



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

**Estudo de casos de aplicação de Unidades de  
Produção para Autoconsumo (UPACs) fotovoltaicas  
em edifícios domésticos**

**João Miguel Lemos Sena**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Eletromecânica**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luís Carlos Carvalho Pires

Co-orientador: Prof. Doutor Pedro Nuno Dinho Pinto da Silva

**Covilhã, outubro de 2015**

# Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível graças à contribuição individual de um conjunto de pessoas. Expresso assim a minha gratidão àqueles cujo esforço contribuiu de alguma forma para a realização deste trabalho.

Agradeço em primeiro lugar aos meus orientadores, o Professor Doutor Luís Carlos Carvalho Pires e o Professor Doutor Pedro Nuno Dinho Pinto da Silva, pela amabilidade com que sempre me receberam, confiança com que sempre me distinguiram, disponibilidade e orientação que sempre me ofereceram e conhecimentos que me transmitiram.

Aos colegas e amigos que me apoiaram durante este percurso académico na UBI, em especial ao Tobias Abrantes, Pedro Firme e Miguel Vicente com quem tive o prazer de partilhar casa, aqui lhes deixo um especial agradecimento pela boa disposição e palavras de motivação.

Por fim, agradeço aos meus pais todos os esforços que fizeram para me proporcionar este momento, o carinho e força com que sempre me apoiaram. À minha irmã agradeço todo o apoio e confiança que sempre demonstrou. À Ana reconheço a paciência, companheirismo e ternura pela forma como sempre me apoiou e acompanhou ao longo deste percurso académico.

## Resumo

Nos últimos anos, em Portugal, verificou-se um grande aumento nos preços da energia elétrica. Este teve um efeito direto no custo de vida das famílias portuguesas, uma vez que a eletricidade é a forma de energia mais utilizada no setor doméstico, representando cerca de 38,1% do total da energia consumida no setor.

A legislação recentemente publicada sobre o autoconsumo e o fim das tarifas feed-in são algumas das razões que tornaram o autoconsumo doméstico num assunto bastante atual. Espera-se que o autoconsumo contribua de forma significativa para um melhor aproveitamento do setor fotovoltaico em Portugal.

Neste trabalho foi avaliada a aplicação de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPACs) fotovoltaicas em casos reais. Para cada uma das habitações em estudo foram analisadas seis unidades de produção com diferentes características. Para cada uma dessas unidades foi calculada a energia produzida, a energia autoconsumida e a rentabilidade económica da sua aplicação nas diferentes habitações.

Para os casos de estudo analisados foi obtido um período de retorno económico entre 7 e 9,7 anos. Este resultado comprova que a aposta na tecnologia fotovoltaica em Portugal apresenta-se com um investimento interessante, tendo em conta a nova legislação para o autoconsumo.

Na tentativa de aproveitar o máximo da energia produzida, e assim reduzir o desperdício, foram apresentadas algumas medidas que potenciam a utilização de UPACs no setor residencial doméstico e fornecidas indicações para auxiliar na escolha de uma UPAC para um edifício doméstico, tendo apenas como base as faturas de eletricidade e um questionário a realizar aos moradores.

## Palavras-chave

Energias renováveis, Energia fotovoltaica, Autoconsumo, UPAC e Setor doméstico.

# Abstract

In recent years, in Portugal, there has been a large increase in the electricity price. This had a direct effect on the lifestyle of Portuguese families, since electricity is the energy form most used in the domestic sector, representing about 38,1% of the total energy consumed in the sector.

The legislation recently published on self-consumption and the end of the feed-in tariffs promoted the domestic self-consumption to a current theme. It is expected that the self-consumption contributes significantly to a better exploration of the photovoltaic sector in Portugal.

In this work it was evaluated the application of photovoltaic UPAC's in real scenarios. To the houses under study there were analysed six production units with different characteristics. For each of these units it was calculated the energy produced, the self-consumed energy and the profitability of their implementation on different houses.

For the studied cases it was obtained an economic payback period between 7 and 9,7 years. This result proves that the investment in photovoltaic technology in Portugal represents an interesting investment, taking into account the new legislation of self-consumption.

In order to get the most out of the energy produced and reduce the energy waste, there were presented some measures that enhance the use of photovoltaic UPAC's in domestic sector and provided some instructions to assist in the selection of a photovoltaic UPAC for a domestic building, having in consideration only the electricity bills and a questionnaire.

# Keywords

Renewable energies, Photovoltaics, Self-consumption, UPAC and Domestic sector.

# Índice

Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iii
Abstract .....	iv
Índice .....	v
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas .....	xii
Lista de Acrónimos .....	xiv
Capítulo 1.....	1
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Revisão bibliográfica .....	4
1.3. Motivação e objetivos.....	6
1.4. Estrutura da dissertação.....	6
Capítulo 2.....	8
2. Mercado energético .....	8
2.1. Panorama energético europeu .....	8
2.2. Panorama energético português .....	10
2.2.1. Caracterização do setor residencial doméstico .....	12
Capítulo 3.....	23
3. Apresentação geral das políticas fotovoltaicas.....	23
3.1. Mercado fotovoltaico num contexto global .....	23
3.2. Sistema on-grid e off-grid .....	25
3.3. Tarifas feed-in .....	26
3.4. Net metering .....	26
3.5. Autoconsumo .....	27

3.6. Paridade com a rede .....	27
3.7. Evolução histórica da legislação em Portugal .....	29
3.8. Apresentação da legislação atualmente em vigor em Portugal .....	31
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>35</b>
<b>4. Estudo da aplicação de UPACs em edifícios domésticos .....</b>	<b>35</b>
4.1. Descrição das UPACs utilizadas para o estudo.....	35
4.2. Caso de estudo 1 .....	37
4.2.1. Descrição da habitação .....	38
4.2.2. Apresentação dos consumos faturados na habitação .....	39
4.2.3. Apresentação dos consumos medidos pelo analisador na habitação .....	40
4.2.4. Análise da aplicação das diferentes UPACs .....	44
4.2.5. Análise económica e seleção da UPAC mais adequada .....	56
4.2.6. Medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	57
4.3. Caso de estudo 2.....	58
4.3.1. Descrição da habitação .....	58
4.3.2. Apresentação dos consumos da habitação .....	59
4.3.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	59
4.3.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	61
4.3.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	62
4.4. Caso de estudo 3.....	63
4.4.1. Descrição da habitação .....	63
4.4.2. Apresentação dos consumos da habitação .....	64
4.4.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	65
4.4.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	65
4.4.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	67
4.5. Caso de estudo 4.....	67

4.5.1.	Descrição da habitação .....	67
4.5.2.	Apresentação dos consumos da habitação .....	68
4.5.3.	Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	69
4.5.4.	Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	70
4.5.5.	Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	71
4.6.	Caso de estudo 5 .....	71
4.6.1.	Descrição da habitação .....	71
4.6.2.	Apresentação dos consumos da habitação .....	72
4.6.3.	Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	73
4.6.4.	Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	74
4.6.5.	Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	75
4.7.	Caso de estudo 6 .....	76
4.7.1.	Descrição da habitação .....	76
4.7.2.	Apresentação dos consumos da habitação .....	77
4.7.3.	Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	77
4.7.4.	Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	78
4.7.5.	Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	80
4.8.	Caso de estudo 7 .....	80
4.8.1.	Descrição da habitação .....	80
4.8.2.	Apresentação dos consumos da habitação .....	81
4.8.3.	Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	82
4.8.4.	Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	83
4.8.5.	Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	85
4.9.	Caso de estudo 8 .....	85
4.9.1.	Descrição da habitação .....	85
4.9.2.	Apresentação dos consumos da habitação .....	86

4.9.3.	Estimativa de energia produzida e autoconsumida .....	87
4.9.4.	Análise económica e seleção de UPAC mais adequada .....	88
4.9.5.	Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC .....	89
4.10.	Análise geral dos casos de estudo.....	89
<b>Capítulo 5</b>	.....	<b>94</b>
<b>5. Conclusão</b>	.....	<b>94</b>
5.1.	Trabalhos futuros .....	95
<b>Referências</b>	.....	<b>97</b>
<b>Anexos</b>	.....	<b>101</b>
<b>Anexo A</b>	.....	<b>102</b>

# Lista de Figuras

Figura 1.1 - Evolução do consumo mundial de energia primária (baseado em [1]).	1
Figura 1.2 - Irradiação média anual na Europa [4].	3
Figura 2.1 - Evolução do consumo de energia final na Europa: por tipo de setor consumidor (adaptado de [19]).	9
Figura 2.2 - Consumo de energia final: por tipo de produto energético (adaptado de [19]).	9
Figura 2.3 - Dependência energética portuguesa [22].	11
Figura 2.4 - Consumo de energia final por setor em 2013 (adaptado de [19]).	12
Figura 2.5 - Evolução do consumo no setor residencial doméstico (tep) e o peso (%) no consumo de energia final [23].	13
Figura 2.6 - Evolução do consumo de energia final no setor residencial doméstico (tep) por tipo de fonte [23].	14
Figura 2.7 - Consumo consoante o tipo de uso, em 2010 (%) [23]	15
Figura 2.8 - Distribuição do consumo de energia na habitação, por tipo de uso e por fonte de energia, 2010 [24].	16
Figura 2.9 - Distribuição das habitações domésticas por tipo de equipamento para aquecimento ambiente [23].	17
Figura 2.10 - Distribuição das habitações domésticas por tipo de equipamento para a produção de águas quentes sanitárias [23].	18
Figura 2.11 - Distribuição das habitações domésticas por equipamentos utilizados na preparação das refeições [23].	19
Figura 2.12 - Distribuição das habitações domésticas por grandes eletrodomésticos utilizados [23].	19
Figura 2.13 - Distribuição das habitações domésticas por pequenos eletrodoméstico utilizados [23].	20
Figura 2.14 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte [23].	21
Figura 3.1 - Evolução da capacidade instalada anual global 2000-2013 [7].	24
Figura 3.2 - Ilustração representativa da chegada da paridade com a rede em Portugal no setor residencial [34].	28
Figura 3.3 - Mapa dos países que mostram tendência para a paridade com a rede fotovoltaica [40].	29
Figura 4.1 - Esquema simplificado de uma unidade de produção para autoconsumo [51].	36
Figura 4.2 - Energia faturada pelo fornecedor de energia elétrica - caso de estudo 1.	40
Figura 4.3 - Efergy e2 classic [55].	41

Figura 4.4 - Quadro geral da habitação sem proteções. ....	42
Figura 4.5 - Ligação da pinça amperimétrica ao quando geral. ....	42
Figura 4.6 - Perfil de consumo da habitação do caso de estudo 1. ....	43
Figura 4.7 - Perfil de consumo com fator de correção - caso de estudo 1.....	44
Figura 4.8 - Energia produzida por UPAC 1 no mês de Julho vs. perfil de consumo. ....	46
Figura 4.9 - Energia produzida por UPAC 1 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo. ....	46
Figura 4.10 - Energia produzida por UPAC 2 no mês de Julho vs. perfil de consumo. ....	48
Figura 4.11 - Energia produzida por UPAC 2 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo. ....	48
Figura 4.12 - Energia produzida por UPAC 3 no mês de Julho vs. perfil de consumo. ....	49
Figura 4.13 - Energia produzida por UPAC 3 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo. ....	50
Figura 4.14 - Energia produzida por UPAC 4 no mês de Julho vs. perfil de consumo. ....	51
Figura 4.15 - Energia produzida por UPAC 4 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo. ....	51
Figura 4.16 - Energia produzida por UPAC 5 no mês de Julho vs. perfil de consumo. ....	53
Figura 4.17 - Energia produzida por UPAC 5 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo. ....	53
Figura 4.18 - Energia produzida por UPAC 6 no mês de Julho vs. perfil de consumo. ....	54
Figura 4.19 - Energia produzida por UPAC 6 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo. ....	55
Figura 4.20 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 6. ....	57
Figura 4.21 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 2. ....	59
Figura 4.22 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 2. ....	62
Figura 4.23 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 3. ....	64
Figura 4.24 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 6. ....	66
Figura 4.25 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 4. ....	69
Figura 4.26 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 1. ....	71
Figura 4.27 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 5. ....	73
Figura 4.28 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 2. ....	75

Figura 4.29 - Perfil de consumo de energia eléctrica da habitação do caso de estudo 6. ....	77
Figura 4.30 - Perfil diário representativo do consumo de energia eléctrica na habitação vs. produção da UPAC 5. ....	79
Figura 4.31 - Perfil de consumo de energia eléctrica da habitação do caso de estudo 7. ....	82
Figura 4.32 - Perfil diário representativo do consumo de energia eléctrica na habitação vs. produção da UPAC 2. ....	84
Figura 4.33 - Perfil de consumo de energia eléctrica da habitação do caso de estudo 8. ....	87
Figura 4.34 - Perfil diário representativo do consumo de energia eléctrica na habitação vs. produção da UPAC 6. ....	89
Figura 4.35 - Relação do consumo com a UPAC recomendada para cada caso de estudo. ....	91

# Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Consumo e despesa com a energia no alojamento por tipo de fonte (adaptado de [23]). .....	22
Tabela 3.1 - Top 10 dos países investidores em energia solar fotovoltaica (adaptado de [7]).	25
Tabela 3.2 - Principais requisitos para a exploração das diferentes UPACs (adaptado de [48]).	34
Tabela 4.1 - Módulo solar considerado no estudo (adaptado de [52]).	37
Tabela 4.2 - Inversores solares considerados no estudo (adaptado de [53] [54]).	37
Tabela 4.3 - Custo orçado das diferentes UPACs.	37
Tabela 4.4- Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 1.	39
Tabela 4.5 - Preço da energia nos períodos de vazio e fora do vazio.	40
Tabela 4.6 - Informação estimada UPAC 1 - caso de estudo 1.	47
Tabela 4.7 - Informação estimada UPAC 2 - caso de estudo 1.	48
Tabela 4.8 - Informação estimada UPAC 3 - caso de estudo 1.	50
Tabela 4.9 - Informação estimada UPAC 4 - caso de estudo 1.	52
Tabela 4.10 - Informação estimada UPAC 5 - caso de estudo 1.	53
Tabela 4.11 - Informação estimada UPAC 6 - caso de estudo 1.	55
Tabela 4.12 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 1.	56
Tabela 4.13 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 2.	58
Tabela 4.14 - Energia produzida pelas UPACs em Aguiar da Beira.	59
Tabela 4.15 - Energia autoconsumida estimada para cada mês da habitação do caso de estudo 2.	60
Tabela 4.16 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 2.	61
Tabela 4.17 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 3.	64
Tabela 4.18 - Energia autoconsumida estimada para cada mês da habitação do caso de estudo 3.	65
Tabela 4.19 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 3.	66
Tabela 4.20 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 4.	68
Tabela 4.21 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 4.	69
Tabela 4.22 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 4.	70

Tabela 4.23 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 5. ....	72
Tabela 4.24 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 5..	73
Tabela 4.25 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 5.....	74
Tabela 4.26 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 6. ....	76
Tabela 4.27 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 6..	78
Tabela 4.28 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 6.....	79
Tabela 4.29 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 7. ....	81
Tabela 4.30 - Energia estimada produzida pelas UPACs na Covilhã. ....	82
Tabela 4.31 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 7..	83
Tabela 4.32 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 7.....	84
Tabela 4.33 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 8. ....	86
Tabela 4.34 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 8..	87
Tabela 4.35 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 8.....	88
Tabela 4.36 - Relação da utilização de equipamentos elétricos durante o dia com a UPAC recomendada para cada caso de estudo. ....	92
Tabela 4.37 - Resumo dos casos de estudo.....	93

## Lista de Acrónimos

APESF	Associação Portuguesa de Empresas do Setor Fotovoltaico
AQS	Águas Quentes Sanitárias
CIEG	Custos de Interesse Económico Geral
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CUR	Comercializador de Último Recurso
DGEG	Direção Geral da Energia e Geologia
DSM	<i>Demand-Side Management</i>
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
EPIA	<i>European Photovoltaic Industry Association</i>
EUA	Estados Unidos da América
GPL	Gás Liquefeito de Petróleo
IVA	Imposto sobre Valor Acrescentado
LCOE	<i>Levelized Cost of Electricity</i>
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PV	<i>Photovoltaic</i>
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
UE	União Europeia
UK	Reino Unido
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidade de Pequena Potência

# Capítulo 1

## 1. Introdução

Neste capítulo é enquadrado o tema da produção de energia por via fotovoltaica para autoconsumo tendo em conta o atual contexto socioeconómico, ambiental e legislativo em vigor em Portugal. É também realizada uma revisão bibliográfica, através da consulta de relatórios, artigos e estudos recentes do sector fotovoltaico, com o intuito de dar a conhecer a situação atual do setor. São ainda apresentados os objetivos e motivação deste trabalho. Por fim, é abordada a estrutura da presente dissertação.

### 1.1. Enquadramento

O aumento da população mundial e o crescimento das economias emergentes conduziram a um aumento do consumo de energia. De acordo com o relatório estatístico publicado pela BP, o consumo mundial de energia primária cresceu cerca de 22,5% entre 2004 e 2014, de 10,5 para 12,9 Gtep [1]. Na Figura 1.1 pode observar-se o gráfico corresponde à evolução do consumo mundial de energia primária.

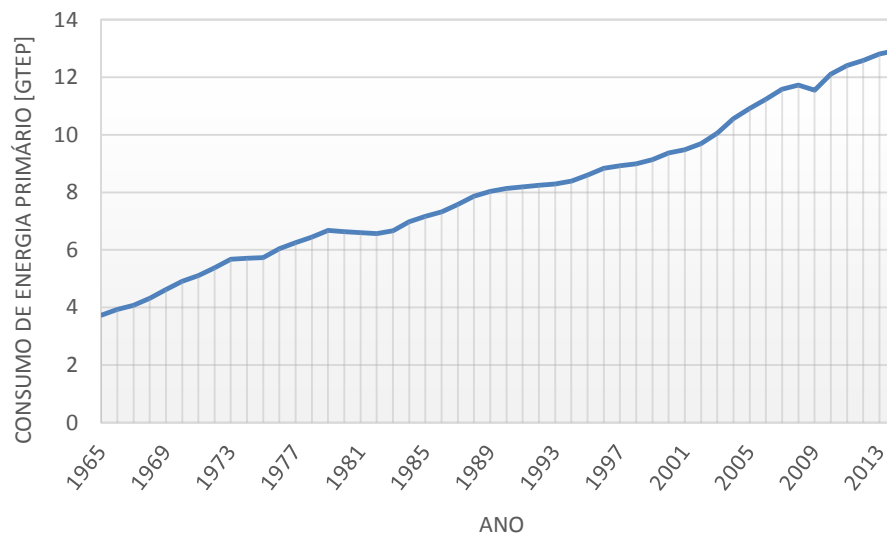


Figura 1.1 - Evolução do consumo mundial de energia primária (baseado em [1]).

Uma vez que a matriz energética mundial se baseia em combustíveis fósseis, a utilização excessiva de recursos energéticos não renováveis apresenta como consequência a diminuição das suas reservas e o seu previsível esgotamento a longo prazo. Para além do

esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, acresce a preocupação com o impacto provocado pela sua utilização no ambiente e na saúde pública.

As alterações climáticas são o nome atribuído ao efeito resultante da utilização dos combustíveis fósseis e emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Como consequências deste problema são conhecidas, o aumento da temperatura média da Terra, a subida do nível do mar, a destruição de habitats naturais e extinção de espécies. Isto tornou a preocupação ambiental um tema em voga, uma questão que se tornou parte do quotidiano da sociedade moderna [2].

Apesar da tendência dos últimos meses, que é entendida como conjuntural e temporária, a pressão dos mercados e a instabilidade existente nos países produtores de combustíveis fósseis têm vindo a impulsionar o preço da energia final, efeito que tem vindo a pesar cada vez mais na carteira dos cidadãos, particularmente em Portugal.

A consciencialização ambiental das populações e a necessidade de poupança de alguns países conduziram à aposta em formas de energia alternativas. Assim sendo, a utilização e exploração das formas de energia renováveis (são exemplos, a energia solar, eólica, hídrica, ondas e mares) tornou-se numa necessidade. O investimento nas energias renováveis é apontado como uma das possíveis soluções para a eminente crise energética, isto é, o esgotamento dos combustíveis fósseis e a preservação ambiental do planeta Terra.

Por forma a estimular a utilização das energias renováveis, a União Europeia (UE) emitiu importantes diretivas, das quais, ganhou destaque a Diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010. Esta Diretiva exige que os países comunitários cumpram as seguintes metas até 2020: a redução do consumo de energia primária em 20%; a redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 20% e o aumento do recurso a energias renováveis para 20% do consumo total de energia final na UE [3].

Atualmente Portugal é um país dependente da importação de recursos energéticos, visto não possuir fontes de energia não renováveis (nomeadamente, petróleo, carvão e gás natural). Esta dependência torna o país vulnerável economicamente, sendo bastante afetado por qualquer ocorrência a nível internacional, como é o caso de crises petrolíferas internacionais.

Por outro lado, o nosso país possui um elevado potencial em termos das diferentes formas de energias renováveis, que podem e devem ser aproveitados. Em termos de energia solar, este potencial é bastante considerável, sendo um dos países Europeus com melhores condições para o aproveitamento deste recurso. Na Figura 1.2 é possível observar a

situação vantajosa de Portugal em termos deste recurso, que apresenta zonas que recebem acima de 1700 kW/m<sup>2</sup> de radiação solar incidente, por ano.

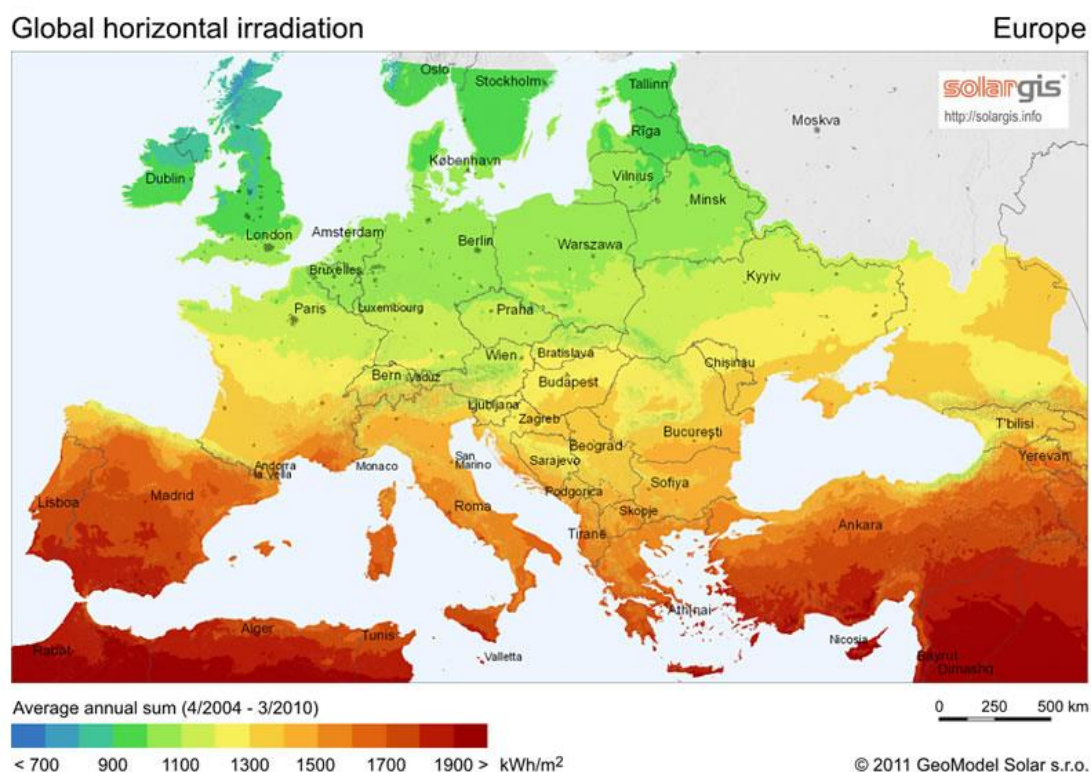


Figura 1.2 - Irradiação média anual na Europa [4].

Portugal dispõe de um elevado número médio anual de horas de Sol, entre 2200 e 3000. Um valor consideravelmente elevado quando comparado com outros países da Europa, como é o caso da Alemanha, em que este indicador se encontra entre as 1200 e 1700 horas anuais [5].

Posto isto, percebe-se a importância em aproveitar ao máximo o recurso endógeno que é a energia solar para produção de energia elétrica. Até 2014, em Portugal, os investimentos neste setor eram vistos como uma oportunidade de negócio, uma vez que a energia elétrica produzida era vendida na totalidade à rede pública, conseguindo assim os proprietários dos sistemas, ganhos diretos derivados de tarifas bonificadas.

No entanto, a aprovação do recente Decreto de Lei da Produção Distribuída (Decreto-lei nº 153/2014) veio introduzir modificações profundas no setor fotovoltaico em Portugal, uma vez que se passou a estimular a produção de eletricidade para o autoconsumo [6].

Neste contexto, estima-se que a produção de eletricidade por via fotovoltaica para autoconsumo, juntamente com a chegada da paridade com a rede, venham a dar um novo

rumo ao setor fotovoltaico em Portugal, setor que se encontrava estagnado nos últimos anos.

## 1.2. Revisão bibliográfica

De seguida são referidos alguns dados e trabalhos científicos presentes na literatura e que abordam a temática da produção de energia elétrica por via fotovoltaica.

Segundo uma revisão do mercado global do setor fotovoltaico, efetuado pela *European Photovoltaic Industry Association* (EPIA), em 2013 a capacidade fotovoltaica mundial acumulada situava-se nos 138,9 GW [7].

De acordo com dados da Direção Geral da Energia e Geologia (DGEG), Portugal registou em 2013 uma produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis de 30896 GWh, sendo que apenas 479 GWh resultaram da produção fotovoltaica [8]. No entanto, segundo o relatório da Comissão Europeia, *PV status report 2014*, apesar das excelentes condições de radiação solar existentes em Portugal, a instalação de sistemas de produção de energia solar fotovoltaica tem crescido muito lentamente, atingindo apenas uma capacidade acumulada de 281 MW até o final de 2013 [9].

Uma das políticas de incentivo à produção fotovoltaica que tem sido utilizada na grande maioria dos países desenvolvidos designa-se por *feed-in tariff*, denominada em Portugal por regime bonificado. Essencialmente, esta garante um preço fixo inicial ao qual a energia elétrica é comprada pelo comercializador ao produtor. Este foi, até há poucos anos, o mecanismo empregue numa boa parte dos países da Europa para promover o desenvolvimento da produção de energia elétrica por via fotovoltaica [10].

Outra das políticas de incentivo à produção descentralizada de energia elétrica é o *net metering*, que permite ao produtor (e simultaneamente cliente de um comercializador de energia elétrica) entregar parte, ou a totalidade, da energia produzida, e não autoconsumida, ao comercializador. Neste caso, o produtor/consumidor fica na posse de um crédito de energia para utilizar quando a energia produzida for inferior à consumida. Na Europa, apenas cinco países utilizam este sistema de incentivo à produção fotovoltaica, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Itália e Holanda [11].

Nos últimos anos, diversos países promoveram a produção de energia renovável através da atribuição de incentivos financeiros apelativos. Estes incentivos tinham como objetivo fazer face aos preços proibitivos das tecnologias renováveis. O sucesso de alguns sistemas de incentivos levou ao crescimento do mercado fotovoltaico e, conseqüentemente, à chegada da paridade com a rede [12].

Num trabalho em que são comparados os mecanismos *net metering* e *feed-in tariff* no apoio à produção de energia por via fotovoltaica, no sector residencial, concluiu-se que o *net metering* apresenta melhor desempenho face à *feed-in tariff*, se a fatura de eletricidade da habitação for devidamente tomada em linha de conta [13].

Pela importância que representa no consumo de energia, o sector residencial tem sido alvo de estudos específicos sobre o assunto. Um desses estudos [14] revela que tem crescido significativamente o consumo de energia neste sector, com particular destaque para o consumo de eletricidade, que se destaca como a forma de energia mais usada no sector. Desse modo, o estudo concluiu que existe um grande potencial na instalação de unidades fotovoltaicas para produção local de energia elétrica, por forma a diminuir a fatura energética associada ao consumo dessa forma de energia [14].

A viabilidade técnico-económica da produção de energia elétrica por via fotovoltaica para autoconsumo, à luz da nova legislação vigente no nosso país, foi também já estudada [15]. Num desses estudos, que recaiu sobre unidades de média potência, foi avaliado o potencial de aplicação de uma UPAC (Unidade de Produção para Autoconsumo) a uma unidade industrial do sector dos laticínios. O estudo, suportado simultaneamente no dimensionamento analítico e computacional das UPACs, teve como propósito avaliar o desempenho de um conjunto de UPACs com diferentes potências. Concluiu que, apesar da atual legislação pretender estimular a produção para autoconsumo, a escolha de uma UPAC cuja injeção na rede fosse praticamente nula não era a opção que apresentava o melhor retorno económico, quanto à poupança de energia e ao período de recuperação do investimento. Segundo o estudo, deverá ser procurada uma situação de compromisso entre a energia autoconsumida e a energia injetada.

Num estudo global realizado pela EPIA, *Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector - On the road to competitiveness*, concluiu-se que numa residência típica europeia equipada com um sistema solar fotovoltaico conseguem atingir-se percentagens de autoconsumo de cerca de 30%, sem adotar nenhuma medida de otimização. Concluiu-se também que quanto maior for a capacidade da instalação fotovoltaica no edifício habitacional menor será a percentagem de autoconsumo [16]. Níveis mais elevados de autoconsumo podem ser alcançados usando métodos de otimização, como o armazenamento local e o uso de ferramentas de gestão de procura, *Demand-Side Management (DSM)* [16].

