deste processo estão relacionadas com as perdas de energia por convecção do vento que circula sobre a superfície do coletor, por condução dos materiais que estão em contacto com o coletor e por irradiação para o exterior a partir da superfície do coletor (Sá, A. F. R., 2010).

O aquecimento da água para uso doméstico é feito maioritariamente através de dois tipos de sistemas solares: sistemas de circulação forçada e sistemas de circulação natural por termossifão.

Os sistemas de circulação forçada necessitam de uma bomba que impulse o fluido térmico e de um tanque vertical onde são acumuladas as AQS. Este tanque permite armazenar a água aquecida quando existe maior incidência solar e quando não há consumo. É necessário também, para o bom funcionamento do sistema, um controlador do sistema solar que liga e desliga a bomba em função das temperaturas do coletor e do depósito, uma válvula de mistura para garantir a segurança dos utilizadores (evitar queimaduras), e ainda válvulas de segurança, degasificadores, vasos de expansão, permutadores de calor e um fluido térmico constituído geralmente por uma mistura de água com anticongelante (Fabrizio, E. *et al...*, 2014). Caso a disponibilidade solar seja baixa, pode ser necessário recorrer a um sistema de apoio, que aquece a água através de uma resistência localizada no interior do tanque, ou através de um permutador. As vantagens deste sistema são a maior eficiência e o facto de o depósito de água poder ser colocado em qualquer local, no entanto este sistema é mais complexo e mais caro. (Sá, A.F.R., 2010).

Os sistemas do tipo circulação natural por termossifão utilizam a diferença de densidades do fluido térmico para transferir calor do coletor solar para o depósito de AQS, sendo geralmente usado um permutador de camisa. Em alguns casos pode ser a própria AQS a circular pelo coletor, no entanto esta situação não é atualmente muito utilizada devido ao aparecimento de incrustações de carbonato de cálcio nas tubagens do coletor e ao risco de rotura dos tubos do coletor quando ocorre congelamento da água no inverno. Este sistema é mais simples que o descrito anteriormente, uma vez que o depósito de água se localiza na parte superior do coletor, não sendo necessária a utilização de bombas, uma vez que a circulação da água ocorre por convecção natural, devido à diferença de densidades entre a água fria e a água quente (Department of Energy, 2014a).

---

As vantagens da utilização deste sistema são a sua simplicidade, e preço mais baixo. No entanto, a eficiência deste tipo de sistemas é bastante inferior.

### **2.1.1.3. Sistemas de micro cogeração**

A cogeração é um processo de produção combinada de energia térmica e de energia elétrica, num sistema integrado, a partir de uma única fonte de energia (Sá, A.F.R., 2010). As indústrias de grandes dimensões utilizam este processo com o objetivo de obterem a energia para a realização das suas atividades de forma eficiente. A energia elétrica pode ser produzida num gerador, sendo possível aproveitar eficazmente o calor produzido, para o processo industrial em causa, para o aquecimento da água e/ou do espaço ambiente interior, podem ainda ser utilizado para arrefecimento (trigeração). Nestes sistemas é ainda possível utilizar vários tipos de tecnologias, que se distinguem consoante o tipo de máquina térmica existente. Podem ser utilizadas turbinas a gás, a vapor, ou ainda motores de explosão alternativos ou de combustão interna, ou pilhas de combustível. Atendendo novamente ao autor Sá, (2010), é possível constatar que este tipo de sistema de produção de energia pode alcançar ganhos de eficiências na ordem dos 75%, em comparação com os processos antigos, em que a produção de eletricidade estava separada da produção de calor.

O sistema de produção energética, descrito no parágrafo anterior, apenas faz sentido quando existem consumos muito elevados de energia elétrica e térmica. Para a habitação em estudo e em situações cujo consumo é inferior a  $15\text{kW}_{\text{el}}$ , Simader *et al.* (2006) consideram que, a produção energética pode ser feita com recurso à chamada micro cogeração. As diferenças existentes são descritas como substanciais em relação à produção em larga escala, distinguindo-se essencialmente a distribuição de eletricidade, as propriedades do modelo, o tipo de abastecimento e o tipo de consumo. A estas diferenças estão associadas algumas vantagens em relação ao sistema anterior. Segundo a fonte consultada, estas estão relacionadas com a produção eficiente integrada de energia elétrica juntamente com calor, possibilitando assim a poupança de combustível, dos custos elétricos e também a consequente diminuição de GEE.

De acordo com o Decreto-Lei nº 363/2007, de 2 de novembro, a produção de eletricidade de baixa tensão, com incentivos à utilização de recursos endógenos e renováveis, ou a produção combinada de calor e eletricidade, prevê-se que a eletricidade

produzida seja predominantemente destinada ao consumo próprio sendo o excedente, com o limite de 150kW de potência, ser possível de ser entregue à rede pública.

#### **2.1.1.4. Energia eólica**

A produção de energia elétrica com recurso à energia eólica representa o aproveitamento da energia cinética contida no ar em movimento, devido às variações de pressão na atmosfera terrestre. Na verdade, existe vento devido à existência de atmosfera, e porque o sol aquece de forma irregular a superfície do Planeta. O ar quente sobe e o ar mais frio move-se para preencher esse vazio. Durante a última década, o uso de turbinas eólicas tem aumentado em mais de 25% por ano. Ainda assim, ele apenas fornece uma pequena fração da energia do mundo (National Geographic, 2015).

O movimento do vento faz girar as pás, constituintes da turbina, que por sua vez fazem girar um eixo, que está ligado a um gerador que produz eletricidade (Department of Energy, 2015b). A eficiência das turbinas é influenciada pelas condições do ambiente local, como a velocidade do vento e a densidade do ar, a uma determinada altura em que elas estão localizadas. Turbinas de pequena escala, com potência inferior a 100kW podem produzir eletricidade suficiente para uma única residência ou pequena empresa. A potência produzida numa turbina eólica é função da velocidade do vento. Esta só começa a produzir energia quando a velocidade do vento varia entre 3 e 5 m/s. A partir destes valores de velocidade e até se atingirem os 12 m/s, a potência produzida pela turbina aumenta, até ao seu pico máximo, a chamada potência nominal, mantendo-se constante para velocidades do vento superiores. Quando a velocidade do vento é muito elevada, a turbina pára de modo que, a força exercida nas pás não cause danos estruturais.

### 3. MODELO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA INICIAL

O presente capítulo contém a descrição de todos os mecanismos, processos e dados utilizados para a construção do modelo de simulação energética, que permite obter a caracterização energética do edifício de habitação, com as suas características reais. Nele encontra-se uma explicação pormenorizada da informação relevante utilizada, que permitiu desenvolver o modelo, assim como as principais dificuldades encontradas para atingir os objetivos.

O edifício em estudo não se encontra neste momento habitado, estando destinado a obras de reabilitação a curto/médio prazo. Para a implementação de medidas de melhoria dos consumos e para a introdução de sistemas de produção de energia eficiente e renovável na simulação energética, é necessário ter valores reais de consumo. No entanto, uma vez que estes não existem, optou-se por simular o funcionamento do edifício no *EnergyPlus* 8.3 considerando que a ocupação da habitação é feita por dois ocupantes, de forma a serem alcançados os consumos que existiriam se estes realmente estivessem na habitação. Posto isto, todos os dados introduzidos no modelo de simulação foram comparados com dados medidos para situações semelhantes de consumo ou recorreu-se a valores publicados para situações muito similares, possibilitando assim a verossimilidade dos mesmos (ASHRAE (2011), e EPAL (2015)). Os resultados obtidos são considerados fidedignos, uma vez que se enquadram com a realidade.

A realização do modelo de simulação energética teve início com a criação de uma representação tridimensional simplificada da habitação, a partir dos programas *SketchUp* 2015 e *OpenStudio* 1.6. A representação obtida encontra-se ilustrada na Figura 3.1. Estes programas informáticos permitem ainda criar um ficheiro com a geometria e soluções construtivas do edifício, no formato usado pelo programa de simulação energética *EnergyPlus* 8.3. Através da introdução dos dados que caracterizam o edifício, o clima, os padrões dos ocupantes, os tipos de equipamentos elétricos e eletrónicos, os consumos que lhe são associados, os consumos de água quente e fria, a descrição da ventilação natural e da iluminação artificial existente, é possível obter todos os gastos energéticos associados ao normal funcionamento da habitação, ao longo de um ano.

### 3.1. Edifício habitacional em estudo

O edifício de habitação, proposto para estudo, cuja vista panorâmica se encontra na Figura 3.1, situa-se na Travessa de Montarroio, no centro histórico da cidade de Coimbra. Esta local, segundo UNESCO (2015), pertence à zona que foi caracterizada como património mundial da humanidade. O ano da sua construção, assim como da zona envolvente, remonta ao séc. XIV (Brito, N. *et al.*, 2015). O edifício está orientado com o eixo maior no sentido Este-Oeste, tendo fachadas viradas a norte, a nascente e a sul. Do lado poente as paredes estão em contacto com outro edifício e, na cave, as paredes localizadas a norte e a nascente estão em contacto com o solo. As suas coordenadas são 40,212° N, e 8,428°O.

O edifício pode sofrer uma obstrução à incidência da radiação solar na parte da tarde, devido ao sombreamento por parte do edifício contíguo, situado a poente, uma vez que este tem mais um piso. A fachada orientada a sul tem uma boa exposição solar durante praticamente todo o dia.

O edifício possui a tipologia T1 e é constituído por três pisos, em que os 2 pisos superiores, ligados por uma escada interior, são habitáveis. No piso superior, encontra-se o quarto, a cozinha e a casa de banho. No piso 01 está situada a sala de estar. O piso inferior é utilizado apenas como espaço de arrumação, sendo acedido apenas pelo exterior, por uma porta situada na fachada sul. A área útil de pavimento de cada piso é de 18,4 m<sup>2</sup>, os dois pisos superiores possuem um pé direito de 2,2 m, e o piso inferior 2,10 m.



Figura 3.1- Vista panorâmica da habitação em estudo, localizada em Coimbra, Portugal (Brito, N. *et al.*, 2015)

### 3.1.1. Envoltente externa, pavimentos, coberturas, portas, janelas e portadas

A nomenclatura que permite caracterizar e identificar facilmente a envoltente existente no edifício, necessária ao processo de simulação, passa pela definição da orientação, do número do piso, do tipo de superfície, das condições limites exteriores, das dimensões e da existência de exposição solar. A denominação criada para cada uma das superfícies, assim como a restante informação descrita anteriormente, encontra-se no Anexo A, na tabela A 1.1.

As paredes exteriores existentes são constituídas maioritariamente por pedra calcária de alvenaria pobre, com acabamento exterior em reboco e interior em estuque, podendo a espessura da parede variar entre 750, 650 e 300 mm. A parede do piso 00 que se situa a Norte do edifício está totalmente em contacto com o solo, assim como parte das paredes localizadas no alçado Este e Sul-2, Figura 3.2 e Figura 3.3, estado, respetivamente, apenas 75 e 27%, sem exposição solar.

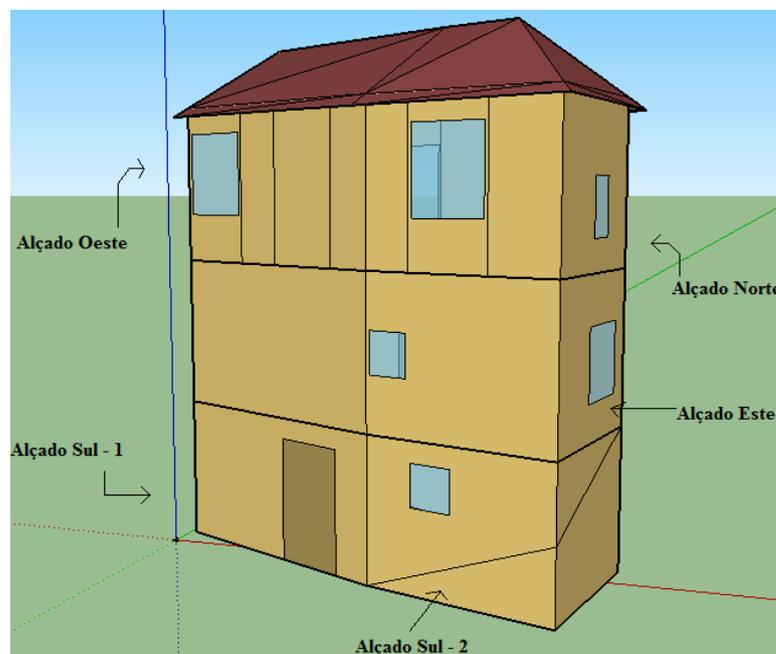


Figura 3.2 - Representação do alçado principal da habitação, no *Sketchup 2015*

As superfícies da parede exterior, localizadas na parte superior do edifício e que estão em contato direto com o telhado e com as paredes do piso 02 são compostas por

pedra calcária aparelhada no seu exterior e por estuque no interior. A sua área equivale a  $1,47 \text{ m}^2$ . No piso 02 existe uma parte da parede, localizada a meio do alçado sul-1, com  $2,42 \text{ m}^2$  de área, na qual está embutida a chaminé, sendo constituída por reboco, seguindo-se o pinho duro e estuque na parte interior.

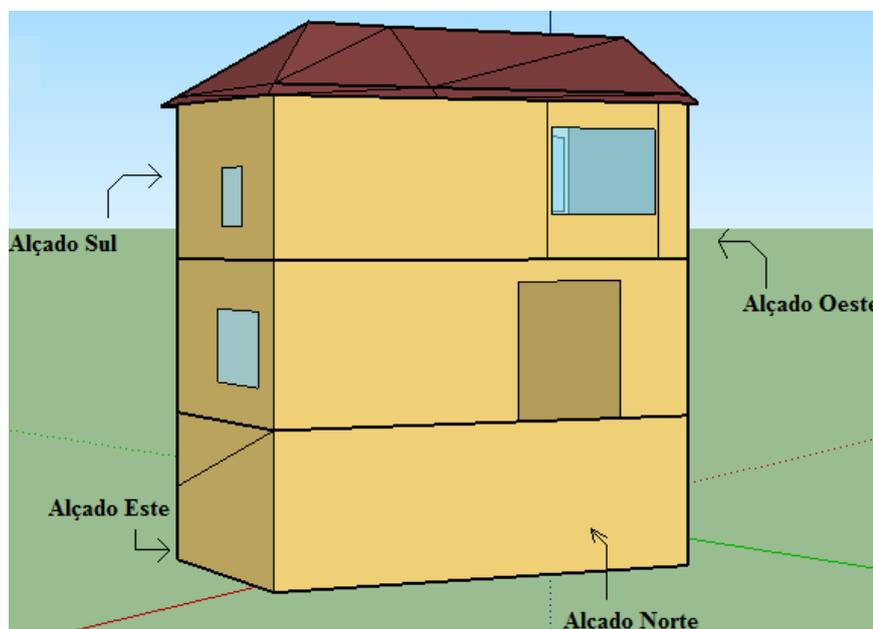


Figura 3.3 - Representação do alçado secundário da habitação, no Sketchup 2015

Analisando o teto do piso 00 é possível verificar que a solução construtiva é constituída por pinho duro na camada superior, espaço de ar e por pinho macio na camada inferior. O pavimento do piso 01 apresenta a mesma composição mas organizada inversamente, ou seja possui uma camada de pinho duro na camada inferior, espaço de ar e pinho macio na camada superior. O pavimento do piso 00 é composto por um material cerâmico, seguido de argamassa. O teto do piso 02 é constituído apenas por pinho macio. O telhado, de telha cerâmica, possui uma área total de  $48,26 \text{ m}^2$ .

Na habitação existem duas portas exteriores, localizadas na cave do piso 00 e na entrada principal do piso 01, representadas na Figura 3.2 e na Figura 3.3. No primeiro caso a porta é constituída por pinho duro e por um vidro simples de 30 mm. A porta do piso 01 é constituída apenas por pinho duro.

As sete janelas da habitação estão localizadas ao longo dos três pisos, representadas na Figura 3.2 e a Figura 3.3, diferem apenas do tipo de abertura, podendo

esta ser do tipo giratória ou do tipo guilhotina. O vidro que as constitui tem 3 mm de espessura. Todas as janelas possuem uma portada de madeira de pinho macio, que pode estar aberta ou fechada consoante a maior ou menor intensidade da luz solar durante o dia, assim como pelas diferenças de temperaturas sentidas no exterior da habitação. Todos os detalhes das várias fachadas, assim como os elementos que a constituem encontram-se na Anexo A, na Tabela A 1.1.

Segundo a informação sintetizada, disponibilizada pelo ITeCons (2013), o valor do coeficiente de transmissão térmica global de superfícies ( $U$ ), que caracteriza as várias soluções construtivas, é obtido através da equação (2), que se encontra no Anexo A. Este valor é calculado automaticamente pelo *EnergyPlus 8.3*, no entanto, para se compreender melhor as características das superfícies do edifício, este valor foi calculado manualmente para cada solução. Na Tabela A 1.5 encontram-se esses valores de  $U$  calculados, assim como todos os parâmetros necessários ao seu conhecimento, nomeadamente as características dos vários materiais que constituem a habitação, tais como a espessura ( $\epsilon$ ), a condutividade térmica ( $k$ ), a densidade ( $\rho$ ), o calor específico ( $C_p$ ), as resistências térmica das camadas superficiais exteriores ( $R_{se}$ ), interiores ( $R_{si}$ ) e das restantes camadas ( $R_j$ ).

De forma a analisar mais facilmente a informação obtida, na Tabela A 1.5 criou-se um resumo desta tabela, que se encontra na Tabela 3.1, onde está designado o valor de  $U$  que caracteriza as envolventes externas, os pavimentos, as portas, as janelas e as portadas do edifício, assim como as respetivas localizações. A partir desta tabela é possível verificar que a parede que apresenta o maior valor de  $U$  é constituída por pedra calcária aparelhada. É nestas superfícies que ocorrem os maiores ganhos e perdas de calor entre o interior e o exterior da habitação. É possível verificar de igual modo que as superfícies com o valor de  $U$  mais elevado, que nesta habitação correspondem às janelas. É aqui que ocorrem os maiores ganhos e perdas de calor entre o ambiente interno e externo da habitação por unidade de área. No total as janelas possuem 7,6 m<sup>2</sup>. A superfície que apresenta o menor valor é o pavimento do piso 00, devido essencialmente à elevada resistência dos materiais que a constituem. Analisando novamente a Tabela 3.1 é possível constatar que as superfícies que apresentam os menores valores de  $U$  são constituídas por reboco, pedra calcária e estuque, possuindo no total 650 mm de espessura ( $\epsilon$ ). Este fenómeno é devido ao tipo de materiais que o constituem, pois estes oferecem uma maior resistência à passagem do calor.

**Tabela 3.1 - Valores de U para as várias envolventes externas, pavimentos, portas, janelas e portadas do edifício e suas respectivas localizações**

Nome do material	Descrição	Localização	Valor de U [W/m <sup>2</sup> .C]
_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50	Parede de alvenaria pobre existente com acabamento exterior em reboco e interior em estuque	Piso 00-oeste; piso 01- sul oeste; piso 02- oeste; piso 03- oeste	1,49
_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50		Piso 02-sul, este e norte	2,37
_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50	Pedra calcária aparelhada	Piso 03 - sul, este e norte; Piso 02- sul e norte	3,38
_Ext_WallWoodAvg_90mm ITE50	Parede da chaminé	Piso 02- sul	2,62
_Int_FloorWood_200mm ITE50	Pavimento interior do piso 01		2,45
_Part_FloorWood_200mm ITE50	Pavimento interior do piso 02		2,50
_Part_CeilingWood_200mm ITE50	Teto do piso 01		2,45
_Int_CeilingWood_200mm ITE50	Teto do piso 00		2,50
_Int_CeilingWood_150mm ITE50	Teto do piso 02		3,23
_Ext_WindowSash1glass_3mm ITE50	Janela de vidro simples com abertura para superior/inferior	Piso 00- sul; Piso 01- sul e este; Piso 02- este, sul e norte	5,22
_Ext_WindowSwing1glass_3mm ITE50	Janela de vidro simples com abertura para os lados		5,22
_Ext_DoorWood_40mm ITE50	Porta de madeira	Piso 01- norte	2,91
_Ext_Door1glass_40g3mm ITE50	Porta de madeira com vidro	Piso 00-sul	2,91
_Ext_GroundSlab_200mm ITE50	Pavimento do piso 00		1,05
_Ext_RoofVentilated_150mm ITE50	Telhado		3,87
_Int_FloorWood_150mm ITE50	Pavimento da cobertura		3,23
_Ext_WindowShade	Portada de madeira	Piso 00- sul; Piso 01- sul e este; Piso 02- este, sul e norte	2,44

### **3.1.2. Cargas internas da habitação**

As quatro zonas térmicas consideradas na simulação correspondem a cada um dos três pisos existentes e a cobertura. Os ganhos totais de energia, em cada uma, decompõem-se nas formas convectivas, radiantes e latentes tanto para as trocas de calor com o exterior, como para cargas térmicas dos ocupantes, da iluminação e dos equipamentos (Department of Energy, 2014b). Segundo o mesmo autor, a simulação do *EnergyPlus* 8.3 considera que os ganhos convectivos equivalem a adições instantâneas de calor para o ar pertencente a cada uma das zonas térmicas. Os ganhos do tipo radiativo são caracterizados pelos comprimentos de onda “curto” e “longo”. O primeiro tipo de comprimento de onda refere-se à radiação emitida por um corpo a uma temperatura superficial elevada, como é o caso do sol. O segundo refere-se à radiação emitida por um corpo, que se encontra a uma temperatura mais próxima da temperatura ambiente, como uma parede ou uma pessoa. Estes ganhos são inicialmente absorvidos pelas diferentes superfícies e, em seguida, uma parte pode ser libertada para o ar da zona térmica, outra pode ficar armazenada no elemento e outra parte pode ser conduzida através deste para o exterior, de acordo com os respetivos balanços térmicos. Os ganhos latentes resultam da emissão de vapor de água devido à respiração dos ocupantes ou de outros processos em que a água é vaporizada, podendo ser anulados por meio de ventilação ou de ar condicionado (Department of Energy, 2014b).

