

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Tecnologias de armazenamento de energia e
sua aplicação em Edifícios Residenciais com
autoconsumo - Viabilidade Económica**

Rafaela Machado

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira

Janeiro de 2020

Resumo

Atualmente, o mundo é continuamente confrontado com as alterações climáticas o que reforça a urgência da procura de novas soluções para fontes de energia que não as fósseis pois estas são comprovadamente a maior causa do problema. Deste modo, a União Europeia e Portugal têm reunido esforços para a promoção de uma transição energética sustentável, particularmente no que respeita à redução das emissões de gases com efeito de estufa e atingir a descarbonização das economias até 2050, recorrendo para isso ao incentivo da utilização de fontes de energia renovável para a produção de energia elétrica. Portugal tem tomado medidas políticas no que respeita ao incentivo e promoção destas fontes para produção de energia, especificamente através da produção fotovoltaica, de modo a promover a alteração dos padrões energéticos atuais. Destaca-se o Decreto-lei nº. 153/2014, que regulamenta a ordenação jurídica do autoconsumo através da instalação de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) bem como o Decreto-lei nº. 162/2019 que introduz o conceito de autoconsumo coletivo, ou seja, os consumidores têm a possibilidade de se agruparem, a fim de que vários consumidores usufruam da mesma UPAC. A implementação destes diplomas possibilita que Portugal atinja as metas definidas no Plano Nacional de Energia-Clima para 2021-2030.

Foram analisados os perfis de produção e consumo para dois casos distintos, com vista a avaliar a viabilidade económica da implementação de um sistema para autoconsumo recorrendo à utilização de baterias e posteriormente à análise da rede para armazenamento da energia excedente da produção.

De acordo com os resultados obtidos, um correto dimensionamento da UPAC, bem como a utilização da rede como sistema de armazenamento resultará em resultados favoráveis no que respeita à redução dos encargos financeiros, bem como, um maior rendimento da energia excedente produzida pela UPAC. Comprova-se que a implementação desta solução contribuirá substancialmente para que Portugal atinja as metas a que se propôs para o horizonte de 2030 a 2050.

Palavras - Chave: Autoconsumo, Produção Fotovoltaica, Transição Energética, Viabilidade Económica, Bateria, Rede

Abstract

Nowadays the world struggles with climate changes which intensifies the need for the search of new alternatives for fossil energy, which is irrefutably at the origin of the problem. Thus, the European Union (EU) and Portugal spare no effort to promote a sustainable energy transition regarding the reduction of carbon dioxide emissions and greenhouse effect in order to achieve decarbonization of the EU economies by 2050. To do so, incentive policies are being implemented to promote the use of clean energy sources to produce electricity.

Portugal has strongly adopted policies to encourage and promote these sources of energy, specifically the photovoltaic production in order to change the existing energy production pattern. By passing laws, *such as* Decreto-lei n.º 162/2019, the government defines shared self-consumption, that is, consumers may get together to benefit from the same self-consumption production unit.

The implementation of these laws is a necessary condition for Portugal to meet the targets in its National Energy-Climate Plan for 2021-2030.

Two profiles of production and consumption have been analysed in order to assess the economic viability of the implementation of a self-consumption system regarding the use of either batteries or the distribution network to store the excess production.

In view of the results, dimensioning the self-consumption production unit as well as using the distribution network to store the excess production will prove effective regarding the reduction of the financial investment as well as better profit for the excess energy produced by the self-consumption production unit. This solution will greatly contribute to the achievement of Portugal's 2030 to 2050 goals.

Key words: Self-Consumption, Photovoltaic Production, Energetic Transition, Economic Viability, Battery, Network.

Agradecimentos

Quero deixar o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam nesta etapa da minha vida.

Ao meu orientador, o Professor Doutor José Rui Ferreira, agradeço a orientação, a partilha de conhecimentos e o tempo generosamente despendido que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos e colegas que me acompanharam neste percurso, obrigada pela amizade e por todas as vivências.

Aos meus pais e aos meus irmãos por todo o apoio, motivação e paciência que tiveram comigo ao longo deste percurso.

Ao Vítor, pelos seus conselhos e apoio ao longo do curso.

A todos muito obrigada!

Rafaela Machado

“... cada um de nós é como um homem que vê as coisas num sonho e acredita conhecê-las
perfeitamente, e então desperta para descobrir que não sabe nada...!”