DSM é o termo utilizado para as transferências de carga efetuadas numa habitação, de modo a deslocar a procura de energia, por exemplo, a transferência de carga resultantes da utilização de máquina de lavar, aquecimento, ventilação e sistemas de ar condicionado

para períodos de tempo com produção excedente fotovoltaica. Este deslocamento de carga pode ser conseguido manualmente, em que as pessoas ligam os aparelhos elétricos nos períodos de produção fotovoltaica, ou automaticamente, onde são utilizados dispositivos de controlo [17].

Num artigo de revisão [17], foi efetuado um resumo da pesquisa sobre os sistemas de autoconsumo fotovoltaico existentes e as opções para otimizar esse autoconsumo. O estudo revela que, efetivamente, nas opções para o melhoramento do autoconsumo estão incluídos o armazenamento de energia com recurso a baterias e a transferência de carga. Os resultados mostram que é possível aumentar o autoconsumo relativo em 13% a 24% para sistemas com armazenamento com baterias de 0,5 a 1 kWh por kW de potência fotovoltaica instalada. Para sistemas fotovoltaicos com DSM os resultados indicam uma melhoria entre 2% a 15% comparando com as taxas de autoconsumo originais.

### **1.3. Motivação e objetivos**

O mercado fotovoltaico permanece em constante investigação e desenvolvimento, com o intuito de se alcançarem preços de energia elétrica inferiores aos preços correspondentes às fontes de energia convencionais. Com a recente aprovação do decreto de lei para o autoconsumo fotovoltaico, o conceito de produção de energia por via fotovoltaica para autoconsumo instantâneo tornou-se inovador em Portugal, desencadeando novo interesse pelo setor que se apresentava estagnado nos últimos anos.

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo do potencial de aplicação de unidades de produção de energia elétrica, por via fotovoltaica, para autoconsumo em edifícios domésticos. O tema será abordado inicialmente num âmbito mais geral, seguindo-se o estudo de oito casos práticos de aplicação em habitações, avaliando-se em que medida o novo decreto-lei se adequa ao tecido habitacional português.

Outros objetivos da dissertação passam por indicar medidas que potenciem a aplicação de UPACs fotovoltaicas em edifícios domésticos e também fornecer indicações de modo a auxiliar a escolha de uma unidade de produção para autoconsumo sem ser necessário a medição do consumo, tendo apenas por base a análise da faturação e a realização de um questionário.

### **1.4. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, cuja sua descrição é apresentada de forma sucinta de seguida.

No capítulo 1, denominado de Introdução, é enquadrado o tema da produção de energia via fotovoltaica para autoconsumo, tendo em conta o atual contexto socioeconómico, ambiental e legislativo em vigor em Portugal. É ainda realizada uma breve revisão bibliográfica, através da consulta de literatura sobre o setor fotovoltaico, com o intuito de dar a conhecer a situação atual do tema e a sua relevância.

No capítulo 2 é abordado o mercado energético atual, onde é apresentado o panorama energético europeu e, mais concretamente, o português. Nessa análise, é dado particular foco a caracterização do setor doméstico em Portugal.

No capítulo 3 são apresentadas, de uma forma geral, as políticas fotovoltaicas praticadas na Europa nos últimos anos. Serão abordados temas como as tarifas *feed-in*, o *Net metering*, o autoconsumo direto e a recente chegada da paridade com a rede. É abordada a evolução histórica da legislação fotovoltaica em Portugal e apresentada a atual legislação em vigor para o setor fotovoltaico.

O capítulo 4 apresenta os casos práticos do estudo de aplicação de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) em edifícios domésticos. Neste capítulo é abordado todo o processo seguido para os casos de estudo, desde a recolha de dados relativos ao consumo de energia, a análise desses dados e a indicação da UPAC mais adequada para cada caso de estudo. Deste modo, é estudado o potencial da aplicação de UPACs fotovoltaicas, com base em dados reais de edifícios domésticos. No fim do capítulo é realizada uma análise geral da aplicação de UPACs a edifícios doméstico, onde são mencionadas algumas estratégias a adotar na hora de optar por uma UPAC.

Por fim, no capítulo 5, são anunciadas as conclusões referentes à elaboração do presente trabalho e são propostos alguns caminhos para trabalhos a desenvolver no futuro sobre o autoconsumo fotovoltaico.

# Capítulo 2

## 2. Mercado energético

Neste capítulo é descrito o mercado energético atual, onde é explorada a necessidade de investimento em energias alternativas. Assim, é realizada uma abordagem ao panorama energético europeu, seguido da análise da realidade portuguesa. Por fim, é efetuada a caracterização do setor doméstico português.

### 2.1. Panorama energético europeu

A União Europeia (UE) é a segunda maior economia mundial e consome um quinto da energia produzida em todo o Mundo. Embora seja o maior importador mundial de energia, possui algumas reservas energéticas, tais como, barragens, centrais nucleares, minas de carvão, campos de gases e, mais recentemente, energias renováveis. No entanto, a UE caracteriza-se pela sua dependência energética em relação ao exterior, em parte, explicada pela elevada importação de combustíveis fósseis. A dependência energética da UE provoca grandes consequências negativas na economia [18].

Por forma a estimular a utilização das energias renováveis, e assim contribuir para a sua dependência energética a UE emitiu importantes diretivas, entre das quais, a Diretiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010. Esta Diretiva impõe metas aos países comunitários, para serem cumpridas até 2020. Destacam a redução do consumo de energia primária em 20%; a redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 20% e o aumento do recurso a energias renováveis para 20% do consumo total de energia final na UE [3].

De maneira a atingir as metas propostas, é fundamental a aposta nas energias renováveis. Assim, torna-se necessário caracterizar o consumo energético europeu, de modo a saber quais os investimentos a efetuar e em que tecnologias renováveis. Segundo dados da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), na Europa, o setor dos transportes apresenta-se como o maior consumidor de energia, com cerca de 32% da energia final consumida, seguido do setor doméstico, responsável por 27% do consumo de energia final, e o setor da Indústria, com 25% do consumo de energia final, como mostra o gráfico da Figura 2.1.

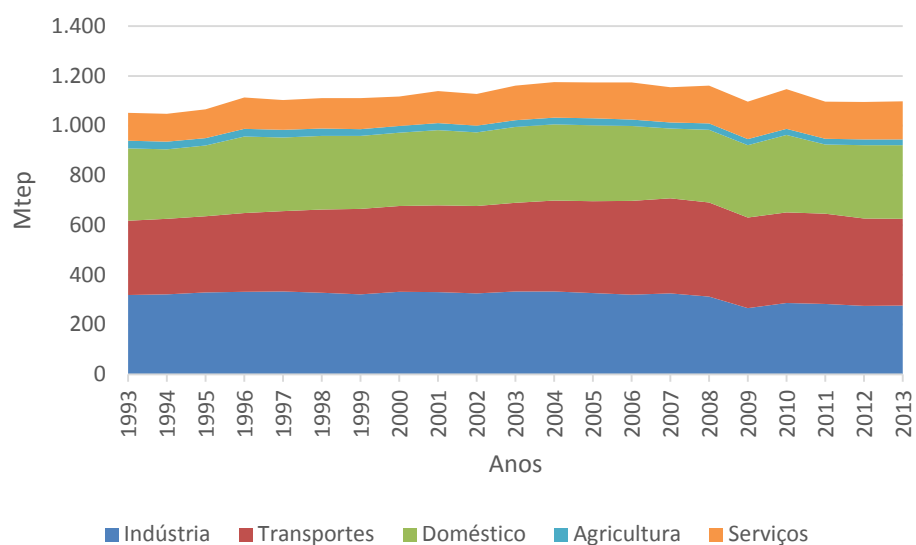


Figura 2.1 - Evolução do consumo de energia final na Europa: por tipo de setor consumidor (adaptado de [19]).

Parte considerável do consumo desta energia é correspondente a energia elétrica. O que representa uma oportunidade para a produção de energia através de fontes renováveis, tais como a energia solar e energia eólica. Vários países europeus têm apresentado grandes desenvolvimentos na utilização de fontes renováveis, por forma a contrariar a sua dependência energética. É importante também referir, como pode ser observado através da Figura 2.2, que o consumo de energia final tem vindo a diminuir. Em parte, explicado pela grande diminuição no consumo dos produtos derivados do petróleo.

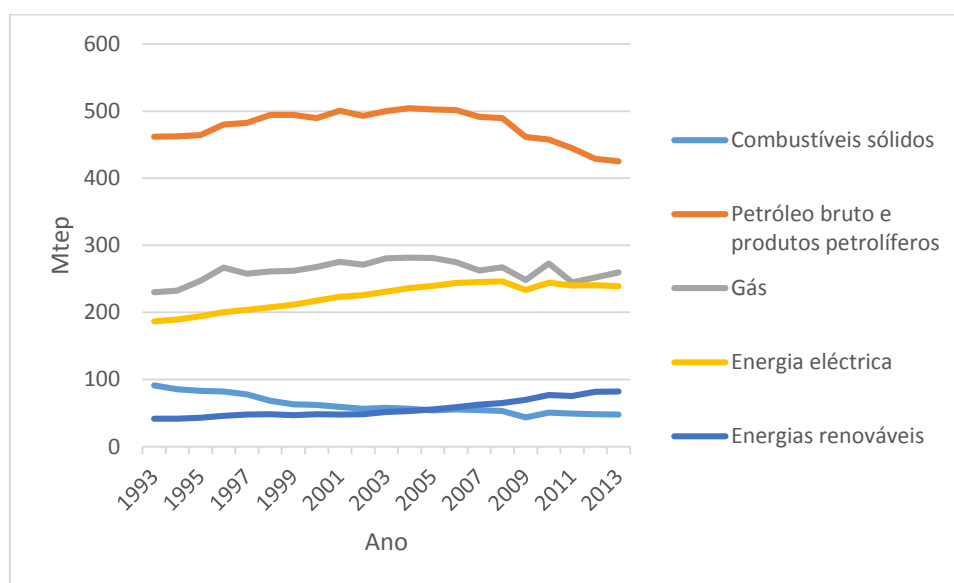


Figura 2.2 - Consumo de energia final: por tipo de produto energético (adaptado de [19]).

Analisando pormenorizadamente o gráfico anterior, verifica-se que a eletricidade tem um peso de cerca 250 Mtep na energia final consumida. Representa cerca de 23% do total do consumo de energia final na Europa, o que realça a importância do investimento na energia fotovoltaica, entre outras, para a produção de energia elétrica.

De salientar ainda que, embora o consumo de energia final tenha vindo a diminuir, é verificado um ligeiro aumento no uso das energias renováveis. Resultante de algumas estratégias energéticas adotadas por alguns países europeus, por forma a alcançarem as metas propostas.

## 2.2. Panorama energético português

Portugal é um país dependente da importação de recursos energéticos visto não possuir fontes de energia não renováveis, como são exemplo o petróleo, o carvão e o gás natural. Esta dependência torna o país vulnerável economicamente, sendo bastante afetado por qualquer ocorrência a nível internacional, como é o caso de crises petrolíferas internacionais.

No entanto, Portugal possui uma grande diversidade de fontes energéticas, pois a sua localização geográfica é ideal para usufruir e beneficiar de uma grande variedade de fontes energéticas renováveis, como é o caso da energia hídrica, da energia solar, e da energia eólica onde temos, inclusivamente, uma das maiores plataformas continentais para aproveitamento *offshore*.

Tal como a UE, Portugal procura adotar estratégias que levem à redução da sua dependência energética. Assim, para combater essa elevada dependência energética, Portugal implementou uma Estratégia Nacional para a Energia (ENE), em vigor até 2020, conforme Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010 de 15 de Abril. A estratégia tem como um dos objetivos “reduzir em 25 % o saldo importador energético, recorrendo à energia produzida a partir de fontes endógenas, gerando uma redução de importações de 2000 milhões de euros” [20].

O investimento em energias renováveis poderá ser parte da solução e, segundo dados da DGEG, no ano de 2013 a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis representou cerca de 66% da energia elétrica produzida. Em que, 12015 GWh foram produzidos a partir da energia eólica, representando 25% da energia total produzida. Muito distante desta realidade encontra-se ainda a energia fotovoltaica, com base na qual apenas foram produzidos 479 GWh [19].

De acordo com o relatório da “fatura energética portuguesa 2014”, publicado pela DGEG, em 2014, o saldo importador de produtos energéticos cifrou-se em 5710 milhões de euros, o que representa uma melhoria de 8,4%, face ao valor de 2013 (6232 milhões de euros) [21].

Dados igualmente revelados pela DGEG, mostram que Portugal tem vindo a reduzir o seu consumo energético de forma significativa, com uma redução do consumo de energia final em 23,6% nos últimos 10 anos [22]. Contribuindo assim de forma considerável para a diminuir a dependência energética portuguesa, como se pode verificar na Figura 2.3.

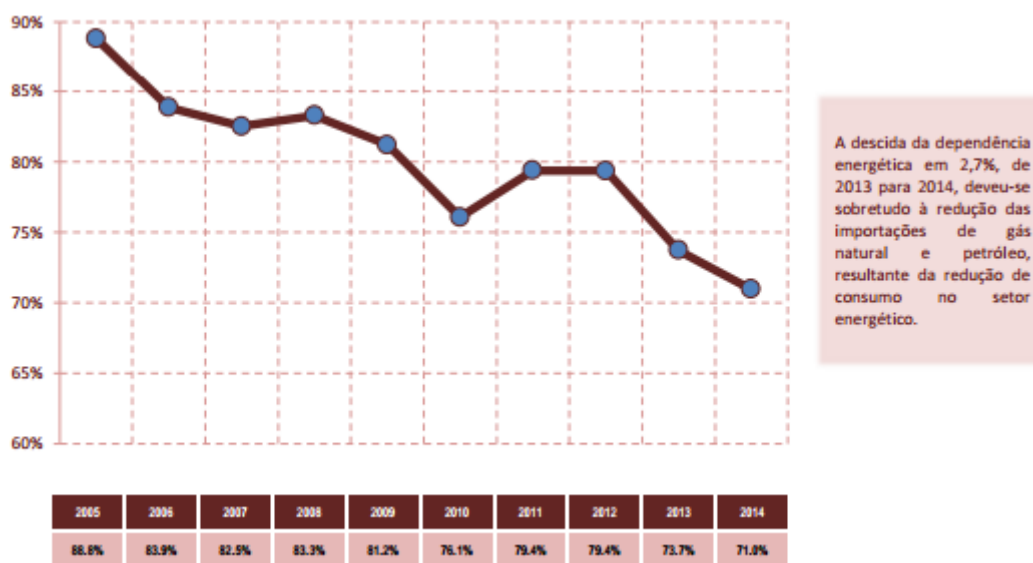


Figura 2.3 - Dependência energética portuguesa [22].

Da análise do gráfico verifica-se que a diminuição da dependência energética é bastante significativa, cerca de 17% desde 2005. No entanto, esta continua a ter um valor bastante elevado, cerca de 71%. A componente das energias renováveis tem tido uma forte contribuição nesta matéria, visto que, com a sua utilização (principalmente a energia eólica e hídrica), tem-se verificado a diminuição do consumo de carvão e gás natural na produção de energia elétrica.

É importante perceber e analisar de que forma, e onde, esta energia é consumida. Em 2013, o setor dos transportes era o maior responsável pelo consumo de energia em Portugal, com cerca de 40% do consumo. O setor industrial era responsável pelo consumo de 29% dos recursos energéticos e o setor doméstico apresentava o terceiro maior consumo, com 17% dos recursos energéticos gastos.

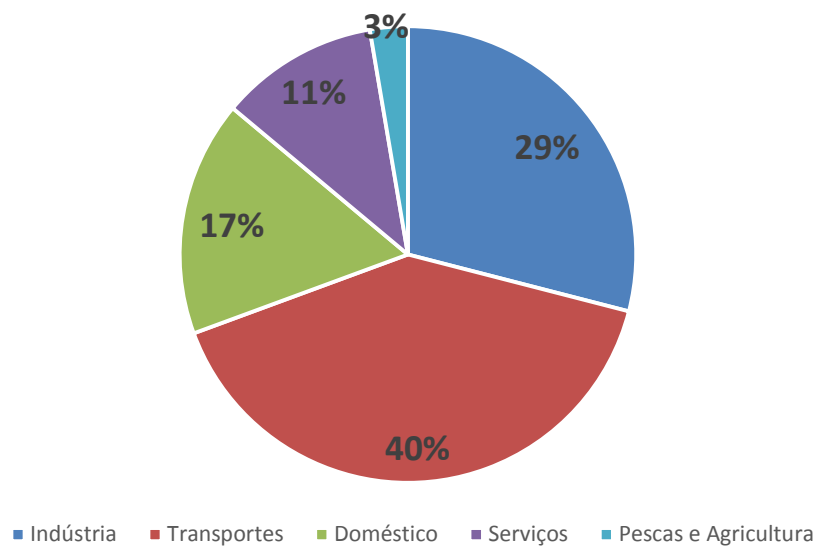


Figura 2.4 - Consumo de energia final por setor em 2013 (adaptado de [19]).

O setor dos transportes que apresenta o maior consumo de recursos energéticos é praticamente dependente do consumo de petróleo, já o setor da indústria depende de várias fontes de energia. Em relação ao setor residencial tem-se verificado um aumento de consumo de eletricidade nos últimos anos. Este aumento deve-se aos novos hábitos e modo de vida, bem como o avanço das tecnologias, tornando este setor quase dependente da eletricidade.

Visto que a eletricidade pode ser produzida através de fontes renováveis, como é o caso da energia solar a produção distribuída de energia por via fotovoltaica apresenta-se como muito favorável para o setor residencial, visto que poderá contribuir na redução da importação de recursos energéticos e conseqüente diminuição da dependência energética do país.

### 2.2.1. Caracterização do setor residencial doméstico

Nesta secção é caracterizado o setor residencial doméstico numa perspetiva energética. Portanto, é descrito de que forma o consumo de energia tem evoluído no setor e qual a sua tendência. É analisado o consumo no setor consoante o tipo de uso (cozinha, aquecimento de águas, aquecimento do ambiente, iluminação,...), quais as formas de energia utilizadas no setor, quais os equipamentos utilizados nos diferentes tipos de uso e o consumo e por fim, qual a despesa com a energia por tipo de fonte.

### 2.2.1.1. Evolução do consumo energético no setor residencial doméstico

No decorrer das últimas décadas têm-se observado algumas alterações nos hábitos de consumo de energia no setor residencial em Portugal. Com o aumento do poder económico das famílias portuguesas, verificou-se uma melhoria significativa das condições de vida, pois a população procurou ter melhores condições de conforto, higiene e alimentação. Estes novos hábitos contribuíram significativamente para o aumento do consumo energético nos edifícios, como se pode observar na Figura 2.5.

Da análise do gráfico da Figura 2.5 verifica-se, que em termos de consumo global de energia no setor domestico, existiu um crescimento tendencial e sustentado até 2005, ano em que se verificou uma inversão de tendência, muito possivelmente explicada pela diminuição do poder económico das famílias portuguesas e ainda pela alteração de hábitos energéticos, com a redução do desperdício de energia e a preocupação ambiental [23].

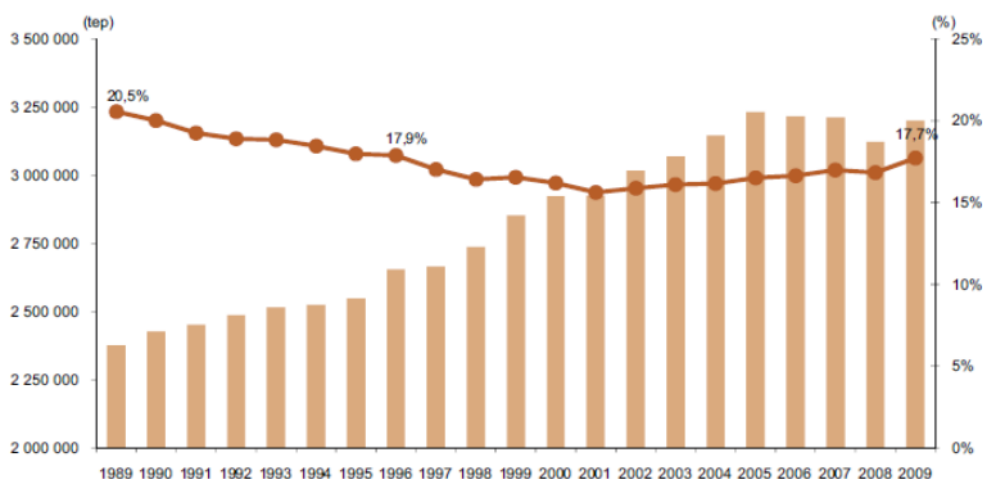


Figura 2.5 - Evolução do consumo no setor residencial doméstico (tep) e o peso (%) no consumo de energia final [23].

Na Figura 2.6 está representada a evolução do consumo de energia no setor doméstico por tipo de fonte, de 1989 a 2009. Verifica-se que em 2009 a eletricidade foi a principal fonte de energia consumida no setor residencial doméstico, representando 38,1% do total de energia consumida. Segue-se a lenha com 36,3%, o GPL com 16,3%, o gás natural com 8,3%, a proveniente de sistemas solares térmicos com 0,8% e por fim os produtos do petróleo com 0,3% [23].

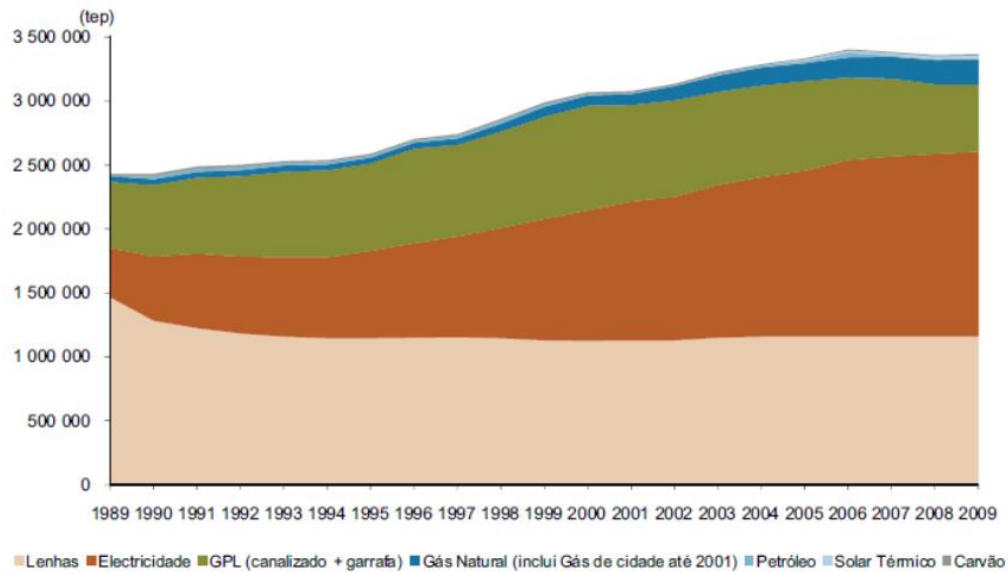


Figura 2.6 - Evolução do consumo de energia final no setor residencial doméstico (tep) por tipo de fonte [23].

Deve assinalar-se que o consumo de energia elétrica tem sido aquele que mais tem aumentado nos últimos anos. Ao invés, o consumo de lenha enquanto fonte de energia tem vindo ao longo dos anos a diminuir e a perder importância, visto que até 2002 correspondia à fonte de energia mais consumida no setor doméstico, perdendo esse domínio a partir de 2003 para a eletricidade.

O crescimento contínuo do consumo de energia elétrica no setor doméstico está ligado à introdução de novos equipamentos que visam melhorar as condições de vida da população. Espera-se que essa tendência de crescimento do consumo de energia elétrica continue a verificar-se pois é previsível o aparecimento, e correspondente aquisição, de novos equipamentos elétricos para as habitações.

#### 2.2.1.2. Consumo energético no setor residencial doméstico

Como referido anteriormente o setor residencial em Portugal representa uma parte significativa do consumo de energia primária, cerca de 17% do consumo total do país. O aumento no consumo de energia verificado neste setor é em parte explicado pelo investimento na qualidade e conforto dos edifícios, como sejam as necessidades básicas de higiene, a conservação de alimentos, o conforto térmico e ainda o uso de equipamentos como eletrodomésticos, televisões, computadores, etc. que hoje em dia representam comodidades à disposição nas habitações. O elevado consumo do setor é também consequência de algumas ineficiências resultantes dos próprios equipamentos

consumidores, dos edifícios e ainda de procedimentos e hábitos inadequados na utilização dos equipamentos que compõem o parque habitacional português.

Segundo o “Inquérito ao Consumo de Energia no sector doméstico 2010”, a cozinha possui o maior peso no que diz respeito ao consumo de energia nas habitações, com cerca de 39% do consumo total, seguida pelo aquecimento de águas sanitárias (AQS) que representam 23% [23].

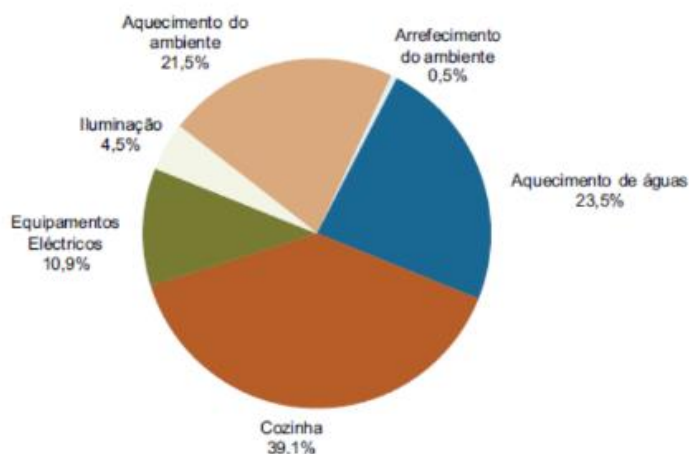


Figura 2.7 - Consumo consoante o tipo de uso, em 2010 (%) [23]

A Figura 2.8 representa a distribuição do consumo de energia na habitação por tipo de uso e por fonte de energia utilizada em 2010, sendo a cozinha responsável por mais de um terço do consumo global.

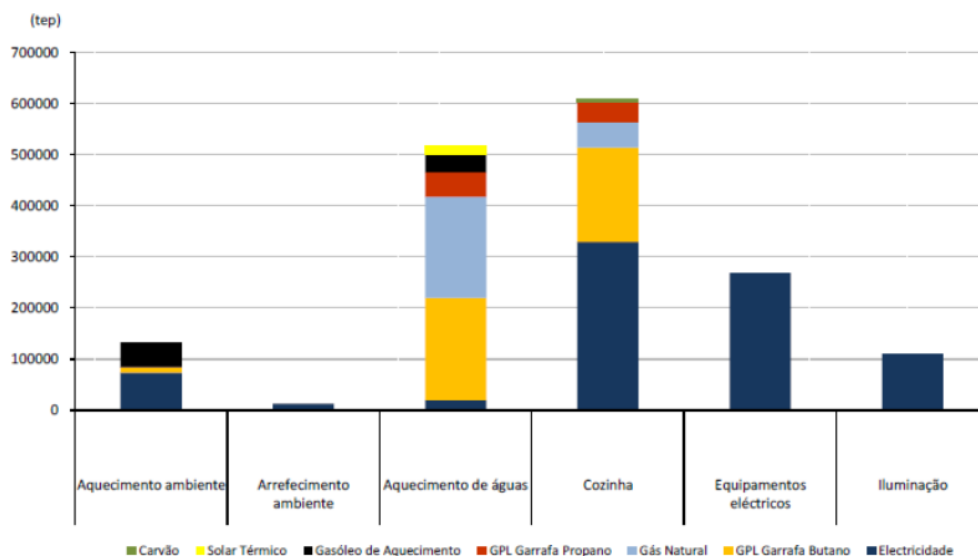


Figura 2.8 - Distribuição do consumo de energia na habitação, por tipo de uso e por fonte de energia, 2010 [24].

Da análise do gráfico anterior, pode concluir-se que a eletricidade é a única fonte de energia consumida em todos os tipos de uso nas habitações, assumindo assim um papel muito relevante no setor residencial, onde a maioria dos equipamentos presentes necessita desta fonte de energia. Pode assim afirmar-se que existe uma dependência da eletricidade na sociedade atual. No entanto, a fonte de energia dominante difere consoante o tipo de uso, visto que na cozinha é predominante a eletricidade e no aquecimento de águas a fonte de energia mais utilizada é do tipo GPL.

### 2.2.1.3. Equipamentos utilizados no setor residencial doméstico

Na seguinte secção são referidos os equipamentos que têm utilização no setor residencial doméstico nos diferentes tipos de uso. É analisada a percentagem dos equipamentos que são utilizados para cada tipo de uso no parque habitacional português.

- **Aquecimento do ambiente**

De acordo com o Inquérito ao Consumo de Energia no sector doméstico 2010, cerca de 78% dos alojamentos inquiridos utilizaram equipamentos para o aquecimento do ambiente. O aquecedor elétrico foi o equipamento mais utilizado para o aquecimento do ambiente, tendo sido usado em 1.9 milhões de alojamentos, correspondendo a 61% do total de alojamentos que utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente.