#### **3.1.2.1. Ocupantes**

Uma das parcelas responsáveis pelos ganhos internos do edifício ocorre devido à presença dos dois ocupantes da habitação e é influenciada pelos seus horários de utilização da habitação e pelas suas atividades metabólicas, que convertem a energia armazenadas nas células do corpo humano em trabalho mecânico e calor. Este calor gerado pode ser dissipado a partir da superfície do corpo e das vias respiratórias, sendo função das condições ambientais existentes no local e do nível de atividade dos ocupantes. Pode ainda ser do tipo radiativo, convectivo e latente (evaporação) (Department of Energy, 2014b). O valor da fração radiante considerado para a simulação foi de 0,3. Este foi obtido utilizando os exemplos disponibilizados pelo *EnergyPlus* 8.3, para situações equivalentes de ocupação. Os ganhos por radiação (longos comprimentos de onda), para cada zona térmica, são obtidos pela multiplicação desta fração pela energia total emitida pelos ocupantes. O

calor restante assume-se como sendo o calor obtido por convecção, pois os ganhos latentes não estão incluídos nos ganhos de calor por radiação ou convecção (este valor é automaticamente calculado no modelo) (Department of Energy, 2014c).

Segundo o manual do programa *EnergyPlus* 8.3, quando as atividades metabólicas dos ocupantes são do tipo relaxado (a dormir), que ocorre desde as 00:00 horas até às 07:00 horas, o valor dos níveis de atividade considerado na simulação é de 40 W/m<sup>2</sup>. Para as restantes atividades realizadas na habitação o valor estipulado foi de 125 W/m<sup>2</sup> (INNOVA, 2002). O *EnergyPlus* 8.3 estipula por defeito um rácio de CO<sub>2</sub> equivalente a  $3,82 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/(s.W), tendo em consideração um valor médio dos índices das atividade metabólica, que podem ocorrer para uma população adulta em geral, que associa os vários níveis de atividade que elas possam ter ao longo do dia (Department of Energy, 2014c). Os períodos normais de utilização durante um ano decorrem desde o dia 1 de janeiro até ao dia 31 de julho, retomando novamente a 16 de agosto até 19 de dezembro e por fim de 28 a 31 de dezembro. O período normal de ocupação é interrompido devido às férias de verão e de Natal. O primeiro caso ocorre de 1 a 15 de agosto. Neste período os ocupantes não utilizam a habitação. De 20 a 27 de dezembro corresponde o período de férias de natal, os ocupantes encontram-se na habitação durante um intervalo de tempo superior ao do perfil normal de utilização. Estes perfis encontram-se descritos no Apêndice A, nas Tabelas A 2.1 e A 2.2.

### **3.1.2.2. Iluminação artificial**

Os equipamentos de iluminação artificial são responsáveis por uma parcela de calor que é irradiado para cada uma das zonas térmicas. Este calor é transmitido para o ar podendo ser dividido em cinco tipos de frações diferentes: Fração de retorno de ar; Fração radiante; Fração visível; Fração substituível; Fração convectiva. Atendendo aos valores padrão estipulados nos manuais do *EnergyPlus* 8.3, que permitem definir para as lâmpadas do tipo fluorescente e com configuração suspensa no ar, os valores 0, 0,42 0,18, e 0 respetivamente que são utilizados na simulação. A fração convectiva é calculada automaticamente na simulação e corresponde à diferença entre a unidade e os valores das restantes frações. O valor zero da fração substituível significa que não há controlo automático da luz natural na habitação (Department of Energy, 2014c).

A iluminação artificial na habitação é feita utilizando lâmpadas do tipo florescente e florescente compacta, com um total de 186,5 W de potência. Na Tabela 3.2

encontra-se a informação detalha que permite caracterizar a iluminação artificial existente na habitação.

**Tabela 3.2 – Número e tipo de lâmpadas e respetivas potências, em cada piso da habitação**

Tipo de iluminação	Número de lâmpadas existentes na habitação				
	Piso 00	Piso 01	Piso 02		
		Sala de estar	Cozinha	Quarto	Casa de banho
Lâmpada fluorescente de 36 W	...	...	2	...	...
Lâmpada economizadora de 14 W	2	2	...	1	1
Lâmpada economizadora de 9 W	...	...	...	2	1
Candeeiro de 3.5 W	...	1	..	...	...
<b>Potencia total (W)</b>	<b>28</b>	<b>31,5</b>	<b>72</b>	<b>32</b>	<b>23</b>

Os perfis de iluminação encontram-se nas Tabelas A 2.3 e A 2.4, no Apêndice A.

### 3.1.2.3. Equipamentos elétricos e eletrónicos

Os ganhos térmicos ocorridos por parte dos equipamentos elétricos e eletrónicos são introduzidos no programa de simulação através dos respetivos valores das potências, sendo necessário especificar o seu horário de funcionamento e os três tipos de dissipação de calor que podem ocorrer para a zona térmica onde estão localizados, nomeadamente a fração latente, a fração radiante e a fração perdida. A fração convectiva é calculada pelo programa, e equivale à diferença entre a unidade e as frações indicadas (Department of Energy, 2014c).

Os equipamentos elétricos que promovem o conforto dos habitantes estão distribuídos pelos três pisos da habitação. Na Tabela 3.3 encontram-se descritos os equipamentos e as respetivas potências, que foram obtidas experimentalmente. Os únicos equipamentos que apresentam consumo em “Standby” são o frigorífico, o sistema de ligação à internet, tv-cabo e telefone e a máquina de lavar. No piso 00 o valor para a fração

latente considerado foi de 0, uma vez que não há transferência de energia por mudança de fase, a fração radiante foi de 0,1 pois o único aparelho existente emite pouca radiação. A fração de perda considerada foi de 0, uma vez que o calor emitido fica retido na zona térmica. No piso 01 é de certo modo análogo ao piso descrito anteriormente, deferindo apenas na existência de calor latente, por parte do ferro de engomar, tendo sido considerada uma fração latente de 0,1. No piso 02, quando se analisa a fração de perda, verificamos que o exaustor é o único equipamento capaz de conduzir o calor gerado na cozinha para o exterior da habitação, deste modo, considerou-se no modelo para a potência de 1625 W, correspondente ao fogão, uma fração perdida igual a 0,8. Para as restantes potências o valor definido para a fração latente foi de 0,1. A fração radiante designada para este piso foi de 0,1.

Os horários e a fração de utilização destes equipamentos podem ser consultados nas Tabelas A 2.5 e A 2.6, no Apêndice A.

**Tabela 3.3 – Equipamentos elétricos e respetivas potências existentes na habitação**

Piso 00		Piso 01		Piso 02	
Equipamento	Potencia (W)	Equipamento	Potencia (W)	Equipamento	Potencia (W)
Máquina de lavar a roupa (lavagem a frio)	300	Aspirador	1400	Torradeira	800
		Internet, Tv-cabo, telefone	0.6	Forno elétrico	2000
		Televisão	90	Frigorífico	16.7
		Computador	27	Máquina de café	1200
		Computador	27	Micro-ondas	700
		Ferro de engomar	2000	Placa elétrica	1625
				Exaustor	125
				Secador de cabelo	2100
				Aspirador	1400
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>Total</b>	<b>3545</b>	<b>Total</b>	<b>9967</b>

### 3.1.3. Ventilação natural

Segundo a APA (2015), os espaços interiores estão, em geral, associados a um número e concentração superiores de poluentes, em comparação com o ar exterior. As suas origens podem ser associadas às características arquitetónicas do edifício, aos materiais de construção, de revestimento e de mobiliário, às circunstâncias exteriores da habitação, à utilização de produtos de limpeza, pela ocupação humana e respetivas atividades.

No que respeita à política de qualidade do ar interior (QAI), o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto de 2013 considera da maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, em função das características enunciadas anteriormente, e dos limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, listadas na Tabela 3.4 de forma a salvaguardar os níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios.

**Tabela 3.4 - Requisitos de qualidade do ar interior (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto de 2013)**

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar	0,15 mg/m <sup>3</sup>
<b>Dióxido de Carbono</b>	<b>1800 mg/m<sup>3</sup></b>
Monóxido de carbono	12,5 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeído	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Compostos Orgânicos Voláteis	0,6 mg/m <sup>3</sup>
Microrganismos - bactérias	500 UFC
Microrganismos - fungos	500 UFC
<i>Legionella</i>	100 UFC
Rádón	400 Bq/m <sup>3</sup>

Atendendo à norma ASHRAE (2003), é possível concluir que os requisitos de ventilação para um determinado espaço são função da sua área, do número de ocupantes e das suas atividades. O autor Awbi, H. (2003) considera que caudais de ar novo na ordem dos 0,1 a 0,9 renovações por hora são necessários para cumprir os requisitos da respiração humana, dependendo do tipo de metabolismo, de forma a alcançar valores baixos de exposição ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e do teor de humidade. Neste âmbito, na habitação em estudo, a prevenção dos possíveis problemas de QAI pode ser conseguida através da utilização de

regras de boas práticas relativas à ventilação (natural ou mecânica) e à higienização dos espaços. Neste, o único tipo de ventilação existente é a natural, devido por um lado, à necessidade de redução dos consumos e custos energéticos e por outro ao clima favorável.

O processo de ventilação natural ocorre principalmente devido a dois fenómenos. Um deles é originado pela diferença de pressões, existentes entre o interior e o exterior do edifício, devido à ação do vento nas fachadas, provocando a renovação do ar pela abertura de janelas e portas, pela chaminé e através de fissuras ou fendas existentes. O outro é gerado pelas diferenças térmicas existentes entre as várias divisões e o ar exterior, que possibilitam a criação de massas de ar com densidades não similares, promovendo a ocorrência da ventilação natural.

A simulação da ventilação natural na habitação é possível de recriar através de um fluxo de ar, proveniente das aberturas de cada uma das diferentes zonas, e que é impulsionado pelo vento e pelas diferenças de temperaturas. Foram considerados os fluxos de ar através da abertura de janelas e portas, e pelas frinchas que nestas possam existir quando estes estão fechados, bem como as frinchas nos pavimentos de madeira e do teto. Em geral os fluxos de ar de um edifício dependem do tipo e da dimensão das fissuras por onde o ar se move, e do coeficiente de pressão (CP), que é um número adimensional que representa a pressão relativa em cada ponto num escoamento (Awbi, H. 2003).

O programa *EnergyPlus* 8.3 permite calcular os CP em função da direção e da intensidade do vento que atinge o edifício, no período de tempo considerado, para cada uma das fachadas verticais e para o telhado, desde que o edifício tenha uma forma retangular (Department of Energy, 2014c). Atendendo à informação desenvolvida por Pereira, H. *et al.* (2013), foi possível obter os dados da Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Características do fluxo de ar (Pereira, H. *et al.* 2013)

	Janelas		Portas de madeira	Teto do piso 02	Telhado	Pavimentos
	Abertura Lateral	Guilhotina				
Fator de abertura	1	0.5	1	0	0	0
Coefficiente de infiltração de fluxo de massa de ar [kg/s]	0,00022	0,00022	0,00455	0,005	0,1	0,5
Expoente de fluxo de massa	0,66	0,66	0,66	0,66	0,75	0,75

### 3.1.4. Sistema de climatização e produção de água quente sanitária

O sistema de climatização, segundo o artigo nº2 do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto de 2013, caracteriza-se pelo conjunto de equipamentos coerentemente combinados com vista a satisfazer objetivos da climatização, designadamente, ventilação, aquecimento, arrefecimento, humidificação, desumidificação e filtragem do ar. Na habitação em análise existe um sistema destinado ao aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS) e outro para aquecimento do ar ambiente.

#### 3.1.4.1. Sistema de aquecimento de águas sanitárias

O modelo de simulação considerado para satisfazer as necessidades de água quente por parte dos habitantes, ao longo do ano, é constituído por um cilindro vertical (tanque) com 80 L de volume e 1,17 m de altura, que contem AQS. O circuito que foi introduzido no modelo inclui também um sistema de canalização, constituído por nodos e por tubos, por uma resistência elétrica e por uma bomba. O esquema realizado encontra-se na Figura B 2.1, no Apêndice B.

O consumo de AQS na habitação ocorre na banca da cozinha, no lavatório da casa de banho e no chuveiro. O caudal de água quente (QAQ) existente no primeiro e segundo local descrito, equivale a 0,00029 m<sup>3</sup>/s (0,29 l/s). Este valor foi obtido experimentalmente, recorrendo à contabilização do tempo que levou ao enchimento, utilizando uma das torneiras, de uma garrafa com 1,5 L.

Segundo ASHRAE (2011), o valor médio do QAQ debitado pelo chuveiro pode ser definido *A priori* para os chuveiros grandes, médios e pequenos, sendo respetivamente 0,38, 0,28 e 0,16 l/s. Na habitação em estudo considerou-se a existência de um chuveiro de pequeno tamanho. Os perfis de consumo de AQS encontram-se nas Tabelas A 2.7 e A 2.8, do Apêndice A. Os valores ponderados tiveram em consideração que um banho tem duração de 6 minutos, o que equivale ao consumo de cerca de 58 L por pessoa. O consumo total de AQS no lavatório é de 5L. Na cozinha o consumo de AQS considerado foi de 10L para o pequeno-almoço, 50L para o jantar e 60L para os almoços do fim de semana. Embora a máquina de lavar funcione com lavagens a frio, a temperatura da água utilizada em cada lavagem ronda os 30°C. O caudal utilizado por cada lavagem é de 50L o que equivale a  $4.16 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ .

As temperaturas de utilização rondam os 40 °C, no entanto é conveniente que o armazenamento da água aquecida seja feito a 60°C, de forma a evitar a proliferação da bactéria *Legionella* (Direção-Geral da Saúde e do Turismo, 2001).

#### **3.1.4.2. Sistema de aquecimento do ar ambiente**

O aquecimento do ar interior é feito unicamente por dois aquecedores a óleo (radiadores), cada um com 1000 W que vão alternando de divisão, podendo estar na casa de banho, no quarto, na cozinha e na sala de estar. Este sistema de aquecimento tem um período de utilização de Inverno, diferente do perfil normal. Ocorre de 1 de janeiro a 15 de março, tendo novamente início a 16 de setembro até 31 de dezembro. Neste último intervalo de tempo está incluído o perfil de utilização das férias de natal. Os respetivos perfis podem ser consultados na Tabela A 2.9 do Apêndice A.

O sistema de aquecimento foi modelado de modo a que, quando as temperaturas de conforto forem atingidas (quando for atingido o valor de *setpoint*), ele desligue. Foi criado um perfil de utilização com os *setpoints* do sistema de aquecimento, em que até as 07:00 horas da manhã o *setpoint* tem um valor de 18 °C, até as 17:00 horas tem um valor de 22°C, tendo até as 24:00 horas o valor de 18°C.

### 3.2. Resultados da simulação inicial

A simulação energética permitiu a obtenção detalhada dos diversos consumos existentes na habitação para cada hora do dia, ao longo de um ano. Foram obtidos os valores para o consumo de água, o consumo total de energia elétrica, a energia gasta na iluminação, nos equipamentos elétricos e eletrónicos, no sistema de aquecimento do ar interior e no aquecimento das águas sanitárias.

Os valores mensais obtidos para cada tipo de consumo encontram-se na Tabela 3.6. Estes dados permitiram elaborar o gráfico que consta na Figura 3.4, na qual se verificam facilmente os quatro tipos de consumos energéticos que ocorrerem por cada mês. O mês que apresenta o maior consumo é dezembro e o que apresenta o menor consumo é o mês de agosto, devido essencialmente à parcela de aquecimento das águas sanitárias. Neste gráfico é possível verificar que o aquecimento das AQS são as que apresentam a maior parcela do consumo de energia, seguindo-se o consumo de energia dos equipamentos elétricos, o consumo de energia dos sistema de aquecimento do ar ambiente interior e por fim a parcela mais pequena corresponde à energia gasta na iluminação. A percentagem total do consumo que ocorreu durante o ano pode ser facilmente visualizada na Figura 3.5, nele verificamos que 59% do consumo ao longo do ano é destinado ao consumo de água, 31% aos equipamentos elétricos, 8% para o aquecimento do ar ambiente e 2% para a iluminação.

Assumindo que o preço da energia é constante ao longo do ano e que apresenta o valor de médio de 0,16 € por kWh, é possível concluir que os custos mensais médios ao longo do ano são cerca de 53€. Dezembro e janeiro são os meses que apresentam o maior valor da fatura energética e agosto possui o menor. No total os dois ocupantes consomem cerca de 3980 kWh por ano, o que equivale a quase 637 € de fatura energética. Segundo informação disponibilizada em PORDATA (2013), a média Portuguesa do consumo de energia elétrica, no setor doméstico, por cada habitante é de 1 117,3 kWh.

Tabela 3.6- Consumos de energia na habitação por mês e respetivos custos

Mês	Eletricidade destinada ao aquecimento de água [kWh]	Eletricidade destinada à iluminação [kWh]	Eletricidade destinada ao aquecimento do ar ambiente [kWh]	Eletricidade destinada aos equipamentos elétricos [kWh]	Total de eletricidade consumida [kWh]	Custo da Energia [€]
janeiro	228,51	5,74	95,49	109,34	439,09	70,25
fevereiro	206,94	5,18	51,17	98,16	361,46	57,83
março	222,00	5,69	32,90	104,74	365,33	58,45
abril	208,15	5,63	-	111,74	325,51	52,08
maio	198,32	5,69	-	104,74	308,75	49,40
junho	181,08	5,52	-	102,55	289,15	46,26
julho	182,18	5,80	-	113,93	301,91	48,31
agosto	116,06	2,93	-	60,64	179,63	28,74
setembro	180,51	5,58	-	107,14	293,23	46,92
outubro	196,89	5,74	4,19	109,34	316,16	50,59
novembro	202,11	5,52	48,88	102,55	359,06	57,45
dezembro	231,79	5,67	82,97	120,16	440,59	70,49
<b>Total</b>	<b>2354,55</b>	<b>64,70</b>	<b>315,59</b>	<b>1245,03</b>	<b>3979,88</b>	<b>636,78</b>

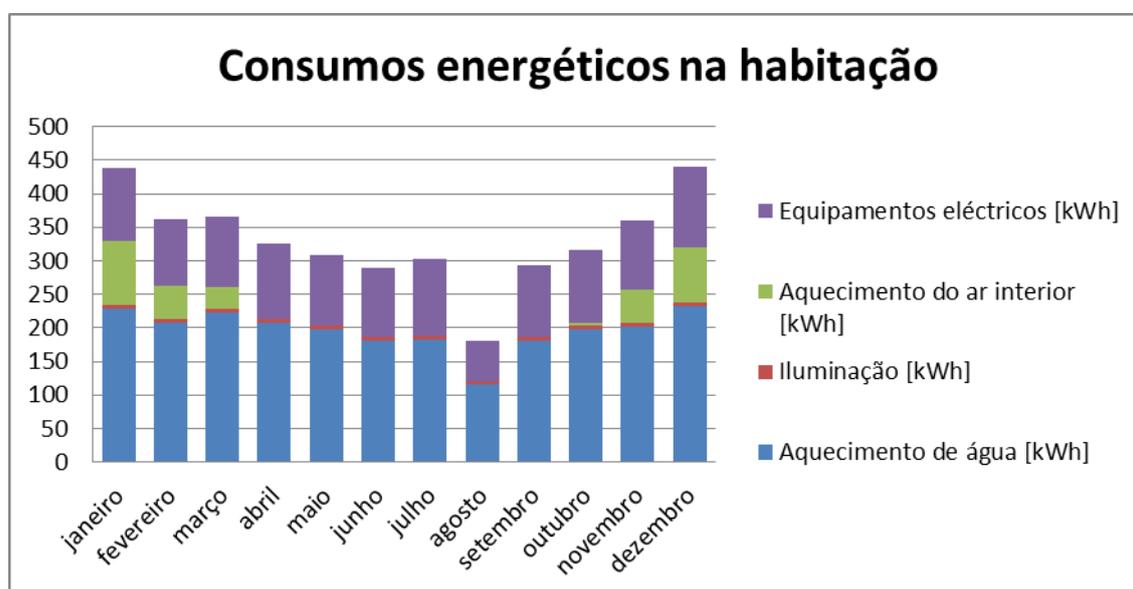
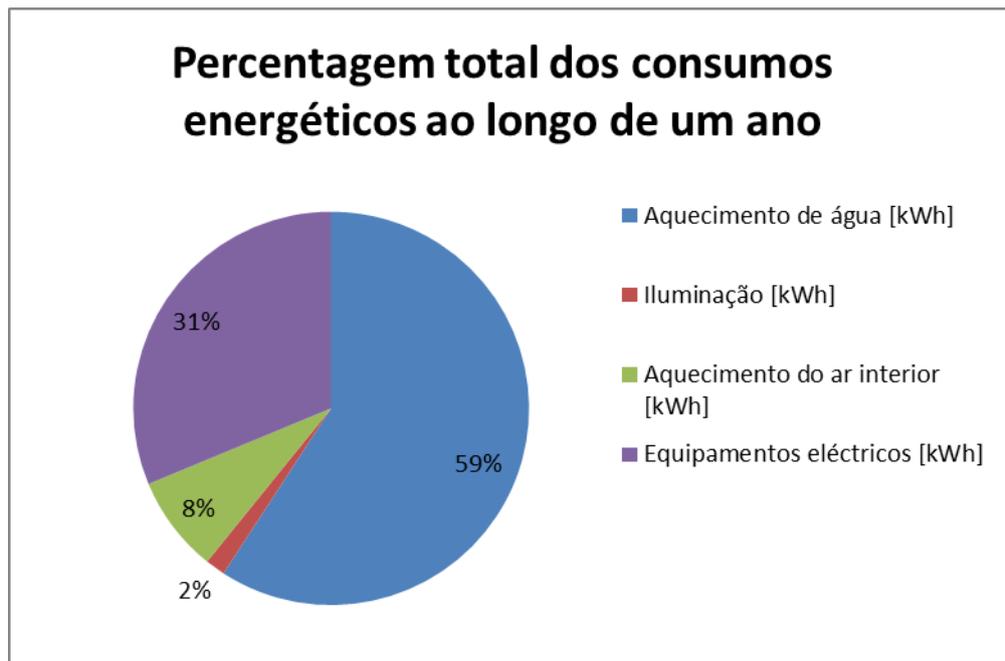


Figura 3.4 – Consumos energéticos mensais para cada tipo de energia



**Figura 3.5 - Percentagens do consumo energético total ao longo do ano**

Na Tabela 3.7 encontram-se os resultados obtidos da simulação energética referentes ao consumo de água em  $m^3$  na habitação por cada mês do ano. O preço destes consumos, para a cidade de Coimbra, variam consoante o volume total consumido durante o mês, podendo ser igual a  $0,55 \text{ €/m}^3$  se o volume consumido for menor que  $5 \text{ m}^3$ , mas caso este se encontre entre  $5$  e  $15 \text{ m}^3$  o preço estabelecido é de  $0,81 \text{ €/m}^3$  (Águas de Coimbra, 2015).