Platão

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vi
Índice	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos.....	xvi
Capítulo 1	18
Introdução	18
1.1 - Enquadramento e Motivação	18
1.2 - Objetivos.....	21
1.3 - Estrutura da Dissertação.....	21
Capítulo 2	22
Estado da arte	22
2.1- Setor Fotovoltaico	22
2.2.- Contexto Legislativo	25
2.3- Sistema fotovoltaico - Autoconsumo	35
2.4- Vantagens do Autoconsumo	40
2.5- Tecnologias de Armazenamento	43
Capítulo 3	59
Metodologia e Casos de Estudo	59
3.1- Especificações do sistema de autoconsumo fotovoltaico	59
3.2- Tarifário.....	62
3.3- Perfil de consumo.....	64
3.4- Perfil de Produção Fotovoltaica	66
3.5- Metodologia utilizada	70
3.6- Indicadores Económicos.....	75
3.7- Conclusões	76
Capítulo 4	77

Análise e Discussão de Resultados	77
4.1- Cenário de Estudo 1	77
4.2- Cenário de Estudo 2	89
4.3- Conclusões.....	98
Capítulo 5	99
Conclusão e Trabalho futuro	99
Referências	101
Anexos	105

Lista de figuras

Figura 1.1 - Radiação solar na europa [5].....	19
Figura 2.1 - Evolução da capacidade instalada total solar no mundo [6].....	23
Figura 2.2 - Capacidade dos 10 principais mercados solar FV europeus no ano 2018 e 2023 [6].....	24
Figura 2.3 - Evolução da potência instalada em Portugal Continental [7].....	25
Figura 2.4 - Progresso desde o ano 2006 até 2015 da pequena produção de energia elétrica [10].....	26
Figura 2.5 - Custo médio dos sistemas PV em situações residenciais [20].....	35
Figura 2.6 - Sistema de autoconsumo autónomo, adaptada de [26]	36
Figura 2.7 - Perfil de consumo e produção de um sistema de autoconsumo fotovoltaico, com armazenamento [28]	38
Figura 2.8 - Esquema de autoconsumo sem injeção na RESP [29]	38
Figura 2.9 - Evolução do LCOE (USD/kWh) para os diversos sistemas de produção de energia entre os anos 2010 e 2017 [34].....	41
Figura 2.10 - Paridade da rede no setor doméstico [35]	42
Figura 2.11 - Âmbito de aplicação de tecnologias de sistemas de armazenamento de energia [40].....	45
Figura 2.12 - Perfil de descarga de baterias secundárias convencionais [45].....	52
Figura 2.13 - Comparação de desempenho de sistemas de baterias em estudo [45]	53
Figura 2.14 - Influência da temperatura na densidade de energia em baterias secundárias [45].....	54
Figura 2.15 - Retenção da capacidade das baterias secundárias [45].....	55
Figura 2.16 - Efeito da DOD no ciclo de vida das baterias [45]	56

Figura 2.17 - Característica típica de carga dos sistemas de baterias secundárias [45]	57
Figura 2.18 - Características de carga de baterias de íões de lítio. [45].....	58
Figura 3.1 - Produção fotovoltaica em janeiro e julho para diferentes potências através da utilização de painéis de 190 W	69
Figura 3.2 - Produção referente a um dia de inverno e a um dia de verão para potência de instalação de 380 W	69
Figura 3.3 - Representação da transição dos fluxos energéticos para um sistema de autoconsumo FV sem sistema de armazenamento. Adaptado de [58]	71
Figura 3.4 - Representação da transição dos fluxos energéticos para um sistema de autoconsumo FV com sistema de armazenamento. Adaptado de [58]	71
Figura 4.1 - Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de 870 W	80
Figura 4.2 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W	81
Figura 4.3 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W com bateria	83
Figura 4.4 -Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W com bateria	84
Figura 4.5 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W considerando a rede como sistema de armazenamento	87
Figura 4.6 - Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W considerando a rede como sistema de armazenamento	88
Figura 4.7 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W	91
Figura 4.8 - Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W.....	91
Figura 4.9 - Caso 2: Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W com bateria.....	94
Figura 4.10 - Caso 2: Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W com bateria	95
Figura 4.11 - Caso 2: Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 1160 W considerando a rede como sistema de armazenamento	97
Figura 4.12- Caso 2: Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 1160 W considerando a rede como sistema de armazenamento	98