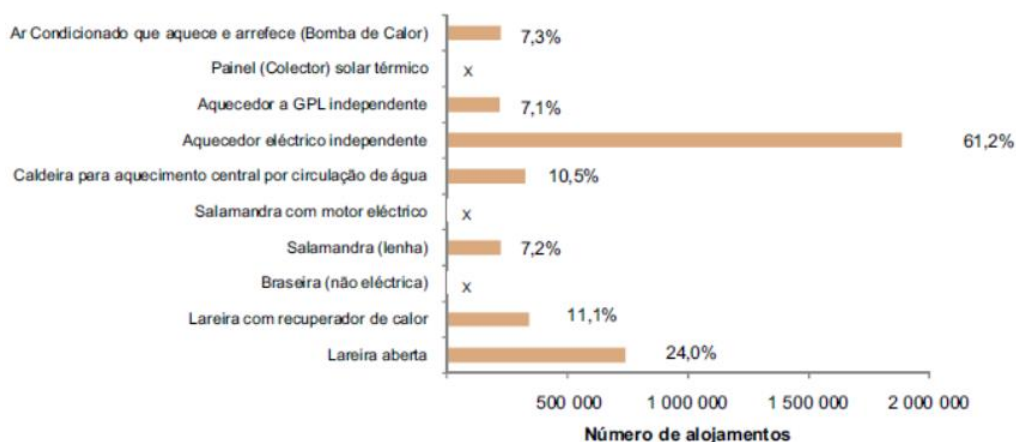


Figura 2.9 - Distribuição das habitações domésticas por tipo de equipamento para aquecimento ambiente [23].

A segunda fonte de calor mais utilizada para aquecimento do ambiente foi a lareira aberta seguida da lareira com recuperador de calor, que foram utilizadas, respetivamente, em 24% e 11% dos alojamentos que utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente.

Por fim, o aquecedor a GPL independente foi o equipamento menos usado, com apenas 7% dos alojamentos que utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente. De referir que 65% dos equipamentos funcionaram principalmente durante a noite [23].

- **Arrefecimento do ambiente**

No que diz respeito a equipamentos para arrefecimento do ambiente, ou equipamentos que estimulam a sensação de fresco, apenas um quinto dos alojamentos inquiridos recorreram a este tipo de equipamentos, tendo sido apenas utilizados três tipos, a bomba de calor, o ventilador e o aparelho individual de ar condicionado.

Dos equipamentos referidos o ventilador foi o mais usado, com 69,5% das residências a recorrerem a este tipo de equipamento, seguido da bomba de calor, com 26%, e o aparelho individual de ar condicionado, com 7,2%. É ainda de referir que o tempo de utilização destes equipamentos foi muito semelhante entre o dia e a noite [23].

- **Águas Quentes Sanitárias (AQS)**

Em relação ao aquecimento de águas sanitárias, assinala-se que o recurso à energia solar térmica, em 2010, era ainda muito reduzido nos alojamentos portugueses. Como é possível observar na Figura 2.10, grande parte dos edifícios que compõem o parque habitacional português utilizavam um esquentador para a produção de AQS (78,6%).

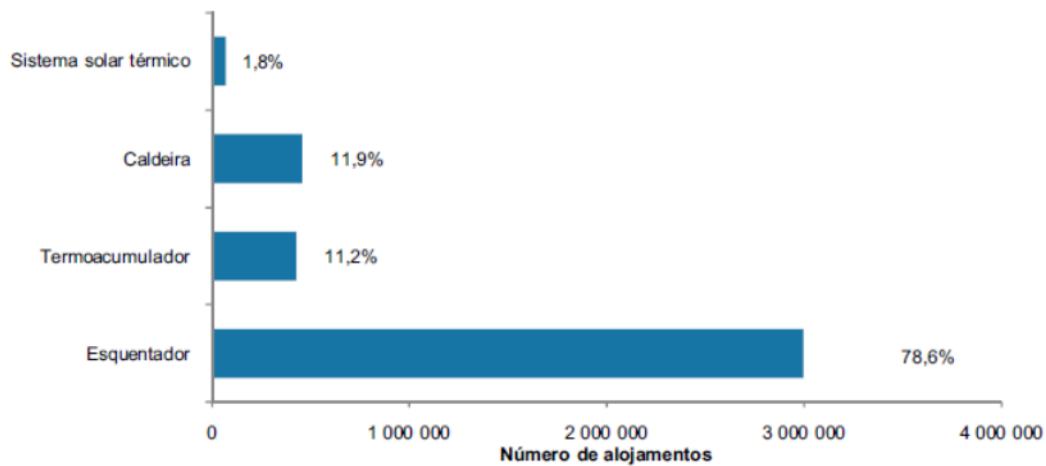


Figura 2.10 - Distribuição das habitações domésticas por tipo de equipamento para a produção de águas quentes sanitárias [23].

Seguem-se as caldeiras e os termoacumuladores com praticamente a mesma taxa de utilização, cerca de 11%. É ainda de salientar que em 56,8% dos alojamentos com caldeira esta se encontrava ligada ao sistema de aquecimento central e que 54,7% dos alojamentos que continham caldeiras utilizavam como fonte de energia a biomassa [23].

- **Cozinha**

Os equipamentos considerados como pertencentes à cozinha são os grandes eletrodomésticos, pequenos eletrodomésticos de uso exclusivo, ou habitual na cozinha, e ainda os equipamentos utilizados na confeção de refeições na cozinha.

Dos equipamentos utilizados para a preparação de refeições na cozinha, o fogão com forno foi o mais utilizado, em 65,5% dos alojamentos, como se pode observar na Figura 2.11.

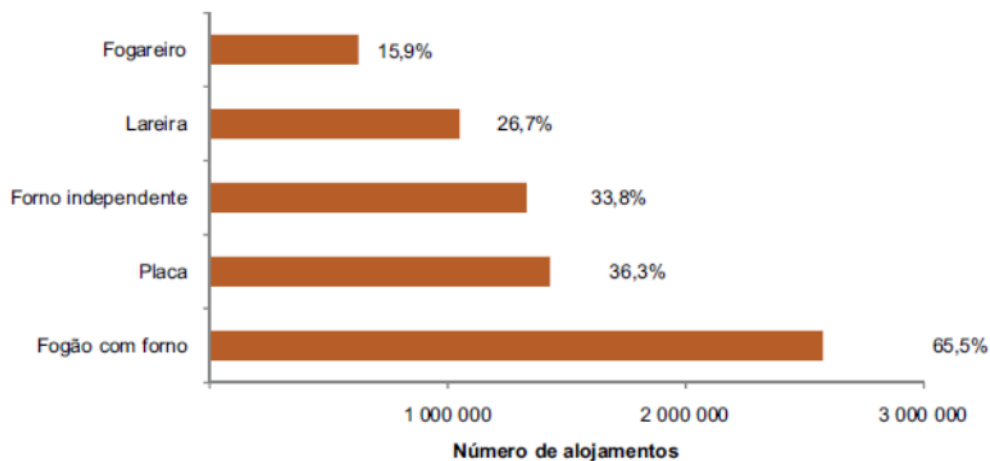


Figura 2.11 - Distribuição das habitações domésticas por equipamentos utilizados na preparação das refeições [23].

De entre os grandes eletrodomésticos utilizados na cozinha destaca-se a utilização da máquina de lavar roupa em cerca de 91% dos alojamentos, seguido do frigorífico com congelador (58,3%).

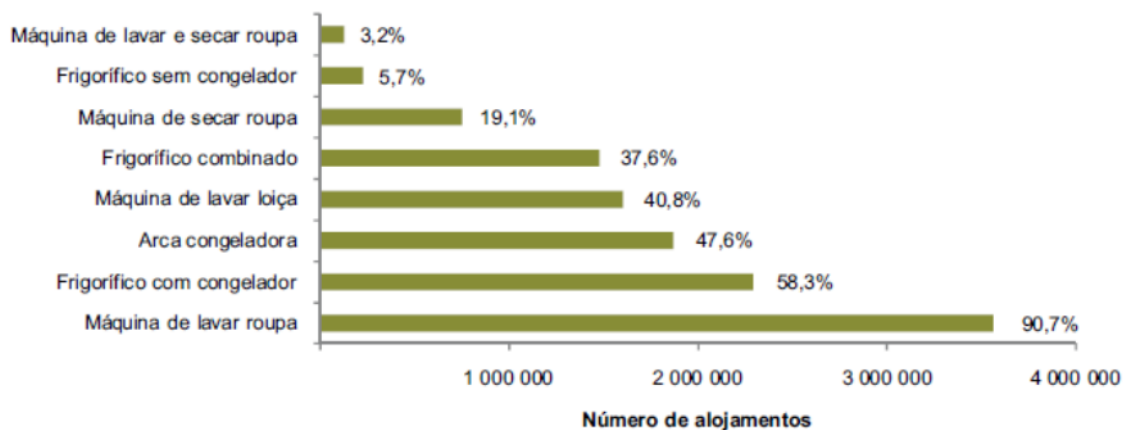


Figura 2.12 - Distribuição das habitações domésticas por grandes eletrodomésticos utilizados [23].

No que respeita aos pequenos eletrodomésticos, destacam-se o ferro de engomar (92,1%), o micro-ondas (81,8%) e o aspirador (74,9%) com elevada taxa de utilização nos alojamentos [23].

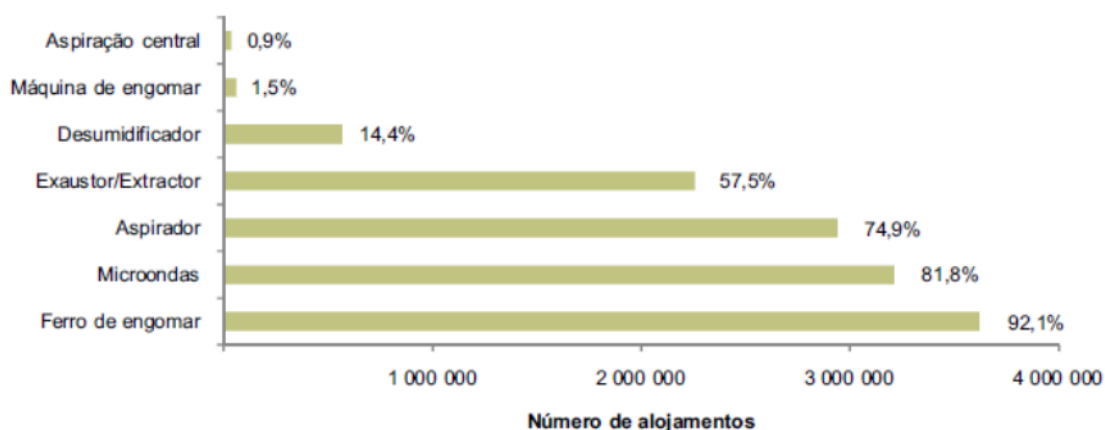


Figura 2.13 - Distribuição das habitações domésticas por pequenos eletrodoméstico utilizados [23].

- **Entretenimento e informática**

No setor residencial a utilização da televisão verificou-se quase na totalidade dos alojamentos familiares (99,6%) e numa grande parte dos alojamentos também o uso de computadores (59,4%). De referir ainda que, em média, cada alojamento possui 2 televisores e que este é o equipamento que maioritariamente se encontra desligado em modo *standby*, cerca de 44% [23].

#### **2.2.1.4. Consumo e despesa com a energia por tipo de fonte no setor residencial doméstico**

Na Figura 2.14 encontra-se a distribuição do consumo de energia por tipo de fonte no setor residencial. Verifica-se que em 2010 a principal fonte de energia consumida foi a eletricidade, com 42,6% do total de energia consumida no setor residencial, seguido pela lenha (24,2%), GPL garrafa (19%), gás natural (9%) e o gasóleo para aquecimento (3,6%). As fontes de energia com menos representação no consumo do setor eram o GPL canalizado com 2,4% do consumo e o carvão com 0,2%. De referir que as fontes de energia renováveis, nomeadamente, carvão vegetal e energia solar térmica, representam cerca de 25% do consumo de energia no sector doméstico, muito por contribuição da utilização da lenha [23].

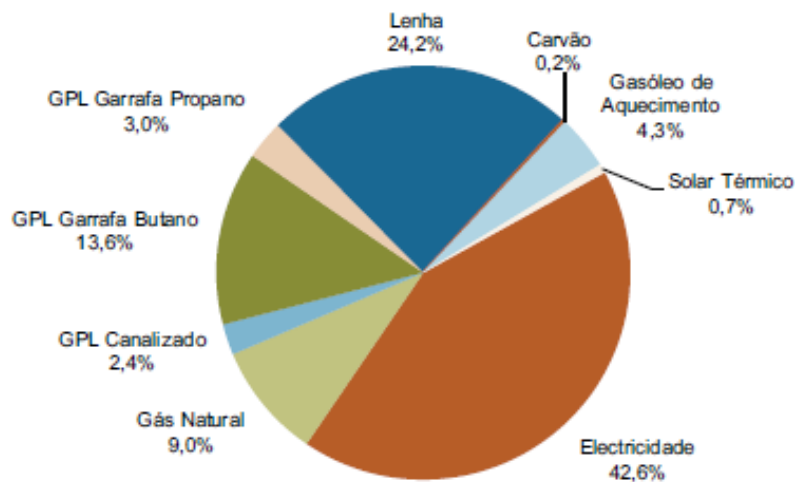


Figura 2.14 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte [23].

No entanto, as fontes de energia mais consumidas não são necessariamente as mais dispendiosas. Como referido, as fontes de energia mais consumidas foram a eletricidade, a lenha e o GPL de garrafa, enquanto, que as fontes de energia mais dispendiosa, por ano, foram o gasóleo para aquecimento (760€/alojamento), a eletricidade (523€/alojamento), o GPL de garrafa (320€/alojamento) e o GPL canalizado (297€/alojamento). A lenha, segunda fonte de energia mais utilizada, apresenta-se como uma das fontes de energia menos dispendiosa (171 €/alojamento), sendo o carvão a fonte de energia menos dispendiosa (21€/alojamento) [23]. Na Tabela 2.1 é apresentado um resumo do consumo e despesa com a energia nos alojamentos por tipo de fonte, no ano de 2010.

Tabela 2.1 - Consumo e despesa com a energia no alojamento por tipo de fonte (adaptado de [23]).

Fonte	Nº de alojamentos	Consumo (tep)	Despesa €	Despesa por alojamento (€/alojamento)
Eletricidade	3927733	1242021	2056019558	523
Lenha	1576694	705875	113924402	171
GPL Butano	2206050	396115	570930745	259
GPL Propano	463453	87738	144385726	312
Gás Natural	780442	263507	193965092	249
GPL Canalizado	380838	70625	112990922	297
Gasóleo Aquecimento	142462	124636	105291237	765
Solar Térmico	68824	19105	-	-
Carvão	334814	6404	6772498	21
<b>Total</b>	<b>3932010</b>	<b>2916026</b>	<b>3304280180</b>	<b>840</b>

## Capítulo 3

### 3. Apresentação geral das políticas fotovoltaicas

Neste capítulo serão abordadas algumas das políticas fotovoltaicas que têm sido colocadas em prática na UE, por forma a impor e desenvolver o setor fotovoltaico. É contextualizado o mercado fotovoltaico no seu global, de modo a perceber qual a situação na Europa e em que ponto esta se situa no que diz respeito ao mercado fotovoltaico. É ainda apresentado de que forma a legislação aplicada à produção fotovoltaica tem evoluído em Portugal e é analisada a recente legislação, já em vigor, para a produção fotovoltaica distribuída, que tem como principal objetivo fomentar o autoconsumo.

#### 3.1. Mercado fotovoltaico num contexto global

No setor solar fotovoltaico, tem-se vindo a observar nos últimos anos um crescimento geral um pouco por todo o mundo. O constante crescimento do setor é em parte resultante dos apoios concedidos através de políticas governamentais e pelas instituições de financiamento.

Com o constante aumento dos preços do petróleo, e previsível crise energética, houve a necessidade de reforçar a aposta nas energias renováveis. Desta forma, ocorreu um reforço dos apoios ao investimento em energias renováveis, no qual o setor fotovoltaico não fugiu à regra, tendo passado por um período de algum desenvolvimento nos últimos anos.

As estratégias de apoio ao setor fotovoltaico, que têm sido implementadas até agora, visam reduzir a diferença entre o custo da energia proveniente da produção fotovoltaica e o custo da energia proveniente de fontes de energia convencionais. Diferentes formas de financiamento têm sido postas em vigor para o setor fotovoltaico na última década, tais como: subsídios, redução do IVA, *net-metering*, tarifas *feed-in*, entre outras. Estas estratégias de apoio utilizadas até ao momento têm estimulado a redução dos custos da energia fotovoltaica, tornando possível, já em 2013, a paridade com a rede em alguns países [25].

As estatísticas do setor fotovoltaico apresentadas pela EPIA, no relatório Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018, indicam que o ano de 2013 foi um ano por excelência

para o desenvolvimento do setor [7]. No gráfico da Figura 3.1 é apresentado, para cada ano, a capacidade de energia solar fotovoltaica instalada nas diferentes regiões. Como se pode observar, no ano de 2013 ocorreu um grande desenvolvimento no setor.

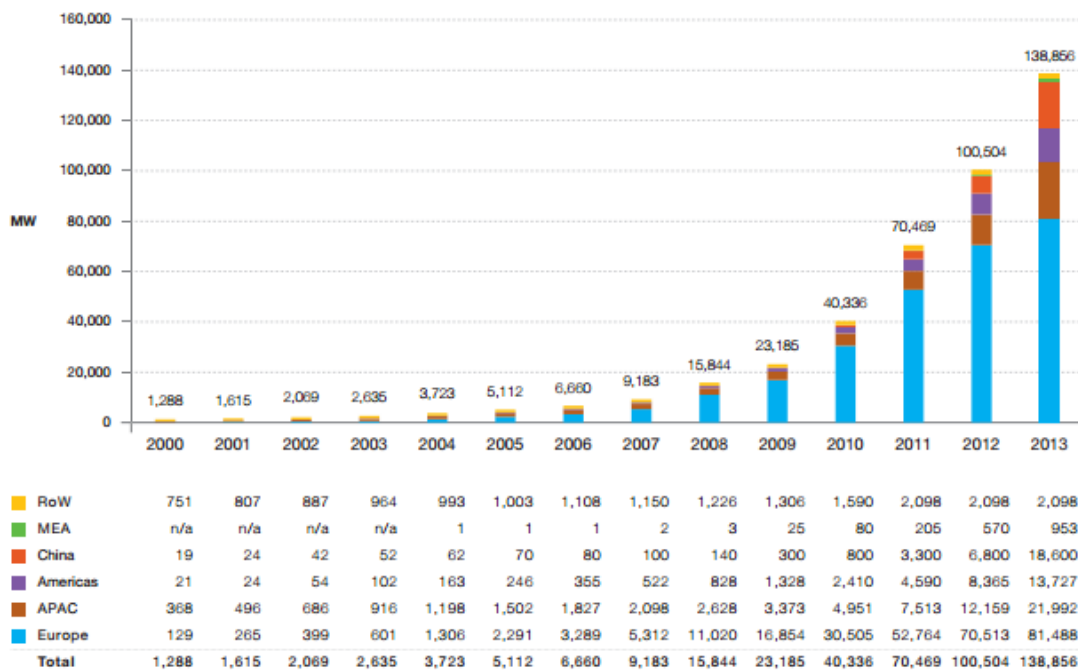


Figura 3.1 - Evolução da capacidade instalada anual global 2000-2013 [7].

Em 2013 foi instalado em todo o mundo cerca de 38,4 GW, fixando a capacidade mundial instalada de energia solar fotovoltaica em 138,9 GW. Trata-se assim da terceira em termos de capacidade instalada das energias renováveis utilizadas, apenas superada pela energia hídrica e pela energia eólica [7].

Respeitante à capacidade total de energia solar fotovoltaica instalada, a Europa posiciona-se como a região com mais capacidade instalada, com cerca de 59% do mercado global. No entanto, no ano de 2013, foi pela primeira vez superada no investimento anual efetuado em energia solar fotovoltaica, pela Ásia. Explicado em parte, pelo grande investimento efetuado pela China e pelo Japão e pela quebra de investimento verificado na Europa [7].

Relativamente à capacidade instalada por país, verifica-se que apesar de ter sido suplantada em capacidade instalada no ano de 2013 pela China, Japão e EUA, a Alemanha continua a ser uma grande força no mercado fotovoltaico, liderando o ranking de países com mais capacidade instalada, como é possível verificar na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Top 10 dos países investidores em energia solar fotovoltaica (adaptado de [7]).

Capacidade instalada (MW) 2013		Capacidade total instalada (MW) 2013	
China	11.800	Alemanha	35.715
Japão	6.900	China	18.600
EUA	4.800	Itália	17.928
Alemanha	3.300	Japão	13.600
UK	1.546	EUA	12.000
Itália	1.448	Espanha	5.340
Índia	1.115	França	4.673
Roménia	1.100	UK	3.375
Grécia	1.040	Austrália	3.250
Austrália	850	Bélgica	2.983

O relatório analisado faz ainda referência à crescente competitividade do mercado fotovoltaico mundial, sobretudo devido à forte redução dos preços da tecnologia fotovoltaica e do contínuo aumento dos preços da eletricidade. Finalmente verifica-se que, apesar desta tendência de preços e do facto da energia solar fotovoltaica ser a segunda mais instalada no ano de 2013, o investimento e as tendências de mercado que se observam anualmente neste sector são ainda fortemente conduzidos pelas decisões e incentivos políticos nos diferentes países [7].

### 3.2. Sistema on-grid e off-grid

Os sistemas de produção de energia solar fotovoltaica podem dividir-se em dois grupos:

- On-grid, sistemas fotovoltaicos ligados à RESP (Rede Elétrica de Serviço Público), estes podem ser de grande potência, onde o propósito é produzir para colocar na RESP ou de pequena potência, em que a energia elétrica produzida complementa ou substitui a energia elétrica proveniente da RESP em habitações de zonas urbanas, por forma a reduzir os custos com a energia elétrica;
- Off-grid, sistemas que se caracterizam por serem isolados, geralmente utilizados para instalações em locais remotos sem acesso à RESP. Este tipo de sistema possui um vasto leque de aplicações, como por exemplo, torres de telecomunicações, iluminação e sinalização pública, etc..

### 3.3. Tarifas feed-in

Por forma a encorajar a produção de energia elétrica através de fontes renováveis, e a contrariar o elevado custo da eletricidade gerada a partir da tecnologia fotovoltaica face à eletricidade gerada através dos sistemas tradicionais, Foram adotadas por diversos países estratégias de incentivo do tipo tarifas *feed-in*, conhecidas em Portugal por regime bonificado.

As tarifas *feed-in* apresentam um preço fixo inicial (por kWh), pago ao produtor pela eletricidade que é injetada na RESP, gerada a partir de uma fonte de energia renovável. O incentivo é garantido por um longo período de tempo, durante o qual as tarifas são ajustadas de forma decrescente e anual [10].

Este tipo de tarifas oferece três tipos de benefícios ao investimento em energia solar fotovoltaica [26]:

- Tarifa de compensação por toda a energia gerada pelo sistema fotovoltaico;
- Tarifa de compensação pela energia exportada para a RESP (mais produção que consumo);
- Tarifa de compensação pelo autoconsumo da energia produzida.

### 3.4. Net metering

Tal como as tarifas *feed-in*, outra das políticas energéticas que incentiva a produção de energia elétrica descentralizada é o *Net metering*. Este permite aos clientes de uma comercializadora elétrica, compensar em parte, ou na totalidade, os seus consumos de energia elétrica a partir da energia produzida pelo seu sistema fotovoltaico [27].

Este sistema funciona como uma forma de armazenamento de energia virtual, visto que os produtores de energia elétrica estão habilitados a injetar na RESP o excesso de energia produzida, e usufruir posteriormente dessa energia produzida pelo seu sistema fotovoltaico [28]. Por exemplo, durante o período noturno, em que o sistema fotovoltaico não se encontra a produzir, o consumidor poderá compensar as necessidades energéticas da sua instalação a partir da energia anteriormente injetada na RESP.

Todo este mecanismo de compensação de energia funciona com a utilização de um contador elétrico bidirecional, que regista os fluxos de energia em ambos os sentidos. O contador efetua o balanço energético da instalação, incrementando quando o utilizador usufrui da energia proveniente da RESP e decrementando quando é injetada energia na RESP [29].

Em cada período de faturação, é cobrado apenas o consumo líquido, ou seja, a diferença entre a energia consumida e injetada na RESP. No entanto, se a quantidade de energia produzida for superior à energia consumida, o utilizador receberá uma compensação, que poderá ser na forma de créditos energéticos ou monetários [30].

Como se pode concluir, o *Net Metering* só é aplicável em sistemas *on-grid*. Trata-se de um sistema que pode ser bastante rentável dado que, além de permitir reduzir a fatura energética a partir de energia produzida, pode ainda gerar uma receita da energia colocada na rede, a ser vendida ao preço de mercado [13].

### **3.5. Autoconsumo**

O autoconsumo fotovoltaico pode definir-se como a possibilidade de um consumidor de eletricidade poder conectar um sistema fotovoltaico, com capacidade correspondente ao seu consumo, ao próprio sistema ou à RESP, preferencialmente para o seu consumo próprio, mas com a possibilidade de injetar na RESP o excedente produzido, obtendo uma compensação por essa energia [31].

O *net metering* e o autoconsumo direto, ou instantâneo, são dois mecanismos diferentes que permitem o autoconsumo de energia fotovoltaica, e que estão atualmente a ser implementados na Europa. Por se tratarem de dois mecanismos que permitem o autoconsumo, deve fazer-se a distinção entre ambos. O autoconsumo direto é considerado um mecanismo de compensação em tempo real, já o *net metering* permite a compensação dos consumos durante períodos de tempo mais longos, podendo mesmo ir até períodos de um ano [32].

O mecanismo de autoconsumo direto, caracteriza-se pelo aproveitamento instantâneo da energia produzida pelo sistema fotovoltaico ou pelo armazenamento da energia produzida em baterias para posterior consumo, não existindo crédito de energia pela injeção na RESP.

### **3.6. Paridade com a rede**

Para fazer face aos preços proibitivos das tecnologias renováveis foram implementadas em diversos países, medidas de incentivo para promover o investimento em energias renováveis. O êxito verificado com algumas dessas medidas de incentivo conduziram nos últimos anos a um elevado crescimento do mercado fotovoltaico, e conseqüente chegada da paridade com a rede [12].

A paridade com a rede pode considerar-se como o ponto de maturidade de uma determinada tecnologia renovável, ou seja, esta representa o período temporal em que um sistema fotovoltaico ligado à rede, fornece a energia ao mesmo preço que a energia disponibilizada pela RESP [33]. O momento da chegada da paridade com a rede para o mercado fotovoltaico pode ser observado na comparação entre duas tendências. O decréscimo do custo de produção de energia fotovoltaica e o aumento do preço da energia elétrica na rede.

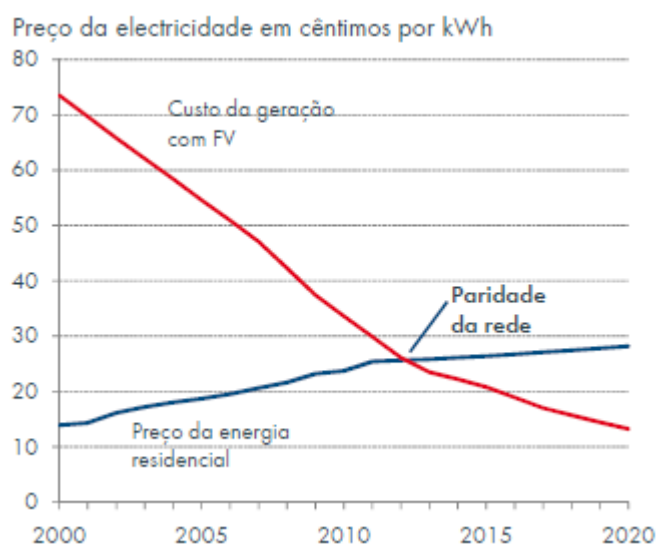


Figura 3.2 - Ilustração representativa da chegada da paridade com a rede em Portugal no setor residencial [34].

Esta relação só é possível se for conhecido o custo de produção da energia fotovoltaica, sendo este expresso como *Levelized Cost of Electricity* (LCOE). O LCOE define o custo teórico da produção de um kWh através de uma determinada fonte de energia (fotovoltaica, eólica, hídrica), contemplando todos os custos pertencentes à produção, à vida-útil do sistema, ao investimento inicial, à manutenção, ao custo do combustível, às taxas monetárias, etc. [35].

Desta forma, a paridade com a rede para a produção fotovoltaica pode ser alcançada a partir de elevados recursos solares em combinação com preços de eletricidade moderados, ou através de recursos solares moderados juntamente com preços de eletricidade bastante elevados [36]. No entanto, é de salientar que o parâmetro que apresenta maior relevância é o recurso solar, uma vez que está diretamente relacionado com a produção de eletricidade obtida a partir da instalação fotovoltaica [37].

Em diversos países europeus onde se verificam elevados níveis de radiação solar e consequente custo reduzido da produção fotovoltaica, a paridade com a rede tem sido

reportada [38]. No projeto “PV PARITY PROJECT” [37] são destacados países como a Itália, Espanha, Alemanha e Holanda, onde a paridade com a rede para o setor residencial é já uma realidade.

Em Portugal, face aos preços de eletricidade praticados, ao custo da tecnologia fotovoltaica e à elevada radiação solar existente, pode afirmar-se que a paridade com a rede para os setores residencial e comercial também já foi alcançada [39].

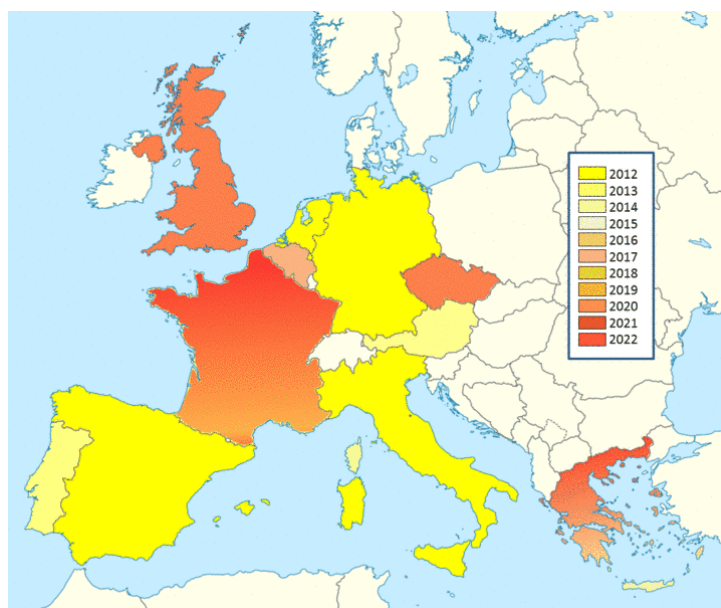


Figura 3.3 - Mapa dos países que mostram tendência para a paridade com a rede fotovoltaica [40].