**Tabela 3.7 – Consumos de água [m<sup>3</sup>] para cada mês do ano e respetivo custo [€]**

Mês	Consumo de água [m <sup>3</sup> ]	Custo da água [€]
janeiro	8,52	6,90
fevereiro	7,71	6,24
março	8,44	6,84
abril	8,41	6,81
maio	8,44	6,84
junho	8,19	6,64
julho	8,65	7,01
agosto	4,34	2,39
setembro	8,33	6,74
outubro	8,52	6,90
novembro	8,19	6,64
dezembro	9,07	7,35
<b>total</b>	<b>96,81</b>	<b>77,29</b>

### 3.2.1. Medidas de diminuição dos consumos

A diminuição dos consumos existentes, obtidos pela simulação inicial, permitem alcançar mais facilmente a denominação nZEB. Com esse intuito encontra-se em seguida, uma descrição das diversas ações de redução idealizadas e que foram introduzidas no modelo de simulação *EnergyPlus* 8.3, assim como os respetivos resultados. A sua análise comparativa permite facilmente determinar quais os tipos de melhorias que podem ser aplicados e que representam uma mais-valia para se alcançarem os objetivos propostos.

#### 3.2.1.1. Isolamento térmico

O isolamento térmico constitui uma das opções possíveis para se reduzir o consumo energético, permitindo que no inverno o calor não dissipe rapidamente para o exterior, e que no verão as temperaturas interiores não igualem as verificadas no exterior. Segundo Sá, A.F.R. (2010) o isolamento térmico pelo exterior do edifício é o que apresenta maior eficácia, podendo alternativamente ser aplicado isolamento na face no interior das paredes da envolvente de um edifício existente. O material isolante escolhido a aplicar nas

paredes do edifício foi o Poliestireno Expandido Moldado [EPS]. Para as superfícies horizontais, a cortiça foi escolhida como material isolante, a aplicar no teto do piso 02 e no pavimento do piso 01. Os valores que caracterizam a massa volúmica ( $\rho$ ), a condutividade térmica ( $k$ ), e o calor específico ( $cp$ ) para cada um dos materiais isolantes encontram-se no Anexo B na tabela B 1.1. Estes foram obtidos através de ITE50, (2006) e de Cengel, (2015).

Foram realizadas simulações energéticas para várias espessuras dos dois materiais isolantes escolhidos, permitindo assim verificar qual a espessura de isolamento que apresenta um bom compromisso entre a redução do consumo de energia e a espessura do material isolante. Os resultados que estão associados ao consumo de energia, necessária ao aquecimento do ar interior, durante um ano, encontram-se identificados na Tabela 3.8, na Figura 3.6 e na Figura 3.7. Estes correspondem apenas à energia gasta no aquecimento do ar interior, uma vez que os restantes consumos de energia não sofrem nenhuma variação com a aplicação destas medidas de eficiência.

**Tabela 3.8- Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras dos isolamentos**

Valor inicial da energia consumida para aquecimento do ar ambiente [kWh]	EPS			Cortiça		
	Espessura- $\epsilon$ [mm]	Total da energia gasta no aquecimento do ar interior durante um ano [kWh]	Percentagem que se poupa em relação à situação inicial	Espessura- $\epsilon$ [mm]	Total de energia gasta no aquecimento do ar interior durante um ano [kWh]	Percentagem que se poupa em relação à situação inicial
315.59	40	216,05	32%	30	233.84	26%
	60	193,67	39%			
	80	178,58	43%			
	100	162,97	48%	60	214.64	32%
	120	158,29	50%			
	140	152,27	52%	100	201.9	36%
	160	148,12	53%			
	180	142,13	55%			
				120	197.83	37%

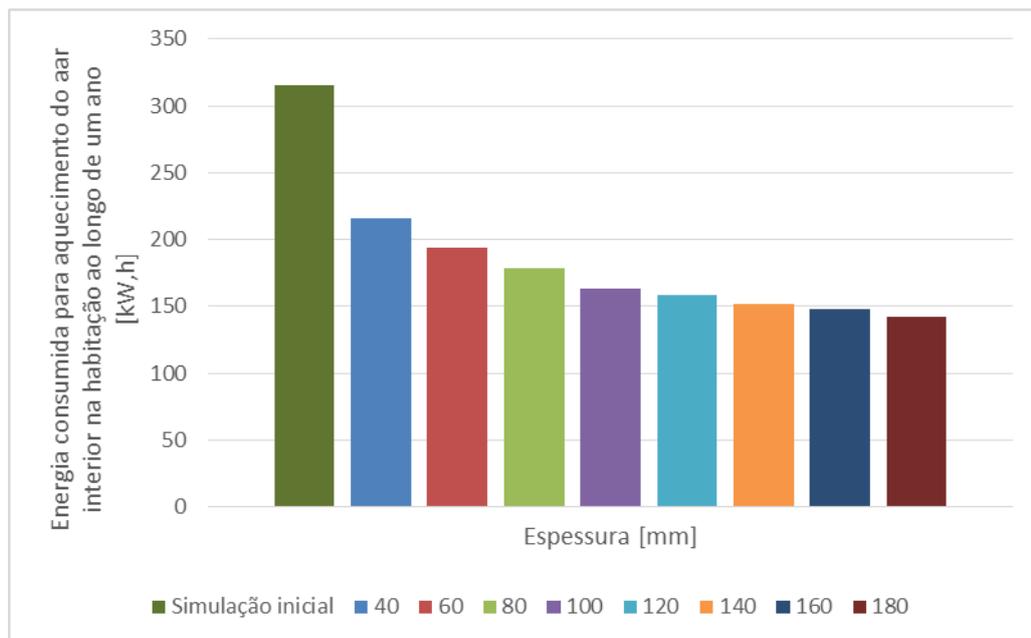


Figura 3.6- Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras dos isolamentos vertical em EPS

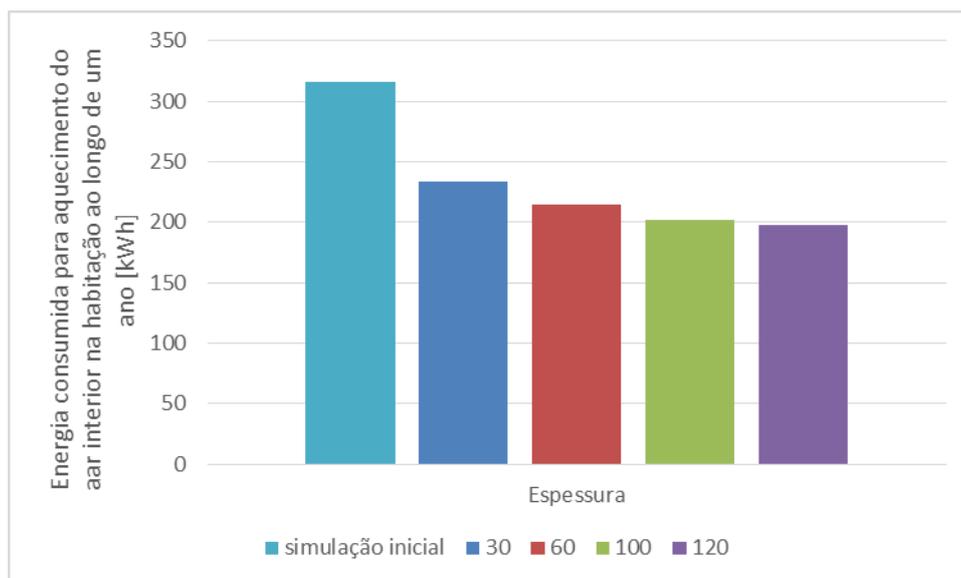


Figura 3.7-Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras dos isolamentos horizontais em cortiça

Com os gráficos anteriores facilmente se conclui que existe uma diminuição dos consumos energéticos na habitação, quando se aplicam estes isolamentos. As poupanças máximas e mínimas verificadas, quando se simulam as várias espessuras de EPS nas paredes verticais da habitação, ocorrem entre 32 e 55%, respetivamente. Quando analisamos os resultados obtidos para a cortiça verificamos que os valores de poupança

variam entre 26 e 37%. Deste modo conclui-se que será aplicado na habitação, isolamento de EPS e de cortiça com 100 mm de  $\epsilon$  cada um, que equivalem a um ponto ótimo de poupanças energéticas, a partir dos quais, espessuras superiores não acarretam resultados mais eficientes. As  $\epsilon$  escolhidas apresentam melhores resultados em comparação com tamanhos inferiores, possibilitando assim consumos energéticos muito similares aos isolamentos com  $\epsilon$  superiores. Uma análise efetuada no gerador de preços do *software* para Engenharia e Construção, (CYPE Ingenieros, 2015) permitiu concluir que a aplicação de isolamento em EPS se situa entre os 53 e os 67 €/m<sup>2</sup>. Para a cortiça, segundo Sotecnisol (2015), o seu preço pode variar entre 8 e 32 €/m<sup>2</sup>. O conhecimento destes valores permite afirmar que o preço do material não deve ser tido em conta na escolha da  $\epsilon$  a aplicar, uma vez que para qualquer uma delas o tempo de retorno do investimento será muito longo em comparação com o que se poupa efetivamente ao final do ano com as novas aplicações, uma vez que a habitação não é aquecida continuamente durante 24 horas. No entanto uma espessura superior permite manter os padrões de conforto térmico no interior da habitação, possibilitando o aumento das temperaturas nas paredes interiores.

A utilização de várias espessuras permitiu também identificar qual a influência que estas possuem no valor final de U. Na Tabela B 1.2 que se encontra no Anexo B contém toda a informação que caracteriza estes valores para cada uma das novas soluções construtivas. A comparação desta com a Tabela A 1.5 e a Tabela 3.1, permite verificar que com a aplicação de EPS pode-se reduzir o valor de U em cerca de 61 a 94%. Quando se aplica cortiça as reduções de U podem ocorrer entre 64 e 91%.

### **3.2.1.2. Vidro duplo**

A substituição das janelas existentes na habitação enquadra-se num dos tipos de melhoria que pode ser simulado, com o objetivo de se reduzirem os consumos energéticos. As simulações energéticas foram realizadas para janelas de vidro duplo com  $\epsilon$  de 3 e 6 mm, com ar no seu interior. O vidro utilizado apresenta as mesmas características que o utilizado na simulação inicial, no entanto existe uma camada de ar com 6,32 mm de  $\epsilon$ , entre as duas camadas de vidro.

Os resultados da aplicação deste tipo de isolamentos, em relação aos da simulação inicial, só se alteram para o aquecimento do ar anterior, não tendo influência nos restantes consumos energéticos. Na Tabela 3.9 encontra-se a soma anual, do valor obtido

para esse consumo energético, para as duas  $\epsilon$  consideradas. Uma análise comparativa com a Tabela 3.6 permite concluir que apenas ocorrem poupanças de 2 e 3 kWh ao longo do ano, para o vidro com  $\epsilon$  de 3 e de 6mm, respetivamente. Os novos valores de U que se encontram na Tabela B 1.2 apresentam uma redução entre 13 e 27% para as mesmas  $\epsilon$  de vidro.

**Tabela 3.9- Relação entre a energia necessária para aquecer o ar interior e as espessuras do vidro que constitui as janelas da habitação**

Janelas de vidro duplo	
Espessura- $\epsilon$ [mm]	Total de energia gasta no aquecimento do ar interior durante um ano [kWh]
3	313,5
6	312,9

A aplicação de vidro duplo com 6mm de  $\epsilon$  apresenta uma diferença pouco significativa na fatura energética, em comparação com a utilização de vidro duplo de 3 mm. Deste modo o valor utilizado na simulação final será de 3 mm, uma vez que a aplicação de vidro com  $\epsilon$  inferior é economicamente mais barato.

### 3.2.1.3. Caudal de água

O consumo de água quente é o que apresenta a maior parcela do consumo energético. Segundo os autores Kneith e Goswami (2004), consumos de água eficientes passam pela utilização de equipamentos que permitam reduzir os caudais utilizados, por exemplo nas torneiras deve ser utilizado um caudal inferior a 7,57 l/min, no chuveiro esse valor deverá ser inferior a 9,46 l/min, em relação ao caudal utilizado na máquina de lavar esse valor não varia em relação ao utilizado na simulação inicial, uma vez que já se encontra no estipulado como consumo eficiente.

Aplicando estes caudais numa nova simulação é possível obter valores correspondentes aos novos consumos de água. Na Tabela 3.10 encontram-se os valores referentes ao consumo total da AQ ao longo de um ano, os custos que lhe estão associados e a quantidade de energia necessária para o seu aquecimento. A comparação destes valores com os da Tabela 3.7 permitem constatar que, com os redutores de caudais utilizados é possível poupar cerca de 19 m<sup>3</sup> de água ao longo de um ano, o que equivale a poupanças

de 15€ na fatura correspondente ao consumo de água. A nível energético os novos caudais, equivalem à redução de 20% da eletricidade gasta para aquecer as águas domésticas, o que corresponde à poupança de 460 kWh, no mesmo período de tempo.

**Tabela 3.10 -Somatório dos consumos e custos da água quente utilizada na habitação e a respetiva energia necessária para o seu aquecimento, durante um ano**

Consumo de água total, num ano [m <sup>3</sup> ]	Custo da água total, num ano [€]	Consumo total de eletricidade para aquecimento de água num ano [kWh]
78,15	62,39	1895,14

#### **3.2.1.4. Equipamentos eléctricos e eletrónicos**

Outra das reduções energéticas incidiu na eliminação, sempre que possível, dos consumos existentes que ocorrem em “*Standby*”, nomeadamente da televisão, internet, Tv cabo e do telefone existentes no piso 01 que possui um consumo de 0,6 W e da máquina de lavar a roupa no piso 00 com um consumo de 2,6 W. O frigorífico apresenta um consumo de 16,7 W, no entanto é impossível eliminar este consumo uma vez que este aparelho necessita de estar sempre ligado à corrente elétrica. Os resultados desta simulação permitem concluir que a eliminação dos consumos elétricos, quando os equipamentos estão sempre ligados à corrente elétrica, mesmo sem ser necessária a sua utilização, equivale à diminuição de apenas 4% do consumo total destes equipamentos, obtendo-se assim cerca de 1199 kWh consumidos num ano. De igual modo, também foi possível verificar que a energia necessária para aquecer a casa durante o inverno aumenta pouco significativo de 2 kWh. Este fenómeno ocorre devido à diminuição do calor transmitido por radiação por parte destes equipamentos, para a área em que se encontram.

#### **3.2.1.5. Iluminação**

Na iluminação artificial não foi tida em conta qualquer tipo de medida corretiva, uma vez que, os consumos que lhe estão associados apresentavam a menor parcela, pois as lâmpadas inicialmente utilizadas para o modelo de simulação são do tipo económico.

### 3.2.1.6. Resultados finais

As medidas de melhoria analisadas e escolhidas como mais favoráveis no subcapítulo anterior foram agregadas numa nova simulação energética.

A aplicação destas medidas de melhoria permitiu obter os resultados energéticos, que constam na Tabela 3.11. No global, com todas as medidas aplicadas, é possível poupar 20% na fatura energética. A eletricidade gasta no aquecimento do ambiente interior foi a que apresentou melhores resultados, com uma redução dos consumos em 95%. O consumo de água continua com a maior parcela energética, no entanto foi possível reduzi-lo em 20%. Os equipamentos elétricos e eletrónicos tiveram uma redução de 4%. Como era de esperar a energia gasta na iluminação não se alterou. Todas estas medidas aplicadas permitem poupar 20% nos custos da energia elétrica, quase 130€ ao fim de um ano, o que equivale a aproximadamente a poupanças de 11€ por mês. O gráfico da Figura 3.8 e da Tabela 3.12 permitem visualizar as reduções descritas em cada mês assim, como permitem verificar que os maiores consumos energéticos correspondem ao aquecimento de água e à energia utilizada pelos equipamentos.

**Tabela 3.11 – Consumos de energia na habitação por mês e respetivos custo, para a situação global de melhoria energética**

Mês	Eletricidade gasta no aquecimento de água [kWh]	Eletricidade gasta na iluminação [kWh]	Eletricidade gasta no aquecimento do ambiente interior [kWh]	Eletricidade gasta nos equipamentos elétricos [kWh]	Total de eletricidade consumida [kWh]	Custo da Energia [€]
janeiro	182,35	5,74	5,67	105,19	298,95	47,83
fevereiro	165,20	5,18	0,93	94,41	265,72	42,51
março	178,18	5,69	1,66	100,59	286,11	45,78
abril	166,15	5,63	-	107,73	279,51	44,72
maio	160,32	5,69	-	100,59	266,60	42,66
junho	146,98	5,52	-	98,53	251,03	40,17
julho	147,50	5,80	-	109,79	263,08	42,09
agosto	98,95	2,93	-	58,50	160,38	25,66
setembro	146,12	5,58	-	103,13	254,83	40,77
outubro	158,93	5,74	-	105,19	269,86	43,18
novembro	162,69	5,52	0,40	98,53	267,14	42,74
dezembro	181,53	5,67	6,72	116,37	310,29	49,65
<b>Total com melhoria</b>	<b>1894,90</b>	<b>64,70</b>	<b>15,37</b>	<b>1198,54</b>	<b>3173,51</b>	<b>507,76</b>
Total sem melhoria	2354,55	64,70	315,59	1245,03	3979,88	636,78
Diferença	459,65	0	300,22	46,49	806,37	129,02
<b>Poupança</b>	<b>20%</b>	<b>0%</b>	<b>95%</b>	<b>4%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>

Tabela 3.12 – Consumos mensais de energia na habitação, quando se aplicam medidas que promovem a diminuição dos consumos energéticos anteriormente existentes

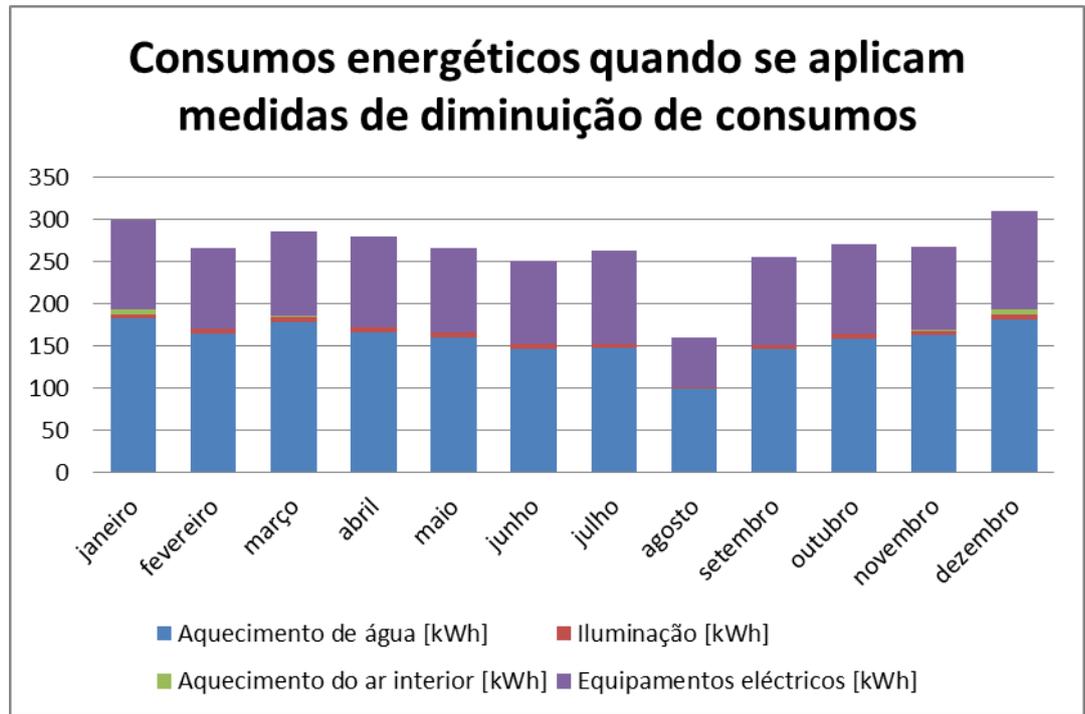
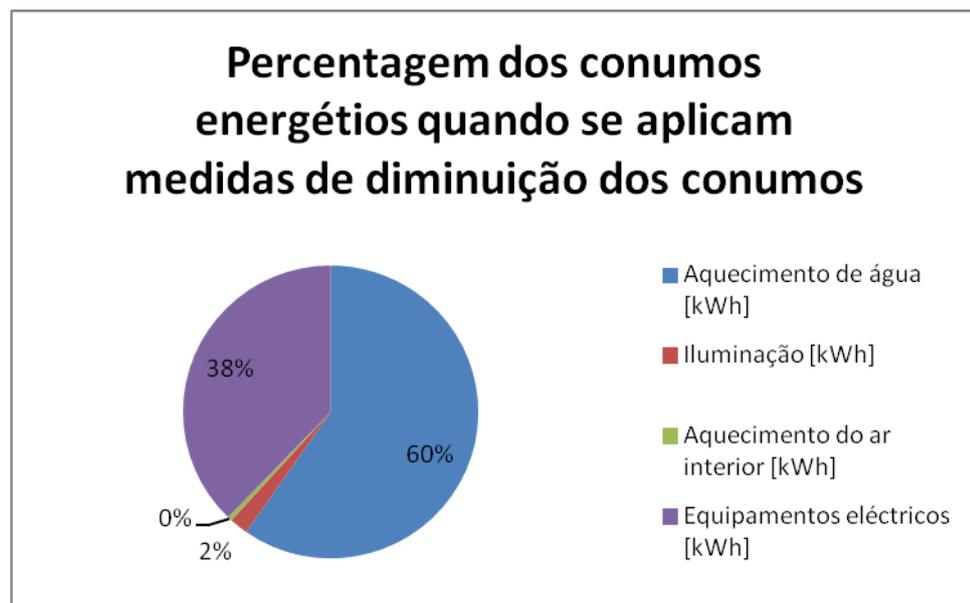


Figura 3.8 - Consumos energéticos mensais para cada tipo de energia depois de efetuadas as melhorias



Os novos valores do consumo de água encontram-se na Tabela 3.13. Estes valores em comparação com a Tabela 3.7 permitem verificar que houve uma redução de cerca de 19%, ou quase seja menos 19 m<sup>3</sup> de consumo de água ao longo do ano. Em termos económicos é possível poupar quase 15€ num ano de consumo.