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Principais características do autoconsumo [11]	28
Tabela 2.2 - Valor referente à recuperação dos custos de interesse económico geral VCIEG, 2019 para 2019 [16]	30
Tabela 2.3 - Principais requisitos exigidos à UPAC [11]	32
Tabela 2.4 - Classificação das tecnologias de armazenamento de energia eléctrica [40]	44
Tabela 2.5 - Vantagens e desvantagens das baterias ácido-chumbo [45] [47]	47
Tabela 2.6 - Vantagens e desvantagens das baterias NiCd [44] [45] [47]	48
Tabela 2.7 - Vantagens e desvantagens das baterias NiMH [51]	49
Tabela 3.1 - Preços do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento.....	62
Tabela 3. 2 - Tarifa transitório de venda a clientes finais em BTN [56].....	63
Tabela 3.3 - Consumos mensais e encargos para o perfil de consumo 1 em estudo no período de um ano.....	64
Tabela 3.4 - Consumos mensais e encargos para o perfil de consumo 2 em estudo no período de um ano.....	65
Tabela 3.5 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 190 W para a região do Porto	66
Tabela 3.6 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 210 W para a região do Porto	67
Tabela 3.7 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 290 W para a região do Porto	67
Tabela 3.8 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 310 W para a região do Porto	68

Tabela 4.1 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 190 W e 210 W.	78
Tabela 4.2 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis 290 W e 310 W.	78
Tabela 4.3 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 190 W e 210 W.....	82
Tabela 4.4 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 290 W e 310 W.....	82
Tabela 4.5 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W	86
Tabela 4.6 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W	86
Tabela 4.7 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 190 W e 210 W	89
Tabela 4.8 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 290 W e 310 W	90
Tabela 4.9 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 190 W e 210 W.....	92
Tabela 4.10 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 290 W e 310 W.....	93
Tabela 4.11 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W	96
Tabela 4.12 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W	96
Tabela A.1 Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 190W e 210W	105
Tabela A. 2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 290W e 310W	106
Tabela B. 1 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 190 W e 210W	107
Tabela B.2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 290 W e 310W	108
Tabela C.1 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W	109
Tabela C.2 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W	110

Tabela D.1 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis 190 W e 210 W	111
Tabela D.2 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis 290 W e 310 W	112
Tabela E.1 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis de 190 W e 210 W	113
Tabela E.2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis de 290 W e 310 W	114
Tabela F.1 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W	115
Tabela F. 2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W	116

Abreviaturas e Símbolos

BT	Baixa Tensão
BTN	Baixa Tensão Normal
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
CIEG	Custo de Interesse Económico Geral
CUR	Comercializador de Último Recurso
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DOD	<i>Depth of Discharge</i>
EU	<i>European Union</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FV	Fotovoltaico
FIT	<i>feed-in-tariff</i>
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
ISE	<i>Institute for Solar Energy systems</i>
LCOE	<i>Levelized Cost Of Electricity</i>
Li-ion	lões de Lítio
MT	Média Tensão
MTR	Metais de Terras Raras
NiCd	Níquel Cádmio
NiMH	Níquel Hidreto Metálico
O&M	Operação e Manutenção
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
ORD	Operador da Rede de Distribuição
Pb	Chumbo
PbO ₂	Dióxido de Chumbo
PNEC	Plano Nacional Energia Clima

PRI	Período de Recuperação do Investimento
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
UE	União Europeia
UP	Unidade de Produção
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidades de Pequena Produção
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
RESP	Rede do Sistema Elétrico de Serviço Público
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SERUP	Sistema Eletrónico de Registos de Unidades de Produção
SoC	<i>State of Charge</i>
VAL	Valor Atualizado Líquido

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Enquadramento e Motivação

Dadas as circunstâncias do contexto climático atual, é imperativa a mudança do paradigma do setor energético. Esta alteração requer um processo de transição energética, recorrendo a fontes de produção renováveis de modo a abandonar os combustíveis fósseis como fonte de produção.