### 3.7. Evolução histórica da legislação em Portugal

O conceito de produção de energia através de fontes renováveis está presente no ordenamento jurídico português desde há muitos anos. Em 1988 o governo português com a publicação do decreto-lei nº 189/88 [41], regulamentou a atividade de produção de energia elétrica por meio de recursos renováveis, instituindo na legislação portuguesa o primeiro “Regulamento para Autorização das Instalações de Produção de Energia Elétrica Integradas no Sistema Elétrico Independente e Baseadas na Utilização de Recursos Renováveis” [41].

Nos últimos anos, de forma a fazer face aos avanços tecnológicos, ao surgimento de novos conceitos de produção de eletricidade e aos novos requisitos impostos aos diferentes estados, o governo português tem editado e republicado na sua legislação vários decretos que visam a acompanhar o panorama de produção de energia por meio de fontes renováveis.

No entanto, efetuando uma retrospectiva ao setor fotovoltaico em Portugal e citando as declarações da APESF [42], pode afirmar-se que o setor fotovoltaico iniciou a sua atividade de forma efetiva e sustentada a partir de 2007 devido à publicação do Decreto-Lei 363/2007 [43] que regulamentou as unidades designadas por Unidades de Microprodução.

Assim, o decreto-lei nº 363/2007 permitiu regulamentar um regime simplificado aplicável à microprodução de eletricidade por meio de instalações de pequena potência. Simplificando significativamente o regime de licenciamento estabelecido anteriormente e criando dois regimes de remuneração, o regime geral e o bonificado. A microprodução contempla a produção de eletricidade a partir de recurso solar, em instalações monofásicas ou trifásicas, de baixa tensão, com potências de ligação até 5,75 kW, em instalações individuais, e de 11,04 kW, em condomínios [43].

Em 2011 foi publicada uma regulamentação idêntica, mas para as unidades de miniprodução. O decreto-lei nº34/2011 [44] veio instituir o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas de unidades de miniprodução. O novo regime definia a unidade de miniprodução como uma instalação baseada numa só tecnologia de produção e cuja potência máxima atribuível para ligação à rede era de 250kW [44].

Portugal seguia a tendência europeia, utilizando as tarifas feed-in como o principal mecanismo para estimular a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis. No entanto, dada a crise económica e financeira do país, este setor sofreu bastantes condicionalismos que impediram o seu desenvolvimento. Exemplo disso são os casos das alterações nos regimes de micro e miniprodução, em que se verificou a redução significativa das tarifas de referência, das quotas anuais de potência e dos benefícios fiscais associados.

Com a publicação da portaria 431/2012 [45], os valores de referência na microprodução foram atualizados “de forma a assegurar a sua adequação aos objetivos da política energética, à sua relação com outras políticas setoriais e à evolução dos mercados”, nomeadamente “no que respeita à tecnologia fotovoltaica, a evolução dos mercados entretanto ocorrida continuou a pautar-se pela redução do preço dos equipamentos com impactos favoráveis nos custos do investimento e nos níveis de procura desta tecnologia, justificando-se, assim, proceder a nova atualização do valor da redução anual da tarifa de referência aplicável à microprodução a partir da energia solar através da tecnologia fotovoltaica por forma a assegurar que a referida evolução possa beneficiar também o consumidor de eletricidade”, o que levou a uma redução das tarifas de referência [42] [45].

Mais recentemente, a 26 de Dezembro de 2013, num Despacho da DGEG [46] foram definidas as tarifas para 2014, onde se verificaram reduções na ordem dos 66% e 29,8% para a microprodução e para a miniprodução, respetivamente [47].

Estas novas tarifas feed-in, referentes ao regime bonificado da microprodução e da miniprodução, apresentaram-se demasiado baixas, e assim, pouco atrativas para gerarem o desenvolvimento do setor. Segundo a APESF, face a estas tarifas apresentadas, a microprodução em regime bonificado deixou de ser economicamente viável, e esta situação colocou em causa empresas que operavam no setor bem como o desenvolvimento do mesmo [42].

Face a este cenário, com o fim das tarifas feed-in em Portugal, a estratégia de autoconsumo apresenta-se uma solução para o desenvolvimento do mercado fotovoltaico.

### **3.8. Apresentação da legislação atualmente em vigor em Portugal**

Foram aprovado em conselho de ministros, a 4 de setembro de 2014, os regimes jurídicos aplicáveis à produção distribuída de energia. Os novos regimes de produção incidem em dois modelos: a produção de eletricidade destinada ao autoconsumo, através de unidades de produção para autoconsumo (UPACs), de fontes renováveis e não renováveis, e a produção de eletricidade para venda à RESP, a partir de recursos renováveis por intermédio de unidades de pequena potência (UPPs).

A legislação colocada em vigor visa simplificar a produção de energia distribuída, de forma a reforçar a capacidade de produção de energia renovável proveniente de recursos endógenos, e também diminuir as perdas de energia resultantes do transporte na rede. É sabido que a energia proveniente dos regimes de produção distribuída é gerada próximo do local de consumo, reduzindo assim, as perdas na rede [6].

De uma forma geral e de acordo com o Decreto-lei nº 153/2014 [6], o novo regime de produção fotovoltaica para autoconsumo estabelece que a UPAC deve ser instalada no local de consumo e que a energia elétrica produzida deve ser instantaneamente injetada na instalação de consumo, existindo a possibilidade de o excedente produzido ser injetado na RESP, evitando-se assim o seu desperdício. Por forma a privilegiar fundamentalmente a produção para autoconsumo, o decreto-lei impõe que a potência de ligação da UPAC seja inferior à potência contratada para a instalação de consumo, que a potência de pico da UPAC não possa ser superior a duas vezes a potência de ligação e que, num horizonte anual, a energia injetada não seja superior à energia adquirida.

Quanto ao seu licenciamento, as UPACs com potência instalada igual ou inferior a 200 W estão isentas de qualquer tipo de controlo prévio. Se a potência instalada for superior a 200 W e igual ou inferior a 1500W, as UPACs estão sujeitas a uma mera comunicação prévia de exploração. Contudo, neste caso, o titular da UPAC não poderá fornecer a energia elétrica não consumida na instalação à RESP. Caso o pretenda, terá de realizar o registo prévio da instalação e obter, posteriormente, o correspondente certificado de exploração [48].

No caso da UPAC se encontrar ligada a RESP é possível vender o excedente produzido. Este é remunerado ao preço do mercado com uma dedução de 10%, por forma a compensar os custos com a injeção na rede. Para UPACs com potências inferiores a 1 MW é possível a venda do excedente de energia a um Comercializador de Último Recurso (CUR), com contratos de 10+5 anos.

A remuneração da energia elétrica injetada na RESP é calculada a partir da equação 3.1 [48]:

$$R_{UPAC.m} = E_{fornecida.m} \times OMIE_m \times 0.9 \quad (3.1)$$

Onde,

$R_{UPAC.m}$  - É a remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês “m” em Euros;

$E_{fornecida.m}$  - É a energia fornecida no mês “m”, em kWh;

$OMIE_m$  - É o valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês “m”, em €/ kWh.

Para as UPACs, com registo de exploração e que injetem na RESP a energia excedente, apenas é remunerada a energia sobrante que não supere num dado ano a energia fornecida à instalação pela RESP.

As UPACs que possuam uma potência superior a 1500W e com ligação à RESP são sujeitas ao pagamento de uma compensação, para permitir a recuperação de uma parcela dos Custos de Interesse Económico Geral (CIEG). Esta compensação apenas entrará em vigor quando a capacidade total instalada das UPACs exceder 1% do total da potência instalada no Sistema Elétrico Nacional (SEN). Após atingido esse valor de 1% da potência instalada no SEN, a compensação passa a ser obrigatória para as novas UPACs instaladas, da seguinte forma:

- 30 % dos CIEG enquanto a potência total das UPAC's instaladas não for superior a 3% da potência instalada no SEN;
- 50 % dos CIEG para quando a potência total das UPAC's instaladas for superior a 3% do total da potência instalada no SEN;

A compensação paga ao sistema é calculada pela equação 3.2 [48]:

$$C_{UPAC.m} = P_{UPAC} \times V_{CIEG.t} \times K_t \quad (3.2)$$

Onde,

$C_{UPAC.m}$  - é a compensação da UPAC;

$P_{UPAC}$  - é a potência da UPAC;

$V_{CIEG}$  - é o valor do CIEG;

$K_t$  - é a percentagem dos CIEG.

A compensação, caso necessário, é fixada no início da exploração da UPAC e mantém-se em vigor por um período de 10 anos.

Na Tabela 3.2 é apresentado um resumo dos principais requisitos necessários para a exploração das diferentes UPACs.

Tabela 3.2 - Principais requisitos para a exploração das diferentes UPACs (adaptado de [48]).

	<200W	200-1500W	1.5kW-1MW	>1MW	“em ilha”
<b>Registo</b>	—	Mera comunicação prévia	Controlo Prévio/ Cert. Exploração	Licença de exploração	Mera comunicação prévia
<b>Taxas Registo</b>	—	Isento	✓	✓ Aplicável ao respetivo regime	Isento
<b>Equipamento de contagem</b>	—	—	Sim. Com telecontagem	Sim. Com telecontagem	—
<b>Remuneração excedente (“Pool”)</b>	— Apenas se existir registo	— Apenas se existir registo	✓	— Terá de ser definida com contraparte	—
<b>PPA</b>	— (CUR caso exista registo)	— (CUR caso exista registo)	CUR	Outro	—
<b>Compensação</b>	Isento	Isento	✓	✓	—
<b>Seguro. Resp. Civil</b>	—	—	✓	✓	—

## Capítulo 4

### 4. Estudo da aplicação de UPACs em edifícios domésticos

Neste capítulo é explorada a utilização de UPACs fotovoltaicas para autoconsumo em oito edifícios habitacionais. O estudo realizado consistiu numa auditoria simplificada realizada para cada uma das habitações, constituída pela recolha de dados através de um inquérito efetuado junto dos moradores, pela observação da faturação de um ano e pela medição dos consumos de energia no local.

Assim, para cada caso de estudo apresenta-se a descrição da habitação, a informação do consumo faturado durante um ano e a informação recolhida nas medições efetuadas em cada habitação. De seguida analisa-se a aplicação de diferentes UPACs para cada habitação (através do cálculo da energia produzida, autoconsumida e desperdiçada). Por fim, é selecionada a UPAC mais adequada a cada caso de estudo e são apresentadas algumas medidas que potenciam a sua utilização.

#### 4.1. Descrição das UPACs utilizadas para o estudo

Por forma a produzir energia elétrica na própria habitação, e assim usar essa energia para autoconsumo, propõe-se a utilização de uma UPAC fotovoltaica, sendo esta constituída essencialmente pelos módulos fotovoltaicos e pelos inversores solares, como mostra a Figura 4.1.

O módulo fotovoltaico é o componente que produz energia elétrica quando sobre a sua superfície incide radiação solar. Este é composto por células de silício, onde ocorre uma conversão direta da energia eletromagnética proveniente do sol em energia elétrica. As células dispostas no módulo e a sua ligação em série, paralelo ou mista, determinam as características de tensão e corrente elétrica [49].

O inversor solar é responsável por estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede de corrente alternada ou uma carga em corrente alternada. A sua principal tarefa consiste em converter o sinal elétrico de corrente contínua do gerador fotovoltaico num sinal elétrico em corrente alternada, e ajustar as características de frequência e tensão à rede a que está ligado [50].



Figura 4.1 - Esquema simplificado de uma unidade de produção para autoconsumo [51].

As UPACs consideradas para este estudo possuem uma potência de pico compreendida entre 250 e 1500 Wp. Assim foram analisadas 6 UPACs com potências de 250 Wp, 500 Wp, 750 Wp, 1000 Wp, 1250Wp e 1500Wp, respetivamente. Como referido anteriormente, para esta gama de potências a legislação exige apenas uma mera comunicação prévia. Adicionalmente, esta gama de UPACs está isenta de taxas de registo e de qualquer pagamento de compensação. No entanto, caso se pretenda ser remunerado pela energia excedente produzida, será necessário efetuar o seu registo. No caso do presente estudo, a remuneração da energia excedente não foi contabilizada, pois não se perspetiva compensatória para o proprietário da UPAC.

As UPACs analisadas para o estudo da aplicação às habitações são constituídas todas elas pelo mesmo modelo de módulo solar fotovoltaico, da marca Kioto Solar, com potência igual a 250 Wp e área útil igual a 1,7 m<sup>2</sup>. Os inversores utilizados alteram-se conforme a potência das UPACs, ou seja, nas UPACs com 1, 2 e 3 módulos é utilizado um inversor para cada módulo. As UPACs com 4, 5 e 6 módulos possuem apenas um inversor. Apresentam-se nas Tabela 4.1 e Tabela 4.2 as principais características dos equipamentos considerados no estudo.

Tabela 4.1 - Módulo solar considerado no estudo (adaptado de [52]).

Equipamento/Modelo	Potência nominal (Wp)	Rendimento (%)
Módulo Kioto Solar	250	15,2

Tabela 4.2 - Inversores solares considerados no estudo (adaptado de [53] [54]).

Equipamento/Modelo	Máxima potência entrada DC (Wp)	Rendimento (%)
Micro Inversor ABB	265	95,4
Inversor Mastervolt Soladin 1000WEB	850-1350	94,4
Inversor Mastervolt Soladin 1500WEB	1300-2000	95

Na Tabela 4.3 encontra-se representado o custo total estimado das diferentes UPACs consideradas para o estudo. Após discussão do assunto com uma empresa do sector, o custo dos acessórios, tal como o custo da montagem de cada UPAC, foi estimado como sendo 8 % do custo do equipamento.

Tabela 4.3 - Custo orçado das diferentes UPACs.

	UPAC1 250W	UPAC2 500W	UPAC3 750W	UPAC4 1000W	UPAC5 1250W	UPAC6 1500W
Equipamento (€)	480,00	959,00	1439,00	1650,00	1898,00	2192,00
Acessórios (€)	38,40	76,72	115,12	132,00	151,84	175,36
Mão de obra (€)	38,40	76,72	115,12	132,00	151,84	175,36
Total (€)	556,8	1112,44	1669,24	1914,00	2201,68	2542,72

## 4.2. Caso de estudo 1

Nesta secção é estudada a utilização de UPACs fotovoltaicas no edifício doméstico relativo ao caso de estudo 1. Adicionalmente, e por se tratar do 1.º caso apresentado, é também descrito todo o procedimento efetuado (inquérito, medição de consumo, cálculo de energia produzida, autoconsumida e desperdiçada, análise económica) para obter a UPAC mais adequada em cada caso de estudo.

#### 4.2.1. Descrição da habitação

A moradia em estudo situa-se no distrito da Guarda, na localidade de Aguiar da Beira. À semelhança de muitas outras moradias apresenta no consumo de energia elétrica a sua maior fatia da despesa com a energia. A habitação possui uma tarifa de baixa tensão, com um ciclo bi-horário e uma potência contratada de 6,9 kVA.

De modo a compreender o comportamento dos residentes da moradia e o tipo de equipamentos que esta possui, foi efetuado um inquérito (Anexo A) junto dos moradores. No inquérito são contemplados vários fatores, tais como:

- Número de residentes;
- Tempo (horas), durante a semana e fim-de-semana, em que os habitantes permanecem na habitação;
- Período de realização de tarefas domésticas;
- Tipos de equipamentos utilizados, tais como eletrodomésticos, equipamentos de aquecimento do ambiente, preparação de águas quentes sanitárias (AQS), entre outros.

Após a observação do inquérito realizado, verificou-se que na habitação reside um casal com dois filhos, ou seja, quatro habitantes. Durante a semana a habitação encontra-se apenas ocupada pelo casal pelo fato de os filhos estudarem fora do local da habitação. No período diurno da semana a habitação encontra-se praticamente desocupada, visto que o casal trabalha, realizando apenas a refeição de almoço na habitação, habitualmente no período entre as 12h e as 14h.

Durante o fim-de-semana afigura-se mais difícil efetuar a previsão de ocupação da habitação, pois a sua ocupação é mais instável, não existindo rotinas de ocupação. No entanto foi possível apurar que no período diurno do fim-de-semana a habitação se encontra quase sempre ocupada, pelo menos por uma pessoa.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas semanalmente e para cada tarefa está normalmente destinado um dia da semana. Assim, a tarefa de lavagem da roupa é habitualmente efetuada às segundas-feiras e sábados, a passagem da roupa é realizada normalmente nos dias que se seguem aos da lavagem da roupa, o que corresponde às terças-feiras e domingos. A secagem da roupa com recurso à máquina de secar não foi tomada em conta visto ser uma tarefa realizada muito esporadicamente. A limpeza da habitação é geralmente realizada à sexta-feira ou ao sábado.

Relativamente aos restantes equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central com duas caldeiras como fonte térmica, uma caldeira a biomassa e a outra a gasóleo, a operarem de forma alternada. A caldeira a biomassa (pellets, neste caso) é a que funciona na maior parte do tempo. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com um sistema solar térmico, do tipo forçado, com o apoio da caldeira a gasóleo, e combinado com um termoacumulador elétrico. Deve salientar-se que, em geral, o termoacumulador elétrico não se encontra ligado, funcionando apenas o sistema solar térmico juntamente com a caldeira a gasóleo. Na cozinha a habitação está equipada com forno elétrico e fogão a gás.

Os equipamentos com maior utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4- Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 1.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico combinado	140
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2100
Máquina de secar roupa	2200
Máquina de lavar loiça	2300
Forno elétrico	2000
Termoacumulador elétrico	1200

#### 4.2.2. Apresentação dos consumos faturados na habitação

Para a realização do estudo, e por forma a poder avaliar o desempenho das diferentes UPACs a propor, foi reunida informação relativa ao consumo de energia elétrica da habitação. As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2014. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no ano de 2014 a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 3762 kWh. O mês de menor consumo foi o de Junho, com apenas 252 kWh e o de maior consumo o mês de Setembro, com 427 kWh. Da análise efetuada apurou-se que o consumo médio mensal é de cerca de 313,5 kWh, o que corresponde a um consumo médio semanal de 78,4 kWh. Na Figura 4.2 é possível observar o consumo total, o consumo em vazio e o consumo fora do vazio em cada um dos meses de 2014.

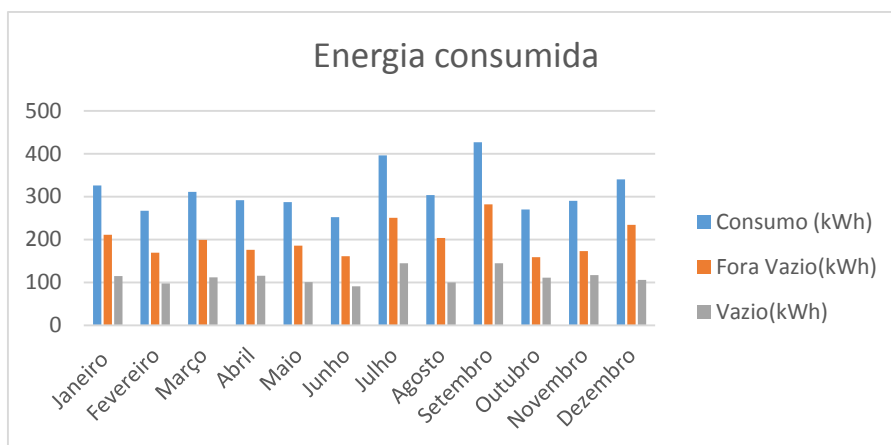


Figura 4.2 - Energia faturada pelo fornecedor de energia elétrica - caso de estudo 1.

Como se pode observar na Tabela 4.5, a energia adquirida durante o período do vazio é significativamente mais barata que a energia adquirida no período fora do vazio. Os preços da energia indicados na tabela são relativos ao mês de dezembro do ano de 2014 (fatura mais recente das consultadas).

Tabela 4.5 - Preço da energia nos períodos de vazio e fora do vazio.

Período de faturação	Vazio	Fora Vazio
Preço da energia (€)	0.0946	0,1785

### 4.2.3. Apresentação dos consumos medidos pelo analisador na habitação

#### 4.2.3.1. Analisador

Para efetuar as medições do consumo de energia elétrica foi utilizado o analisador “efergy e2 classic”, Figura 4.3, constituído por um monitor e uma pinça amperimétrica, que comunicam entre si via *wireless*.



Figura 4.3 - Efergy e2 classic [55].

O analisador tem a capacidade de mostrar em tempo real o consumo de energia em kWh, o custo da energia e as “correspondentes” emissões de CO<sub>2</sub>. Permite memorizar o consumo horário durante 24 meses e descarregar, posteriormente, os dados medidos para o PC e para análise através do *software* “elink”, um programa de gestão de consumo de energia. O *software* possibilita também guardar os dados de energia, em Excel e PDF [55].

#### **4.2.3.2. Colocação do analisador**

Para efetuar a medição do consumo foi instalado na habitação, durante um período de duas semanas, o analisador. Para o instalar foi necessário colocar a pinça amperimétrica, no quadro geral. De forma a facilitar o processo, foram retiradas as proteções do quadro geral, como se pode verificar na Figura 4.4.



Figura 4.4 - Quadro geral da habitação sem proteções.

Como se pode verificar na Figura 4.5, a pinça amperimétrica foi colocada no condutor correspondente à fase, à entrada do disjuntor principal do quadro geral.

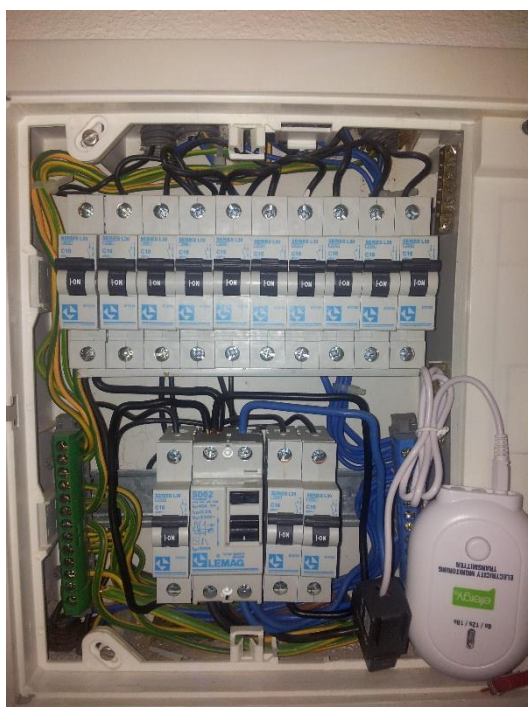


Figura 4.5 - Ligação da pinça amperimétrica ao quadro geral.

#### 4.2.3.3. Perfil de consumo

Os dados medidos através do analisador instalado na habitação são referentes a duas semanas. Após recolhidos, os dados de consumo foram analisados com ajuda do software “elink”, que permite efetuar uma primeira análise gráfica dos resultados obtidos.

Na análise dos resultados das medições teve-se em conta a informação recolhida através do inquérito, para assim se poder identificar quais os dias que melhor representam o consumo de energia elétrica na habitação. Após uma primeira análise dos dados, estes foram extraídos para formato Excel. Traçaram-se os perfis de consumo de todos os dias e sobrepueram-se num mesmo gráfico de modo a facilitar a interpretação dos resultados.

De forma a obter um perfil de consumo representativo da habitação, foi efetuada a média da potência medida a cada hora do conjunto dos dias considerados representativos do consumo na habitação. Após efetuado esse procedimento obteve-se o perfil de consumo para a habitação, representado na Figura 4.6.

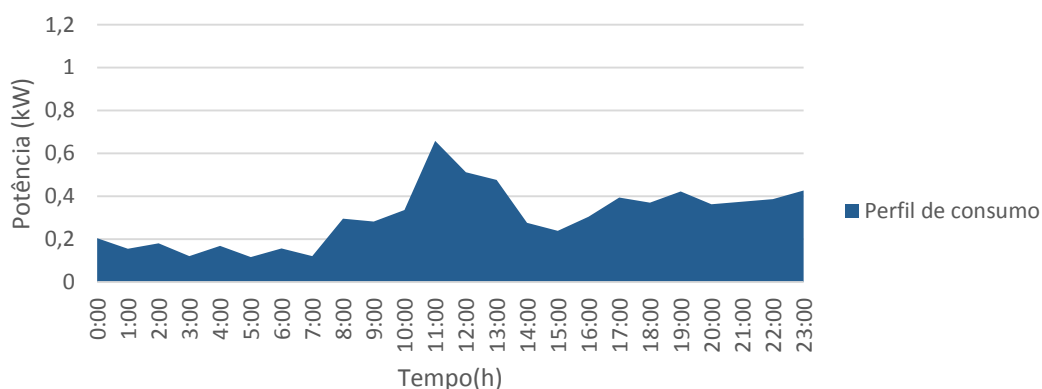


Figura 4.6 - Perfil de consumo da habitação do caso de estudo 1.

#### 4.2.3.4. Fator de correção com base na faturação

De forma a tornar o perfil de consumo obtido o mais aproximado possível do real, recorreu-se aos dados da faturação energética da habitação e aplicou-se um fator de correção no perfil de consumo obtido. Este fator de correção permite equivaler o perfil de consumo semanal com o consumo semanal obtido da análise da faturação.

Como referido anteriormente, o consumo médio semanal faturado é de 78,6 kWh. Com base nos dados medidos através do analisador o consumo médio semanal situa-se nos 51,4 kWh, um valor consideravelmente inferior ao faturado. Por forma a minimizar esta discrepância notada, aplicou-se um fator de correção ao perfil de consumo da habitação.

Na Figura 4.7 é possível observar o perfil de consumo já com o fator de correção aplicado. O fator de correção utilizado foi de 1.5 e colocou o consumo semanal em 77,1 kWh, muito próximo do valor faturado.

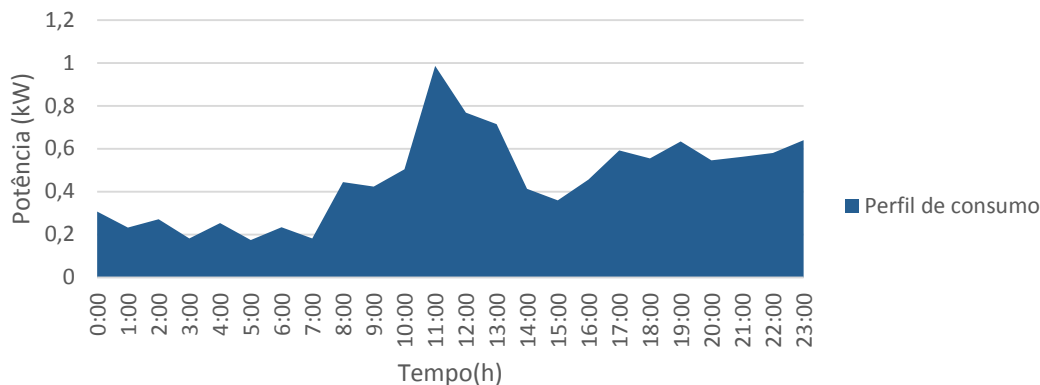


Figura 4.7 - Perfil de consumo com fator de correção - caso de estudo 1.

#### 4.2.4. Análise da aplicação das diferentes UPACs

Esta secção explora a utilização de instalações fotovoltaicas para autoconsumo com diferentes potências de pico. Como foi já referido, para a habitação em estudo foram analisadas seis unidades diferentes, em que se calculou, para cada uma delas, a energia produzida, a energia autoconsumida e, ainda, a rentabilidade económica da sua aplicação.

Para se estimar a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, durante um período de tempo, é necessário saber qual o valor da radiação solar, no período e no local, onde estão instalados. Os valores da radiação solar foram consultados na base de dados do PVGIS CMSAF [56], onde é possível obter a radiação média diária para todos os meses do ano.

Os dados da irradiação solar resultantes da base de dados apresentam os valores da irradiação em períodos de 15 minutos. Os dados do consumo de energia elétrica, reunidos através do analisador, são exibidos em períodos de uma hora. Assim, houve a necessidade de alterar os dados da radiação para iguais períodos de tempo (1 hora) de forma a facilitar os cálculos que estimam a produção de eletricidade.

Para ser possível quantificar a energia autoconsumida e consequente a rentabilidade da UPAC é necessário estimar a energia gerada através da unidade. A energia produzida durante um período de tempo pode ser estimada através da seguinte equação 4.1 [15]:

$$Energia = A_{gerador} * H * \eta_{Mód.} * \eta_{inv.} * \eta_{tér.} * \eta_{resist.} * \eta_{incomp.}; [kWh] \quad (4.1)$$

Onde:

$A_{\text{gerador}}$  - É a área dos módulos fotovoltaicos, em  $[m^2]$ ;

$H$  - É o valor da radiação solar do período em que se quer estimar a produção, em  $\left[\frac{kWh}{m^2}\right]$ ;

$\eta_{\text{Mód}}$  - É o rendimento do módulo;

$\eta_{\text{inv}}$  - É o rendimento do inversor;

$\eta_{\text{tér}}m$  - São perdas térmicas do sistema;

$\eta_{\text{resist}}$  - São perdas resistivas do sistema;

$\eta_{\text{incomp}}$  - São perdas por incompatibilidade do sistema;

De forma a efetuar os cálculos necessários e a facilitar a interpretação dos resultados, foi criada uma folha de cálculo em Excel para esse fim. Esta permite a introdução dos valores de radiação, dos dados resultantes da medição efetuada pelo analisador e das faturas de eletricidade. Com estes dados, é criado o perfil de consumo mais adequado para a habitação em estudo e é estimado, para cada um dos meses do ano, a energia produzida, autoconsumida e desperdiçada, pelas diferentes UPACs.