**Tabela 3.13 – Consumos de água com medidas de melhoria aplicadas [m<sup>3</sup>] para cada mês do ano e respetivo custo [€]**

Mês	Consumo de água [m <sup>3</sup> ]	Custo da água [€]
janeiro	6,88	5,57
fevereiro	6,23	5,05
março	6,83	5,54
abril	6,78	5,49
maio	6,83	5,54
junho	6,63	5,37
julho	6,98	5,65
agosto	3,52	1,94
setembro	6,73	5,45
outubro	6,88	5,57
novembro	6,63	5,37
dezembro	7,22	5,85
<b>Total</b>	<b>78,15</b>	<b>62,39</b>

Este trabalho tem como objetivo principal que os consumos energéticos finais, obtidos a partir de todas as medidas de melhoria realizadas, sejam satisfeitos, tanto quanto possível, através de fontes de energia renovável captadas nas proximidades da habitação. Nos próximos capítulos serão introduzidos no modelo de simulação do edifício, equipamentos de energia renovável e de cogeração que irão gerar energia no local. Pretende-se obter um saldo energético anual próximo de zero, ou seja que a habitação consiga produzir anualmente tanta energia como a que consome.

## 4. MODELO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EFICIENTE

### 4.1. Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico simulado no modelo da habitação é constituído por 5 coletores que ocupam o telhado do alçado sul. O modelo escolhido é produzido pela BP e tem a designação BP 2150S. Um coletor é constituído por 72 células de silício monocristalino distribuídas em série. A área útil de cada coletor é 1,26 m<sup>2</sup>, com 1,595 m de comprimento e 0,79 m de largura. Segundo o fabricante, o preço de aquisição de um painel é de 1 512,4 €. Os valores máximos da potência (P), da tensão (V) e da intensidade (A) por eles apresentada são respetivamente 150W, 34V e 4,45A. As características dos coletores solares encontram-se descritas em British Petroleum, (2001).

Os coletores fotovoltaicos escolhidos para a simulação estão ligados a um “Centro de carga elétrica”, que está preparado para funcionar, mesmo quando a energia elétrica produzida excede as necessidades da procura (Department of Energy, 2014c). Para além dos módulos fotovoltaicos foi necessário introduzir um inversor no modelo do *EnergyPlus* 8.3, de modo a ser possível fazer a conversão da corrente contínua para corrente alternada. Foi escolhido um modelo simplificado de inversor, com eficiência de 90%, sempre constante ao longo do tempo. A potência nominal deste aparelho é de 800 VA.

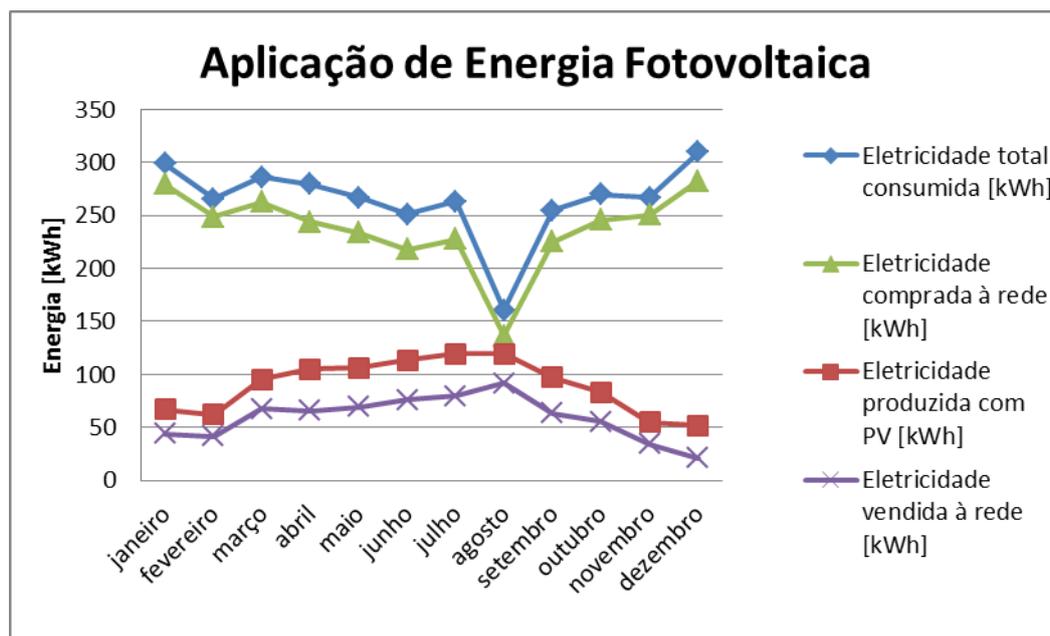
O cálculo de sistemas fotovoltaicos no *EnergyPlus* utiliza os dados recolhidos por “*Sandia National Laboratories Lab, Albuquerque*”. Os seus modelos consistem na utilização de relações empíricas do desempenho operacional das células, obtido a partir de testes reais, e tendo como base determinadas variáveis ambientais. (Department of Energy, 2014c). A exposição da radiação solar incidente na superfície do coletor é automaticamente calculada pelo *EnergyPlus* 8.3, que inclui os efeitos de sombreamento e reflexões de outras superfícies que possam existir. A temperatura das células dos diferentes módulos é calculada com base no balanço energético em relação ao NOCT, tendo em conta

o valor da temperatura do ar, da velocidade do vento, do tipo de instalação e da irradiação que atinge a célula (Honsberg, C. e Bowden, S., 2013).

Os resultados da simulação energética, quando se produz energia renovável através de um sistema fotovoltaico, encontram-se na Tabela 4.1 e na Figura 4.1.

**Tabela 4.1- Valores energéticos associados à produção de energia renovável fotovoltaica na habitação, ao longo de um ano, assim como os custos e os lucros que estão associados à utilização e venda da energia fornecida pela rede nacional**

Mês	Eletricidade total consumida [kWh]	Eletricidade produzida com PV [kWh]	Eletricidade comprada à rede [kWh]	Energia PV para autoconsumo [kWh]	Eletricidade PV vendida à rede [kWh]	OMIE - Preço médio aritmético [€/MWh]	Lucro da venda à rede [€]	Fatura energética final [€]
janeiro	298,93	66,87	279,81	19,12	43,84	31,47	1,24	44,77
fevereiro	265,66	62,09	248,58	17,08	41,49	15,39	0,57	39,77
março	286,06	95,08	262,44	23,63	67,45	26,20	1,59	41,99
abril	279,51	104,68	244,13	35,38	65,43	26,36	1,55	39,06
maio	266,60	106,25	233,47	33,13	69,13	42,47	2,64	37,36
junho	251,04	113,13	217,87	33,17	76,06	51,19	3,50	34,86
julho	263,08	119,54	227,36	35,73	79,77	48,27	3,47	36,38
agosto	160,38	119,71	136,38	24,00	91,62	49,91	4,12	21,82
setembro	254,82	96,96	224,97	29,85	63,25	58,91	3,35	36,00
outubro	269,85	83,51	245,73	24,12	55,44	55,39	2,76	39,32
novembro	267,14	54,58	250,71	16,43	34,40	46,96	1,45	40,11
dezembro	310,07	52,03	282,58	27,49	20,71	47,69	0,89	45,21
<b>Total</b>	<b>3173,15</b>	<b>1074,43</b>	<b>2854,02</b>	<b>319,13</b>	<b>708,58</b>		<b>27,15</b>	<b>456,64</b>



**Figura 4.1 – Valores energéticos associados à produção de energia renovável fotovoltaica na habitação e ao consumo de energia elétrica da rede nacional, ao longo de um ano**

Uma análise detalhada da informação obtida da simulação, permite constatar que, agosto é o mês que regista a produção máxima, sendo dezembro o mês com menor produção. Contudo, é no mês de menor produção que se verifica o maior pico de consumos, ocorrendo de igual modo, a situação inversa para o mês de maior produção. Como o consumo energético não é igual à produção de energia, torna-se necessário vender energia à rede elétrica nacional e consumir energia por ela fornecida quando a produção não é suficiente para satisfazer as necessidades da procura.

Num ano produziu-se cerca de 1074 kWh de energia elétrica, o que permitiu poupar 10% na fatura da energia elétrica, que era anteriormente fornecida pela rede. O benefício económico com a venda de energia elétrica à rede é obtido tendo em consideração a fórmula matemática presente no artigo 24.º do Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de outubro, que prevê que esse valor seja calculado pela multiplicação da energia fornecida à rede [kWh], pelo valor resultante da média aritmética simples dos preços do Operador de Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal, relativos ao mês que se pretende analisar [€/MWh] e por 0,9. Aplicando a fórmula descrita é possível obter ao fim de um ano 27,15€ de lucro com a venda de energia para a rede pública. O período de retorno deste investimento, para a aplicação dos 5 coletores, é de 279 anos, uma vez que o

lucro da venda por cada kWh é de apenas 0,04€. A aplicação deste tipo de energia renovável é pouco viável economicamente, uma vez que o preço de venda da energia elétrica à rede é pouco atrativa. Uma vez que, as horas de maior consumo da habitação não coincidem com os períodos de produção, aproveitando também pouca energia para o consumo.

Um dos parâmetros pertinentes para o estudo desta dissertação, passa pelo conhecimento da relação existente entre o consumo de energia secundária, que decorre da transformação da energia primária. Para obter a Tabela 4.1 foi necessário considerar que o valor da energia secundária, corresponde ao consumo de eletricidade. As respetivas transformações para energia primária foram obtidas tendo em consideração a informação presente no Anexo II da Diretiva 2006/32/CE, que define os valores associados aos rendimentos elétricos e térmicos de 40% e de 90%, respetivamente. Sendo também necessário, ter em ponderação, as conversões utilizadas pela Agência Internacional da Energia, em que 1 tep é igual a 41868 MJ e que 1 kWh é igual a  $215 \times 10^{-6}$  tep. Deste modo, é possível verificar que o saldo energético final do sistema fotovoltaico é de 0,38, o que traduz um consumo de 0,61 tep e 0,23 tep de produção energética, ao longo de um ano.

## 4.2. Sistema solar térmico

O coletor solar escolhido para a o modelo de simulação energética é produzido pela empresa Apricus Solar CO, Ltd, cujo modelo é AP-10. No total, o sistema de captação da energia solar é constituído por 1 coletor colocado sobre o telhado, no alçado Sul da habitação. O coletor possui 2,005 m de comprimento, 0,796 m de largura e 0,136 m de altura. Segundo o fabricante, o custo de um coletor é de cerca 728€. Atendendo ao certificado do coletor solar escolhido é possível identificar os coeficientes numéricos que caracterizam a equação da eficiência do mesmo. O primeiro coeficiente é adimensional e tem o valor de 0,416, os restantes são  $-0,9646 \text{ W/ m}^2\text{K}$  e  $-0,00225 \text{ W/ m}^2\text{K}^2$ . O fluxo que atravessa o coletor é de  $0,0000545 \text{ m}^3/\text{s}$  (Apricus, 2013). É importante notar que o *EnergyPlus* utiliza o modelo de eficiência de coletores solares, segundo as normas ASHRAE, que são diferentes das normas europeias.

O esquema do circuito utilizado na simulação energética encontra-se representado na Figura B 2.2 no Apêndice B. Este fornece uma visão geral de como o

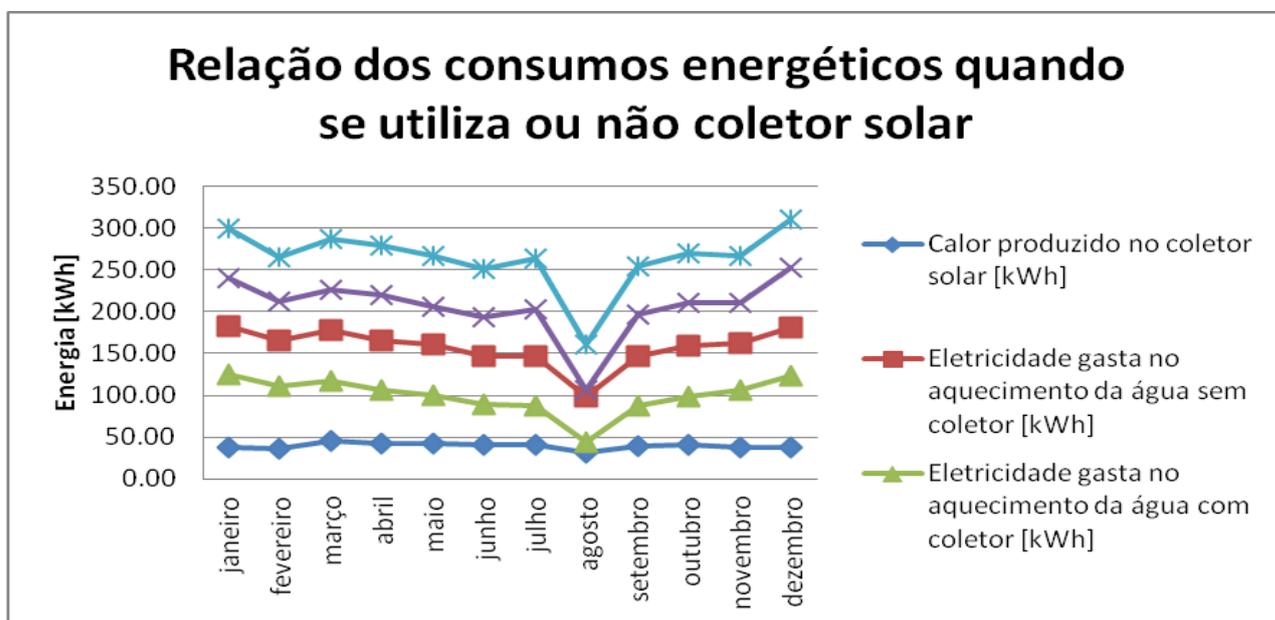
sistema foi modelado, sendo possível identificar os principais componentes utilizados e os vários elementos que a eles estão conectados.

No sistema existe um tanque de armazenamento de 80 L, que é responsável pela retenção da água que foi aquecida com a energia térmica proveniente dos coletores. Existe também, um reservatório, que se situa a jusante do tanque de armazenamento, com capacidade para conter a AQS até 5,68 L. Este funciona como auxiliar no aquecimento da água, de modo a satisfazer as necessidades da procura quando a energia solar não é suficiente, ou seja quando a água não está suficientemente quente. Neste sistema existe também um termostato, que possibilita a regulação da temperatura do fluido para um determinado valor constante. Quando a temperatura da água, que sai do tanque de armazenamento, é superior a 60 °C, o sistema auxiliar desliga. Por outro lado quando a temperatura da água, que sai do coletor é inferior a 60 °C, o sistema auxiliar liga. O modelo faz a comparação da temperatura da água no tanque de armazenamento com a temperatura no coletor, ativando a bomba, quando existe um ganho útil de calor. É possível identificar também uma válvula de controlo da temperatura, que possibilita a mistura da água muito quente com água fria da rede, de modo que, a água não chegue aos ocupantes temperaturas elevadas.

Os resultados da simulação, que variam apenas para a energia gasta no aquecimento da AQS, e que se encontram na Tabela 4.2 e na Figura 4.2 permitem verificar que o sistema com um coletor solar produz cerca de 448 kWh de energia térmica, ao longo de um ano. Com este sistema é possível poupar 699 kWh no aquecimento da água, ao longo de um ano. Com estes resultados é possível poupar 112€ na fatura energética. No total é possível poupar 22% no consumo da energia, em relação ao valor correspondente ao consumo energético, com medidas de melhorias de eficiência aplicadas. A aplicação deste sistema apresenta um período de retorno do investimento de 6,5 anos.

**Tabela 4.2 - Consumos energéticos destinados ao aquecimento da água, quando se utiliza ou não coletor solar e os consumos totais mensais**

Mês	Calor produzido no coletor solar [kWh]	Eletricidade gasta no aquecimento da água sem coletor [kWh]	Eletricidade gasta no aquecimento da água com coletor [kWh]	Energia elétrica que se poupa com o coletor [kWh]	Total da eletricidade consumida com coletor [kWh]	Custo da eletricidade total da habitação com coletor [€]	Total de Eletricidade gasta na habitação sem coletor [kWh]	Custo da Energia total da habitação sem coletor [€]
janeiro	38,19	182,35	124,58	57,77	240,73	38,52	298,95	47,83
fevereiro	36,79	165,20	110,85	54,35	211,53	33,85	265,72	42,51
março	45,54	178,18	117,44	60,74	225,49	36,08	286,11	45,78
abril	42,74	166,15	106,97	59,18	220,48	35,28	279,51	44,72
maio	42,73	160,32	99,81	60,51	206,25	33,00	266,60	42,66
junho	40,34	146,98	88,75	58,23	192,94	30,87	251,03	40,17
julho	41,14	147,50	87,48	60,02	203,20	32,51	263,08	42,09
agosto	32,27	98,95	44,54	54,41	106,07	16,97	160,38	25,66
setembro	39,97	146,12	87,92	58,20	196,76	31,48	254,83	40,77
outubro	41,40	158,93	98,91	60,02	210,00	33,60	269,86	43,18
novembro	38,01	162,69	105,72	56,97	210,24	33,64	267,14	42,74
dezembro	38,54	181,53	123,41	58,12	252,18	40,35	310,29	49,65
<b>total</b>	<b>477,64</b>	<b>1894,90</b>	<b>1196,38</b>	<b>698,52</b>	<b>2475,87</b>	<b>396,14</b>	<b>3173,50</b>	<b>507,76</b>



**Figura 4.2- Consumos energéticos mensais, quando existe ou não coletor solar**

O cálculo do saldo energético final, que relaciona a energia elétrica consumida e a energia elétrica produzida, possibilita que para este sistema se verifique um saldo 0,53 tep, ao longo de um ano. Ou seja, são consumidos 0,53 tep e não é produzida energia elétrica.

### 4.3. Sistema de micro cogeração

O sistema combinado de produção de energia elétrica e calor na habitação é possível através da utilização de um micro cogrador. O aparelho escolhido foi o Dach G5.5, criado pela empresa Alemã Senertec. Este sistema utiliza como fuel de combustão o gás natural. A queima do gás natural é utilizada para produzir energia elétrica com recurso a um motor de combustão a quatro tempos (admissão isobárica, compressão adiabática, combustão isocórica com expansão adiabática e por ultimo abertura da válvula com exaustão isobárica). A restante energia contida no combustível é convertida em calor que é posteriormente aproveitado para o aquecimento da AQS. A fração molar característica do gás natural utilizado é de 0,949 de metano, 0,007 para o dióxido de carbono, 0,016 para o nitrogénio, 0,025 para o heptano, 0,002 para o propano, 0,0006 para o butano, 0,0002 para o pentano e para o oxigénio.

O custo do aparelho de micro cogeração, segundo o fabricante, é de 21 944 €, o que inclui um gerador, um regulador, um sistema de ignição, um permutador de calor, um sistema de escape e regulação de gases. Na habitação está localizado no piso 00 e possui 72 cm de largura, 107 cm de comprimento e 100 cm de altura. A sua potência máxima e eficiência elétrica são respetivamente 5,5 kW e 27%. A sua potência e eficiência térmica são de 12,5 kW e de 61% (Senertec, 2015). A razão da potência (térmica e elétrica) é igual a 2,27. O micro cogrador escolhido tem a capacidade de poder aquecer as AQS no seu circuito até aos 83 °C.

No *Energyplus* 8.3 este modelo de produção de energia não possui curvas normalizadas, significando que é necessário as curvas de desempenho térmico e elétrico para cada nível de potência. Devido à dificuldade em encontrar os dados que permitem

obter as curvas de desempenho, optou-se por utilizar um modelo já existente na base de dados do *EnergyPlus* 8.3.

Este sistema de produção de energia está representado na Figura B 2.2, no Apêndice B. O seu circuito é similar ao armazenamento da AQS utilizada no sistema com CST, uma vez que é necessária a utilização de uma válvula mistura e uma válvula de controlo da temperatura, duas bombas, assim com um tanque de armazenamento da AQ onde é armazenada a AQ proveniente do aquecimento através do micro cogrador e ainda um tanque de menores dimensões que funciona como auxiliar no aquecimento da AQ.

Uma vez que com o sistema de micro cogeração existe produção de energia térmica e de acordo com as necessidades, optou-se por eliminar os aquecedores elétricos e adicionar no modelo dois radiadores a água, para aquecimento dos pisos 01 e 02.

Com os resultados da simulação, presentes na Tabela 4.3, é possível verificar que o sistema produz 2413,96 kWh de energia elétrica e 1608,16 kWh de energia térmica, o que permite diminuir cerca de 77% da energia inicialmente consumida na habitação, quando se aplicam melhorias. Assim sendo, é apenas necessário fornecer 725,45 kWh de energia proveniente da rede, o que possibilita uma aproximação da denominação do edifício de nZEB.

No entanto, o período de retorno da aplicação deste investimento é de 370 anos, dado que anualmente só são obtidos 63,10€ de lucro da energia elétrica à rede. Outros dos fatores negativos deste sistema é a preço do gás natural utilizado que é igual a 28,87 €/GJ (DGEG, 2015b). Ainda assim, no total este sistema quase que consegue produzir toda a energia consumida, o que torna este sistema eficientemente mais favorável que os restantes estudados.

Tabela 4.3 – Produção e consumos energéticos associados à utilização de micro cogeração

Mês	Eletricidade consumida [kWh]	Energia térmica transferida com a micro cogeração [kWh]	Eletricidade produzida com a micro cogeração [kWh]	Eletricidade agasta no aquecimento da água [kWh]	Energia vendida à rede [kWh]	Lucro da venda á rede [€]	Consumo de gás natural [GJ]	Custo do gás natural [€]	Custo da eletricidade [€]
janeiro	63,00	222,00	248,84	0	188,71	5,34	3,68	106,20	10,08
fevereiro	53,59	178,72	213,98	0	156,96	2,17	3,16	91,32	8,57
março	59,03	176,13	225,11	0	165,68	3,91	3,33	96,08	9,44
abril	66,49	127,25	203,29	0	144,63	3,43	3,01	86,76	10,64
maio	59,86	132,96	203,14	0	144,54	5,52	3,00	86,70	9,58
junho	60,87	92,68	175,64	0	120,68	5,56	2,60	74,96	9,74
julho	71,16	105,33	178,68	0	122,08	5,30	2,64	76,26	11,39
agosto	31,17	41,32	158,49	0	116,06	5,21	2,34	67,64	4,99
setembro	68,15	91,43	170,51	0	118,16	6,26	2,52	72,77	10,90
outubro	66,82	108,89	191,81	0	135,52	6,76	2,84	81,86	10,69
novembro	57,05	134,09	208,24	0	149,45	6,32	3,08	88,87	9,13
dezembro	68,26	197,35	236,24	0	170,27	7,31	3,49	100,82	10,92
<b>total</b>	<b>725,45</b>	<b>1608,16</b>	<b>2413,96</b>	<b>0</b>	<b>1732,75</b>	<b>63,10</b>	<b>35,69</b>	<b>1030,25</b>	<b>116,07</b>

O saldo energético final que relaciona a energia final consumida e a energia produzida é de 0,49 tep. Sendo que, 0,16 tep correspondem ao consumo de energia elétrica, 0,85 tep correspondem ao consumo de gás natural e 0,52 tep corresponde à energia elétrica produzida no sistema.