Torna-se por isso fundamental encontrar mecanismos que permitam dar resposta às necessidades energéticas impostas pela sociedade, mas por outro lado, garantir que o seu fornecimento seja feito de forma sustentável. A aposta no setor das fontes de energia renováveis tem tido uma expansão notável, o que permite obter resultados favoráveis no que respeita à redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e à diminuição da dependência energética do mercado dos combustíveis fósseis [1]. A União Europeia (UE) e consequentemente os Estados Membros têm reunido esforços no que concerne à aplicabilidade de legislação com vista à promoção das energias renováveis, destacando-se, o Pacote Energia Clima 2030, o Pacote Mobilidade Limpa e o Pacote Energia Limpa para todos os Europeus, sendo que atualmente já se encontra em debate o quadro político a aplicar para o horizonte pós-2030 [2]. Desta forma, é possível destacar algumas das metas propostas a alcançar até 2030 conforme o documento “Plano Nacional Integrado Energia e Clima 2021-2030”, a saber: “(i) 32% de quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto, (ii) 32,5% de redução do consumo de energia, (iii) 40% de redução das emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990.” [1]

Alinhado com as políticas europeias, Portugal comprometeu-se a atingir a neutralidade carbónica até 2050, tendo desenvolvido o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050.

De modo a atingir os objetivos delimitados para 2050, é necessário adotar um novo modelo económico sustentado nos recursos renováveis, utilizando-os de forma eficiente. O setor da energia tem um papel fundamental na promoção e cumprimento das metas estabelecidas nos acordos principalmente, no que respeita ao contexto da transição para uma sociedade descarbonizada. As políticas implementadas em Portugal são focadas na utilização dos recursos endógenos renováveis no sistema electroprodutor português [1]

Uma das principais apostas de Portugal tem sido na energia solar. Na Figura 1.1 está representada a radiação solar na europa [5].

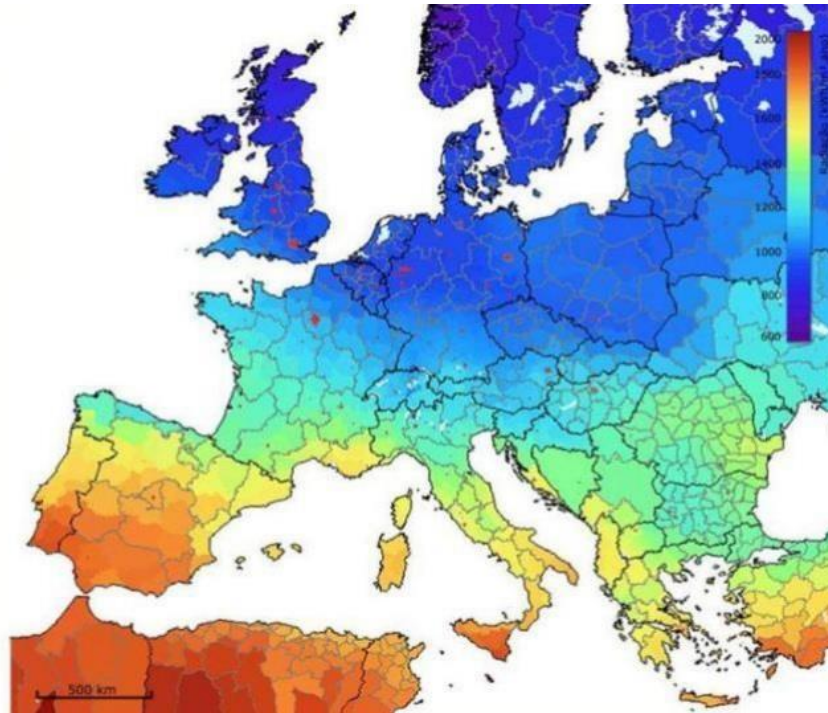


Figura 1.1 - Radiação solar na europa [5]

De facto, através da análise da Figura 1.1, é possível concluir que Portugal é um dos países com melhores condições de aproveitamento para o recurso solar. Portugal dispõem de cerca de 2200 a 3000 horas de sol por ano [3]. Aliado a este facto e aos preços competitivos da tecnologia Fotovoltaica (FV), a produção de energia através da fonte solar traduz uma solução viável no que respeita à transição energética.

O ano de 2019 destaca-se pelo desenvolvimento e implementação de novos incentivos em matéria do setor da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis em Portugal. Nesse mesmo ano, 56% da produção de energia teve como fonte principal recursos renováveis,

correspondendo a 27,3 TWh da geração total de energia elétrica, sendo que 2,2% desse total é proveniente de fonte solar [4].