Neste caso de estudo, o valor do custo kWh contabilizado para estimar a poupança anual com a energia elétrica foi de 0,1853 €/kWh. Este valor correspondente à tarifa bi-horária, no período fora do vazio, praticado pelo comercializador de energia no ano de 2015.

Os estudos foram realizados para uma moradia na localidade de Aguiar da Beira, com um ângulo de inclinação para os módulos fotovoltaicos de 30° e orientados a Sul.

#### **4.2.4.1. UPAC 1 - 250 Wp**

A UPAC 1 de 250 Wp é composta por um módulo solar kioto 250 Wp e um micro inversor ABB 250 W AC que possuem as características representadas nas Tabela 4.1 e Tabela 4.2, respetivamente. O custo total estimado para a UPAC 1 é de 556,8€, onde está contabilizado o equipamento, acessórios e mão-de-obra, como mostra a Tabela 4.3.

Na Figura 4.8 e na Figura 4.9, estão representados dois gráficos de produção de energia, correspondentes à UPAC 1, referentes aos meses de Julho e Dezembro, e que representam, respetivamente, o melhor e o pior mês em poupança com a energia elétrica.

É possível comparar a energia produzida pela UPAC 1 e o perfil de consumo de eletricidade da habitação.

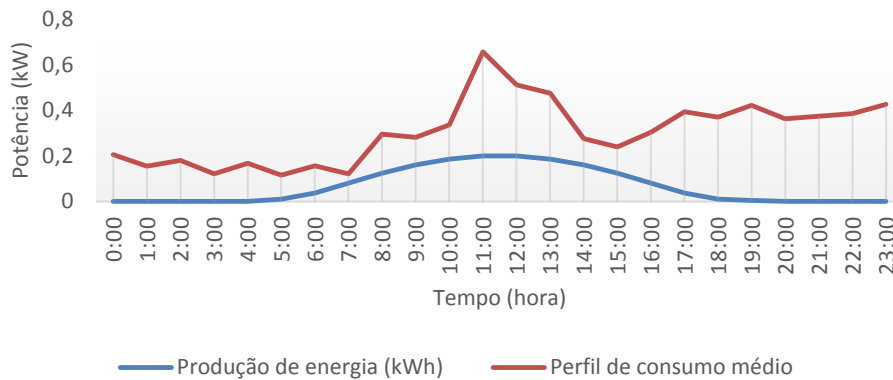


Figura 4.8 - Energia produzida por UPAC 1 no mês de Julho vs. perfil de consumo.

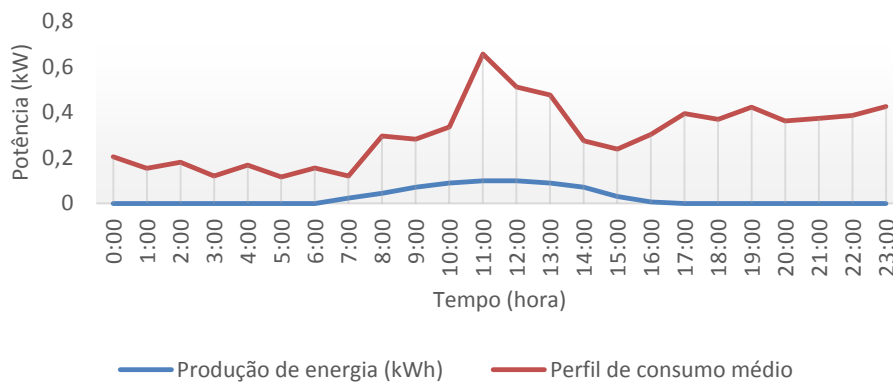


Figura 4.9 - Energia produzida por UPAC 1 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo.

Na Tabela 4.6, apresenta-se informação relativa à UPAC 1. É indicada a energia produzida, autoconsumida e desperdiçada, em todos os meses do ano e o total anual. A energia que é autoconsumida representa uma poupança para o utilizador. Por conseguinte, na tabela é também exibida a poupança mensal, em euros, que o consumidor consegue apurar.

Tabela 4.6 - Informação estimada UPAC 1 - caso de estudo 1.

UPAC 1				
	Produção kWh	Autoconsumido kWh	Poupança €	Desperdício kWh
Janeiro	19,8	19,8	3,66	0,0
Fevereiro	25,7	25,7	4,77	0,0
Março	35,4	35,4	6,56	0,0
Abril	34,7	34,7	6,43	0,0
Maio	41,1	41,1	7,61	0,0
Junho	43,9	43,9	8,14	0,0
Julho	49,4	49,4	9,15	0,0
Agosto	48,3	48,3	8,95	0,0
Setembro	40,5	40,5	7,51	0,0
Outubro	31,2	31,2	5,79	0,0
Novembro	21,2	21,2	3,93	0,0
Dezembro	19,3	19,3	3,58	0,0
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>410,6</b>	<b>76,08</b>	<b>0,0</b>

Com a informação estimada sobre a energia autoconsumida e o custo total da aquisição da UPAC 1, foi possível estimar o tempo de retorno do investimento. A energia autoconsumida representa uma poupança anual de 76,08€ e o custo com a aquisição da UPAC é de 556,80€, o que corresponde a um tempo de retorno de 7,3 anos.

#### 4.2.4.2. UPAC 2- 500Wp

A UPAC 2 é constituída por dois módulos solar kioto 250 Wp e dois micro inversores ABB 250 W AC, as características de ambos foram já referidas anteriormente e podem ser analisadas nas Tabela 4.1 e Tabela 4.2, respetivamente. O custo total estimado para a UPAC 2 é de 1112,44€, onde está contabilizado o equipamento, acessórios e mão-de-obra, como mostra a Tabela 4.3.

Na Figura 4.10 e na Figura 4.11 estão representados os gráficos de produção de energia com recurso à UPAC 2, referentes a Julho e Dezembro, que representam o melhor e o pior mês em poupança com a energia elétrica.

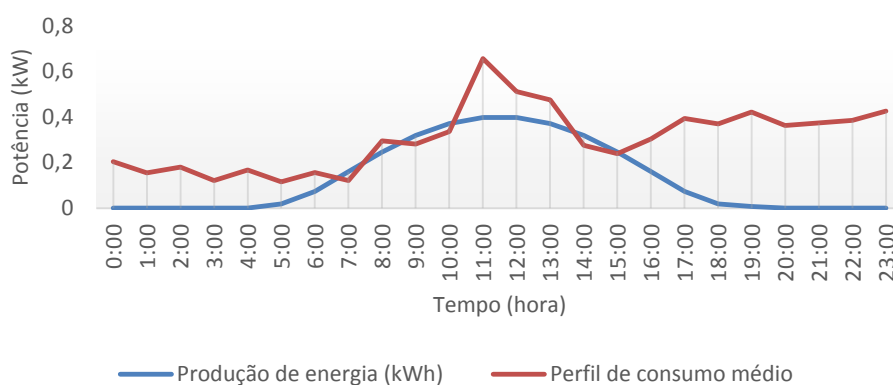


Figura 4.10 - Energia produzida por UPAC 2 no mês de Julho vs. perfil de consumo.

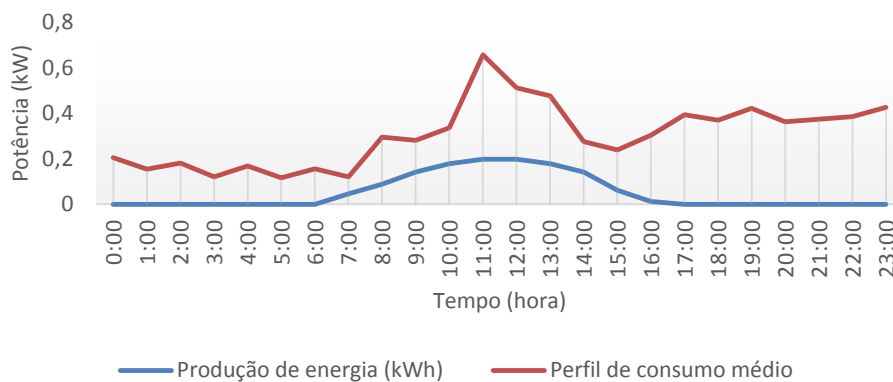


Figura 4.11 - Energia produzida por UPAC 2 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo.

Na Tabela 4.7 é possível observar toda a informação estimada sobre a UPAC 2, tal como a energia produzida pela UPAC, a energia autoconsumida, a energia desperdiçada e a poupança que a energia autoconsumida representa para o utilizador.

Tabela 4.7 - Informação estimada UPAC 2 - caso de estudo 1.

UPAC 2				
	Produção kWh	Autoconsumido kWh	Poupança €	Desperdício kWh
Janeiro	39,5	39,5	7,33	0,0
Fevereiro	51,5	51,5	9,54	0,0
Março	70,8	70,8	13,11	0,0
Abril	69,4	69,4	12,87	0,0
Maio	82,2	82,2	15,23	0,0
Junho	87,8	87,8	16,28	0,0

Julho	98,7	98,7	18,29	0,0
Agosto	96,6	96,6	17,91	0,0
Setembro	81,1	81,1	15,02	0,0
Outubro	62,5	62,5	11,58	0,0
Novembro	42,4	42,4	7,86	0,0
Dezembro	38,6	38,6	7,16	0,0
<b>Total</b>	<b>821,2</b>	<b>821,2</b>	<b>152,17</b>	<b>0,0</b>

A energia autoconsumida representa uma poupança anual de 152,17€ e o custo com a aquisição da UPAC é de 1112,44€, o que corresponde a um tempo de retorno de 7,3 anos.

#### 4.2.4.3. UPAC 3 - 750 Wp

A UPAC 3 é constituída por três módulos solares kioto 250 Wp e três micro inversores ABB 250 W AC, as características de ambos os equipamentos foram já referidas anteriormente e podem ser analisadas nas Tabela 4.1 e Tabela 4.2, respetivamente. O custo total estimado para a UPAC 3 é de 1669,24€, onde está contabilizado o equipamento, acessórios e mão-de-obra de instalação, como mostra a Tabela 4.3.

Na Figura 2.12 e na Figura 4.13 estão representados os gráficos de produção de energia com recurso à UPAC 3, referentes a Julho e Dezembro, que representam o melhor e o pior mês em poupança com a energia elétrica.

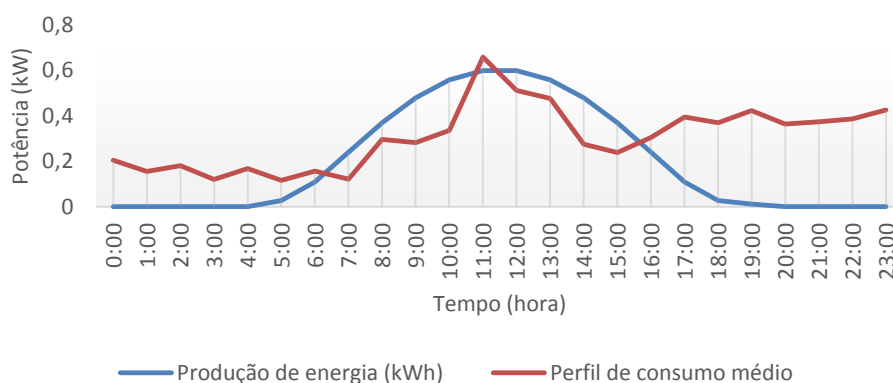


Figura 4.12 - Energia produzida por UPAC 3 no mês de Julho vs. perfil de consumo.

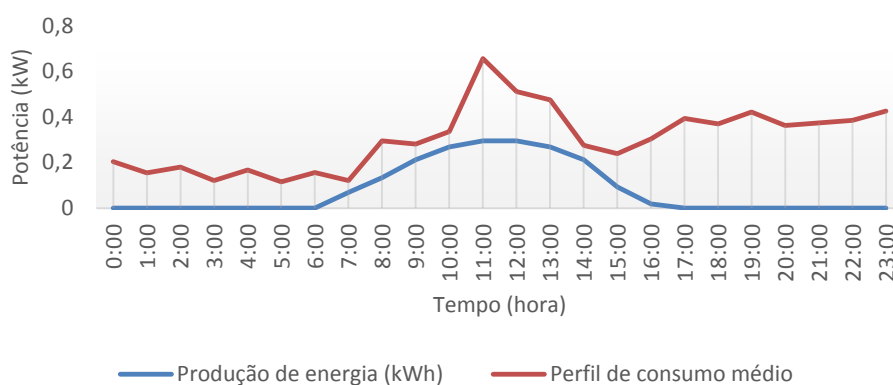


Figura 4.13 - Energia produzida por UPAC 3 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo.

Na Tabela 4.8 é possível observar toda a informação estimada sobre a UPAC 3, tal como a energia produzida pela UPAC, a energia autoconsumida, a energia desperdiçada e a poupança que a energia autoconsumida representa para o utilizador.

Tabela 4.8 - Informação estimada UPAC 3 - caso de estudo 1.

UPAC 3				
	Produção kWh	Autoconsumido kWh	Poupança €	Desperdício kWh
Janeiro	59,3	59,3	10,99	0,0
Fevereiro	77,2	77,2	14,31	0,0
Março	106,2	106,2	19,67	0,0
Abril	104,2	104,2	19,30	0,0
Maio	123,3	122,4	22,68	0,9
Junho	131,7	129,5	23,99	2,3
Julho	148,1	140,4	26,02	7,6
Agosto	144,9	138,1	25,58	6,9
Setembro	121,6	121,0	22,43	0,6
Outubro	93,7	93,7	17,36	0,0
Novembro	63,6	63,6	11,79	0,0
Dezembro	57,9	57,9	10,74	0,0
<b>Total</b>	<b>1231,8</b>	<b>1213,6</b>	<b>224,87</b>	<b>18,2</b>

A energia autoconsumida representa uma poupança anual de 224,87€ e o custo com a aquisição da UPAC é de 1669,24€, o que corresponde a um tempo de retorno de 7,4 anos.

#### 4.2.4.4. UPAC 4 - 1000 Wp

A UPAC 4 com capacidade de 1000 Wp é constituída por quatro módulos solares kioto 250Wp, já referido anteriormente, e um inversor Mastervolt Soladin 1000WEB, cujas características estão representadas na Tabela 4.2. O preço total da UPAC 4 é estimado em 1914€, como mostra a Tabela 4.3.

Na Figura 4.14 e na Figura 4.15, estão representados os gráficos de produção de energia com recurso à UPAC 4, referentes a Julho e Dezembro, que representam o melhor e o pior mês em poupança com a energia elétrica.

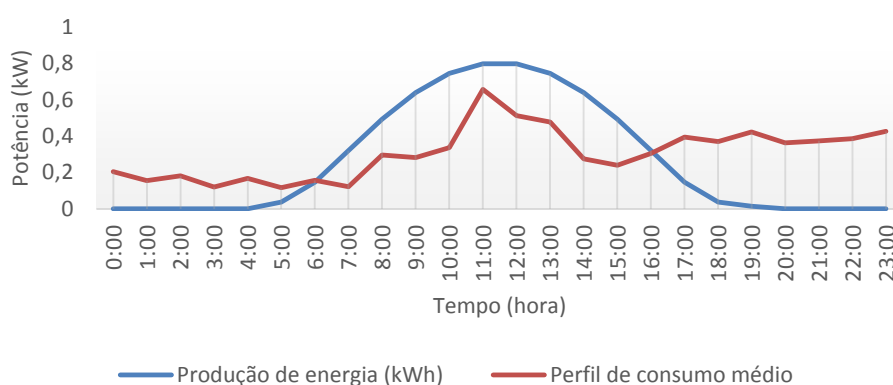


Figura 4.14 - Energia produzida por UPAC 4 no mês de Julho vs. perfil de consumo.

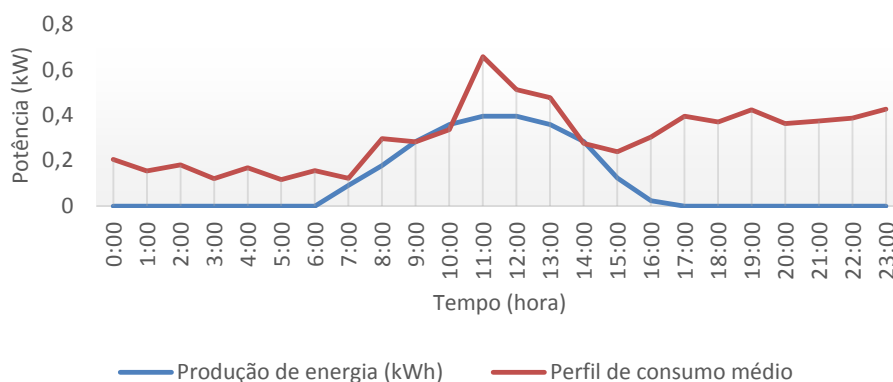


Figura 4.15 - Energia produzida por UPAC 4 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo.

Na Tabela 4.9 é possível observar toda a informação estimada sobre a UPAC 4, tal como a energia produzida pela UPAC, a energia autoconsumida, a energia desperdiçada e a poupança que a energia autoconsumida representa para o utilizador.

Tabela 4.9 - Informação estimada UPAC 4 - caso de estudo 1.

UPAC 4				
	Produção kWh	Autoconsumido kWh	Poupança €	Desperdício kWh
Janeiro	79,1	79,1	14,65	0,0
Fevereiro	103,0	103,0	19,08	0,0
Março	141,5	134,8	24,97	6,8
Abril	138,9	133,0	24,65	5,9
Maio	164,3	150,6	27,91	13,7
Junho	175,7	154,6	28,64	21,1
Julho	197,4	164,5	30,48	32,9
Agosto	193,3	161,2	29,88	32,0
Setembro	162,2	144,6	26,79	17,6
Outubro	124,9	123,3	22,84	1,7
Novembro	84,8	84,8	15,72	0,0
Dezembro	77,3	77,3	14,32	0,0
<b>Total</b>	<b>1642,4</b>	<b>1510,7</b>	<b>279,93</b>	<b>131,7</b>

A energia autoconsumida representa uma poupança anual de 279,93€ e o custo com a aquisição da UPAC é de 1914€, o que corresponde a um tempo de retorno de 6,8 anos.

#### 4.2.4.5. UPAC 5 - 1250 Wp

A UPAC 5 possui a capacidade de 1250 Wp e é composta por cinco módulos solares Kioto 250 Wp e um inversor Mastervolt Soladin 1000 WEB, as características de ambos foram já referidas anteriormente e podem ser visualizadas nas Tabela 4.1 e Tabela 4.2, respetivamente. O custo total para a UPAC 5 é orçado em 2201,68€, como mostra a Tabela 4.3.

Na Figura 4.16 e na Figura 4.17, estão representados os gráficos de produção de energia com recurso à UPAC 5, referentes a Julho e Dezembro, que representam o melhor e o pior mês em poupança com a energia elétrica.

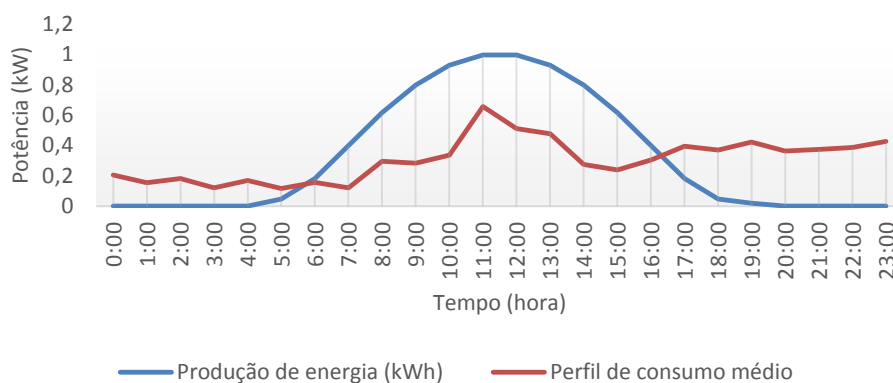


Figura 4.16 - Energia produzida por UPAC 5 no mês de Julho vs. perfil de consumo.

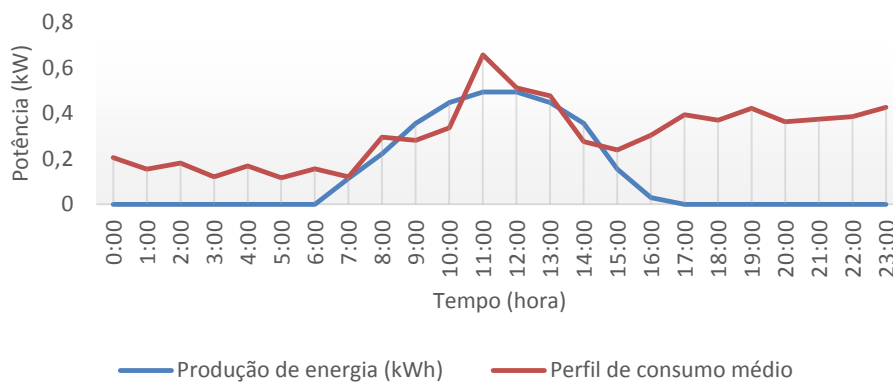


Figura 4.17 - Energia produzida por UPAC 5 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo.

Na Tabela 4.10 é possível observar toda a informação estimada sobre a UPAC 5, tal como, a energia produzida pela UPAC, a energia autoconsumida, a energia desperdiçada e a poupança que a energia autoconsumida representa para o utilizador.

Tabela 4.10 - Informação estimada UPAC 5 - caso de estudo 1.

UPAC 5				
	Produção kWh	Autoconsumido kWh	Poupança €	Desperdício kWh
Janeiro	98,8	98,8	18,32	0,0
Fevereiro	128,7	120,7	22,36	8,0
Março	176,9	153,7	28,47	23,3
Abril	173,6	151,8	28,13	21,8
Maió	205,4	169,9	31,49	35,5
Junho	219,6	168,8	31,28	50,8

Julho	246,8	175,8	32,57	71,0
Agosto	241,6	171,3	31,75	70,2
Setembro	202,7	155,9	28,88	46,8
Outubro	156,2	142,5	26,41	13,7
Novembro	106,0	106,0	19,65	0,0
Dezembro	96,6	96,6	17,90	0,0
<b>Total</b>	<b>2053,0</b>	<b>1711,8</b>	<b>317,20</b>	<b>341,2</b>

A energia autoconsumida representa uma poupança anual de 317,20€ e o custo com a aquisição da UPAC é de 2201,68€, o que corresponde a um tempo de retorno de 6,9 anos.

#### 4.2.4.6. UPAC 6 - 1500 Wp

A UPAC 6, que tem a capacidade de 1500 Wp, é constituída por seis módulos solares Kioto 250Wp e um inversor Mastervolt Soladin 1500 WEB. As características relativas a este inversor estão representadas na Tabela 4.2. O custo total para a UPAC 6 está orçado em 2542,72€, como mostra a Tabela 4.3.

Na Figura 4.18 e na Figura 4.19, estão representados os gráficos de produção de energia com recurso à UPAC 6, referentes a Julho e Dezembro, que representam o melhor e o pior mês em poupança com a energia elétrica.

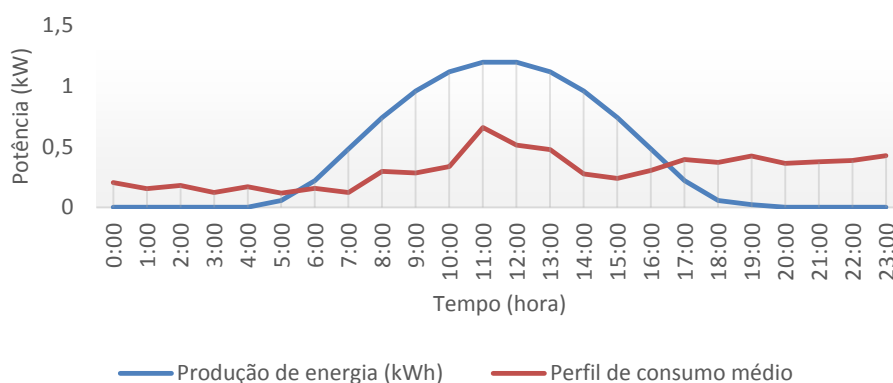


Figura 4.18 - Energia produzida por UPAC 6 no mês de Julho vs. perfil de consumo.

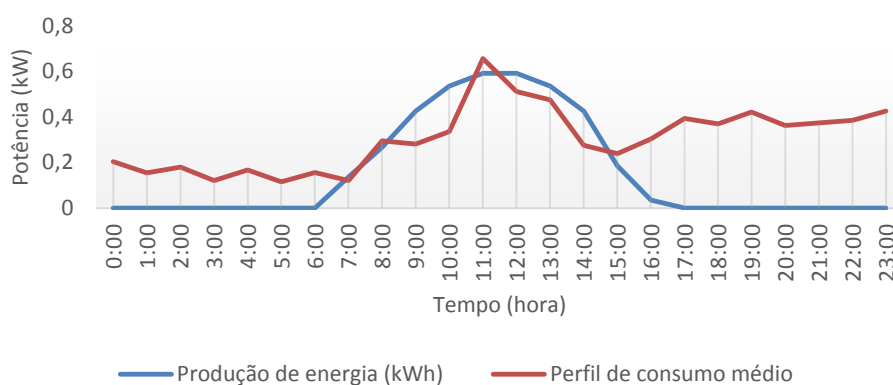


Figura 4.19 - Energia produzida por UPAC 6 no mês de Dezembro vs. perfil de consumo.

Na Tabela 4.11 é possível observar toda a informação estimada sobre a UPAC 6, tal como, a energia produzida pela UPAC, a energia autoconsumida, a energia desperdiçada e a poupança que a energia autoconsumida representa para o utilizador.

Tabela 4.11 - Informação estimada UPAC 6 - caso de estudo 1.

UPAC 6				
	Produção kWh	Autoconsumido kWh	Poupança €	Desperdício kWh
Janeiro	118,6	116,1	21,51	2,5
Fevereiro	154,5	133,5	24,74	21,0
Março	212,3	161,6	29,95	50,7
Abril	208,3	162,7	30,15	45,6
Mai	246,5	180,3	33,41	66,2
Junho	263,5	177,4	32,86	86,1
Julho	296,1	180,5	33,44	115,7
Agosto	289,9	175,9	32,59	114,0
Setembro	243,3	160,7	29,79	82,5
Outubro	187,4	153,9	28,51	33,5
Novembro	127,3	120,6	22,34	6,7
Dezembro	115,9	114,4	21,19	1,5
<b>Total</b>	<b>2463,6</b>	<b>1837,5</b>	<b>340,49</b>	<b>626,1</b>

A energia autoconsumida representa uma poupança anual de 340,49€ e o custo com a aquisição da UPAC é de 2542,72€, o que corresponde a um tempo de retorno de 7,5 anos.

#### 4.2.5. Análise económica e seleção da UPAC mais adequada

Na Tabela 4.12 é apresentado um breve sumário dos resultados da aplicação das diferentes UPACs à habitação do caso de estudo 1.

Tabela 4.12 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 1.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	76,08	7,3	556,80
UPAC 2	152,17	7,3	1112,44
UPAC 3	224,87	7,4	1669,24
UPAC 4	279,93	6,8	1914,00
UPAC 5	317,20	6,9	2201,68
UPAC 6	340,49	7,5	2542,72

As UPACs 1, 2 e 3 são constituídas por um inversor por módulo, apresentando por isso um custo proporcional à potência de pico e, conseqüentemente, à energia produzida. Por esse motivo o período de retorno do investimento nestas UPACs é muito semelhante. O ligeiro aumento observado no tempo de retorno da UPAC 3 é explicado pelo fato de, nesta unidade, já não ser aproveitada toda a energia produzida, ou seja, existir um ligeiro desperdício.

A UPAC 4, ao contrário das referidas anteriormente, possui na sua constituição apenas um único inversor para os quatro módulos que compõem a unidade. Daí o custo total da UPAC ser mais ligeiro, visto que o custo do inversor aplicado na UPAC 4 é inferior ao custo total de quatro inversores do tipo que foi aplicado nas UPACs 1, 2 e 3. O fato de o custo da UPAC 4 não se apresentar proporcional, tal como nas UPACs anteriores, explica a diminuição notada no tempo de retorno do investimento.

Na UPAC 5, o ligeiro aumento do tempo de retorno em relação à UPAC 4 é explicado pelo menor aproveitamento da energia produzida, visto que, da energia produzida pela UPAC 4, 91% é autoconsumida enquanto na UPAC 5 é autoconsumida apenas 83% da energia produzida. A mesma situação é verificada na UPAC 6, onde somente 74% da energia produzida é autoconsumida.

Das UPACs estudadas para instalar nesta habitação, se for apenas considerado o tempo de retorno do investimento, a UPAC que apresenta melhor proveito é a UPAC 4. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá

ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 6 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois é a que proporciona uma poupança anual mais elevada e em que o tempo de retorno é muito semelhante com todas as outras UPACs analisadas. Apresenta-se na Figura 4.20 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 6 ao 1º caso de estudo.