## 4.4. Turbina eólica

A produção de energia eólica na habitação pode ser realizada através da utilização de um micro turbina eólica, que possui características que permitem a sua inserção em ambiente urbano. O modelo escolhido é o LE-450 e foi criado pela empresa Britânica Leading Edge, que se dedica à produção de pequenas turbinas. Segundo dados disponibilizados pelo fornecedor, a potência nominal que este modelo pode apresentar é de 105 W quando a velocidade do vento é 8 m/s. A sua potência de saída máxima é igual a 450 W, sendo a velocidade de “cut-in” (velocidade do vento a partir da qual a turbina começa a produzir energia) igual a 3 m/s. A turbina localiza-se na parte superior do telhado, sendo constituída por 5 pás com diâmetro de rotação vertical de 1 m. O seu eixo horizontal é de 0,77 m e o seu suporte vertical tem 1,9 m de altura, (Leading Edge, 2014a).

O valor da energia produzida na habitação pela turbina, ao longo de um ano, pode ser calculado manualmente, sem recurso ao programa de simulação *Energyplus 8.3*. Para tal, multiplica-se o valor da potência produzida na turbina, para uma dada velocidade, pelo número de horas que essa velocidade do vento é sentida durante um ano. Os valores característicos da potência da turbina são facultados pelo fornecedor e encontram-se na Tabela 4.4. O gráfico respetivo está representado na Figura C 1.1, do Anexo C.

A partir dos dados disponíveis no ficheiro climático do *EnergyPlus* para Coimbra é possível estimar o número de horas anuais em que o vento sopra com uma determinada velocidade. No modelo existe a possibilidade de incluir uma correção para a velocidade do vento, quando o local tem características de vento diferentes relativamente aos dados meteorológicos. O número de horas que cada velocidade foi registada encontra-se na Tabela 4.4.

Com os dados anteriormente descritos foi possível construir a Figura 4.3, que relaciona a energia produzida na turbina, para uma determinada velocidade do ar, com o número de horas em que essa velocidade se faz sentir. Deste modo, conclui-se que a velocidade do vento que se verifica mais vezes durante um ano é de 2 m/s. A essa velocidade a turbina não produz energia, uma vez que está abaixo da velocidade “cut-in”. Verifica-se também que a turbina produz durante um ano cerca de 85 kWh, sendo o pico máximo de produção aos 4 m/s, baixando até atingir um novo pico de produção aos 7 m/s, diminuído até atingir a produção quase nula aos 17 m/s.

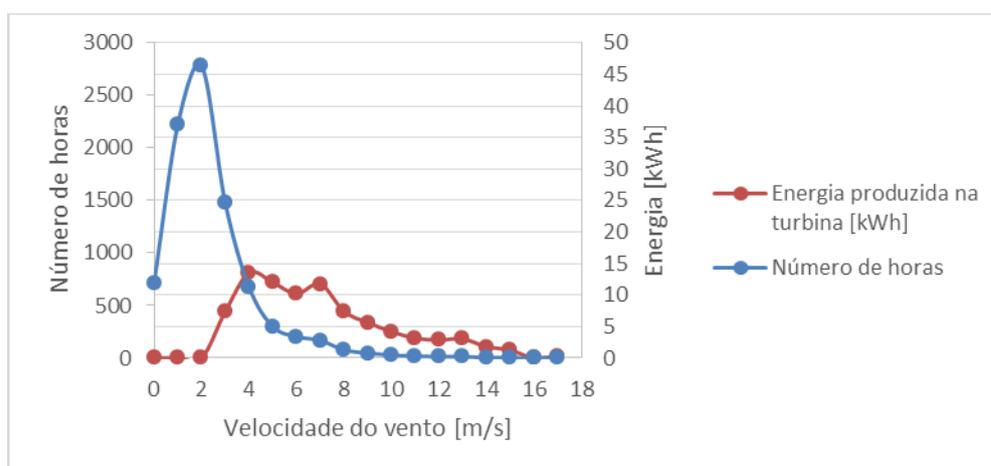
Tabela 4.4- Valores necessários ao cálculo da energia eólica produzida na habitação

Velocidade [m/s] (IWECC,2012)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
Número de horas (IWECC, 2012)	717	2225	2787	1476	676	300	204	168	78	47	28	18	13	12	6	4	0	1	8760
Potência da turbina [W]- (Leading Edge, 2014)	0	0	0	5	20	40	50	70	95	120	150	175	220	255	300	320	350	370	2540
Energia produzida na turbina [kWh]	0	0	0	7,38	13,52	12	10,2	11,76	7,41	5,64	4,2	3,15	2,86	3,06	1,8	1,28	0	0,37	84,63

Tabela 4.5 – Valores pertinentes para o cálculo do retorno do investimento quando se utiliza uma turbina eólica

	Valor	Unidade
Preço da turbina (Leading Edge, 2014b).	1807	€
Produção anual de eletricidade	84,63	kWh/ano
Preço eletricidade:	0,16	€/kWh
Ganho anual:	13,54	€/ano
Período de retorno:	133	anos

Figura 4.3- Gráfico que relaciona a potência produzida na turbina com a velocidade do ar, e o número total de horas em que uma determinada velocidade se faz



Analisando o dados da tabela anterior, a Tabela 4.5, é possível verificar que serão necessários 133 anos para se obter o valor do investimento inicial da compra da turbina eólica. Este período de tempo não se encontra dentro da escala humana pelo que economicamente é um inconveniente para a aplicação deste tipo de produção de energia. Outro fator que contribui para a obtenção de valores baixos de potência produzida pela turbina eólica é a velocidade do vento. Os valores medidos na estação meteorológica são um pouco superiores ao vento sentido na habitação, uma vez que esta se encontra no centro da cidade e está rodeada por outros edifícios, que vão diminuir ainda mais a intensidade do vento e consequentemente a potência por ele gerada será menor do que os valores calculados na Tabela 4.4 para cada mês.

A realização da simulação no *EnergyPlus* 8.3 necessita de alguns dados de entrada para o cálculo da potência, tais como o ficheiro meteorológico para a zona de Coimbra, os dados que qualificam a turbina escolhida, nomeadamente a potência mínima e máxima produzidas para uma dada velocidade do vento, as características das pás e entre outros aspetos que são disponibilizados pelo fornecedor.

Na Tabela 4.6 encontram-se os resultados da simulação energética efetuada para a aplicação de uma turbina eólica. Como se pode verificar, o valor da potência produzida pela turbina é próximo do valor calculado manualmente. No entanto, não foi possível obter valores corretos para a energia eólica consumida na habitação, nem para a energia eólica vendida à rede, apesar de aparentemente o modelo estar corretamente parametrizado.

O saldo energético final deste sistema é de 0,66 tep, no qual 0,68 tep correspondem à energia elétrica consumida e 0,02 equivalem à energia elétrica produzida, durante um ano.

**Tabela 4.6- Valores resultantes da aplicação de uma turbina na habitação e a respetiva potência elétrica calculada sem o programa da simulação *EnergyPlus 8.3***

Mês	Energia total consumida na habitação [kWh]	Energia produzida na turbina eólica [kWh]	Eletricidade vendida à rede [kWh]	Eletricidade comprada à rede [€]	Custo da energia com a turbina eólica [€]
janeiro	298,95	0,96	0	298,95	47,83
fevereiro	265,72	18,44	0	265,72	42,51
março	286,11	15,65	0	286,11	45,78
abril	279,51	3,77	0	279,51	44,72
maio	266,60	4,43	0	266,60	42,66
junho	251,03	0,80	0	251,03	40,17
julho	263,08	1,15	0	263,08	42,09
agosto	160,38	3,23	0	160,38	25,66
setembro	254,83	3,37	0	254,83	40,77
outubro	269,86	0,22	0	269,86	43,18
novembro	267,14	10,23	0	267,14	42,74
dezembro	310,29	20,52	0	310,29	49,65
<b>total</b>	<b>3173,51</b>	<b>82,78</b>	<b>0</b>	<b>3173,51</b>	<b>507,76</b>

## 4.5. Sistema fotovoltaico e solar térmico

Outro dos estudos realizados na dissertação consiste na aplicação de dois tipos de energias renováveis, que foram analisados anteriormente, num único modelo de simulação energética. O estudo da combinação de cinco coletores fotovoltaicos e de um coletor solar térmico na habitação, encontra-se neste subcapítulo, e na Figura 4.4 é possível verificar a sua localização na habitação.

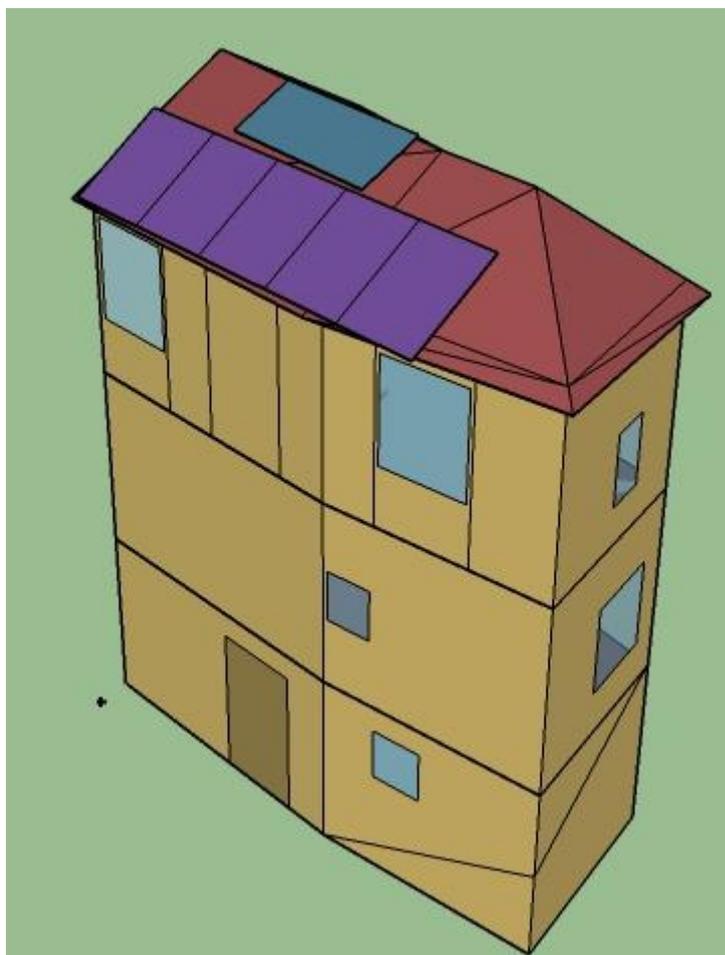


Figura 4.4 – Imagem da habitação obtida no Scketchup, quando se simula cinco coletores fotovoltaico com um coletor solar térmico

**Tabela 4.7 -Consumos energéticos quando se aplicam coletores solares térmicos e coletores fotovoltaico na habitação**

Mês	Eletricidade consumida da rede [kWh]	Eletricidade gasta no aquecimento de água [kWh]	Calor produzido [kWh]	Eletricidade produzida [kWh]	Eletricidade produzida vendida à rede [kWh]	Lucro da venda da eletricidade à rede [€]	Preço da eletricidade do sistema [€]
janeiro	176,88	75,79	68,03	66,86	66,86	1,89	28,30
fevereiro	152,76	65,15	65,45	62,09	45,52	0,63	24,44
março	134,80	44,43	102,81	95,07	73,37	1,73	21,57
abril	103,68	20,06	111,24	104,67	70,81	1,68	16,59
maio	92,26	13,16	115,68	106,24	74,79	2,86	14,76
junho	78,37	1,12	117,11	113,12	82,16	3,79	12,54
julho	87,58	1,26	115,57	119,53	85,96	3,73	14,01
agosto	45,36	0,44	70,57	119,70	98,92	4,44	7,26
setembro	91,54	7,89	103,77	96,95	67,80	3,59	14,65
outubro	122,72	31,57	92,52	83,50	59,53	2,97	19,63
novembro	160,27	68,92	57,96	54,57	37,66	1,59	25,64
dezembro	195,69	91,76	54,25	52,03	23,76	1,02	31,31
<b>Total</b>	1441,92	421,56	1074,95	1074,35	787,13	29,93	230,71

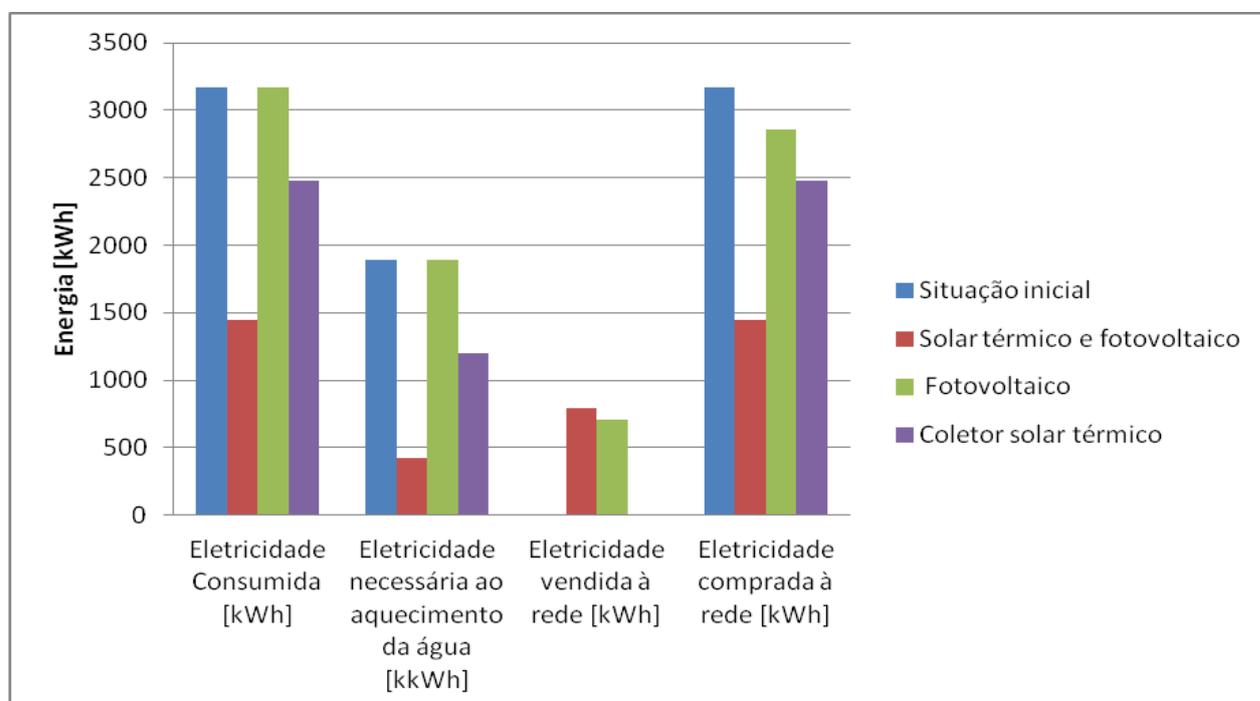
Quando se analisam os resultados da simulação, Tabela 4.7, verifica-se que é possível poupar 55% no consumo de energia, em relação ao sistema base, com as melhorias energéticas aplicadas. Este sistema permite ainda a venda de 654,6 kWh de energia elétrica à rede pública, diminuindo o custo da fatura energética para 787,13€ por ano. O período de retorno deste investimento é de 277 anos uma vez que, o investimento inicial desta aplicação é de 8 290 € para a compra dos 6 coletores.

Na Tabela 4.8 e na Figura 4.5 encontram-se os valores energéticos que permitem a comparação deste sistema com o caso base, o sistema fotovoltaico e o sistema de coletores solares térmicos.

**Tabela 4.8 – Consumos energéticos referentes a quatro sistemas simulados: situação inicial, solar térmico com fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico**

	Situação inicial com melhoria	Solar térmico e fotovoltaico	Fotovoltaico	Coletor solar térmico
<b>Eletricidade Consumida [kWh]</b>	3173,51	1441,92	3173,15	2475,87
<b>Eletricidade necessária ao aquecimento da água [kWh]</b>	1894,90	421,56	1894,90	1196,38
<b>Eletricidade vendida à rede [kWh]</b>	0	787,13	708,58	0
<b>Eletricidade comprada à rede [kWh]</b>	3173,51	1441,92	2854,02	2475,87

**Figura 4.5- Gráfico comparativo dos valores do consumo energético para quatro sistemas: situação inicial, solar térmico com fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico**



A junção dos dois sistemas apresenta vantagens em todos os parâmetros analisados. Assim sendo, a sua aplicação possibilita que, o saldo energético final seja de 0,08 tep. No qual, se verifica o consumo de energia elétrica final de 0,31 e uma produção de 0,23 tep, ao longo de um ano. Como este valor é próximo de zero, significa que é possível atingir quase a denominação de nZEB, uma vez que, a energia final consumida é próxima da energia final produzida por este sistema.

## 4.6. Sistema fotovoltaico e micro cogeração

Quando se simula o modelo da habitação com cinco coletores fotovoltaicos e com a micro cogeração, estudados anteriormente, é possível obter os resultados presentes na Tabela 4.9.

**Tabela 4.9 -Consumos energéticos quando se aplica a cogeração e coletores fotovoltaico na habitação**

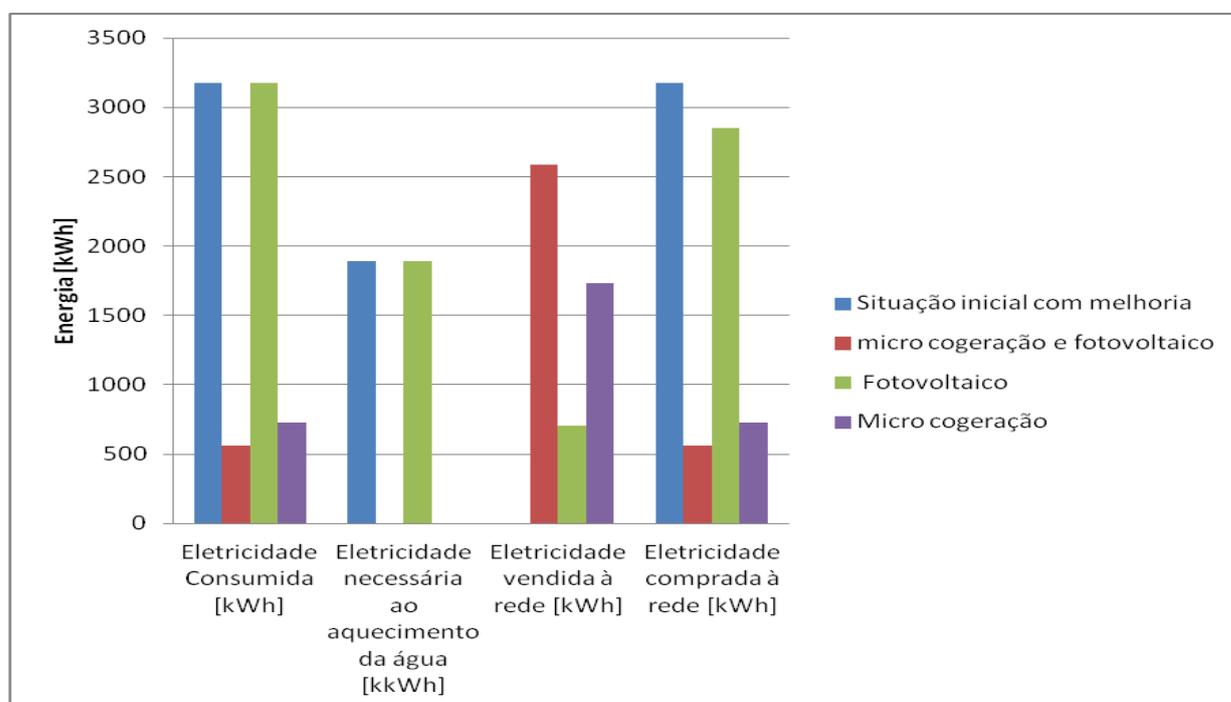
Mês	Eletricidade total consumida proveniente da rede [kWh]	Eletricidade produzida [kWh]	Energia total vendida [kWh]	Energia comprada à rede [kWh]	Consumo de gás natural [GJ]	Energia térmica produzida [kWh]	Eletricidade necessária ao aquecimento da água [kWh]	Lucro da venda à rede [€]	Custo da eletricidade consumida proveniente da rede [€]	Custo do gás natural [€]
janeiro	51,79	309,86	238,54	51,79	3,66	218,43	0	6,76	8,29	105,44
fevereiro	44,06	271,16	204,62	44,06	3,15	176,81	0	2,83	7,05	90,78
março	48,08	315,36	245,00	48,08	3,33	175,77	0	5,78	7,69	95,72
abril	47,43	304,56	226,84	47,43	3,02	130,52	0	5,38	7,59	86,96
maio	44,59	301,11	227,24	44,59	2,95	120,82	0	8,69	7,13	84,85
junho	46,77	289,51	220,45	46,77	2,67	109,64	0	10,16	7,48	76,88
julho	52,94	290,58	215,75	52,94	2,59	94,59	0	9,37	8,47	74,64
agosto	24,00	273,92	224,33	24,00	2,35	41,80	0	10,08	3,84	67,50
setembro	50,52	263,05	193,07	50,52	2,52	91,29	0	10,24	8,08	72,48
outubro	51,28	269,66	197,83	51,28	2,82	105,13	0	9,86	8,21	81,13
novembro	48,70	258,83	191,68	48,70	3,09	135,27	0	8,10	7,79	88,84
dezembro	51,95	286,02	203,74	51,95	3,53	206,16	0	8,74	8,31	101,56
<b>total</b>	<b>562,11</b>	<b>3433,62</b>	<b>2589,09</b>	<b>562,11</b>	<b>35,68</b>	<b>1606,23</b>	<b>0</b>	<b>95,99</b>	<b>89,94</b>	<b>1026,79</b>

Os consumos energéticos associados a este sistema são de 562,11 kWh, menos 2611,4 kWh em relação à situação inicial e ao sistema fotovoltaico, possibilitando assim poupanças de 82%, uma vez que não é necessária energia proveniente da rede para o aquecimento da água. Assim sendo, o custo associado à fatura energética diminui de 508€ para 90€, ao longo de um ano. No entanto, é necessário considerar o valor associado ao consumo do gás natural que, ao fim de um ano, equivale a 1 027€. Por outro lado, este sistema possibilita a venda de 2589.09 kWh à rede pública nacional, o que permite obter, ao fim de um ano, 96 € de lucro.