A par da inovação tecnológica a utilização das fontes endógenas renováveis como principais fontes de produção de energia, implica a aposta cada vez maior na participação ativa do consumidor, enquanto papel de consumidor/ produtor de energia, pois, escolhas mais eficientes e sustentáveis representam um consumidor mais ativo na transição energética, contribuindo para alcançar as metas que permitirão concretizar a neutralidade carbónica em 2050. Aliado às mudanças do setor energético, o novo paradigma deste setor foca-se no modelo da rede elétrica do futuro que engloba todas as novas variáveis, tais como: redes e contadores inteligentes, melhoria das redes de transporte e distribuição, produção de energia próxima do local de consumo, tecnologia de armazenamento, entre outros [1].

O Decreto-lei n.º 153/2014 e ampliação de conceitos e objetivos de acordo com a diretiva europeia 2018/2001 expressos no Decreto-lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, permitiram estimular o papel do consumidor no que toca à transição energética que: “(i) possibilite e fomente o autoconsumo individual; (ii) possibilite e fomente o autoconsumo coletivo; (iii) possibilite a constituição de comunidades de energia.” [1]

Por outro lado, aliada às políticas para o autoconsumo, a evolução tecnológica dos sistemas de armazenamento, permite apoiar a integração de fontes de energia renovável como principal fonte de produção de energia, uma vez que estas fontes apresentam um carácter intermitente. Desta forma, é possível armazenar a energia excedente da produção fotovoltaica para utilização posterior, tornando esta solução atrativa do ponto de vista da poupança e do ambiente. Contudo, os preços elevados desta tecnologia de armazenamento tornam-na de baixa aplicabilidade, portanto, uma solução possível para mitigar este problema será considerar a rede como o sistema de armazenamento, assegurando vantagens para o consumidor bem como para o cumprimento das metas assumidas por Portugal.

1.2 - Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar e analisar a viabilidade económica de um sistema fotovoltaico para autoconsumo no setor residencial com sistema de armazenamento. Através da análise dos perfis de consumo dos edifícios residenciais, serão avaliadas as influências de diferentes capacidades instaladas da UPAC e qual a interferência da utilização de baterias e da rede como sistema de armazenamento na poupança e rentabilidade financeira obtida através da utilização destes dois sistemas.

Os dados e simulações tratadas serão realizadas com recurso a uma folha de cálculo elaborada recorrendo ao *Microsoft Office Excel*.

1.3 - Estrutura da Dissertação

Para além do capítulo 1, onde se encontram os seguintes tópicos: Enquadramento e Motivação e Objetivos. A presente dissertação é composta por mais 4 capítulos.

No capítulo 2, está apresentado o estado da arte da temática em estudo. Neste capítulo são mencionados todos os aspetos teóricos relativos ao desenvolvimento do trabalho, nomeadamente, questões teóricas alusivas ao autoconsumo, como por exemplo, benefícios, tipos de autoconsumo e legislação aplicável. Focou-se a legislação existente, tanto a nível nacional, como a nível europeu, relativamente à produção aplicada ao autoconsumo. Adicionalmente, efetuou-se uma contextualização dos conceitos teóricos referentes à tecnologia utilizada para armazenamento de energia.

No capítulo 3, apresenta-se a metodologia aplicada para os diferentes contextos em estudo, relativamente à viabilidade económica da utilização de sistemas de armazenamento de energia bem como da utilização da rede como sistema de armazenamento.

Do capítulo 4, consta a análise das conclusões obtidas, face ao estudo dos casos apresentados no capítulo 3.

No capítulo 5, encontram-se as principais conclusões e análises obtidas ao longo do trabalho referenciando-se os desenvolvimentos futuros a serem tratados no âmbito do tema abordado.

Capítulo 2

Estado da arte

2.1- Setor Fotovoltaico

2.1.1- Perspetiva Global

O enquadramento da produção e consumo de energia exige que se mencione o seu impacto nas alterações climáticas e na sustentabilidade ambiental e social. Pretende-se um abastecimento de energia seguro, fiável e barato sem, no entanto, pôr em causa a sustentabilidade ambiental. As energias renováveis contribuem para uma resposta eficaz a esta problemática. Em particular os sistemas fotovoltaicos, são das tecnologias que mais se têm desenvolvido e crescido ao longo dos últimos anos, a nível mundial. O ano de 2018 destaca-se como sendo o período da história, em que se ultrapassou, pela primeira vez, o limite de 100 GW de instalações solares anuais atingindo uma capacidade acumulada de mais de 500 GW. Nesse ano, esta tecnologia registou a maior inclusão de capacidade global [6]. A Figura 2.1 representa a evolução anual da capacidade instalada de sistemas FV a nível mundial.