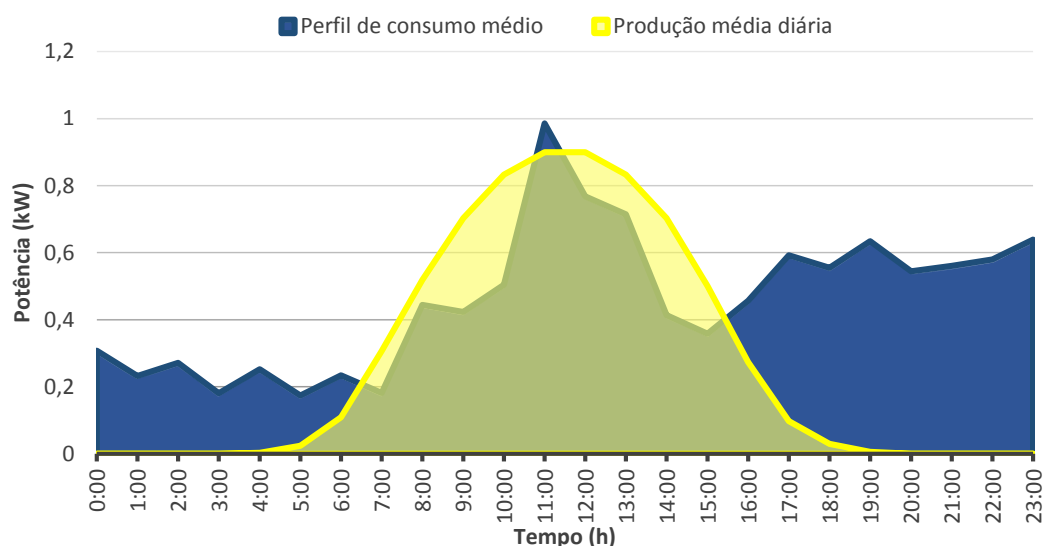


Figura 4.20 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 6.

#### 4.2.6. Medidas que potenciem a utilização da UPAC

Como referido anteriormente, da energia produzida pela UPAC 6 somente 74% é aproveitada. Ficando por utilizar pelo consumidor 26% da energia produzida, o que corresponde aproximadamente a 626 kWh de energia anual desperdiçada. A principal forma de potencializar a utilização da UPAC passa por aproveitar o máximo possível da energia produzida. Em seguida são descritas algumas medidas que potenciam a utilização da UPAC 6 na habitação em estudo:

- Uso de relógios programados nos eletrodomésticos com potências mais significativas, como por exemplo na máquina de secar roupa, máquina de lavar roupa e máquina de lavar loiça, de forma a aproveitar o período diário em que ocorre mais produção de energia;
- Modificação do aquecimento de AQS para uma solução combinada entre o sistema solar térmico e o termoacumulador elétrico (presente na habitação) em detrimento do uso da caldeira a gás/óleo como apoio ao sistema solar térmico;
- No período do Verão, colocação em funcionamento da bomba de filtragem da piscina apenas durante o período do dia em que ocorre maior produção de energia;

- Utilização preferencial do forno elétrico para cozinhar durante o período diurno, evitando a sua utilização no período noturno.

## 4.3. Caso de estudo 2

### 4.3.1. Descrição da habitação

O edifício de habitação estudado no 2º caso de estudo é do tipo moradia e encontra-se igualmente situado no distrito da Guarda, na localidade de Aguiar da Beira. Possui uma tarifa de baixa tensão normal e uma potência contratada de 6,9 kVA.

Na habitação reside um casal de reformados. Este executa as mesmas rotinas de ocupação da habitação durante a semana e durante o fim-de-semana. Durante o período diurno a habitação encontra-se por norma, sempre ocupada pelo menos por uma pessoa. A refeição de almoço é habitualmente realizada na habitação.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas semanalmente, no entanto, não existem dias específicos para a realização das tarefas domésticas (lavagem da roupa, engomar, limpeza da habitação,...), o que torna a sua previsão muito difícil.

Relativamente aos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central com recuperador de calor a lenha combinado com caldeira a gás, que operam de forma alternada. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação utiliza também as duas fontes térmicas referidas anteriormente. Na cozinha a habitação está equipada com forno elétrico e fogão a gás. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se indicados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 2.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico combinado	110
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2100
Forno elétrico	2000

### 4.3.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2014. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no ano de 2014 a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 2194 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 182,8 kWh e semanal de 45,7 kWh.

Na Figura 4.21 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 44,9 kWh, muito similar ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

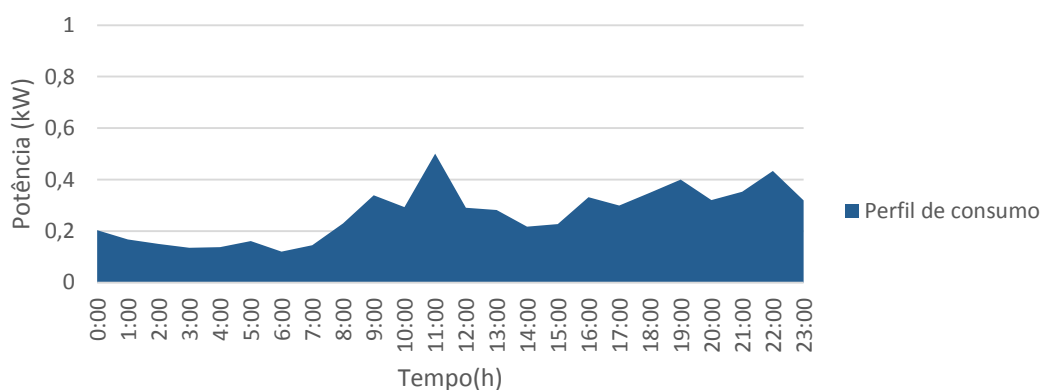


Figura 4.21 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 2.

### 4.3.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

Na Tabela 4.14 está representada a energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade de Aguiar da Beira.

Tabela 4.14 - Energia produzida pelas UPACs em Aguiar da Beira.

Energia Produzida por mês em kWh						
	UPAC 1	UPAC 2	UPAC 3	UPAC 4	UPAC 5	UPAC 6
Janeiro	19,8	39,5	59,3	79,1	98,8	118,6
Fevereiro	25,7	51,5	77,2	103,0	128,7	154,5
Março	35,4	70,8	106,2	141,5	176,9	212,3
Abril	34,7	69,4	104,2	138,9	173,6	208,3

<b>Maio</b>	41,1	82,2	123,3	164,3	205,4	246,5
<b>Junho</b>	43,9	87,8	131,7	175,7	219,6	263,5
<b>Julho</b>	49,4	98,7	148,1	197,4	246,8	296,1
<b>Agosto</b>	48,3	96,6	144,9	193,3	241,6	289,9
<b>Setembro</b>	40,5	81,1	121,6	162,2	202,7	243,3
<b>Outubro</b>	31,2	62,5	93,7	124,9	156,2	187,4
<b>Novembro</b>	21,2	42,4	63,6	84,8	106,0	127,3
<b>Dezembro</b>	19,3	38,6	57,9	77,3	96,6	115,9
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>821,2</b>	<b>1231,8</b>	<b>1642,4</b>	<b>2053,0</b>	<b>2463,6</b>

A Tabela 4.15 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada. No cálculo da energia autoconsumida não foi aplicado nenhum fator de correção ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade é similar ao obtido pelas medições efetuadas pelo analisador.

Tabela 4.15 - Energia autoconsumida estimada para cada mês da habitação do caso de estudo 2.

<b>Energia autoconsumida por mês em kWh</b>						
<b>Mês</b>	<b>UPAC 1</b>	<b>UPAC 2</b>	<b>UPAC 3</b>	<b>UPAC 4</b>	<b>UPAC 5</b>	<b>UPAC 6</b>
<b>Janeiro</b>	19,8	39,5	59,0	68,7	76,4	78,4
<b>Fevereiro</b>	25,7	51,5	67,1	73,6	74,8	75,6
<b>Março</b>	35,4	69,7	84,5	88,5	91,1	93,7
<b>Abril</b>	34,7	69,0	84,9	90,9	94,3	96,5
<b>Maio</b>	41,1	79,5	93,9	99,5	103,4	105,6
<b>Junho</b>	43,9	80,9	92,5	97,2	100,2	102,4
<b>Julho</b>	49,4	85,3	94,5	99,2	101,4	103,2
<b>Agosto</b>	48,3	83,7	91,9	96,4	98,8	100,1
<b>Setembro</b>	40,5	73,7	84,2	87,0	89,8	91,9
<b>Outubro</b>	31,2	62,5	79,3	84,4	86,0	87,5
<b>Novembro</b>	21,2	42,4	61,0	70,6	75,8	76,7
<b>Dezembro</b>	19,3	38,6	57,8	67,6	75,6	77,8
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>776,3</b>	<b>950,7</b>	<b>1023,6</b>	<b>1067,5</b>	<b>1089,4</b>

#### 4.3.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor de 0,1587 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para o tarifário normal em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total de cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na Tabela 4.16 está representada a poupança anual e período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.16 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 2.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	65,16	8,5	556,80
UPAC 2	123,20	9,0	1112,44
UPAC 3	150,87	11,1	1669,24
UPAC 4	162,44	11,8	1914,00
UPAC 5	169,41	13,0	2201,68
UPAC 6	172,88	14,7	2542,72

Das UPACs estudadas para instalar nesta habitação, se for apenas considerado o tempo de retorno do investimento, a UPAC que apresenta melhor proveito é a UPAC 1. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 2 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois é a que proporciona uma poupança anual razoável e em que o tempo de retorno é muito semelhante com o da UPAC 1. Apresenta-se na Figura 4.22 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 2 aplicada ao 2º caso de estudo.

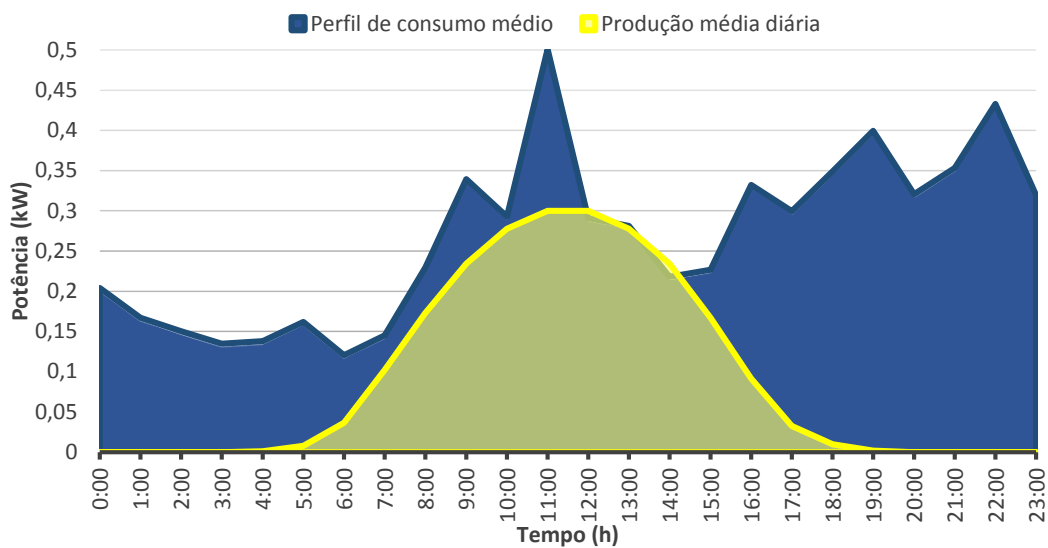


Figura 4.22 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 2.

#### 4.3.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC

Com a aplicação da UPAC 2 à habitação, grande parte da energia produzida será autoconsumida, verificando-se apenas, que nos meses de verão, período de maior produção de energia, se assinala algum desperdício da energia produzida.

O baixo registo de consumo verificado na habitação não justifica a aplicação de uma UPAC com mais capacidade, visto que, mesmo com alteração dos comportamentos de consumo, por forma a concentrar o consumo no período de maior exposição solar, a quantidade de energia consumida continuará a não ser suficiente para justificar uma UPAC com maior capacidade.

No entanto, estratégias de consumo de energia que promovam o autoconsumo serão benéficas para rentabilizar a aplicação da UPAC. Como por exemplo, distribuir o uso de eletricidade (máquina de lavar roupa, forno elétrico) pelo período de exposição solar, e por todos os dias da semana;

## 4.4. Caso de estudo 3

### 4.4.1. Descrição da habitação

O terceiro edifício de habitação estudado é do tipo moradia e está situado no distrito da Guarda, na localidade de Aguiar da Beira. Este possui uma tarifa de baixa tensão normal, com uma potência contratada de 6,9 kVA.

Na habitação reside um casal com dois filhos, ou seja, quatro habitantes. No período diurno da semana, a habitação encontra-se praticamente desocupada, visto que, os filhos estão na escola e o casal trabalha. Sendo apenas realizada na habitação, a refeição de almoço, no período entre as 12h e 14h.

Durante o fim-de-semana, a habitação encontra-se praticamente sempre ocupada. Aos sábados, durante o período diurno, a habitação é ocupada pelos dois filhos e um dos elementos do casal, visto que, o outro elemento do casal trabalha. Aos domingos a habitação é ocupada habitualmente por todos os habitantes.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas semanalmente, no entanto, apenas a tarefa da limpeza da habitação tem um dia destinado, a sexta-feira. As tarefas como a lavagem de roupa, secagem de roupa e engomar são realizadas praticamente todos os dias da semana. Isto porque, o casal é proprietário de um gabinete de estética, em que da sua atividade resulta diariamente roupa para lavar (toalhas, batas,...).

Relativamente aos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central com caldeira a biomassa (pellets). Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com um termoacumulador elétrico. Na cozinha a habitação está equipada com forno elétrico, fogão a gás e robô de cozinha. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 3.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico combinado	140
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2100
Máquina de secar roupa	2200
Máquina de lavar loiça	2200
Forno elétrico	2500
Termoacumulador elétrico	2000
Robô de cozinha	1500

#### 4.4.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2014. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no ano de 2014 a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 7368 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 614 kWh e semanal de 153,3 kWh.

Na Figura 4.23 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 164 kWh, um pouco superior ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

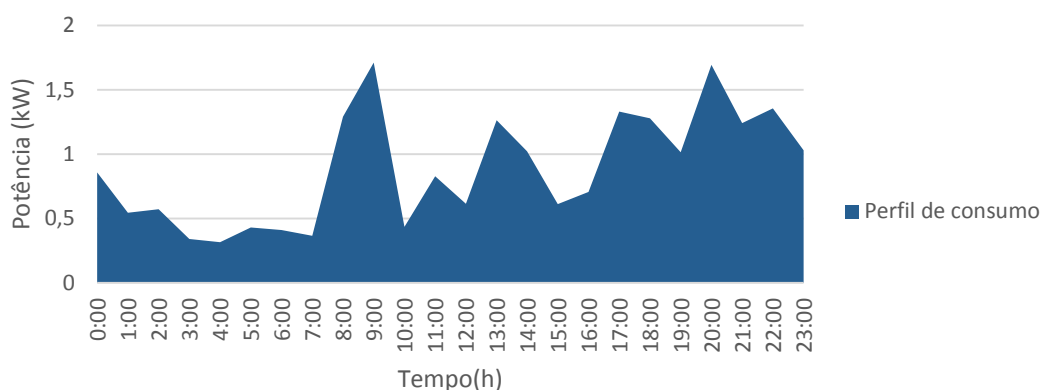


Figura 4.23 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 3.

#### 4.4.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

A energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade de Aguiar da Beira está representada na Tabela 4.14. A Tabela 4.18 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada. No cálculo da energia autoconsumida foi aplicado um fator de correção de 0,9 ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade era ligeiramente superior ao obtido pelas medições efetuadas através do analisador.

Tabela 4.18 - Energia autoconsumida estimada para cada mês da habitação do caso de estudo 3.

Energia autoconsumida por mês em kWh						
	UPAC 1	UPAC 2	UPAC 3	UPAC 4	UPAC 5	UPAC 6
<b>Janeiro</b>	19,8	39,5	59,3	79,1	98,8	118,6
<b>Fevereiro</b>	25,7	51,5	77,2	103,0	126,8	147,1
<b>Março</b>	35,4	70,8	106,2	141,0	171,6	190,6
<b>Abril</b>	34,7	69,4	104,2	138,9	169,2	190,0
<b>Mai</b>	41,1	82,2	123,3	162,8	194,1	215,4
<b>Junho</b>	43,9	87,8	131,7	171,5	197,8	220,1
<b>Julho</b>	49,4	98,7	147,7	187,2	212,1	233,8
<b>Agosto</b>	48,3	96,6	144,4	183,3	207,3	228,1
<b>Setembro</b>	40,5	81,1	121,6	158,2	182,4	201,9
<b>Outubro</b>	31,2	62,5	93,7	124,9	152,7	173,9
<b>Novembro</b>	21,2	42,4	63,6	84,8	106,0	125,7
<b>Dezembro</b>	19,3	38,6	57,9	77,3	96,6	115,9
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>821,2</b>	<b>1230,9</b>	<b>1611,9</b>	<b>1915,3</b>	<b>2161,2</b>

#### 4.4.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor por kWh de 0,1587 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para o tarifário normal em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total do investimento em cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na

Tabela 4.19 está representada a poupança anual e período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.19 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 3.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	65,16	8,5	556,80
UPAC 2	130,32	8,5	1112,44
UPAC 3	195,34	8,5	1669,24
UPAC 4	255,81	7,5	1914,00
UPAC 5	303,96	7,2	2201,68
UPAC 6	342,99	7,4	2542,72

Das UPACs estudadas para instalar nesta habitação, se for apenas considerado o tempo de retorno do investimento, a UPAC que apresenta melhor proveito é a UPAC 5. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 6 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois é a que proporciona uma poupança anual mais elevada e em que o tempo de retorno é muito semelhante com o da UPAC 5. Apresenta-se na Figura 4.24 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 6 aplicada ao 3º caso de estudo.

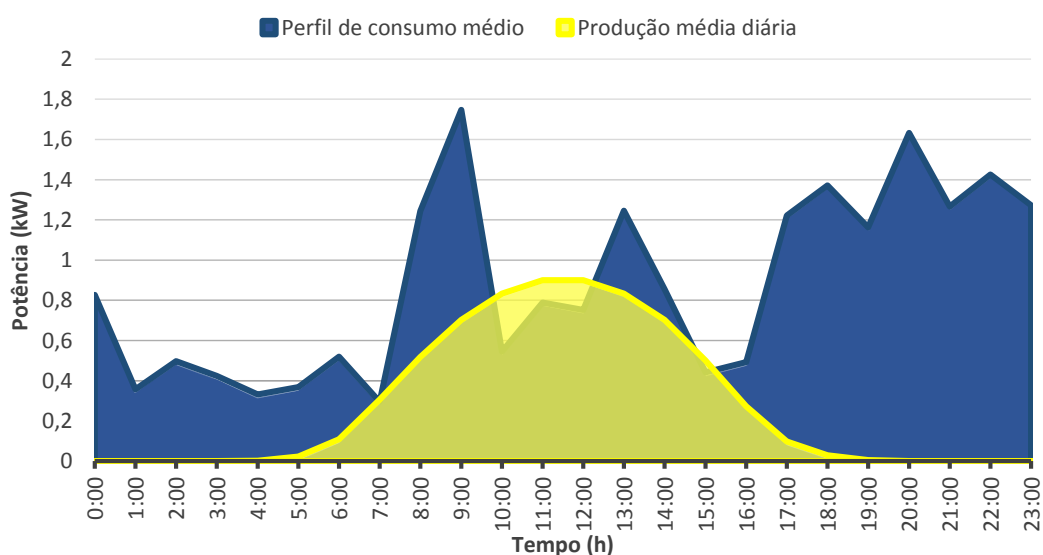


Figura 4.24 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 6.

#### **4.4.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC**

O fato de a habitação possuir uma tarifa de baixa tensão normal, torna indiferente o período em que a energia é consumida, por tanto, a aplicação de medidas que levam a que o consumo ocorra durante o período de exposição solar é benéfico, pois significa que essa energia poderá ser autoconsumida. Assim, o uso equilibrado da eletricidade durante o período diário em que ocorre maior produção de energia será benéfico.

Neste caso de estudo, como as tarefas de lavar e secar roupa são realizadas praticamente todos os dias da semana, o uso de relógios programados nos eletrodomésticos de forma a aproveitar o período diário em que ocorre mais produção de energia, é uma das principais medidas que beneficiam a aplicação da UPAC na habitação.

Com o elevado consumo de eletricidade verificado nesta habitação, o emprego de uma UPAC com maior capacidade poderia justificar-se para este caso, no entanto, essa medida sai fora do âmbito do estudo realizado.

### **4.5. Caso de estudo 4**

#### **4.5.1. Descrição da habitação**

O quarto edifício de habitação estudado é do tipo apartamento e está situado no distrito da Guarda, na localidade de Aguiar da Beira. Este possui uma tarifa de baixa tensão normal, com uma potência contratada de 6,9 kVA.

Na habitação reside um casal com um filho, ou seja, três habitantes. No período diurno da semana, a habitação encontra-se praticamente desocupada, visto que, o filho está na escola e o casal trabalha. Sendo realizada na habitação, por vezes, a refeição de almoço, no período entre as 12h e 14h.

Ao fim-de-semana, durante o período diurno, a habitação em geral não se encontra ocupada, visto que, o casal habitualmente trabalha ao sábado.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas semanalmente. A tarefa de limpeza da habitação é habitualmente efetuada a sexta-feira e ao sábado no fim da tarde. A lavagem da roupa é realizada habitualmente a segunda-feira e a tarefa de engomar na quarta-feira.

Dos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central com recuperador de calor a lenha. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com um sistema solar térmico, do tipo forçado, com o apoio de um termoacumulador elétrico. Na cozinha, a habitação está equipada com forno elétrico, placa de indução e robô de cozinha. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 4.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico combinado	120
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2000
Máquina de lavar loiça	2200
Forno elétrico	2000
Termoacumulador elétrico	1500
Placa de indução	6000
Robô de cozinha	1500

#### 4.5.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2014. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no ano de 2014 a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 1946 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 162,2 kWh e semanal de 40,5 kWh.

Na Figura 4.25 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 36,6 kWh, um pouco inferior ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

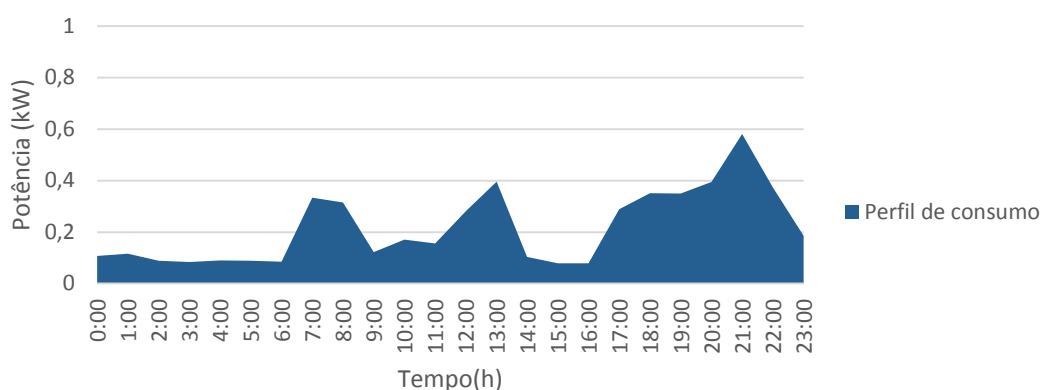


Figura 4.25 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 4.

### 4.5.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

A energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade de Aguiar da Beira está representada na Tabela 4.14. A Tabela 4.21 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada.

Tabela 4.21 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 4.

Energia autoconsumida por mês em kWh						
	UPAC 1	UPAC 2	UPAC 3	UPAC 4	UPAC 5	UPAC 6
<b>Janeiro</b>	19,8	37,3	46,5	52,0	56,6	59,0
<b>Fevereiro</b>	25,7	41,3	49,6	54,8	57,7	58,7
<b>Março</b>	35,1	53,1	63,0	68,4	70,7	72,7
<b>Abril</b>	34,5	53,1	64,4	70,9	73,9	76,9
<b>Maió</b>	40,1	60,4	72,9	78,5	82,9	85,7
<b>Junho</b>	41,7	60,7	72,1	76,8	80,9	83,0
<b>Julho</b>	45,1	63,8	73,9	78,1	81,4	83,2
<b>Agosto</b>	44,1	62,0	71,7	75,4	78,8	80,1
<b>Setembro</b>	38,6	54,8	63,6	67,5	70,3	72,6
<b>Outubro</b>	31,2	48,8	58,6	64,1	67,2	69,0
<b>Novembro</b>	21,2	38,3	46,5	51,9	55,5	57,9
<b>Dezembro</b>	19,3	36,7	45,9	51,3	56,0	58,3
<b>Total</b>	<b>396,6</b>	<b>610,2</b>	<b>728,7</b>	<b>789,8</b>	<b>831,9</b>	<b>857,2</b>

No cálculo da energia autoconsumida foi aplicado um fator de correção de 1,1 ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade era ligeiramente superior ao obtido pelas medições efetuadas através do analisador.

#### 4.5.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor por kWh de 0,1587 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para o tarifário normal em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total do investimento em cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na Tabela 4.22 está representada a poupança anual e período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.22 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 4.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	62,94	8,8	556,80
UPAC 2	96,83	11,5	1112,44
UPAC 3	115,64	14,4	1669,24
UPAC 4	125,34	15,3	1914,00
UPAC 5	132,02	16,7	2201,68
UPAC 6	136,03	18,7	2542,72

Das UPACs estudadas para aplicar nesta habitação, apenas a UPAC 1 apresenta um tempo de retorno do investimento razoável (8,3 anos), as restantes UPACs apresentam um tempo de retorno muito superior, acima dos 11 anos.

Neste caso de estudo, o tempo de retorno torna-se o principal fator de escolha da UPAC mais adequada para a habitação. Assim, a UPAC 1 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois, é a que proporciona um tempo de retorno mais reduzido. Apresenta-se na Figura 4.26 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 1 aplicada ao 4º caso de estudo.

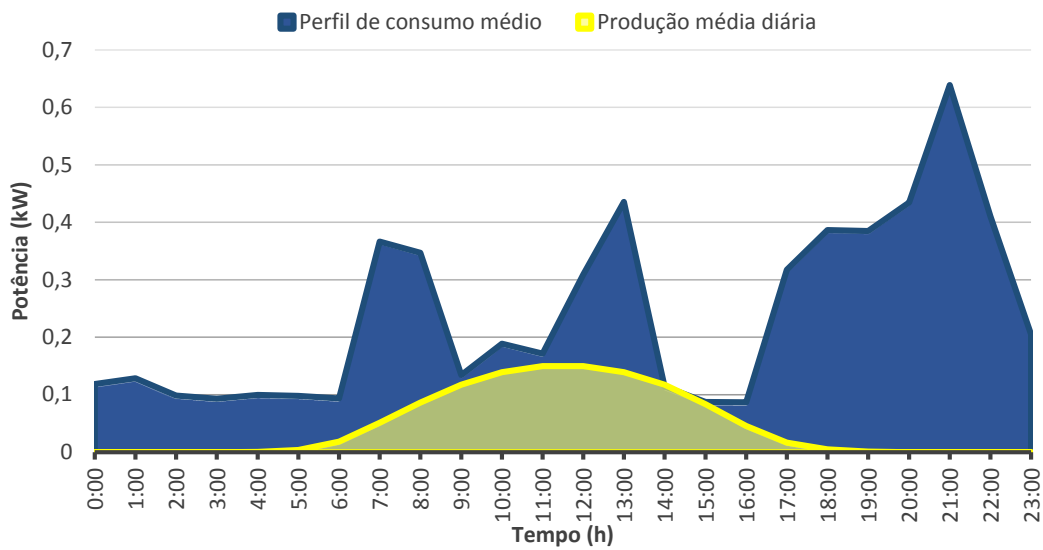


Figura 4.26 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 1.

#### 4.5.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC

Com aplicação da UPAC 1 à habitação, o espaço para melhorar a poupança obtida é muito reduzido, visto que, praticamente toda a energia produzida pela UPAC é autoconsumida. No entanto, o adotar de estratégias de consumo de energia que beneficiam o autoconsumo, como a colocação de relógios programados nos eletrodomésticos com potências mais significativas, de forma a aproveitar o período diário com maior produção de energia elétrica, poderá justificar a aplicação de uma UPAC com mais capacidade.

A possível alteração do perfil de consumo da habitação, resultante de uma estratégia de uso da eletricidade que promove o autoconsumo, resultará numa maior poupança obtida, e justificará a opção pela UPAC 2. No entanto, o baixo registo de consumo verificado na habitação, não oferece grande margem para que o tempo de retorno do investimento seja mais reduzido do que na UPAC 1.

### 4.6. Caso de estudo 5

#### 4.6.1. Descrição da habitação

O quinto edifício de habitação estudado é do tipo moradia e está situado no distrito da Guarda, na localidade de Aguiar da Beira. Este possui uma tarifa de baixa tensão, com um ciclo bi-horário e uma potência contratada de 6,9 kVA.

Após a observação do inquérito realizado, verificou-se que na habitação reside um casal, ou seja, dois habitantes. No período diurno da semana, a habitação encontra-se quase sempre ocupada, visto que, um dos elementos do casal não trabalha. A refeição de almoço é habitualmente realizada na habitação, no período entre as 12h e 14h.

Durante o fim-de semana, a previsão de ocupação da habitação é muito semelhante com a ocupação ocorrida durante a semana, existindo as mesmas rotinas de ocupação, visto que, um dos elementos do casal trabalha e o outro encontra-se quase sempre na habitação.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas semanalmente, não existindo qualquer rotina para a sua execução. Relativamente aos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central com recuperador de calor a lenha combinado com caldeira a gasóleo. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com um sistema solar térmico, do tipo forçado, com o apoio da caldeira a gasóleo, e combinado com um termoacumulador elétrico. Deve salientar-se que, em geral, o termoacumulador elétrico não se encontra ligado, funcionando apenas o sistema solar juntamente com a caldeira a gasóleo. Na cozinha a habitação está equipada com forno elétrico e fogão a gás. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 5.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico combinado	160
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2300
Máquina de lavar loiça	2400
Forno elétrico	3000
Termoacumulador elétrico	1500

#### 4.6.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2013. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no ano de 2013 a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 3010 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 250,8 kWh e semanal de 62,7 kWh.