Tabela 4.10 – Consumos energéticos referentes a quatro sistemas simulados: situação inicial, micro cogeração com fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico

	Situação inicial com melhoria	Micro Cogeração e fotovoltaico	Fotovoltaico	Micro cogeração
Eletricidade Consumida [kWh]	3173,51	562,11	3173,15	725,45
Eletricidade necessária ao aquecimento da água [kkWh]	1894,9	0	1894,9	0
Eletricidade vendida à rede [kWh]	0	2589,09	708,58	1732,75
Eletricidade comprada à rede [kWh]	3173,51	562,11	2854,02	725,45

Figura 4.6- Gráfico comparativo dos valores do consumo energético para quatro sistemas: situação inicial, micro cogeração fotovoltaico, fotovoltaico e solar térmico



Analisando a Tabela 4.10 e a Figura 4.6 é possível verificar que a junção destes sistemas, num modelo de simulação, apresenta resultados eficientes. O que possibilita que, não seja necessário o consumo de energia elétrica proveniente da rede nacional para o aquecimento das AQS. Deste modo, o saldo energético final da junção destes dois sistemas é de 0,24 tep. A energia elétrica final, consumida ao longo de um ano, é equivalente a 0,12 tep, a energia final correspondente ao consumo de gás natural é de 0,85 tep, e a energia elétrica final produzida é de 0,74 tep.

No entanto, o período de retorno do investimento é de 255 anos. Este valor deve-se ao custo total de aquisição dos dois sistemas, que equivale a 23 456,4 € e também ao consumo anual de gás natural de 1 026,79 €. Ou seja mesmo que este sistema apresenta bons resultados torna-se economicamente insustentável o retorno do investimento à escala humana.



## 5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento da dissertação permitiu o estudo de sistemas, que promovam a captação eficiente de energia, a partir de fontes de origem renovável, e que podem ser aplicados em edifícios habitacionais existentes.

Da habitação escolhida para o estudo, não foi possível conhecer os consumos energéticos reais dos seus habitantes, uma vez que esta se encontrava em obras de reabilitação. Contudo, os dados medidos e conhecidos para situações semelhantes, permitiram a utilização do programa de simulação energética *EnergyPlus* 8.3. A sua aplicação facultou o conhecimento da energia elétrica consumida no aquecimento das águas sanitárias, na iluminação, nos equipamentos elétricos e eletrónicos e no aquecimento do ar ambiente. No total, ao longo de um ano, foram gastos cerca de 3980 kWh, o que equivale ao valor económico de 636,78 €, ou seja 53 € por mês, verificando assim que os resultados se encontram próximos da média nacional portuguesa para os consumos domésticos.

Reduzir os consumos energéticos obtidos foi um dos processos que contribuiu para o aumento da eficiência energética na habitação, proporcionando de igual modo o conforto dos ocupantes. Com essa finalidade, no modelo criado anteriormente, foram introduzidas algumas alterações, que resultaram de um estudo prévio sobre quais as melhores soluções a aplicar nesta habitação. Assim sendo, procedeu-se à aplicação de isolamento com EPS de 100 mm de espessura, em todas as superfícies verticais exteriores e isolamento com 100 mm de espessura de cortiça, nos pavimentos horizontais do teto do piso 02 e no pavimento do piso 01. Estas aplicações permitiram reduzir o consumo total, obtido inicialmente, em cerca de 48 e 36%. A aplicação de vidro duplo de 3 mm de espessura também foi introduzida no modelo, no entanto este apresenta reduções pouco significativas, mas mesmo assim é aplicada de modo a aumentar os padrões de conforto térmico dos ocupantes. Para diminuir o consumo de energia destinada ao aquecimento de água quente, aplicaram-se redutores de caudais, que permitiram poupar 20% no aquecimento da água sanitária. Eliminou-se também alguns consumos em *standby* dos equipamentos elétricos e eletrónicos existentes na habitação, o que

equivale à diminuição no consumo de apenas 4%. A sua baixa redução está associada à necessidade de manter alguns consumos deste tipo, como é o caso do frigorífico. A parcela do consumo consequente da utilização da iluminação artificial, não sofreu qualquer tipo de melhoria, visto que é aqui que se verificam os menores consumos, possivelmente devido à utilização de lâmpadas eficientes. Com todas as medidas de melhoria aplicadas foi possível diminuir o consumo da habitação em 20% e reduzir a fatura energética em 129€.

O passo seguinte constitui a parte mais importante da dissertação. Esta fase corresponde ao estudo, compreensão, aprofundamento e aplicação dos vários tipos de produção eficiente de energia no modelo da habitação, anteriormente implementado no programa de simulação *EnergyPlus* 8.3.

A aplicação de cinco coletores fotovoltaicos de silício monocristalino produz 1074 kWh ao longo de um ano, o que possibilita a venda de 708,6 kWh à rede pública nacional. O consumo energético total nesta situação é de 3173,5 kWh, e representa um custo económico de 457 €. O período de retorno da aplicação de sistema é de 279 anos. Este valor é insustentável à escala humana, possivelmente devido ao facto da energia elétrica produzida, que não é imediatamente consumida, ser deficientemente canalizada para a venda à rede pública nacional. Outro dos motivos que contribui para o baixo retorno económico, relaciona-se com o preço reduzido da venda da energia elétrica à rede, que é aproximadamente 0,042 €/kWh.

O estudo da utilização de um coletor solar térmico também foi realizado. Os resultados provenientes do modelo de simulação permitem verificar que a aplicação deste sistema de produção é mais eficiente, em termos de diminuição dos consumos energéticos, que o sistema de produção de energia elétrica através de cinco coletores fotovoltaicos. O calor produzido durante um ano, e que é aproveitado para o aquecimento das águas sanitárias, corresponde a 477,64 kWh. O consumo energético total é de 2475,87 kWh, o que traduz poupanças de 22% em relação ao sistema de produção renovável anterior e ao sistema base, onde são aplicadas as melhorias. Outra das vantagens da aplicação deste sistema é o seu período de retorno de 6,5 anos, que é facilmente alcançável e que permite a sua aplicação.

Com os resultados da produção energética, simulada para a micro cogeração, é possível constatar que este sistema produz, ao longo de um ano, 1608 kWh de energia térmica e 2414 kWh de energia elétrica. No total este sistema consome apenas 725 kWh de

---

energia proveniente da rede elétrica nacional. Assim sendo, é possível poupar 77% no consumo energético em comparação com o caso base, onde são aplicadas as melhorias, 71% com o sistema solar térmico e 77% com o fotovoltaico. No entanto, a este sistema estão associados alguns aspetos negativos, tais como, o consumo e custo do gás natural, que faz aumentar o período de retorno do investimento económico para os 370 anos.

A produção de energia elétrica a partir de uma turbina eólica foi calculada de dois modos: manualmente e através do programa de simulação energética *EnergyPlus* 8.3.

Para a primeira situação o valor da potência produzida pela turbina foi de 84,6 kWh, ao longo de um ano. No segundo caso, a produção de energia elétrica ao longo de um ano é de 82,8 kWh. Este valor é próximo do calculado pelo primeiro método, porém estes são pouco significativos quando comparados com a energia consumida, no mesmo período de tempo, pelos ocupantes da habitação, que equivale a 3173,5 kWh. Não obstante a estas conclusões, o período de retorno deste investimento é de 133 anos. Os baixos resultados associados a este tipo de produção energética devem-se essencialmente às baixas velocidades do vento, que se fazem sentir no centro da cidade e que não são favoráveis para este tipo de energia renovável. Outro dos motivos está relacionado com o modelo de simulação não conseguir eficazmente implementar a venda da energia produzida e que não é consumida, à rede pública, ou seja o pouco que produz não é destinado ao consumo nem à venda.

O sistema fotovoltaico e o sistema solar térmico, quando aplicados num único modelo, possibilitam ao longo de um ano, a produção de 1074 kWh, consumindo 1442 kWh de energia elétrica proveniente da rede pública nacional. Permitindo poupar 55%, na parcela do consumo energético em relação aos resultados da estratégia de diminuição de consumos.

No estudo do sistema fotovoltaico com micro cogeração verificou-se que, ao longo de um ano, é possível produzir 3433 kWh de energia elétrica e 1606 kWh de energia térmica. O que possibilita o consumo de 62 kWh de energia elétrica proveniente da rede pública nacional. Estes consumos permitem poupar 82% em relação ao sistema com medidas de melhoria e 23% em relação ao sistema de micro cogeração.

No global é possível poupar, quando a habitação não possui qualquer tipo de melhoria de eficiência aplicada, cerca de 20% com o sistema fotovoltaico, 38% com os

coletores solares térmicos, 82% com a micro cogeração, 64% com o sistema solar térmico mais fotovoltaico, e 86% com o sistema de micro cogeração mais fotovoltaico.

Como os resultados das várias simulações realizadas é possível obter o balanço de energia final, que representa a diferença entre a energia final consumida e a energia produzida, em cada um dos sistemas. Assim, o sistema que apresenta o valor mais elevado do balanço de energia final é o modelo da casa sem qualquer tipo de melhorias aplicado, com 0,86 tep. A seguir a este sistema, o que consome mais energia final é o modelo da habitação com melhorias, apresentando o valor de 0,68 tep. De seguida, aparece o sistema com turbina eólica que consome 0,66 tep. Posteriormente, encontra-se o solar térmico com o consumo de 0,53 tep, seguido do sistema de micro cogeração com 0,49 tep de consumo, aparecendo com um valor inferior, o sistema fotovoltaico com 0,38 tep consumidos, 0,24 tep correspondem ao sistema fotovoltaico com micro cogeração, e por fim o consumo do sistema fotovoltaico com o solar térmico é de 0,08 tep. É de notar que, o sistema que apresente um valor próximo de 0 tep, é aquele que permite denominar o edifício de nZEB. O único sistema que se aproxima dessa situação é o sistema fotovoltaico com solar térmico, uma vez que, a energia por ele produzida é aproximada à energia final consumida, ao longo de um ano.

As maiores dificuldades encontradas para a realização da dissertação centram-se na verificação e aceitação dos resultados do programa de simulação energética *EnergyPlus* 8.3, para um aproveitamento superior da energia térmica e elétrica produzida. No caso da simulação com coletores fotovoltaicos e na simulação da turbina eólica, a energia elétrica produzida pelos sistemas, não é destinada ao consumo. Os resultados esperados para a venda de eletricidade à rede pública nacional, deveriam ser muito mais atrativos, de forma a aumentar o lucro de venda e diminuir o período de retorno do investimento que lhe está associado.

Por último, verifica-se que é possível produzir quase na totalidade a energia que a habitação necessita, e atingir a denominação nZEB, no entanto, o valor económico que lhe é associado é muito elevado. E uma vez que, com a crise económica mundial que se faz sentir atualmente, os investimentos para este tipo de aplicações energéticas é maioritariamente deixado de parte, e as populações seguem o caminho mais simples e economicamente mais barato, que é a utilização de combustíveis fósseis, contribuindo deste modo para o aumento e não para a diminuição da poluição.

## 5.1. Sugestões para trabalho futuro

Do trabalho realizado manifesta-se a necessidade de explorar a produção energética eficiente, noutras vertentes, como por exemplos em prédios ou em edifícios destinados a serviços, onde os consumos são superiores aos apresentados na habitação estudada.

Poderá também proceder-se ao estudo de outros processos de produção eficiente de energia, como por exemplo em células de hidrogénio.

No futuro, outra importante questão que pode ser analisada, associa-se ao estudo do ciclo de vida que ocorre com a implementação de um determinado processo de produção, e aos impactes ambientais que lhe estão associados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas de Coimbra, (2015), “Tarifário”. Acedido a 23 de abril de 2015 em:  
<http://www.aguasdecoimbra.pt/index.php/clientes/tarifario>

APA, (2015), “ Roteiro Europeu do Baixo Carbono”, Acedido a 19 de março de 2015, no web site da: Agencia Portuguesa do Ambiente:  
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=508>

Apricus, (2013), “AP Solar Collector Product Overview” Acedido a 6 de maio de 2015 em:  
[http://www.apricus.com/upload/userfiles/downloads/Apricus\\_AP\\_Solar\\_Collector\\_Overview.pdf](http://www.apricus.com/upload/userfiles/downloads/Apricus_AP_Solar_Collector_Overview.pdf)

ASHRAE (2003), “Standart 62- Ventilation for Acceptable indoor Air Quality”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ISSN 1041-2336.

ASHRAE (2011), “Aplication Handbook”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Awbi, H. (2003), “Ventilation of Buildings-Second Edition”, Spon Press, ISBN 0-415-27056-1.

BPIE, (2014), “Investing in the European buildings infrastructure- An opportunity for the EU’s new investment package”, Acedido a 19 de fevereiro de 2015 no web site de Buildings Performance Institute Europe:  
[http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/101/Investing\\_in\\_Europe\\_s\\_buildings\\_infrastructure\\_BPIE\\_Discussion\\_Paper.pdf](http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/101/Investing_in_Europe_s_buildings_infrastructure_BPIE_Discussion_Paper.pdf)

British Petroleum, (2001), “BP Solar, BP 2150S 150-Watt Monocrystalline Photovoltaic Module”. Acedido a 11 de junho de 2015 em: <http://www.solarcellsales.com/techinfo/docs/BP2150S-DataSheet.pdf>

Brito, N. *et al.*, (2015), “Residential buildings as expanded territory for ESCO’s”.

Cengel, (2015), “Property Tables and Charts (SI Units)”, Tables of Heat Transfer Cengel. Acedido em fevereiro de 2015 em: [http://www.academia.edu/8099349/Tables\\_Heat\\_Transfer\\_Cengel](http://www.academia.edu/8099349/Tables_Heat_Transfer_Cengel)

Cengel, Y.A. (2008), “Heat Transfer: A Practical Approach”, Mcgraw-Hill Education-Europe. ISBN: 9780073250359.

Comissão Europeia, (2011), “ Comunicação da comissão ao parlamento Europeu, ao conselho, ao comité económico e social Europeu e ao comité das regiões- Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050” [Acedido em fevereiro de 2015 no web site da European Commission: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=EN)

Crawley, D. B. *et al.*. (2000), “EnergyPlus: Energy Simulation Program”, ASHRAE, Journal Online, Vol.42, nº4, pg. 49-56.

CYPE Ingenieros, (2015), “Gerador de preços”, *Software* para engenharia e construção, Portugal. Acedido a 3 de junho de 2015 em: <http://www.geradordeprecos.info/>

Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto. “Dirio da Republica ,1ª série- nº 159-20 de agosto de 2013”. Ministerio da Economia e do Emprego.

Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de outubro. “Diário da República, 1ª série-nº 202-20 de outubro de 2014”. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.

Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de novembro. “Diário da República, 1ª série-nº 211- 2 de novembro de 2007”. Ministério da Economia e da Inovação.

Deng, S., Wang, R. Z., e Dai, Y. J. (2014), “How to evaluate performance of net zero energy building-A literature research”, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, China.

Department of Energy, (2014a), “Solar Water Heaters”. Acedido a 20 de maio de 2015, no Web site do Department of Energy-United States: <http://energy.gov/energysaver/articles/solar-water-heaters>

Department of Energy, (2014b), “EnergyPlus Engineering Reference – the Reference to EnergyPlus Calculation”, University of Illinois and the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Department of Energy-United States.

Department of Energy, (2014c), “Input Output Reference- the encyclopedic reference to EnergyPlus Input and Output”, University of Illinois and the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Department of Energy-United States.

Department of Energy, (2015a), “EnergyPlus Energy Simulation Software”, Acedido em abril de 2015 no web site Department of Energy U.S- Energy and Efficiency and Renewable Energy: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

Department of Energy, (2015b), “How do wind turbines work?”, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy”. Acedido a 9 de junho de 2015 no web site Department of Energy U.S: <http://energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>

DGEG, (2015a), “Eficiência energética em edifícios”, Acedido em fevereiro de 2015, no web site da Direção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgeg.pt/>

DGEG, (2015b), “Estatísticas rápidas nº119- combustíveis fósseis” Direção Geral da Energia e Geologia. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.

Direção-Geral da Saúde e do Turismo, (2001), “Doença dos Legionários- Guia Prático”, Lisboa.

Diretiva 2006/32/CE de 5 de Abril de 2006, do Parlamento Europeu e do Conselho, “relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos e que revoga a Directiva 93/76/CEE”, do Conselho Jornal Oficial da União Europeia.

Diretiva 2012/27/UE de 14 de novembro de 2012, do Parlamento Europeu e do Conselho, “relativo à eficiência energética”, Jornal Oficial da União Europeia.

EPAL, (2015), “Simulador de consumo de água”. Acedido a 14 de abril no web site da Empresa Portuguesa de Águas Livres: [http://www.epal.pt/epal/banner\\_simulador.swf](http://www.epal.pt/epal/banner_simulador.swf)

European Commission, (2015), “Energy Efficiency in Buildings”, Acedido em fevereiro de 2015, em : <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

Fabrizio, E. *et al.*, (2014), “Integrated HVAC and DHW production systems for Zero Energy Buildings”, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Frade, J e Paiva, A. (2006), “Combustíveis, Energia e Ambiente-Atividades de Projeto Laboratorial”, Departamento de Engenharia da Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro

Fralk, A. *et al.*, (2006), “Le photovoltaïque pour tous- Conception et réalisation d’installations”, Institut National De L’Energie Solaire, Observ’ER, Paris e Solarpraxis, Berlin.

GREENPRO, (2014), “Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projeto e instalação”. Acedido a 19 de maio de 2015, em: <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>

Honsberg, C. e Bowden, S. (2013), “Photovoltaic Education Network”. Acedido a 19 de maio de 2015 em: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/introduction/introduction>

INE, (2013a), “Estatística do Ambiente 2013”, Instituto Nacional de Estatística, ISSN 0872-5276.

INE, (2013b), “Estatísticas da construção e habitação 2012”, Instituto Nacional de Estatísticas, ISSN 0377-2225.

INNOVA, (2002), “Thermal Comfort”, Air Tech Instruments. Acedido a 15 de março de 2015, em: [http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal\\_Booklet.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.pdf)

ITE50, (2006), “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos de Envolvente dos Edifícios”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. ISBN:972-49-2065-8

ITeCons, (2013), “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação- síntese da regulamentação aplicável”. Acedido a 12 de março de 2015 no web site do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção: <http://www.itecons.uc.pt/p3e/>

IWEC, (2012), “Weather Data Source”. Acedido a 17 de junho de 2015 no web site do Departamento de Energia dos Estados Unidos, no International Weather for Energy Calculations: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data3.cfm/region=6\\_europe\\_wmo\\_region\\_6/country=PRT/cname=Portugal](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=PRT/cname=Portugal)

Kneith e Goswami (2004), “The CRC Handbook of Mechanical Engineering- second edition”, CRC Press, ISBN 9780849308666

Leading Edge, (2014a), “Local Renewable Power Worldwide-Powerful Robust Quiet”. Acedido a 17 de junho de 2015 no web site: <http://www.leturbines.com/wp-content/uploads/2014/11/LE-450-datasheet-web-version-131114.pdf>

Leading Edge, (2014b), “Local Power Worldwide, LE-450 Wind Turbine”. Acedido a 17 de junho de 2015 no web site: <http://store.leturbines.com/le-450-wind-turbine/>

Marszal, A. J. e Heiselberg, P. (2011), “ Zero Energy Buildin definition – a literature review”, A technical report of a towards net zero energy solar buildings, Aalborg University, Denmark.

National Geographic, (2015), “Wind Power”. Acedido a 9 de junho de 2015 no Web site da National Geographic: <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/wind-power-profile/>

NOAA, (2015), “National Oceanic and Atmospheric Administration USA”, Acedido em abril de 2015, em: <http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html>

OMIE, (2015), “Operador de Mercado Ibérico de Energia- Mercado diário”, Preço médio aritmético. Acedido a 18 de junho de 2015 no sitio da internet: <http://www.omel.es/pt/inicio>

Pereira, H. *et al.*, (2013), “Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa EnergyPlus-8.0”, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PORDATA, (2013), “Consumo de energia elétrica por habitante em Portugal-Setor domestico”. Acedido a 8 de julho de 2015 no web site da Base de Dados Portugal Contemporâneo: <http://www.pordata.pt/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela>

PORDATA, (2014), “ Edifícios de habitação familiar clássica”. Acedido em março de 2015 no web site da Base de Dados Portugal Contemporâneo: [http://www.pordata.pt/Portugal/Edif%C3%ADcios+de+habita%C3%A7%C3%A3o+familiar+cl%C3%A1ssica+\(R\)-92](http://www.pordata.pt/Portugal/Edif%C3%ADcios+de+habita%C3%A7%C3%A3o+familiar+cl%C3%A1ssica+(R)-92)

Resolução do Conselho de Ministros nº 92/2010, “Diário da Republica, 1ª série – nº 230- 26 de novembro de 2010”. Presidência do Concelho de ministros.

Sá, A. F. R. (2010), “Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética”, 2ªEd., Publindústria.

Santori, I. *et al.*, (2010), “Criteria for definition of Net Zero Energy Buildings”, International Conference on solar Heating, Cooling an Buildings, Aalborg Univeritet, Denmark.

Senertec, (2015), “Technische Daten Dachs G 5.5 und F 5.5 Low NOx” Acedido a 18 de junho de 2015 no web site da Senertec: <http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108>

Simader, *et al.*. (2006), “Micro CHP systems: state-of-the-art”, European Commission Federal Ministry of Economics and Labour. Austrian Energy Agency.

Sotecnisol, (2015), “Tabela de preços de venda, aglomerado negro de cortiça”, Materiais Sotecnicol. Acedido a 3 de junho de 2015 em: [http://www.sotecnisol.pt/resources/tabelas\\_de\\_preco/aglomerado\\_negro\\_de\\_cortical.pdf](http://www.sotecnisol.pt/resources/tabelas_de_preco/aglomerado_negro_de_cortical.pdf)

Tan, L. *et al.*, (2014), “Comparing the evolution of Crystalline Silicon Photovoltaic Cells: Technological Route and National Specialization”. The 6<sup>th</sup> International Conference on Applied Energy.