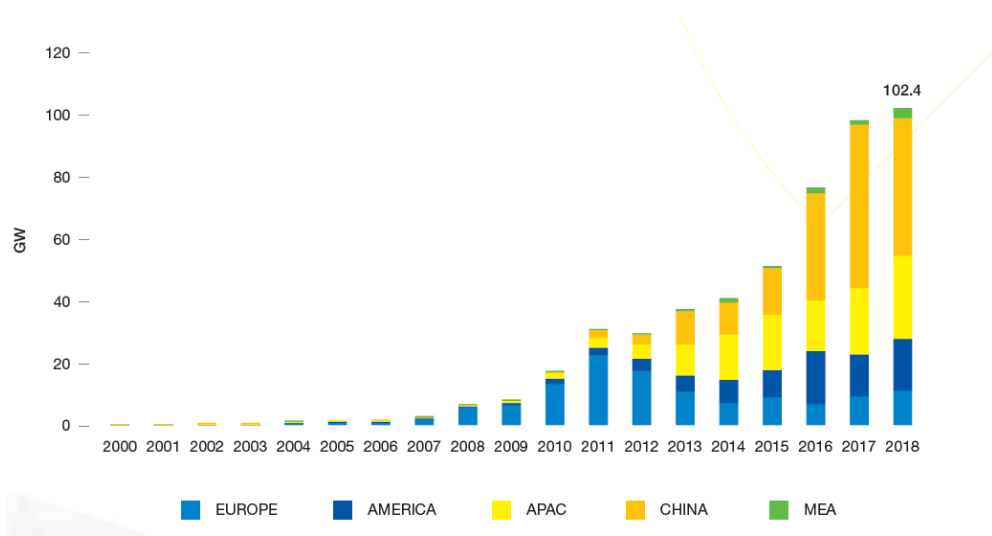


Figura 2.1 - Evolução da capacidade instalada total solar no mundo [6]

Paralelamente, os custos de produção de energia solar, de acordo com informação da Lazard Capital, diminuíram 14% no ano de 2018, conduzindo a um preço de energia de 0,2 USD por kWh [6]. Contudo, a par da diminuição dos custos de produção, é necessário criar políticas estruturais que suportem o investimento neste tipo de tecnologias. A China é um país de referência neste âmbito e lidera a lista de países com maior capacidade total instalada de sistemas fotovoltaicos até 2018. Embora, nesse ano tivessem sido instalados 45 GW, 16% menos do que no período homólogo, devido à diminuição dos incentivos às tarifas feed-in por parte da administração chinesa.

Inversamente, a Europa registou um aumento da capacidade instalada de sistemas FV, 21% acima dos 9,3 GW instalados no ano 2017, impulsionado pela política europeia para os objetivos 2020 [6].

Embora a capacidade de instalação solar tenha atingido valores impressionantes, estes resultados são muito aquém dos atingíveis, dado o potencial da tecnologia e do recurso solar. Em termos percentuais verificou-se que a tecnologia FV contribui apenas em cerca 2,6% para a procura de eletricidade do mundo.

Em termos prospetivos para a capacidade instalada de sistema FV na Europa, para o período 2019-2023, estima-se que a Alemanha continue a liderar a lista de países europeus com maior capacidade, seguindo-se a Espanha e a Holanda (Figura 2.2) em consequência dos desenvolvimentos aos incentivos das tecnologias solares nestes dois países que antecipam um forte aumento da procura até 2023. Estima-se que a Espanha ligue à rede 19,5 GW e a Holanda 15,9 GW. No total, é esperado que os países europeus acrescentem 129,2 GW nos próximos 5 anos [6].