Na Figura 4.27 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 59,4 kWh, um pouco inferior ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

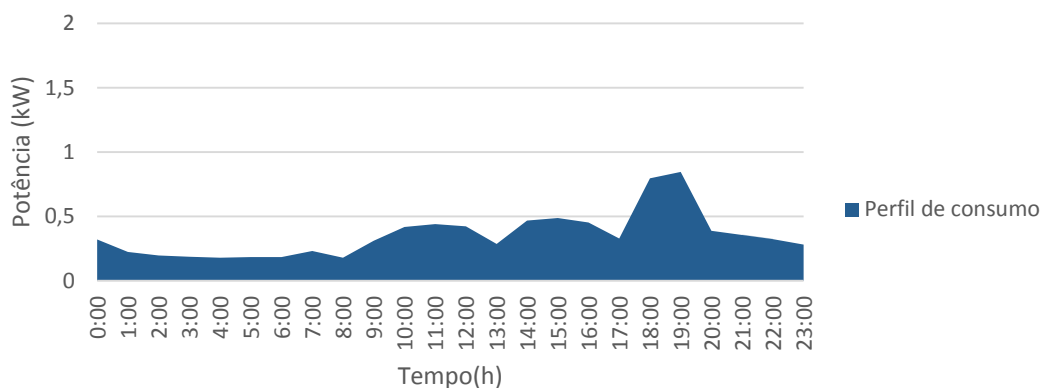


Figura 4.27 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 5.

### 4.6.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

A energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade de Aguiar da Beira está representada na Tabela 4.14. A Tabela 4.24 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada. No cálculo da energia autoconsumida foi aplicado um fator de correção de 1,05 ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade era ligeiramente superior ao obtido pelas medições efetuadas através do analisador.

Tabela 4.24 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 5.

Energia autoconsumida por mês em kWh						
	UPAC 1	UPAC 2	UPAC 3	UPAC 4	UPAC 5	UPAC 6
<b>Janeiro</b>	19,8	39,5	59,3	77,1	88,0	92,3
<b>Fevereiro</b>	25,7	51,5	74,7	86,6	92,7	96,4
<b>Março</b>	35,4	70,8	98,4	110,0	116,5	121,0
<b>Abril</b>	34,7	69,4	97,8	112,1	119,4	124,8
<b>Mai</b>	41,1	81,6	111,5	124,3	132,9	137,9

<b>Junho</b>	43,9	85,7	111,6	122,7	130,1	134,7
<b>Julho</b>	49,4	94,7	117,0	126,6	132,7	137,2
<b>Agosto</b>	48,3	92,7	113,6	122,8	128,2	132,8
<b>Setembro</b>	40,5	79,3	100,8	110,4	116,2	119,0
<b>Outubro</b>	31,2	62,5	89,5	101,0	107,8	112,9
<b>Novembro</b>	21,2	42,4	63,6	81,2	88,1	92,7
<b>Dezembro</b>	19,3	38,6	57,9	75,5	87,2	91,3
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>808,8</b>	<b>1095,6</b>	<b>1250,2</b>	<b>1339,9</b>	<b>1393,0</b>

#### 4.6.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor por kWh de 0,1853 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para a tarifa bi-horário, no período fora do vazio, em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total do investimento em cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na Tabela 4.25 está representada a poupança anual e período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.25 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 5.

	<b>Poupança anual €</b>	<b>Anos de retorno</b>	<b>Custo Total da UPAC €</b>
<b>UPAC 1</b>	76,08	7,3	556,80
<b>UPAC 2</b>	149,87	7,4	1112,44
<b>UPAC 3</b>	203,02	8,2	1669,24
<b>UPAC 4</b>	231,67	8,3	1914,00
<b>UPAC 5</b>	248,28	8,9	2201,68
<b>UPAC 6</b>	258,11	9,9	2542,72

Das UPACs estudadas para aplicar nesta habitação, se for apenas considerado o tempo de retorno do investimento, a UPAC que apresenta melhor proveito é a UPAC 1. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 2 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois é a que proporciona uma poupança anual razoável e na qual o tempo de retorno é muito semelhante com o da

UPAC 1. Apresenta-se na Figura 4.28 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 2 aplicada ao 5º caso de estudo.

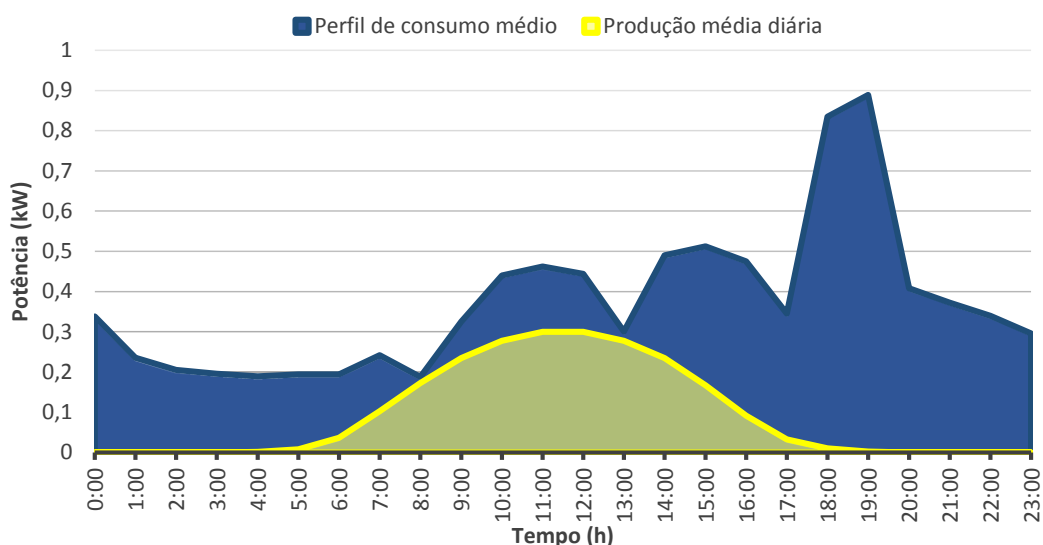


Figura 4.28 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 2.

#### 4.6.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC

O fato de a habitação possuir uma tarifa Bi-horária, torna muito proveitoso o consumo de energia elétrica durante o período de exposição solar, pois, o preço da eletricidade neste período é substancialmente mais elevado do que no período noturno. No entanto, o consumo em demasia de energia no período de exposição solar, poderá significar que essa energia não está a ser suportada na totalidade pela energia resultante da UPAC, mas sim, proveniente da RESP. Por tudo isto, é necessário alguma gestão no consumo de energia, principalmente nos meses de inverno, nos quais a quantidade de energia proveniente da UPAC é um pouco inferior.

Algumas das medidas que otimizam a utilização da UPAC nesta habitação são: a aplicação de relógios programados nos equipamentos com mais consumo de energia elétrica; ligar o termoacumulador elétrico de modo a funcionar como apoio ao sistema solar térmico; privilegiar o uso do forno elétrico durante o período diurno.

## 4.7. Caso de estudo 6

### 4.7.1. Descrição da habitação

O sexto edifício de habitação estudado é do tipo moradia e fica situado no distrito da Guarda, na localidade de Aguiar da Beira. Este possui uma tarifa de baixa tensão normal, com uma potência contratada de 6,9 kVA.

Após a observação do inquérito realizado, verificou-se que na habitação reside um casal com dois filhos, ou seja, quatro habitantes. No período diurno da semana, a habitação encontra-se praticamente desocupada, visto que, os filhos estão na escola e o casal trabalha. Sendo habitualmente realizada na habitação a refeição de almoço, no período entre as 12h e 14h. Durante o fim-de-semana, a previsão de ocupação é mais imprevisível, não existindo rotinas de ocupação. No entanto, a habitação encontra-se praticamente sempre ocupada.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas todas as semanas, sendo o fim-de-semana o período no qual a maioria das vezes as tarefas são realizadas.

Dos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central com recuperador de calor a lenha combinado com caldeira a gásóleo e dois radiadores a óleo. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com caldeira a gásóleo. Na cozinha, a habitação está equipada com forno elétrico, placa de indução, máquina de lavar loiça e robô de cozinha. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 6.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico combinado x2	160/120
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2100
Máquina de lavar loiça	2170
Forno elétrico	2000
Placa de indução	7400
Robô de cozinha	1500

### 4.7.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2013. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no ano de 2013 a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 4602 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 383,5 kWh e semanal de 95,9 kWh.

Na Figura 4.29 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 71,2 kWh, um pouco inferior ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

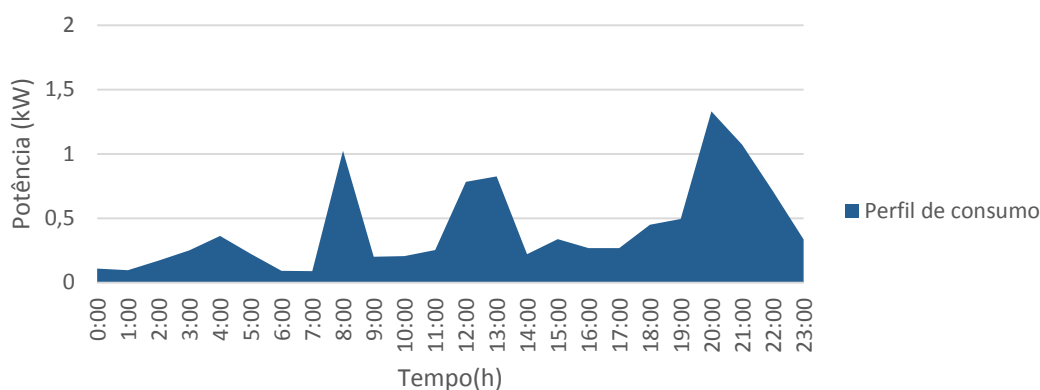


Figura 4.29 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 6.

### 4.7.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

A energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade de Aguiar da Beira está representada na Tabela 4.14. A Tabela 4.27 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada. No cálculo da energia autoconsumida foi aplicado um fator de correção de 1,3 ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade era um pouco superior ao obtido pelas medições efetuadas através do analisador.

Tabela 4.27 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 6.

<b>Energia autoconsumida por mês em kWh</b>						
	<b>UPAC 1</b>	<b>UPAC 2</b>	<b>UPAC 3</b>	<b>UPAC 4</b>	<b>UPAC 5</b>	<b>UPAC 6</b>
<b>Janeiro</b>	19,8	39,5	59,2	72,8	82,1	90,7
<b>Fevereiro</b>	25,7	51,5	70,7	83,1	95,1	107,1
<b>Março</b>	35,4	70,3	90,7	108,0	124,	139,2
<b>Abril</b>	34,7	69,3	90,6	108,2	124,8	138,5
<b>Maió</b>	41,1	80,5	103,1	123,8	141,7	156,6
<b>Junho</b>	43,9	83,2	105,8	127,1	144,3	158,8
<b>Julho</b>	49,4	89,1	114,1	136,6	155,1	165,8
<b>Agosto</b>	48,3	87,2	111,3	133,9	152,6	162,1
<b>Setembro</b>	40,5	77,0	96,7	116,4	133,6	147,4
<b>Outubro</b>	31,2	62,5	83,5	98,2	113,0	127,2
<b>Novembro</b>	21,2	42,4	62,7	74,8	84,9	94,4
<b>Dezembro</b>	19,3	38,6	57,9	71,7	80,8	89,2
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>791,1</b>	<b>1046,3</b>	<b>1254,5</b>	<b>1432,8</b>	<b>1577,0</b>

#### 4.7.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor por kWh de 0,1587 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para o tarifário normal em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total do investimento em cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na Tabela 4.28 está representada a poupança anual e período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.28 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 6.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	65,16	8,5	556,80
UPAC 2	125,55	8,9	1112,44
UPAC 3	166,04	10,1	1669,24
UPAC 4	199,10	9,6	1914,00
UPAC 5	227,38	9,7	2201,68
UPAC 6	250,26	10,2	2542,72

Das UPACs estudadas para aplicar nesta habitação, se for apenas considerado o tempo de retorno do investimento, a UPAC que apresenta melhor proveito é a UPAC 1. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 5 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois proporciona uma poupança anual muito satisfatória e um tempo de retorno razoável comparado com o apresentado pelas restantes UPACs. Apresenta-se na Figura 4.30 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 5 aplicada ao 6º caso de estudo.

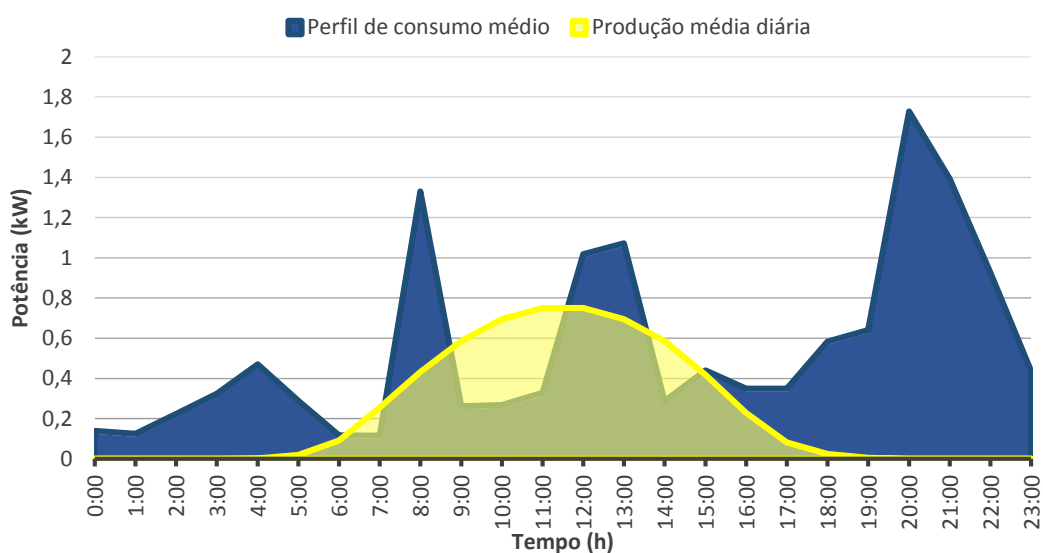


Figura 4.30 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 5.

#### **4.7.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC**

Na habitação em estudo o consumo de energia elétrica é bastante elevado, isto porque, a maioria dos equipamentos utilizados na habitação apresentam um consumo de energia elétrica elevado.

No entanto, pela observação da Figura 4.30 verifica-se que existe uma boa parte da energia produzida que não é autoconsumida, havendo algum espaço para melhorar. Assim, um planeamento do consumo de energia durante o período de exposição solar, poderá apresentar-se muito benéfico.

De forma a efetuar o planeamento do consumo de energia elétrica, poderá utilizar-se relógios programados nos equipamentos com consumo de energia elétrica mais significativo, por exemplo, de maneira a completar o perfil de consumo do período das 9 às 11, onde existe um elevado desperdício da energia produzida pela UPAC, é benéfico a utilização de relógios programados para colocar em funcionamento nesse período equipamentos como a máquina de lavar roupa ou máquina de lavar loiça (em dias diferentes). Deve ainda privilegiar-se o uso do forno elétrico e da placa de indução durante o período diurno.

### **4.8. Caso de estudo 7**

#### **4.8.1. Descrição da habitação**

O sétimo edifício de habitação estudado é do tipo apartamento e fica situado no distrito de Castelo branco, na localidade da Covilhã. Este possui uma tarifa de baixa tensão, com um ciclo bi-horário e uma potência contratada de 6,9 kVA.

Após a observação do inquérito realizado, verificou-se que na habitação reside um casal com dois filhos, ou seja, quatro habitantes. No período diurno da semana, a habitação encontra-se praticamente desocupada, visto que, os filhos estão na escola e o casal trabalha. Não sendo realizada a refeição de almoço na habitação. Durante o fim-de-semana, a habitação encontra-se maioritariamente ocupado, sendo habitualmente realizada a refeição de almoço na habitação. No entanto esta rotina de ocupação não se verifica em todos os fins-de-semana do mês, pois esta encontra-se desocupada durante um ou dois fins-de-semana de cada mês.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas todas as semanas, sendo que as tarefas de lavar e secar roupa são habitualmente realizadas no fim-de-semana, segunda e terça. Nos dias da semana, quarta, quinta e sexta, são normalmente realizadas as tarefas de engomar roupa e a limpeza da habitação.

Dos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central a gás. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com um sistema solar térmico, do tipo forçado, com o apoio da caldeira a gás. Na cozinha, a habitação está equipada com forno elétrico, fogão a gás e máquina de lavar loiça. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se na Tabela 4.29.

Tabela 4.29 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 7.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico	140
Congelador vertical x2	160/120
Máquina de lavar roupa	2100
Máquina de secar roupa	2000
Máquina de lavar loiça	2200
Forno elétrico	2500

#### 4.8.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes ao ano civil de 2014 e 2015. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no período de 10 meses a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 2307 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 230,7 kWh e semanal de 57,7 kWh.

Na Figura 4.31 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 58,7 kWh, muito semelhante ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

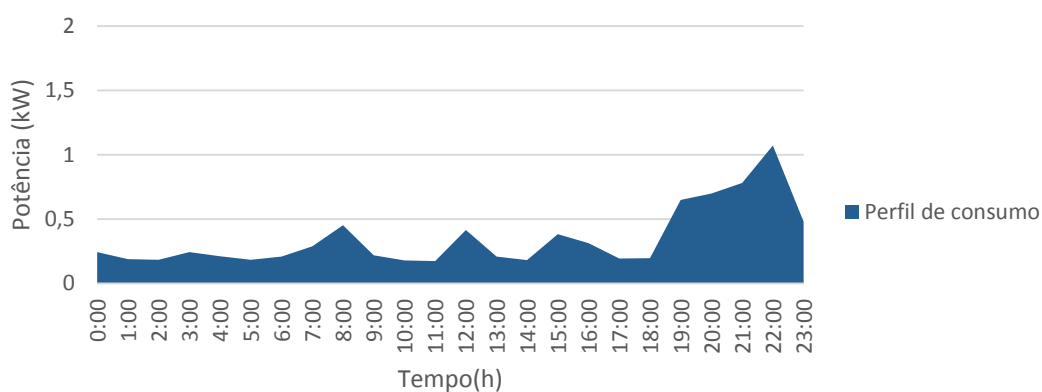


Figura 4.31 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 7.

### 4.8.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

Na Tabela 4.30 está representada a energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade da Covilhã.

Tabela 4.30 - Energia estimada produzida pelas UPACs na Covilhã.

Energia produzida por mês em kWh						
	UPAC 1	UPAC 2	UPAC 3	UPAC 4	UPAC 5	UPAC 6
<b>Janeiro</b>	21,6	43,2	64,8	86,4	108,0	129,6
<b>Fevereiro</b>	21,8	43,5	65,3	87,1	108,9	130,6
<b>Março</b>	35,3	70,7	106,0	141,3	176,7	212,0
<b>Abril</b>	31,7	63,5	95,2	126,9	158,6	190,4
<b>Mai</b>	38,6	77,2	115,8	154,4	193,0	231,6
<b>Junho</b>	39,7	79,4	119,1	158,8	198,5	238,2
<b>Julho</b>	42,9	85,9	128,8	171,8	214,7	257,7
<b>Agosto</b>	43,9	87,7	131,6	175,5	219,4	263,2
<b>Setembro</b>	36,4	72,8	109,2	145,6	182,1	218,5
<b>Outubro</b>	29,8	59,7	89,5	119,3	149,1	179,0
<b>Novembro</b>	19,7	39,3	59,0	78,7	98,3	118,0
<b>Dezembro</b>	18,3	36,6	54,9	73,1	91,4	109,7
<b>Total</b>	<b>379,7</b>	<b>759,5</b>	<b>1139,2</b>	<b>1519,0</b>	<b>1898,7</b>	<b>2278,5</b>

A Tabela 4.31 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada. No cálculo da energia autoconsumida não foi aplicado nenhum fator de correção ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade era muito semelhante ao obtido pelas medições efetuadas através do analisador.

Tabela 4.31 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 7.

<b>Energia autoconsumida por mês em kWh</b>						
	<b>UPAC 1</b>	<b>UPAC 2</b>	<b>UPAC 3</b>	<b>UPAC 4</b>	<b>UPAC 5</b>	<b>UPAC 6</b>
<b>Janeiro</b>	21,6	41,6	52,3	59,4	63,5	67,6
<b>Fevereiro</b>	21,8	41,6	51,9	59,4	64,5	69,7
<b>Março</b>	35,3	58,7	71,8	81,4	89,0	92,5
<b>Abril</b>	31,7	57,3	71,8	83,1	92,4	96,9
<b>Mai</b>	38,6	65,9	83,2	96,3	103,4	106,2
<b>Junho</b>	39,7	65,8	82,5	95,4	101,3	104,0
<b>Julho</b>	42,9	68,9	85,5	98,3	102,9	105,5
<b>Agosto</b>	43,7	68,1	83,3	95,0	99,2	101,5
<b>Setembro</b>	36,4	59,0	71,9	82,0	88,8	91,3
<b>Outubro</b>	29,8	52,8	64,8	72,5	79,9	85,6
<b>Novembro</b>	19,7	38,7	49,8	56,7	61,3	65,2
<b>Dezembro</b>	18,3	36,4	48,3	55,3	60,5	64,0
<b>Total</b>	<b>379,6</b>	<b>654,8</b>	<b>817,0</b>	<b>934,7</b>	<b>1006,8</b>	<b>1050,0</b>

#### **4.8.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada**

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor por kWh de 0,1853 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para a tarifa bi-horário, no período fora do vazio, em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total do investimento em cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na Tabela 4.32 está representada a poupança anual e período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.32 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 7.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	70,34	7,9	556,80
UPAC 2	121,34	9,2	1112,44
UPAC 3	151,39	11,0	1669,24
UPAC 4	173,20	11,1	1914,00
UPAC 5	186,56	11,8	2201,68
UPAC 6	194,56	13,1	2542,72

Das UPACs estudadas para aplicar nesta habitação, a que apresenta melhores resultados em tempo de retorno é a UPAC 1. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 2 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois proporciona uma poupança anual muito satisfatória e um tempo de retorno razoável comparado com as restantes UPAC. Apresenta-se na Figura 4.32 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 2 aplicada ao 7º caso de estudo.

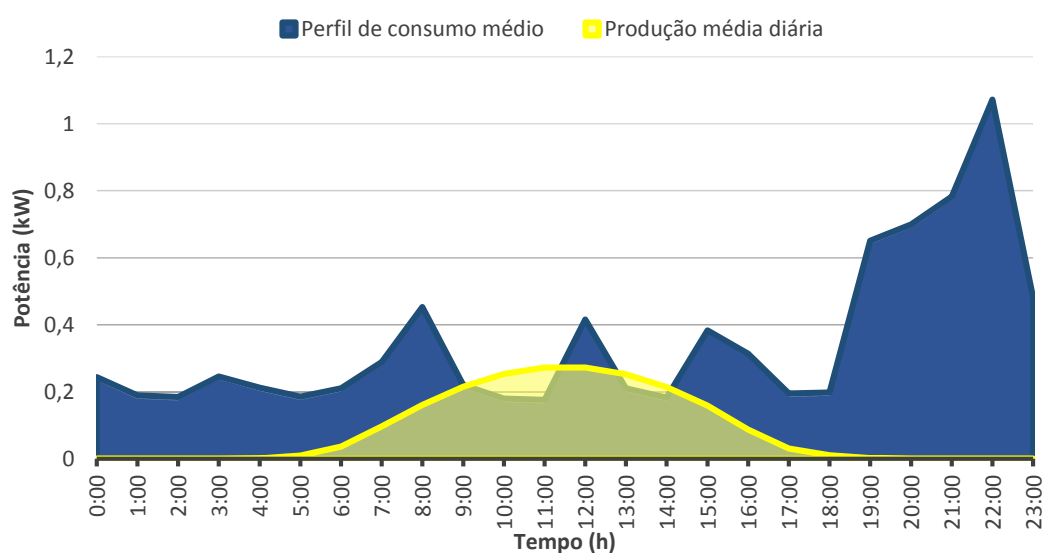


Figura 4.32 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 2.

#### **4.8.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC**

O consumo de energia elétrica na habitação não é muito significativo, não havendo grande espaço para potenciar a utilização da UPAC na habitação. A maioria da energia produzida pela UPAC é autoconsumida, sendo apenas verificado maior desperdício de energia no período de verão.

O fato de a habitação se encontrar desocupada no período diurno também não oferece grande margem de manobra para otimizar a utilização da UPAC. Sendo apenas benéfico o uso de relógios programados em equipamentos com consumo elétrico mais significativo.

### **4.9. Caso de estudo 8**

#### **4.9.1. Descrição da habitação**

O oitavo edifício de habitação estudado é do tipo moradia e fica situado no distrito de Castelo branco, na localidade da Covilhã. Possui uma tarifa de baixa tensão, com um ciclo bi-horário e uma potência contratada de 5,75 kVA.

Após a observação do inquérito realizado, verificou-se que na habitação reside um casal com dois filhos, ou seja, quatro habitantes. No período diurno da semana, a habitação encontra-se sempre ocupada, visto que um dos elementos do casal trabalha em casa e o filho mais novo ainda não frequenta a escola. A refeição de almoço é habitualmente realizada na habitação no período entre as 12 e 14 horas. No período de fim-de-semana as rotinas de ocupação da habitação são muito semelhantes com as praticadas durante a semana.

Na habitação as tarefas domésticas são realizadas todas as semanas, sendo que a tarefa de lavar roupa é efetuada praticamente todos os dias da semana. A tarefa de engomar roupa é habitualmente realizada ao domingo e as limpezas da habitação são realizadas no sábado e no domingo.

De salientar, que o trabalho realizado na habitação por um dos elementos do casal exige o uso considerável do forno elétrico. Os dias de maior utilização são normalmente a quinta-feira, a sexta-feira e o fim-de-semana.

Dos equipamentos consumidores de energia utilizados na habitação, é importante referir que para o aquecimento ambiente a habitação possui um sistema de aquecimento central

a gasóleo e 3 equipamentos de ar condicionado. Para a preparação das águas quentes sanitárias, a habitação está equipada com um sistema solar térmico, do tipo forçado, com o apoio da caldeira a gasóleo e um termoacumulador elétrico. Na cozinha, a habitação está equipada com forno elétrico, placa de indução, máquina de lavar loiça e robô de cozinha. Os equipamentos com mais utilização e maior relevância a nível de potência elétrica encontram-se indicados na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 - Lista de equipamentos elétricos da habitação do caso de estudo 8.

Equipamentos	Potência (W)
Frigorífico x 2	120
Congelador	300
Máquina de lavar roupa	2000
Máquina de lavar loiça	2300
Forno elétrico	3000
Termoacumulador elétrico	1500
Robô de cozinha	1500
Ar condicionado x 3	9000

#### 4.9.2. Apresentação dos consumos da habitação

As faturas de eletricidade reunidas para o estudo são referentes aos anos civis de 2014/2015. Com base nestas, e após a sua análise, verificou-se que no período de um ano a habitação teve um consumo total de energia elétrica de 5400 kWh, o que corresponde a um consumo médio mensal de 420 kWh e semanal de 105 kWh.

Na Figura 4.33 está representado o gráfico com o perfil de consumo de energia elétrica representativo da habitação. Este resultou da análise dos resultados das medições de consumo de energia elétrica, efetuadas na habitação durante duas semanas, tendo em conta a informação recolhida através do inquérito. O perfil de consumo alcançado para esta habitação representa um consumo semanal de 109 kWh, um pouco superior ao obtido pela análise das faturas de eletricidade.

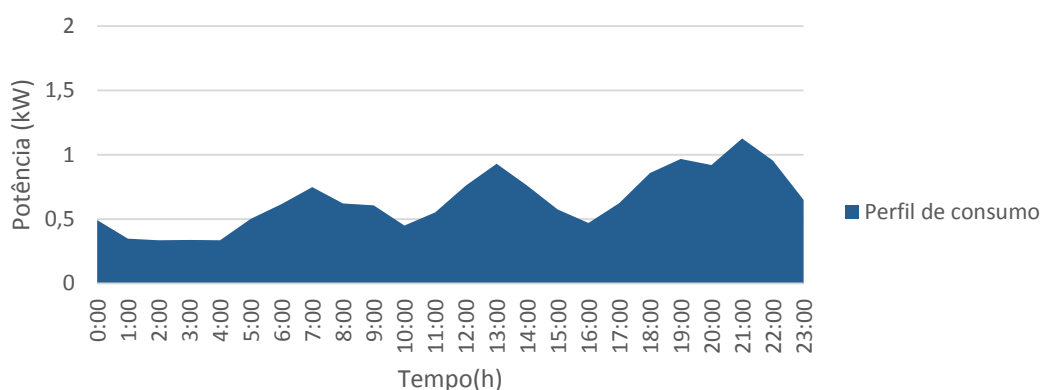


Figura 4.33 - Perfil de consumo de energia elétrica da habitação do caso de estudo 8.

### 4.9.3. Estimativa de energia produzida e autoconsumida

A energia estimada para a produção de cada UPAC, em cada mês do ano, na localidade da Covilhã está representada na Tabela 4.30. A Tabela 4.34 apresenta a energia autoconsumida estimada para cada mês do ano, em cada UPAC analisada.

Tabela 4.34 - Energia autoconsumida estimada para cada mês, da habitação do caso de estudo 8.