Thomas, W.D. e Duffy, J.J. (2013), “Energy performance of net-zero and near net-zero energy in New England”, Francis College of Engineering, University of Massachusetts Lowell, United states.

UNESCO, (2015), “University of Coimbra-Alta e Sofia”. Acedido a 12 de março de 2015, no Web site da United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: <http://whc.unesco.org/en/list/1387/>

## ANEXO A

Tabela A 1.1 - Características das soluções construtivas

Orientação	Piso	Tipo de superfície		Condições exteriores	Dimensões			Exposição		Denominação	Nome da construção
					Largura	Altura	Área	Solar	Vento		
Sul	3	Parede		Ar livre		0,1		Sim	Sim	Wa3.1_nh	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Sul	2	Parede	Janela		1,05	1,2	1,26	Sim	Sim	Wi2.1	_Ext_WindowSash1glass_3mm ITE50
Sul	2	Parede		Ar livre				Sim	Sim	Wa2.1b	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Sul	2	Parede		Ar livre				Sim	Sim	Wa2.1c	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Sul	2	Parede	Chaminé	Ar livre	1,05	2	2,1	Sim	Sim	Wa2.1d	_Ext_WallWoodAvg_90mm ITE50
Sul	2	Parede		Ar livre				Sim	Sim	Wa2.1e	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Sul	2	Parede	Avental	Ar livre	1,5	0,9	1,35	Sim	Sim	wa2.2a	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Sul	2	Parede		Ar livre	3,1	2,2	6,82	Sim	Sim	Wa2.2b	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Sul	2	Parede		Ar livre				Sim	Sim	wa2.2c	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Sul	2	Parede	Janela		1,05	1,2	1,26	Sim	Sim	Wi2.2	_Ext_WindowSash1glass_3mm ITE50
Sul	3	Parede		Ar livre				Sim	Sim	Wa3.2_nh	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Sul	1	Parede		Ar livre	3,5	2,2	7,7	Sim	Sim	Wa1.1	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
Sul	1	Parede		Ar livre	2,6	2,2	5,72	Sim	Sim	Wa1.2	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
Sul	1	Parede	Janela		0,45	0,6	0,27	Sim	Sim	Wi1.2	_Ext_WindowSwing1glass_3mm ITE50
Sul	0	Parede		Ar livre	3,5	2,1	7,35	Sim	Sim	Wa0.1_nh	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Sul	0	Parede	Porta		1,05	1,8	1,89	Sim	Sim	Do0.1_nh	_Ext_Door1glass_40g3mm ITE50
Sul	0	Parede		Ar livre	3,5	2,1	7,35	Sim	Sim	Wa0.2b_nh	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Sul	0	Parede	Janela		0,6	0,6	0,36	Sim	Sim	Wi0.2_nh	_Ext_WindowSwing1glass_3mm ITE50
Sul	0	Parede		Solo				Não	Não	Wa0.2a_nh	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Este	3	Parede		Ar livre		0,1		Sim	Sim	Wa3.3_nh	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Este	2	Parede		Ar livre	2,7	2,2	5,94	Sim	Sim	Wa2.3	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Este	2	Parede	Janela		0,5	0,8	0,4	Sim	Sim	wi2.3	_Ext_WindowSwing1glass_3mm ITE50
Este	1	Parede		Ar livre	2,1	2,2	4,62	Sim	Sim	Wa1.3	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Este	1	Parede	Janela		1,5	1,5	2,25	Sim	Sim	Wi1.3	_Ext_WindowSash1glass_3mm ITE50
Este	0	Parede		Ar livre				Sim	Sim	Wa0.3b_nh	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Este	0	Parede		Solo				Não	Não	Wa0.3a_nh	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Norte	3	Parede		Ar livre		0,1		Sim	Sim	Wa3.4_nh	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Norte	2	Parede		Ar livre	5,9	2,2	12,98	Sim	Sim	Wa2.4a	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Norte	2	Parede		Ar livre				Sim	Sim	wa2.4b	_Ext_WallStoneAvg_120mm ITE50
Norte	2	Parede		Ar livre				Sim	Sim	wa2.4c	_Ext_WallMasonryAvg_300mm ITE50
Norte	2	Parede	Janela		1,5	1,2	1,8	Sim	Sim	Wi2.4	_Ext_WindowSash1glass_3mm ITE50
Norte	1	Parede		Ar livre	5,5	2,2	12,1	Sim	Sim	Wa1.4	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
Norte	1	Parede	Porta		1,5	1,9	2,85	Sim	Sim	Do1.4	_Ext_DoorWood_40mm ITE50
Norte	0	Parede		Solo	5,3	2,1	11,13	Não	Não	Wa0.4_nh	_Ext_WallMasonryAvg_750mm ITE50
Oeste	3	Parede		Ar livre		0,5		Sim	Sim	Wa3.5_nh	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
Oeste	2	Parede		Adiabático	3,8	2,2	8,36	Não	Não	Wa2.5_nh	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
Oeste	1	Parede		Adiabático	3,1	2,2	6,82	Não	Não	Wa1.5_nh	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
Oeste	0	Parede		Adiabático	2,9	2,1	6,09	Não	Não	Wa0.5_nh	_Ext_WallMasonryAvg_650mm ITE50
	0	Pavimento		Solo		18	13,7	Não	Não	Gr0.0	_Ext_GroundSlab_200mm ITE50
	0	teto		Superfície			18	Não	Não	ce0.0_nh	_Int_CeilingWood_200mm ITE50
	1	teto		Superfície			18	Não	Não	Ce1.0	_Part_CeilingWood_200mm ITE50
	1	Pavimento		Superfície		18	15,3	Não	Não	Fl1.0	_Int_FloorWood_200mm ITE50
	2	Teto		Superfície				Não	Não	Ce2.0	_Int_CeilingWood_150mm ITE50
	2	Pavimento		Superfície		18	20,6	Não	Não	Fl2.0	_Part_FloorWood_200mm ITE50
	3	Cobertura		Ar livre				Sim	Sim	Ro	_Ext_RoofVentilated_150mm ITE50
	3	Teto		Superfície			18	Não	Não	Fl3.0	_Int_FloorWood_150mm ITE50

---

## Especificidades dos materiais de construção

Atendendo ao manual de Informação Técnica de Edifícios (ITE50, 2006) foi possível elaborar detalhadamente a Tabela A 1.5 que se encontra neste anexo. Nela é possível encontrar os parâmetros que definem corretamente as propriedades dos materiais que constituem a envolvente externa do edifício, descritos nas secções anteriores, e que são necessários no modelo de simulação energética. Estes são a espessura ( $\epsilon$ ), a condutividade térmica ( $k$ ), a densidade ( $\rho$ ), o calor específico ( $cp$ ), as resistências térmica superficiais exteriores ( $R_{se}$ ), interiores ( $R_{si}$ ) e das restantes camadas ( $R_j$ ) e o coeficiente de transmissão térmica global da superfície ( $U$ ).

A obtenção detalhada destes dados acarretou algumas dificuldades. O material padrão definido nos vários regulamentos, por vezes não corresponde ao material existente nas construções, pelo que cada país utiliza um determinado elemento em função das suas condições climáticas, económicas, entre outras. Alguns dos materiais existentes no ano de construção da habitação são diferentes dos atuais, não sendo possível definir com exatidão as suas propriedades.

O valor do  $C_p$  não se encontra tabelado em ITE50, (2006) daí surgiu a necessidade de consultar as tabelas de propriedades existentes em Cengel, Y.A. (2008), Cengel, (2015) e Frade, J e Paiva, A. (2006), no entanto estes apenas estabelecem os valores pretendidos para uma temperatura superior à temperatura ambiente, na qual se encontram os materiais.

A espessura ( $\epsilon$ ) de cada material foi obtida pelo grupo de trabalho, existente no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, que anteriormente se propôs ao estudo da envolvente da habitação. Os valores da espessura utilizados na simulação encontram-se na Tabela A 1.5.

Segundo Cengel Y.A.(2008) a condutibilidade térmica ( $k$ ) é uma propriedade de transporte, característica do material que constitui a parede, que se expressa em  $[W/(m \cdot ^\circ C)]$ . Atendendo à informação contida no ITE50, (2006) conclui-se que os materiais caracterizados como bons isolantes térmicos apresentam um valor de  $k$  baixo, ou seja não são bons dissipadores de calor, apresentando valores na ordem de 0,003 e 0,065  $W/(m \cdot ^\circ C)$ . Na Tabela A 1.2 encontram-se os utilizados na simulação.

A densidade ( $\rho$ ) traduz-se pelo quociente entre a massa do material pelo seu volume. Os valores da Tabela A1.3 foram obtidos através de Cengel Y.A.(2008) , Cengel, (2015) e do ITE50, (2006).

O calor específico ( $C_p$ ), encontra-se na Tabela A 1.4 e é definido como sendo a energia necessária para aumentar em um grau a temperatura de uma substancia por unidade de massa Cengel Y.A.(2008).

O coeficiente global de transferência térmica global ( $U$ ) traduz a quantidade de calor transmitida através de um elemento, por unidade de área e por °C de diferença de temperatura entre as duas faces do elemento. Este pode ocorrer nos diversos elementos da habitação, tais como paredes, vãos envidraçados, pavimentos e coberturas, presentes no ambiente interno e/ou externo, podendo ser horizontal, ascendente ou descendente. Atendendo à informação contida no ITE50, (2006) é possível compreender o conceito de resistência térmica de um determinado material ( $R_j$ ), expresso na equação (1), com o objetivo de se obter o valor de  $U$  ITE50, (2006).

Esta representa a resistência que um determinado meio apresenta em relação à condução de calor, depende da geometria e das propriedades térmicas do meio onde se encontra Cengel Y.A.(2008).

$$R_j = \frac{\varepsilon}{k} \quad (1)$$

$R_j$  - Resistência térmica da camada  $j$ , [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ];

$\varepsilon$  - Espessura do material, [m];

$k$  - Condutividade térmica do material, [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ];

Para se obterem melhores resultados, em algumas situações pode ser necessário considerar os valores das resistências térmicas superficiais internas ( $R_{si}$ ) e externas ( $R_{se}$ ), permitindo assim caracterizar corretamente as condições existentes na superfície dos

---

elementos, por exemplo em termos da velocidade do ar ou das características da emissividade da superfície ITE50, (2006).

A resistência do ar é a única que está tabelada e não se obtém diretamente do conhecimento das variáveis da expressão anterior, pois para espaços de ar não ventilados com  $\epsilon$  superior a 15mm a resistência, encontra-se definida no ITE50, (2006).

O valor de U que caracteriza as várias soluções construtivas é obtido através da equação (2) presente em ITeCons, (2013). Este valor é calculado automaticamente pelo *EnergyPlus* 8.3.

$$U = \frac{1}{R_e + \sum_j R_j + R_i} \quad (2)$$

U – Coeficiente de transmissão térmica global, [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ];

$R_j$  – Resistência térmica da camada j, [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];

$R_e$  – Resistência térmica exterior, [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];

$R_i$  - Resistência térmica interior, [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];

**Tabela A 1.2 - Valores da condutividade térmica (k) de cada material, pertencente as soluções construtivas, das fontes Cengel Y.A.(2008), Cengel,(2015) e ITE50, (2006)**

<b>Condutividade térmica (k)</b>					
<b>[W/(m.°C)]</b>					
<b>Material</b>	<b>Fonte</b>	<b>Valor obtido</b>	<b>Fonte</b>	<b>Valor obtido</b>	<b>Valor Utilizado na simulação</b>
<b>Ar</b>	(Cengel, 2015) Tabela A-15 (pág. 860)	1	Dados do ITE-50 (pág. I.11) e aplicação da eq.1	1	<b>1</b>
<b>Argamassa</b>	...	...	ITE-50 (pág.I7-argamassas e rebocos tradicionais)	1.3	<b>1.3</b>
<b>Cerâmicos</b>	...	...	ITE-50 (pág. I4 material cerâmico)	0.92	<b>0.92</b>
<b>Estuque</b>	(Cengel Y.A., 2008) Tabela A-5 (pág. 848)	0.72	ITE-50 (pág.I.6)	0.57	<b>0.57</b>
<b>Pedra calcária</b>	(Cengel Y.A., 2008) Tabela A-3 (pág.838)	2.15	ITE-50 (pág.I.4- pedra calcaria densa)	1.4	<b>1.4</b>
<b>Pedra calcária aparelhada</b>	...	...	ITE-50 (pág.I.4- pedra calcaria macia)	1.1	<b>1.1</b>
<b>Pinho duro</b>	(Cengel Y.A., 2008) Tabela A-3 (pág-833)	0.16	ITE-50 (pág.I.7-madeira densa)	0.23	<b>0.23</b>
<b>Pinho macio</b>	(Cengel Y.A., 2008) Tabela A-3 (pág-833)	0.12	ITE-50 (pág.I.7-madeira densa)	0.15	<b>0.15</b>
<b>Reboco</b>	(Cengel Y.A., 2008) Tabela A-3 (pág. 833)	0.22	ITE-50 (pág.I.7 - argamassa e reboco de cal e areia ou de argamassa bastarda)	0.8	<b>0.8</b>
<b>Telha cerâmica</b>	...	...	ITE-50 (pág. I4- material cerâmico)	1.04	<b>1.04</b>
<b>Vidro</b>	...	...	ITE-50 (pág. I10- vidros)	1.4	<b>1.4</b>

**Tabela A 1.3 - Valores da densidade (ρ) de cada material, pertencente as soluções construtivas, das fontes Cengel Y.A.(2008), Cengel,(2015) e ITE50, (2006)**

<b>Densidade (ρ) - [kg/m<sup>3</sup>]</b>					
<b>Material</b>	<b>Fonte</b>	<b>Valor obtido</b>	<b>Fonte</b>	<b>Valor obtido</b>	<b>Valor Utilizado na simulação</b>
<b>Ar</b>	(Cengel, 2015) Tabela A-15 (pág. 860)	1.184	ITE-50 (pág. I2)	1.23	<b>1.18</b>
<b>Argamassa</b>	(Cengel, 2015) Tabela A-15 (pág. 860)	...	ITE-50 (pág.I7-argamassas e rebocos tradicionais)	1900	<b>1900</b>
<b>Cerâmicos</b>	...	...	ITE-50 (pág. I4 material cerâmico)	2100	<b>2100</b>
<b>Estuque</b>	...	1857	ITE-50 (pág.I.6)	1120	<b>1120</b>
<b>Pedra calcária</b>	Tabela A-5 (pág. 848) de (Cengel, 2015)	2320	ITE-50 (pág.I.4- pedra calcaria densa)	1800	<b>1800</b>
<b>Pedra calcária aparelhada</b>	Tabela A-3 (pág.838) de (Cengel Y. A. (2008))	...	ITE-50 (pág.I.4- pedra calcaria macia)	1700	<b>1700</b>
<b>Pinho duro</b>	...	720	ITE-50 (pág.I.7-madeira densa)	810	<b>810</b>
<b>Pinho macio</b>	Tabela A-3 (pág-833) de (Cengel Y. A. (2008))	510	ITE-50 (pág.I.7-madeira densa)	500	<b>500</b>
<b>Reboco</b>	Tabela A-3 (pág-833) de (Cengel Y. A. (2008))	1680	ITE-50 (pág.I.7 - argamassa e reboco de cal e areia ou de argamassa bastarda)	1600	<b>1600</b>
<b>Telha cerâmica</b>	Tabela A-3 (pág. 833) de (Cengel Y. A. (2008))	...	ITE-50 (pág. I4- material cerâmico)	2400	<b>2400</b>
<b>Vidro</b>	...	...	ITE-50 (pág. I10- vidros)	2200	<b>2200</b>

**Tabela A 1.4 - Valores do calor específico (cp) de cada material, pertencente as soluções construtivas, das fontes (Cengel Y. A., 2008), (ITE50, 2006), (Cengel T. H., 2015) e (Frade, J e Paiva, A. 2006)**

<b>Calor específico (cp) - [J/kg.K]</b>			
<b>Material</b>	<b>Fonte</b>	<b>Valor obtido</b>	<b>Valor Utilizado</b>
<b>Ar</b>	Tabela A-15 (pág. 860) de (Cengel, 2015)	1007	<b>1007</b>
<b>Argamassa</b>	Tabela A-15 (pág. 860) de (Cengel, 2015)	840	<b>840</b>
<b>Cerâmicos</b>	(Frade, J e Paiva, A. 2006)	850	<b>850</b>
<b>Estuque</b>	Tabela A-15 (pág. 860) de (Cengel, 2015)	960	<b>960</b>
<b>Pedra calcária</b>	Tabela A-3 (pág.838) de (Cengel Y. A. (2008))	810	<b>810</b>
<b>Pedra calcária aparelhada</b>	Tabela A-3 (pág.838) de (Cengel Y. A. (2008))	810	<b>810</b>
<b>Pinho duro</b>	Tabela A-3 (pág-833) de (Cengel Y. A. (2008))	1255	<b>1255</b>
<b>Pinho macio</b>	Tabela A-3 (pág-833) de (Cengel Y. A. (2008))	1380	<b>1380</b>
<b>Reboco</b>	Tabela A-3 (pág. 833) de (Cengel Y. A. (2008))	1085	<b>1085</b>
<b>Telha cerâmica</b>	(Frade, J e Paiva, A. 2006)	850	<b>850</b>
<b>Vidro</b>	Tabela A-8 (pág.853) de (Cengel Y. A. (2008))	750	<b>750</b>

**Tabela A 1.5 - Dados caracterizantes das soluções construtivas, nomeadamente o valor de U de Rsi e Rse para cada material o valor característico de  $\epsilon$ , k,  $\rho$ , Rj, e CP**

Designação	Descrição	U	Rse	Camada exterior (1)						Camada (2)						Camada interior (3)						Rsi
				camada	$\epsilon$	k	$\rho$	Rj	cp	Camada	$\epsilon$	k	$\rho$	Rj	cp	Camada	$\epsilon$	k	$\rho$	Rj	cp	
_Ext_WallMasonryAvg_650mm	Parede de alvenaria pobre com acabamento exterior em reboco e interior em estuque	1.49	0.04	Reboco	0.03	0.8	1600	0.04	1085	Pedra calcária	0.6	1.4	1800	0.43	810	Estuque	0.02	0.57	1120	0.035	960	0.13
_Ext_WallMasonryAvg_300mm	Parede de alvenaria pobre com acabamento exterior em reboco e interior em estuque	2.37	0.04	Reboco	0.03	0.8	1600	0.04	1085	Pedra calcária	0.25	1.4	1800	0.18	810	Estuque	0.02	0.57	1120	0.035	960	0.13
_Ext_WallStoneAvg_120mm	Pedra calcária aparelhada	3.38	0.04	Pedra calcária	0.1	1.1	1700	0.09	810	Estuque	0.02	0.57	1120	0.04	960							0.13
_Ext_WallWoodAvg_90mm	Parede da chaminé	2.62	0.04	Reboco	0.03	0.8	1600	0.04	1085	Punho duro	0.04	0.23	810	0.17	1255	Estuque	0.02	0.57	1120	0.035	960	0.13
_Int_FloorWood_200mm	Pavimento interior do piso 01	2.45	0.04	Pinho duro	0.03	0.23	810	0.11	1255	Ar	0.16	1.00	1.18	0.16	1007	Pinho macio	0.02	0.15	500	0.13	1380	0.1
_Part_FloorWood_200mm	Pavimento interior do piso 02	2.45	0.04	Pinho macio	0.02	0.15	500	0.13	1380	Ar	0.16	1.00	1.18	0.16	1007	Pinho duro	0.03	0.23	810	0.11	1255	0.1
_Part_CeilingWood_200mm	Teto do piso 01	2.45	0.04	Pinho duro	0.03	0.23	810	0.11	1255	Ar	0.16	1.00	1.18	0.16	1007	Pinho macio	0.02	0.15	500	0.13	1380	0.1
_Int_CeilingWood_200mm	Teto do piso 00	2.45	0.04	Pinho macio	0.02	0.15	500	0.13	1380	Ar	0.16	1.00	1.18	0.16	1007	Pinho duro	0.03	0.23	810	0.11	1255	0.1
_Int_CeilingWood_150mm	Teto do piso 02	3.23	0.04	Pinho macio	0.02	0.15	500	0.13	1380													0.17
_Ext_WindowSingleGlass_3mm	Janela de vidro simples com abertura superior/inferior	5.22	0.04	Vidro	0.03	1.40	2200	0.02	750													0.13
_Ext_WindowSingleGlass_3mm	Janela de vidro simples com abertura para os lados	5.22	0.04	Vidro	0.03	1.40	2200	0.02	750													0.13
_Ext_DoorWood_40mm	Porta de madeira localizada no piso 01	2.91	0.04	Pinho duro	0.04	0.23	810	0.17	1255													0.13
_Ext_DoorSingleGlass_40g3mm	Porta de madeira com vidro localizada no piso 00	2.91	0.04	Pinho duro	0.04	0.23	810	0.17	1255													0.13
_Ext_GroundSlab_200mm	Pavimento do piso 00	1.05	0.04	Cerâmicos	0.15	0.92	2100	0.16	850	Argamassa	0.85	1.3	1900	0.654	840							0.1
_Ext_RoofVentilated_150mm	Telhado	3.87	0.04	Telha cerâmica	0.05	1.04	2300	4.81E-02	850													0.17
_Int_FloorWood_150mm	Pavimento da cobertura	3.23	0.04	Pinho macio	0.02	0.15	500	0.10	1380													0.17
_Ext_WiShade	Portada de Madeira	2.44	0.04	Pinho macio	0.03	0.15	500	0.2	1380													0.17

## ANEXO B

Tabela B 1.1 -Dados caracterizantes do EPS utilizado no isolamento externo, obtidos em cengel, (2015) e ITE50, (2006)

<b>Poliestireno Expandido Moldado [EPS]</b>				
Calor específico (cp) [J/kg.K]				
Fonte	Valor obtido	Fonte	Valor obtido	Valor Utilizado na simulação
Cengel, (2015) Tabela A-6 (pág.850)	1200	...	...	1200
Condutividade térmica (k) [W/(m.°C)]				
Fonte	Valor obtido	Fonte	Valor obtido	Valor Utilizado na simulação
Cengel, (2015) Tabela A-6 (pág.850)	0.04	ITE50-pág I.3	0.037	0.037
Densidade (ρ) [kg/m <sup>3</sup> ]				
Fonte	Valor obtido	Fonte	Valor obtido	Valor Utilizado na simulação
Cengel, (2015) Tabela A-6 (pág.850)	16	ITE50-pág I.3	20	20
<b>Cortiça</b>				
Calor específico (cp) [J/kg.K]				
Fonte	Valor obtido	Fonte	Valor obtido	Valor Utilizado na simulação
Cengel, (2015) Tabela A-6 (pág.850)	1.8	...	...	1.8
Condutividade térmica (k) [W/(m.°C)]				
Fonte	Valor obtido	Fonte	Valor obtido	Valor Utilizado na simulação
Cengel, (2015) Tabela A-6 (pág.850)	0.039	ITE50-pág I.3	0.045	0.04
Densidade (ρ) [kg/m <sup>3</sup> ]				
Fonte	Valor obtido	Fonte	Valor obtido	Valor Utilizado na simulação
Cengel, (2015) Tabela A-6 (pág.850)	120	ITE50-pág I.3	115	115