Energia autoconsumida por mês em kWh						
	UPAC 1	UPAC 2	UPAC 3	UPAC 4	UPAC 5	UPAC 6
<b>Janeiro</b>	19,8	39,5	59,3	79,1	98,1	112,8
<b>Fevereiro</b>	25,7	51,5	77,2	100,9	119,5	134,9
<b>Março</b>	35,4	70,8	106,2	134,9	159,6	177,5
<b>Abril</b>	34,7	69,4	104,2	134,2	160,4	179,2
<b>Maió</b>	41,1	82,2	122,8	155,9	183,2	200,9
<b>Junho</b>	43,9	87,8	129,5	163,1	187,0	197,0
<b>Julho</b>	49,4	98,7	141,8	175,0	194,6	201,5
<b>Agosto</b>	48,3	96,6	138,4	170,2	189,4	196,2
<b>Setembro</b>	40,5	81,1	118,5	148,2	168,6	177,7
<b>Outubro</b>	31,2	62,5	93,7	120,6	143,3	159,6
<b>Novembro</b>	21,2	42,4	63,6	84,8	103,3	118,2
<b>Dezembro</b>	19,3	38,6	57,9	77,3	96,0	110,5
<b>Total</b>	<b>410,6</b>	<b>821,2</b>	<b>1213,2</b>	<b>1544,3</b>	<b>1803,0</b>	<b>1966,1</b>

No cálculo da energia autoconsumida foi aplicado um fator de correção de 0,95 ao perfil de consumo da habitação, visto que, o consumo médio semanal, resultante da análise das faturas de eletricidade era um pouco inferior ao obtido pelas medições efetuadas através do analisador.

#### 4.9.4. Análise económica e seleção de UPAC mais adequada

Após estimada a energia autoconsumida por ano em cada UPAC, foi calculada a poupança anual que esta energia autoconsumida representa para o consumidor. No cálculo da poupança estimada foi contabilizado o valor por kWh de 0,1853 €/kWh, correspondente ao preço praticado pelo comercializador de energia para a tarifa bi-horário, no período fora do vazio, em 2015. Estimado o valor da poupança anual e conhecido o custo total do investimento em cada UPAC, foi estimado o tempo de retorno do investimento para cada UPAC considerada. Na Tabela 4.35 está representada a poupança anual e o período de retorno, em anos, de cada UPAC.

Tabela 4.35 - Resultados da aplicação de diferentes UPACs na habitação do caso de estudo 8.

	Poupança anual €	Anos de retorno	Custo Total da UPAC €
UPAC 1	76,08	7,3	556,80
UPAC 2	152,17	7,3	1112,44
UPAC 3	224,80	7,4	1669,24
UPAC 4	286,16	6,7	1914,00
UPAC 5	334,10	6,6	2201,68
UPAC 6	364,33	7,0	2542,72

Das UPACs estudadas para aplicar nesta habitação, a que apresenta melhores resultados em tempo de retorno é a UPAC 5. No entanto, a poupança anual obtida por cada UPAC e a quantidade de energia excedente, que poderá ser rentabilizada, também têm que ser tomadas em conta. Por tudo isto, a UPAC 6 é a que apresenta melhores condições para ser aplicada nesta habitação, pois proporciona o melhor valor de poupança e um tempo de retorno muito satisfatório comparado com as restantes UPAC. Apresenta-se na Figura 4.34 um gráfico representativo do desempenho médio diário da UPAC 6 aplicada ao 8º caso de estudo.

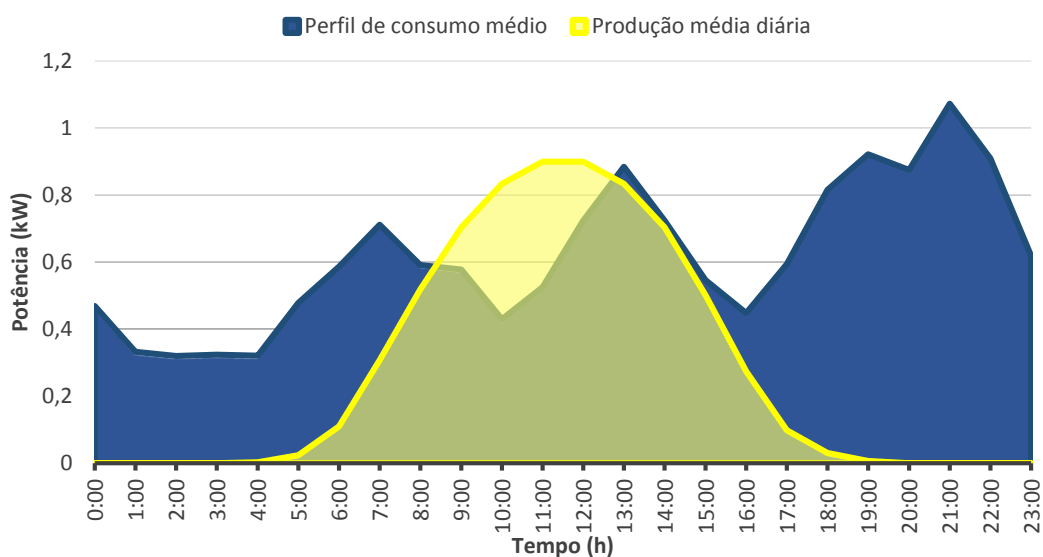


Figura 4.34 - Perfil diário representativo do consumo de energia elétrica na habitação vs. produção da UPAC 6.

#### 4.9.5. Apresentação de medidas que potenciem a utilização da UPAC

Na habitação em estudo o consumo de energia elétrica é bastante elevado, isto porque grande parte dos equipamentos utilizados na habitação apresentam um consumo de energia elétrica elevado e o trabalho efetuado por um dos elementos do casal na habitação exige o uso elevado do forno elétrico.

De forma a otimizar o uso da UPAC na habitação deve-se fazer uma gestão cuidada dos consumos de energia elétrica. Nos dias em que o uso do forno elétrico é mais elevado deve-se distribuir a sua utilização durante o período de exposição solar, evitando a sobreposição de funcionamento com outros equipamentos elétricos. Nos restantes dias da semana deve-se aproveitar para colocar em funcionamento outros equipamentos elétricos durante o período de exposição solar (por exemplo, máquina de lavar roupa).

No período de verão, altura em que a produção de energia elétrica é mais elevada, deve-se aproveitar o período diurno para colocar em funcionamento os sistemas de ar condicionado.

#### 4.10. Análise geral dos casos de estudo

Após a análise dos casos de estudo verificam-se algumas discrepâncias óbvias nos resultados dos diferentes casos. São expectáveis pois cada habitação possui as suas próprias características de consumo (consumo anual, equipamentos elétricos presentes na

habitação, utilização de equipamentos elétricos no período diurno, refeição de almoço na habitação e tarifa contratada).

Um dos fatores mais decisivos para a escolha de uma UPAC para uma habitação é o consumo faturado durante um ano. Este representa a quantidade de energia consumida num ano, oferecendo uma ideia da energia que pode vir a ser autoconsumida. Segundo um estudo realizado pela EPIA [16], uma residência típica europeia equipada com um sistema solar fotovoltaico consegue atingir percentagens de autoconsumo de cerca de 30% (nos casos de estudo analisados o valor médio de autoconsumo alcançado foi de 32%). Esta percentagem de autoconsumo oferece uma primeira indicação na seleção da capacidade de uma UPAC para uma habitação.

Outros fatores com grande relevância são: a utilização de equipamentos elétricos durante o período diurno e a realização da refeição de almoço na habitação. A ocupação da habitação durante o período diurno permite perceber melhor o comportamento de consumo durante o período de exposição solar, uma vez que normalmente se a habitação estiver ocupada o consumo de energia elétrica em média é mais elevado, visto que é habitual o uso de equipamentos elétricos. A realização da refeição de almoço na habitação é também um fator com imensa importância, principalmente se na confeção da refeição forem utilizados equipamentos elétricos, como o forno elétrico e a placa de indução.

O uso de fator de correção no perfil de consumo da habitação permite equiparar o consumo medido através do analisador com o consumo faturado. Para além de equiparar os consumos, expressa a veracidade da medição efetuada pelo analisador, uma vez que quanto maior o fator de correção utilizado mais manipulado se apresenta o perfil de consumo da habitação, podendo inferir um erro na escolha da UPAC mais adequada. Na maior parte dos casos o fator de correção foi muito reduzido (igual a 1), o que pode indicar que a maioria dos casos possui o perfil de consumo medido muito próximo do real.

A tarifa contratada na habitação tem também grande influência no tempo de retorno do investimento numa UPAC. Uma vez que a tarifa bi-horária, no período de exposição solar, apresenta um valor para o preço da energia mais elevado que a tarifa normal e no período noturno um valor mais reduzido. A tarifa normal tem sempre o mesmo valor para o preço da energia, independentemente do período do dia. Assim, a tarifa bi-horária apresenta-se mais benéfica para habitações com UPAC, visto que possui o valor da energia mais elevado no período de autoconsumo e no período em que não ocorre produção de energia elétrica a partir da UPAC o valor da energia é substancialmente mais baixo. Como esperado, o tempo de retorno do investimento apresenta-se de uma forma geral mais reduzido nos casos em que a tarifa contratada é o bi-horário.

Tais fatos podem ser comprovados na Tabela 4.37. Esta apresenta um quadro resumo dos casos de estudo analisados nesta dissertação, com todos os fatores determinantes na escolha de uma UPAC para um edifício doméstico.

Na Figura 4.35 está representado um gráfico que relaciona, para cada habitação estudada, o consumo anual faturado com as UPAC recomendada para essa habitação.

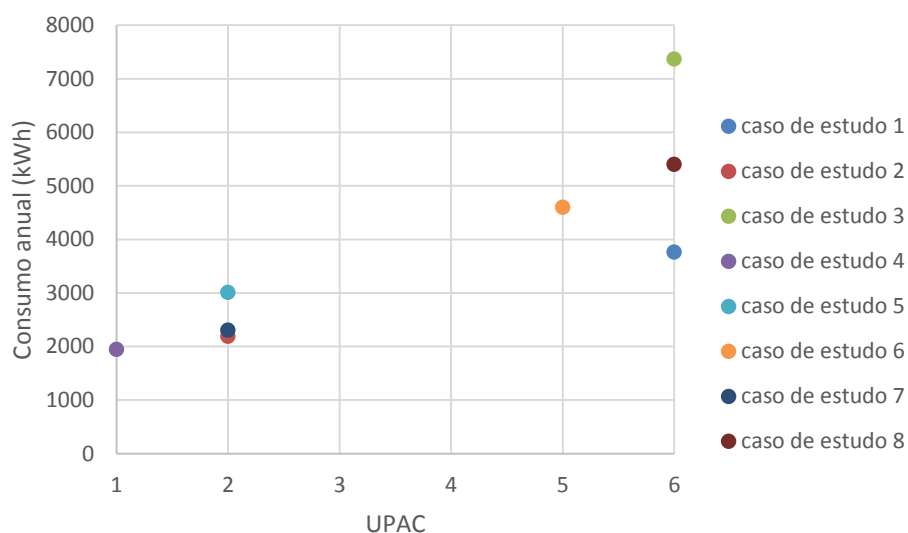


Figura 4.35 - Relação do consumo com a UPAC recomendada para cada caso de estudo.

Da análise do gráfico anterior verifica-se que o consumo anual de cada habitação está fortemente relacionado com a capacidade da UPAC recomendada. No gráfico é possível identificar duas zonas distintas de concentração dos casos de estudo, uma das zonas referente aos casos com baixo consumo e outra aos casos com consumo elevado. Para habitações com consumo anual inferior a 3000 kWh a utilização da UPAC 2 apresenta-se como suficiente, nos casos em que o consumo é superior aos 5000 kWh o uso da UPAC 6 é o mais indicado. O único caso que se encontra fora da linha de tendência é o caso de estudo 1, isto pode dever-se ao fato de neste ter sido utilizado um fator de correção de 1,5 para o perfil de consumo, o que poderá ter alterado a veracidade do mesmo.

Na Tabela 4.36 está representada a relação entre a utilização de equipamentos elétricos durante o dia (habitual, por vezes e raro) com a UPAC adequada para cada caso de estudo.

Tabela 4.36 - Relação da utilização de equipamentos elétricos durante o dia com a UPAC recomendada para cada caso de estudo.

<b>Habitual</b>						③ ⑧
		⑤			⑥	①
	④	② ⑦				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
	<b>UPAC</b>					

① - caso de estudo 1; ② - caso de estudo 2; ③ - caso de estudo 3; ④ - caso de estudo 4; ⑤ - caso de estudo 5; ⑥ - caso de estudo 6; ⑦ - caso de estudo 7; ⑧ - caso de estudo 8.

Da análise da tabela anterior verifica-se que a utilização dos equipamentos elétricos durante o dia está relacionada com a capacidade da UPAC recomendada para cada habitação. Uma vez que para habitações em que o recurso a equipamentos elétricos durante o dia é raro, a UPAC recomendada é de menor capacidade. Ao invés os casos em que o uso de equipamentos elétricos durante o dia é frequente, verifica-se que existe a necessidade de uma UPAC com maior capacidade.

Tabela 4.37 - Resumo dos casos de estudo.

Caso de estudo	CAF (kWh)	FC	TC	EED	RAH	UPAC	Anos retorno	EA (kWh)	ED (kWh)	RCR %	PA €
1	3762	1,5	Bi-horário	Por vezes	Habitual	6	7,5	1837,5	626,1	0,49	340,49
2	2194	1	Normal	Raro	Habitual	2	9	776,3	44,9	0,35	123,2
3	7368	0,9	Normal	Habitual	Habitual	6	7,4	2161,2	302,4	0,29	342,99
4	1946	1,1	Normal	Raro	Por vezes	1	8,8	396,6	14	0,20	62,94
5	3010	1,05	Bi-horário	Por vezes	Habitual	2	7,4	808,8	12,4	0,27	149,87
6	4602	1,3	Normal	Por vezes	Habitual	5	9,7	1432,8	620,2	0,31	227,38
7	2307	1	Bi-horário	Raro	Raro	2	9,2	654,5	105	0,28	121,34
8	5400	0,95	Bi-horário	Habitual	Habitual	6	7	1961,6	316,9	0,36	364,33

CAF - Consumo anual faturado; FC - Fator correção; TC - Tarifa contratada; EED - Utilização de equipamentos elétricos na habitação durante o dia; RAH - Refeição de almoço na habitação; EA - Energia autoconsumida; ED - Energia desperdiçada; RCR - Redução de consumo da RESP; PA - Poupança anual;

## Capítulo 5

### 5. Conclusão

O crescimento do consumo de energia a nível mundial tem conduzido à necessidade em consolidar o recurso às energias renováveis. A utilização das tecnologias associadas às energias renováveis contribui para a redução da fatura energética dos países, bem como para a redução das emissões de gases poluentes para a atmosfera. Uma destas tecnologias consiste no aproveitamento da energia solar, neste caso a tecnologia fotovoltaica. Porém, esta ainda tem um longo caminho a percorrer para se afirmar em definitivo na sociedade em geral.

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento global da indústria fotovoltaica, fortemente impulsionado pelo desenvolvimento do setor em países não pertencentes à UE, uma vez que as recentes alterações legislativas introduzidas na UE criaram um clima de incerteza, tendo estagnado os investimentos no mercado fotovoltaico.

Em Portugal, tal como na UE, verificou-se um considerável desenvolvimento no setor durante os últimos anos, impulsionado pelas políticas de incentivo implementadas até então. Contudo, a mudança legislativa entretanto verificada, ou seja, a transição dos regimes bonificados para o regime de autoconsumo provocou uma estagnação do setor. Espera-se que após um período de indefinição, o setor possa retomar o seu rumo e continue o seu desenvolvimento.

Na presente dissertação foi estudada a aplicação de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo instantâneo em edifícios domésticos, à luz do novo projeto de lei da produção distribuída. O estudo consistiu numa avaliação realizada para cada habitação, constituída por uma recolha de dados através de inquérito, pela análise da faturação de um ano e pela medição dos consumos de energia no terreno.

Foram estudados 8 casos particulares de habitações domésticas, em que, para cada um desses casos, foi apresentada a descrição da habitação, a informação do consumo faturado durante um ano, a informação recolhida sobre as medições efetuadas na habitação e analisada a aplicação de diferentes UPACs para cada habitação (através do cálculo da energia produzida, autoconsumida e desperdiçada). Por fim, foi escolhida a UPAC mais adequada para cada caso de estudo e apresentadas algumas medidas que potenciam a sua utilização.

Assim, foram propostas algumas medidas para potenciar a aplicação de UPACs em edifícios domésticos, nomeadamente, o uso de relógios programados nos eletrodomésticos com potências mais significativas (por exemplo, na máquina de secar roupa, na de lavar roupa e de lavar loiça), de forma a aproveitar o período diário em que ocorre produção de energia fotovoltaica. Deve também evitar-se a utilização do forno elétrico para cozinhar durante o período noturno, como seja na confeção do jantar, estimulando assim a sua utilização durante o período diurno.

Através deste trabalho foi possível demonstrar que a aposta em Portugal na tecnologia fotovoltaica poderá apresentar-se particularmente interessante, tendo em conta a nova legislação para o autoconsumo, uma vez que para os casos de estudo realizados foram obtidos retornos económicos entre 7 e 9,7 anos.

Estes valores de retorno podem tornar-se mais interessantes com a colocação em prática de algumas das medidas propostas anteriormente nesta dissertação e com a previsível diminuição dos preços da tecnologia fotovoltaica.

Uma vez que a produção de energia elétrica no mundo é maioritariamente realizada a partir de combustíveis fósseis, esta é responsável pelas elevadas taxas de emissão de gases poluentes. Assim sendo, e embora se verifique já um substancial desenvolvimento no setor fotovoltaico, é essencial que a aposta neste setor se mantenha pela procura de novas soluções técnicas e pela otimização dos elementos já existentes, por forma a tornar sustentável o setor energético.

## **5.1. Trabalhos futuros**

Após a realização deste trabalho verificou-se que alguns aspetos relacionados com a temática em estudo ficaram ainda por explorar com maior profundidade. Assim sendo, são agora propostos alguns temas de trabalhos a desenvolver no futuro e que dão continuidade a este trabalho.

Uma das medidas que otimiza o autoconsumo fotovoltaico é a utilização de baterias para armazenar a energia gerada e não consumida durante o período de exposição solar. Uma vez que esta medida não foi estudada propõe-se o estudo da aplicação de UPACs a edifícios domésticos com armazenamento de energia em baterias.

Uma vez que a seleção de uma UPAC para um edifício doméstico depende de diversos fatores, propõe-se a criação de um programa que possibilite a introdução das informações relativas à habitação, que o presente estudo identificou como relevantes, por forma a indicar qual a UPAC mais adequada.

Por fim, atendendo a que o decreto-lei que regulamenta o autoconsumo se encontra em vigor há já alguns meses, existem habitações domésticas com UPACs já instaladas. Assim, propõe-se um estudo que avalie em que medida o desempenho dessas UPACs corresponde ao que era expectável e quais as poupanças reais geradas.

## Referências

- [1] BP, “statistical review of world energy,” [Online]. Available: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [2] Comissão Europeia, “Causas e consequências das alterações climáticas,” [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/clima/change/consequences/index\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/clima/change/consequences/index_pt.htm).
- [3] U. Europeia, *DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 - relativa ao desempenho energético dos edifícios*, 2010.
- [4] “geomodelsolar,” [Online]. Available: <http://geomodelsolar.eu/maps/free-solar>.
- [5] DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia., “Energia Solar.,” 2014. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>.
- [6] *Governo Português, Decreto-Lei no 153/2014. D.R, 1a série- No 202 de 20 Outubro, 2014.*
- [7] M. Gaetan, S.Orlandi, M.Rekinger, *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*, 2013.
- [8] Pordata, “Produção de energia eléctrica: total e a partir de fontes renováveis,” [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>.
- [9] European Commission, DG Joint Research Centre, *PV Status Report 2014*, 2014.
- [10] M. Pablo-Romero, “Solar Energy: INcentives to Promove PV in EU27,” *AIMS Energy*, vol. 1, pp. 28-47, 2013.
- [11] A. Poullikkas, G. Kourtis, I. Hadjipaschalis, “A review of net metering mechanism for electricity,” *International Journal of Energy and Environment*, vol. 4, pp. 975-1002, 2013.
- [12] P. Fokaides, A. Kylili, “Towards grid parity in insular energy systems: The case of photovoltaics (PV) in Cyprus,” *Energy Policy*, vol. 65, pp. 223-228, 2013.
- [13] A. Poullikkas, “A comparative assessment of net metering and feed in tariff schemes for residential PV systems,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 3, pp. 1-8, 2013.
- [14] J. Sousa, S. Silva, “Enquadramento Energético do Sector Residencial Português,” pp. 49-56, 2012.
- [15] F. Nogueira, *Produção de energia por via fotovoltaica para autoconsumo*

- instantâneo com ligação à rede-Caso Prático*, Universidade da Beira Interior, 2014.
- [16] EPIA, *Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector - On the road to competitiveness*, European photovoltaic Industry Association, 2011.
- [17] R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson e J. Palm, “Photovoltaic self-consumption in buildings: A review,” *Applied Energy*, vol. 142, pp. 80-94, 2015.
- [18] Comissão Europeia, *Compreender as políticas da União Europeia:*, Bruxelas: Serviço das Publicações da União, 2013.
- [19] Pordata - Base de dados Portugal Contemporâneo, *Milhares de estatísticas sobre Municípios, Portugal e a Europa*, Lisboa, 2015.
- [20] Governo Português, *Resolução da Assembleia da República n.º 33/2010*, Lisboa, 2010.
- [21] Direção Geral de Energia e Geologia, “Fatura Energética Portuguesa,” 2014.
- [22] Direção-Geral de Energia e Geologia, *BALANÇO ENERGÉTICO - Sintético*, 2014.
- [23] Direção Geral de Energia e Geologia/Instituto Nacional de Estatística, “Inquerito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico,” 2010.
- [24] Instituto Nacional de Estatística, “Resultados preliminares do inquérito ao consumo de energia no setor doméstico,” 2010.
- [25] L. Dusonchet, E. Telaretti, “Comparative economic analysis of support policies for solar PV in the most representative EU countries,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, p. 986-998, 2015.
- [26] R. Cherrington, V. Goodship, A. Longfield, K. Kirwan, “The feed-in tariff in the UK: A case study focus on domestic photovoltaic systems,” *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 421-426, 2013.
- [27] “Net Metering,” [Online]. Available: <http://www.seia.org/policy/distributed-solar/net-metering>.
- [28] A. Campoccia, L. Dusonchet, E. Telaretti, G. Zizzo, “Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar PV and Wind systems: Four representative European cases,” *Solar Energy*, vol. 83, pp. 287-297, 2009.
- [29] A. Poullikkas, G. Kourtis, I. Hadjipaschalis, “An overview of the EU Member States support schemes for the promotion of renewable energy sources,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY AND ENVIRONMENT*, vol. 3, pp. 553-566, 2012.
- [30] T. E. Del Carpio-Huayllas, D. S. Ramos, R. Vasquez-Arnez, “Feed-in and Net Metering Tariffs: An Assessment for their Application on Microgrid Systems,” *IEEE/PES Latin America Transmission and Distribution Conference*, pp. 1-6, 2012.
- [31] *Enabling the European consumer to generate power for self-consumption*,

- SunEdison, 2011.
- [32] G. Masson, M. Latour, M. Reking, I. Theologitis e M. Papoutsis, *Global Market Outlook For Photovoltaics 2013-2017.*, EPIA, 2013.
- [33] J. Briano, M. Báez, R. Morales, *PV GRID PARITY MONITOR Residential Sector*, CREARA, 2015.
- [34] D. García, “Poupar com o Autoconsumo,” [Online]. Available: <http://www.prestenergia.com/ficheiros/conteudos/files/Autoconsumo.pdf>.
- [35] European Photovoltaic Industry Association, “PARAMETERS FOR GRID PARITY DEFINITION,” 2011. [Online]. Available: <http://www.pvparity.eu/results/pv-competitiveness/>.
- [36] C. Breyer, A. Gerlach, “Global overview on grid-parity,” *Progress in Photovoltaics*, vol. 21, pp. 121-136, 2013.
- [37] “PV PARITY PROJECT: How to support different photovoltaic applications in the achievement of competitiveness and beyond.,” [Online]. Available: <http://www.pvparity.eu/>.
- [38] L. Munoz, J. Huijben, B. Verhees e G. Verbong, “The power of grid parity: A discursive approach.,” *Technological Forecasting & Social Change.*, 2014.
- [39] “Realistic roadmap to PV grid parity for all target countries,” 2013. [Online]. Available: <http://www.pvparity.eu/results/pv-competitiveness/>.
- [40] “Maps of the target countries showing the possible trends towards PV grid parity,” [Online]. Available: <http://www.pvparity.eu/results/pv-competitiveness/>.
- [41] *Decreto-lei nº 189/88 de 27 de Maio. D.R. 1º Série A.*
- [42] “Carta aberta da APESEF,” [Online]. Available: [http://www.apesf.pt/images/anexos/carta%20aberta\\_sector%20fotovoltaico%202014.pdf](http://www.apesf.pt/images/anexos/carta%20aberta_sector%20fotovoltaico%202014.pdf).
- [43] *Decreto-lei nº 363/2007 de 2 de Novembro. D.R. 1º Série nº 211.*
- [44] *Decreto-lei nº34/2011 de 8 de Março D.R. 1º Série nº47.*
- [45] *Portaria nº 431/2012, de 31 de Dezembro. Diário da República, 1º série - Nº 252 - 31 de dezembro de 2012.*
- [46] *Portaria nº 97/2013, de 26 de dezembro. Diário da República, 1º série - Nº 149 - 26 de dezembro de 2013.*
- [47] F. Cardoso, “Demora na legislação para o autoconsumo inquieta sector.,” *Edifícios e Energia*, pp. 22-24, 2014.
- [48] *Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia - Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída. Governo de Portugal (2014).*

- [49] T. P. Benito, Práticas de Energia Solar Fotovoltaica, Publindústria, Edições Técnicas, 2009.
- [50] Instituto Superior Técnico, ENERGIA FOTOVOLTAICA - MANUAL SOBRE TECNOLOGIAS, PROJECTO E INSTALAÇÃO, 2004.
- [51] “habitissimo,” [Online]. Available: <http://ofertas.habitissimo.es/oferta/kit-fotovoltaico-autoconsumo-biosol>.
- [52] KIOTO SOLAR, “solarsistemi,” 2014. [Online]. Available: [http://www.solarsistemi.net/1/upload/scheda\\_tecnica\\_kioto\\_solar.pdf](http://www.solarsistemi.net/1/upload/scheda_tecnica_kioto_solar.pdf).
- [53] ABB, “ABB,” 2014. [Online]. Available: [https://library.e.abb.com/public/0ac164c3b03678c085257cbd0061a446/MICRO-CDD\\_BCD.00373\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/0ac164c3b03678c085257cbd0061a446/MICRO-CDD_BCD.00373_EN.pdf).
- [54] Mastervolt, “Mastervolt,” [Online]. Available: <http://www.mastervoltsolar.com/solar/products/soladin-web/soladin-1000-web/#specifications>.
- [55] “efergy,” [Online]. Available: <http://efergy.com/eu/e2v2-monitor>.
- [56] “PVGIS CMSAF,” [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.

# Anexos

## **Anexo A**

Formulário utilizado para efetuar o inquérito junto dos moradores, de modo a compreender o comportamento dos residentes da moradia e o tipo de equipamentos que esta possui.

## Caso de estudo N°. \_\_\_\_\_

Localidade: \_\_\_\_\_

Morada: \_\_\_\_\_

Tipo de residência:

Apartamento

Moradia

**Residentes na habitação:**

Nome	Idade	Profissão

**Horas, em que se encontram na habitação, durante a semana:**

Nome	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-24h

**Horas, em que se encontram na habitação, durante o fim-de-semana:**

Nome	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-24h

**Dias da semana** em que se costumam **realizar as tarefas domésticas:**

Tarefas	Dias da semana						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Lavar roupa							
Secar roupa							
Engomar							
Limpezas							

## **Equipamentos da habitação**

### **Aquecimento do ambiente:**

- 1-Aquecimento central a gás
- 2-Aquecimento central elétrico
- 3-Aquecimento central com sistema solar
- 4-Aquecimento central com caldeira biomassa
- 5-Aquecimento central com caldeira a gasóleo
- 6-Bomba de calor geotérmica
- 7-Salamandra
- 8-Lareira
- 9-Sistemas móveis
  - 9.1-Radiador elétrico
  - 9.2-Irradiador a óleo
  - 9.3-Irradiador de infravermelhos
  - 9.4-Convectores
  - 9.5-Termo ventilador
  - 9.6-Aquecimento de halogénio
  - 9.7-Aquecedor a gás
- 10-  
Outros: \_\_\_\_\_

**Horário de funcionamento habitual:**

Equipamento	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-24h

**Potência elétrica dos equipamentos:**

Equipamento	Potência (W)

**Aquecimento de águas quentes sanitárias**

- 1-Bomba de calor
- 2-Caldeira a gás
- 3-Caldeira de biomassa
- 4-Termoacumulador a gás
- 5-Esquentador a gás
- 6-Termoacumulador elétrico
- 7-Painéis solares
- 8-Outros:

**Horário de funcionamento habitual:**

Equipamento	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-24h

**Potência elétrica dos equipamentos:**

Equipamento	Potência (W)

**Eletrodomésticos**

1-Frigorífico

2-Frigorífico combinado

3-Congelador

4-Máquina de lavar roupa

5-Máquina de secar roupa

6-Máquina de lavar loiça

7-Forno

7.1-Elétrico

7.2-Gás

8-Fogão elétrico

9-Outros:

**Horário de funcionamento habitual:**

Equipamento	0-2h	2-4h	4-6h	6-8h	8-10h	10-12h	12-14h	14-16h	16-18h	18-20h	20-22h	22-24h

**Potência elétrica dos equipamentos:**

Equipamento	Potência (W)

**Outros equipamentos**

Equipamento	Potência (W)