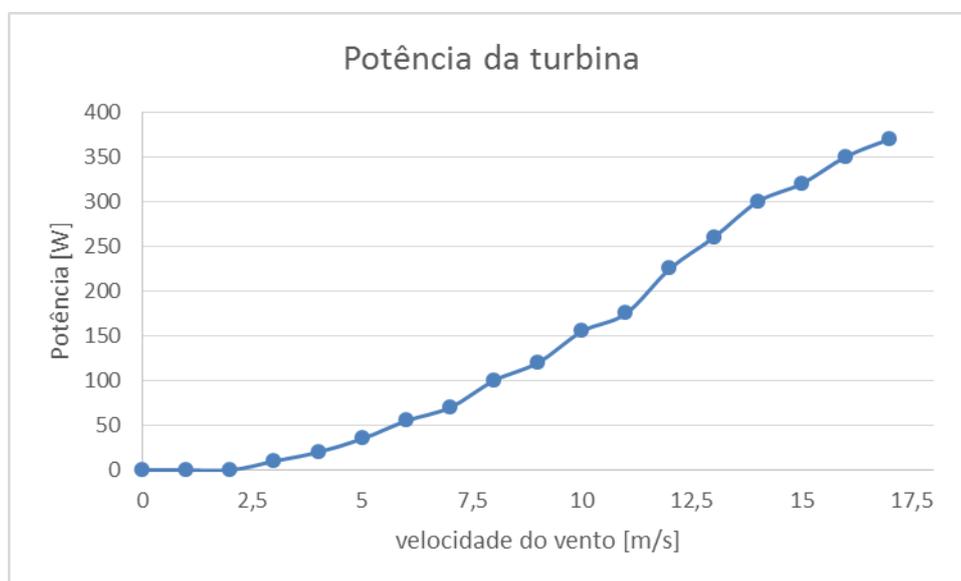
**Tabela B 1.2 - Valores de U para as soluções construtivas, quando se aplica isolamento vertical e horizontal**

Designação	Descrição	U	Ext.	Camada (1)			Camada (2)			Camada (3)			Camada (4)			Int.
			Rse	Camada	ε	Rj	Camada	ε	Rj	Camada	ε	Rj	Camada	ε	Rj	
_Ext_WallMasonryAvg_650mm_EPSXXmm	Parede de alvenaria pobre existente com isolamento exterior em EPS e com reboco, pedra calcária e estuque	0.57	0.04	EPS	0.04	1.08	Reboco	0.03	0.04	Pedra Calcária	0.6	0.43	Estuques	0.02	0.04	0.13
		0.44			0.06	1.62										
		0.35			0.08	2.16										
		0.30			0.1	2.70										
		0.26			0.12	3.24										
		0.22			0.14	3.78										
		0.20			0.16	4.32										
		0.18			0.18	4.86										
_Ext_WallMasonryAvg_300mm_EpsXXmm	Parede de alvenaria pobre existente com isolamento exterior em EPS e com reboco e estuque no interior	0.67	0.04	EPS	0.04	1.08	Reboco	0.03	0.04	Pedra calcária	0.25	0.1786	Estuques	0.02	0.04	0.13
		0.49			0.06	1.62										
		0.39			0.08	2.16										
		0.32			0.1	2.70										
		0.27			0.12	3.24										
		0.24			0.14	3.78										
		0.21			0.16	4.32										
		0.19			0.18	4.86										
_Ext_WallStoneAvg_120mm_EPSXXmm Pedra calcária aparelhada (macia) com isolamento exterior em EPS		0.73	0.04	EPS	0.04	1.08	Pedra calcária aparelhada	0.1	0.09	Estuque	0.02	0.04				0.13
		0.52			0.06	1.62										
		0.41			0.08	2.16										
		0.33			0.1	2.70										
		0.28			0.12	3.24										
		0.25			0.14	3.78										
		0.22			0.16	4.32										
		0.19			0.18	4.86										
_Ext_WallWoodAvg_90mm_EPSXXmm	Parede da chaminé com isolamento exterior em EPS e com reboco e estuque no seu interior	0.67	0.04	EPS	0.04	1.08	Reboco	0.03	0.04	Punho duro	0.04	0.17	Estuque	0.02	0.02	0.13
		0.49			0.06	1.62										
		0.39			0.08	2.16										
		0.32			0.1	2.70										
		0.27			0.12	3.24										
		0.24			0.14	3.78										
		0.21			0.16	4.32										
		0.19			0.18	4.86										
_Int_CeilingWood_150mmcortiçaxXXmm Teto do piso 02 com isolamento horizontal em cortiça		0.82	0.04	Pinho macio	0.02	0.13	Cortiça	0.03	0.75	Pinho macio	0.02	0.13				0.17
		0.51						0.06	1.5							
		0.29						0.12	3							
_Int_FloorWood_200mm_Cortiça_XXmm e _Int_CeilingWood_XXmm_cortiça	Pavimento interior do piso 01/teto do piso 00 com isolamento horizontal em cortiça	0.89	0.04	Pinho duro	0.03	0.11	Cortiça	0.03	0.75	Pinho macio	0.02	0.13				0.1
		0.53						0.06	1.5							
		0.296						0.12	3							
_Ext_WindowSash2glass_3mm e _Ext_WindowSwing2glass_3mm	Janela de vidro duplo com abertura superior/inferior ou lateral	4.56	0.04	Vidro	0.03	0.02	Ar	0.00632	0.0632	Vidro	0.03	0.06				0.13
_Ext_WindowSash2glass_6mm e _Ext_WindowSwing2glass_6mm		3.82	0.04	Vidro	0.06	0.04	Ar	0.0032	0.0632	Vidro	0.03	0.06				0.13

## ANEXO C

**Tabela C 1.1 - Número de horas em que se verificou uma determinada velocidade do vento (m/s) na estação meteorológica da cidade de Coimbra (IWECC, 2012)**

Velocidade do vento [m/s]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
Número de horas	717	2225	2787	1476	676	300	204	168	78	47	28	18	13	12	6	4	0	1	<b>8760</b>



**Figura C 1.1- Gráfico da potência produzida na turbina LE-450 (Leading Edge, 2014)**

## APÊNDICE A

Tabela A 2.1 - Fração de ocupação do piso 00 e 01 ao longo do ano

Horas		Piso 00						Piso 01					
		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)			Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		
		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00												
01:00	02:00												
02:00	03:00												
03:00	04:00												
04:00	05:00												
05:00	06:00												
06:00	07:00												
07:00	08:00												
08:00	09:00						0.5						
09:00	10:00												
10:00	11:00							0.5	0.5	1	0.5	0.5	
11:00	12:00		0.25					0.375	0.5	1	0.5	0.5	
12:00	13:00							0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
13:00	14:00									0	0.5	0.5	
14:00	15:00					0.25				0.5	0.375	0.5	
15:00	16:00										0.5	0.5	
16:00	17:00												
17:00	18:00												
18:00	19:00						0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
19:00	20:00						0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
20:00	21:00						1	1	1	1	1	1	
21:00	22:00						1	1	1	1	1	1	
22:00	23:00						1	1	1	1	1	1	
23:00	00:00						1	1	1	1	1	1	

Tabela A 2.2 - Fração de ocupação do piso 02 ao longo do ano

Piso 02		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		
Horas		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00	1	1	1	1	1	1
01:00	02:00	1	1	1	1	1	1
02:00	03:00	1	1	1	1	1	1
03:00	04:00	1	1	1	1	1	1
04:00	05:00	1	1	1	1	1	1
05:00	06:00	1	1	1	1	1	1
06:00	07:00	1	1	1	1	1	1
07:00	08:00	1	1	1	1	1	1
08:00	09:00	0.5	1	1	1	1	1
09:00	10:00		1	1	1	1	1
10:00	11:00		0.5	0.5		0.5	0.5
11:00	12:00		0.375	0.5		0.5	0.5
12:00	13:00		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
13:00	14:00		1	1	1	0.5	0.5
14:00	15:00		1	1	0.5	0.375	0.5
15:00	16:00					0.5	0.5
16:00	17:00						
17:00	18:00						
18:00	19:00	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
19:00	20:00	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
20:00	21:00						
21:00	22:00						
22:00	23:00						
23:00	00:00						

Tabela A 2.3 - Fração de Iluminação utilizada no piso 00 e piso 01

		Piso 00					Piso 01						
		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)			
Horas		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00												
01:00	02:00												
02:00	03:00												
03:00	04:00												
04:00	05:00												
05:00	06:00												
06:00	07:00												
07:00	08:00												
08:00	09:00	0.05						0.15					
09:00	10:00								0.15	0.15			
10:00	11:00									0.11			
11:00	12:00		0.08								0.11	0.11	
12:00	13:00										0.11	0.11	
13:00	14:00												
14:00	15:00					0.08							
15:00	16:00												
16:00	17:00												
17:00	18:00	0.05											
18:00	19:00		0.03	0.03	0.03		0.03	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
19:00	20:00							0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
20:00	21:00							0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
21:00	22:00							0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
22:00	23:00							0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
23:00	00:00							0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

Tabela A 2.4 - Fração de iluminação utilizada no piso 02

Piso 02		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		
Horas		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00						
01:00	02:00						
02:00	03:00						
03:00	04:00						
04:00	05:00						
05:00	06:00						
06:00	07:00						
07:00	08:00	0.08					
08:00	09:00	0.14					0.19
09:00	10:00					0.19	
10:00	11:00		0.19	0.19			
11:00	12:00						
12:00	13:00		0.38	0.38			
13:00	14:00		0.10	0.10			
14:00	15:00						
15:00	16:00						
16:00	17:00						
17:00	18:00						
18:00	19:00	0.23					0.23
19:00	20:00	0.41	0.23	0.23		0.23	0.41
20:00	21:00		0.41	0.41		0.41	
21:00	22:00						
22:00	23:00						
23:00	00:00						

Tabela A 2.5 - Fração de utilização dos equipamentos elétricos e eletrónicos no piso 00 e piso 01

		Piso 00					Piso 01						
		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)			
Horas		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
01:00	02:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
02:00	03:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
03:00	04:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
04:00	05:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
05:00	06:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
06:00	07:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
07:00	08:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
08:00	09:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
09:00	10:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
10:00	11:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.099	0.099	0.001	0.103	0.103
11:00	12:00	0.008	1	1	0.008	0.008	0.008	0.001	0.424	0.424	0.001	0.001	0.001
12:00	13:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.005	0.005	0.007	0.017	0.017
13:00	14:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
14:00	15:00	0.008	0.008	0.008	0.008	1	1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.424	0.424
15:00	16:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
16:00	17:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
17:00	18:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
18:00	19:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
19:00	20:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.013	0.001	0.001	0.013	0.001	0.001
20:00	21:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.005	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006
21:00	22:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.016	0.013	0.013	0.016	0.013	0.013
22:00	23:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.016	0.012	0.012	0.016	0.012	0.012
23:00	00:00	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.005	0.001	0.001	0.017	0.013	0.013

Tabela A 2.6 - Fração de utilização dos equipamentos elétricos e eletrônicos no piso 02

Piso 02		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		
Horas		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
01:00	02:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
02:00	03:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
03:00	04:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
04:00	05:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
05:00	06:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
06:00	07:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
07:00	08:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
08:00	09:00	0.038	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
09:00	10:00	0.002	0.030	0.030	0.035	0.038	0.038
10:00	11:00	0.002	0.007	0.007	0.002	0.002	0.002
11:00	12:00	0.002	0.037	0.037	0.002	0.002	0.002
12:00	13:00	0.002	0.120	0.120	0.084	0.120	0.120
13:00	14:00	0.002	0.202	0.202	0.064	0.236	0.236
14:00	15:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
15:00	16:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
16:00	17:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
17:00	18:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
18:00	19:00	0.046	0.002	0.002	0.034	0.005	0.005
19:00	20:00	0.064	0.006	0.006	0.035	0.006	0.006
20:00	21:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
21:00	22:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
22:00	23:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
23:00	00:00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002

Tabela A 2.7 - Perfil de utilização da AQ no lavatório e no chuveiro

Horas		Lavatório						Chuveiro					
		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)			Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		
		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00												
01:00	02:00												
02:00	03:00												
03:00	04:00												
04:00	05:00												
05:00	06:00												
06:00	07:00												
07:00	08:00	0.0048						0.200					
08:00	09:00					0.0048						0.200	
09:00	10:00				0.0048		0.0048				0.200		0.200
10:00	11:00		0.0048	0.0048					0.200	0.200			
11:00	12:00												
12:00	13:00												
13:00	14:00		0.0048	0.0048			0.0048	0.0048					
14:00	15:00												
15:00	16:00												
16:00	17:00												
17:00	18:00												
18:00	19:00	0.0024			0.0024								
19:00	20:00	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024						
20:00	21:00												
21:00	22:00												
22:00	23:00												
23:00	00:00												

**Tabela A 2.8 - Perfil de utilização da AQ na Cozinha e para a máquina de lavar a roupa**

Horas		Cozinha						Máquina de lavar a roupa					
		Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)			Perfil de utilização habitual			Férias de Natal (20-27/12)		
		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00												
01:00	02:00												
02:00	03:00												
03:00	04:00												
04:00	05:00												
05:00	06:00												
06:00	07:00												
07:00	08:00												
08:00	09:00	0.01				0.01							
09:00	10:00				0.01		0.01						
10:00	11:00		0.01	0.01									
11:00	12:00							1					
12:00	13:00		0.06	0.06									
13:00	14:00				0.05	0.05	0.05						
14:00	15:00											1	
15:00	16:00												
16:00	17:00												
17:00	18:00												
18:00	19:00					0.024							
19:00	20:00	0.05	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024						
20:00	21:00		0.024	0.024	0.024		0.024						
21:00	22:00												
22:00	23:00												
23:00	00:00												

Tabela A 2.9 - Fração de utilização do sistema de aquecimento nos pisos 01 e 02

Horas		Piso 01						Piso 02					
		Perfil de utilização de Inverno			Férias de Natal (20-27/12)			Perfil de utilização de Inverno			Férias de Natal (20-27/12)		
		Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
00:00	01:00												
01:00	02:00												
02:00	03:00												
03:00	04:00												
04:00	05:00												
05:00	06:00												
06:00	07:00												
07:00	08:00							0.21					
08:00	09:00							0.13				0.25	
09:00	10:00										0.25		0.25
10:00	11:00		0.25	0.25					0.29	0.29			
11:00	12:00		0.25	0.25	0.33		0.33						
12:00	13:00		0.25	0.25	0.33	0.33	0.33					0.13	0.13
13:00	14:00										0.13	0.13	0.13
14:00	15:00				0.33	0.50	0.50						0.17
15:00	16:00					0.50							
16:00	17:00												
17:00	18:00											0.25	
18:00	19:00	0.42	0.42	0.42	0.50	0.67	0.50				0.25	0.25	0.25
19:00	20:00	0.50	0.50	0.50	0.42		0.42	0.17	0.25	0.25	0.25		0.25
20:00	21:00	0.50	0.50	0.50		0.67							
21:00	22:00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67						
22:00	23:00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67						
23:00	00:00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67						

## APÊNDICE B

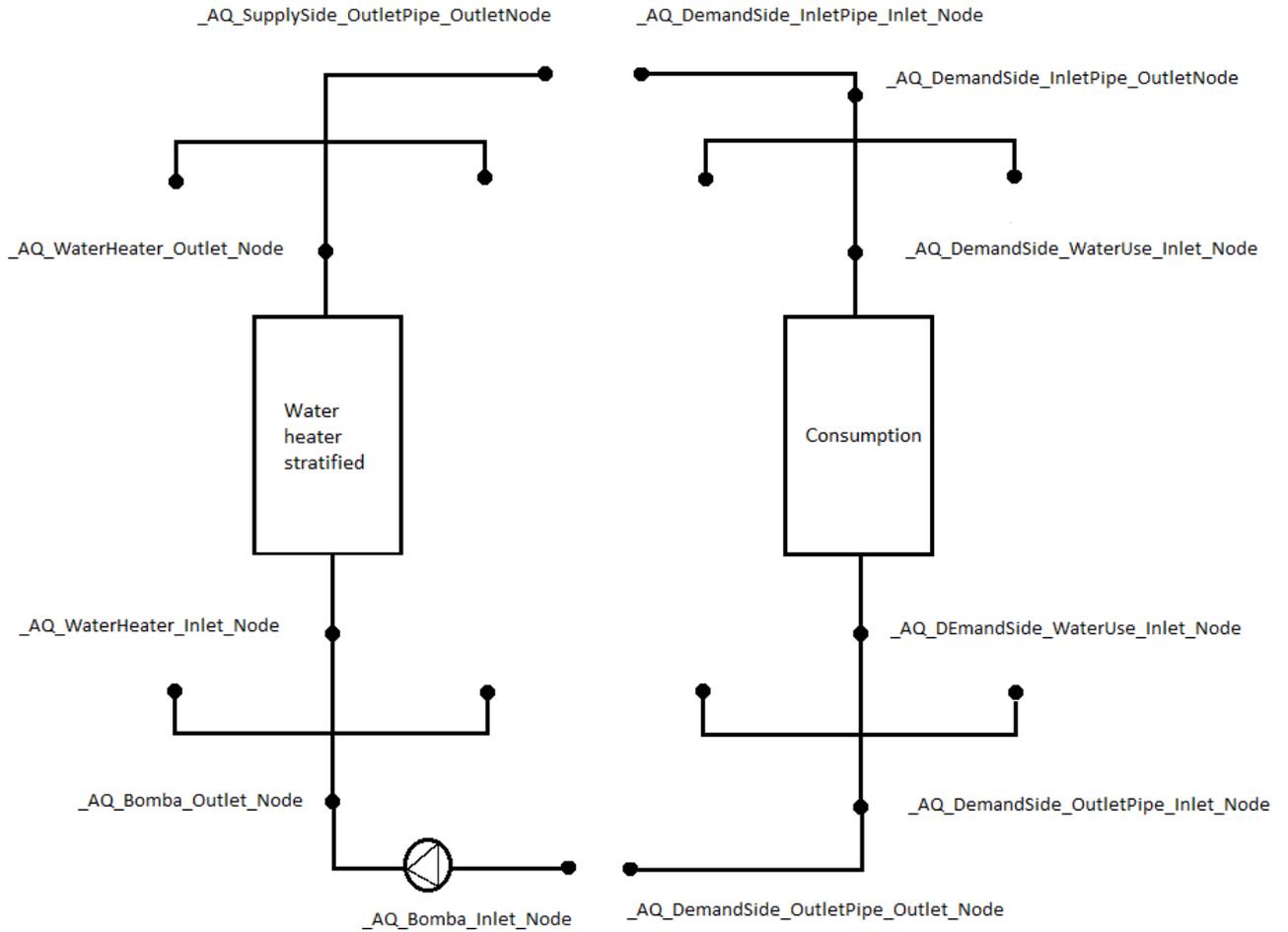


Figura B 2.1 - Esquema do circuito de aquecimento da água doméstica utilizado na habitação

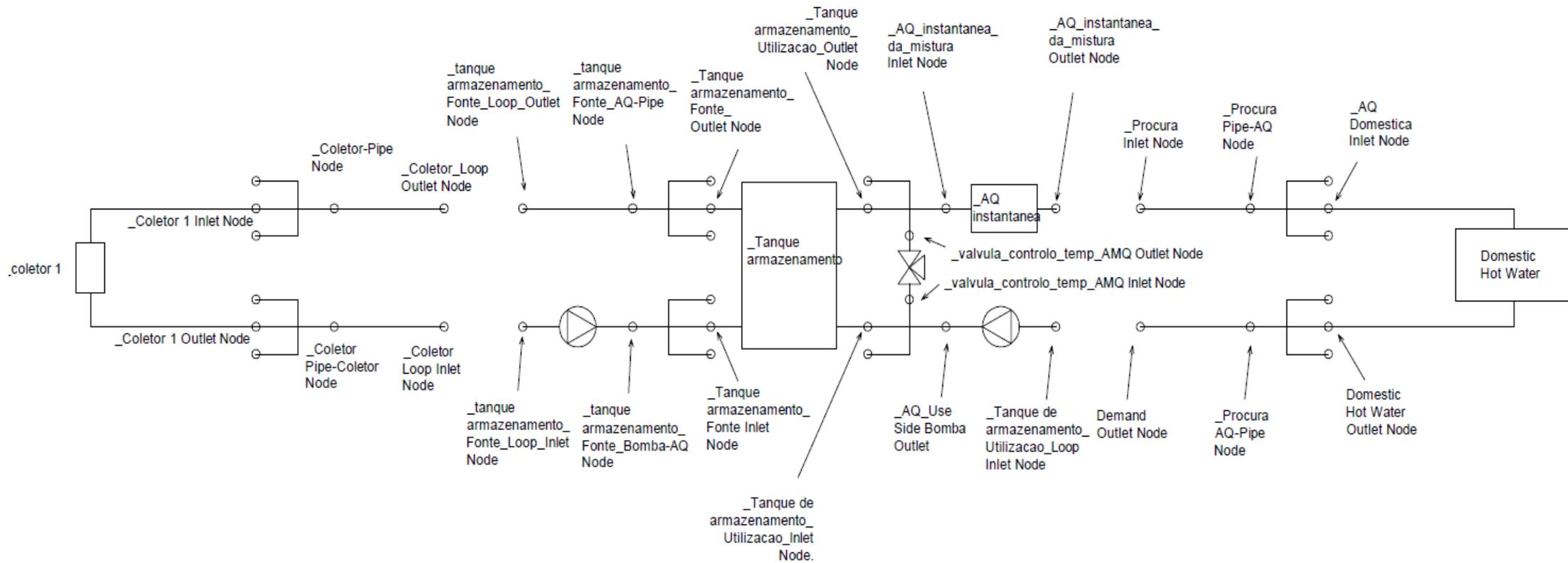


Figura B 2.2- Esquema do circuito de aquecimento da água doméstica utilizado na habitação através da utilização de coletores solares térmicos