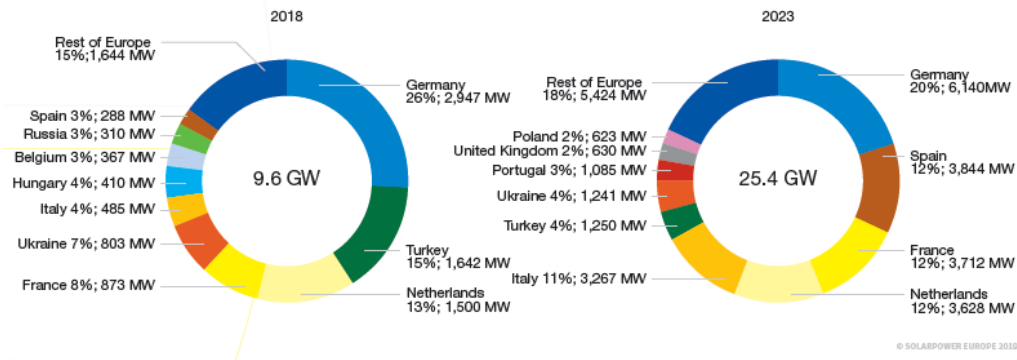


Figura 2.2 - Capacidade dos 10 principais mercados solar FV europeus no ano 2018 e 2023 [6]

2.1.2- Perspetiva nacional

Enquanto membro da UE, Portugal está totalmente comprometido com as suas políticas energéticas, principalmente no que toca a alcançar a neutralidade carbónica em 2050. De forma a promover uma transição energética, assente na descarbonização completa do setor electroprodutor, Portugal tem apostado fortemente na produção de eletricidade com recurso a fontes de energia endógena renováveis. Para isso foi estabelecido o Plano Nacional Energia Clima (PNEC) que delineou um conjunto de medidas em matéria de energia e clima para o horizonte 2021-2030. Segundo o PNEC, Portugal prevê aumentar a aposta na produção de energia a partir de fonte solar, como uma solução para a transição energética. Paralelamente, os preços competitivos da tecnologia FV, comparativamente com soluções convencionais, conjugados com a abundância do recurso, fazem desta fonte de energia uma solução viável [1].

Analisando a Figura 2.3, verifica-se que nos últimos 9 anos a tecnologia com maior crescimento foi a fotovoltaica, evoluindo de 134 MW para 759 MW de potência instalada em junho de 2019 [7]. Destaca-se que, desde 2014, houve a entrada em funcionamento de 12 centrais fotovoltaicas de concentração, totalizando uma potência de 17 MW, estando mais próximo de atingir o objetivo de 2020 - triplicar a capacidade instalada face ao ano de 2014 [8].

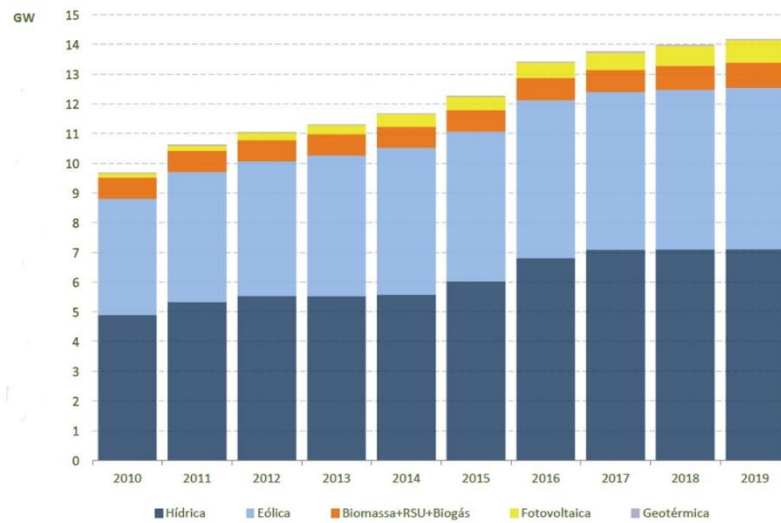


Figura 2.3 - Evolução da potência instalada em Portugal Continental [7]

2.2.- Contexto Legislativo

Em Portugal, a regulamentação do regime de produção distribuída e instalações de pequena potência inicia-se através do Decreto-lei n.º 68/2002, de 25 de março. Este decreto articula com a Portaria n.º 764/2002, de 1 de julho que estabelece o regime remuneratório da entrega da produção de eletricidade em baixa tensão à rede pública e implementa o Programa E4 - Programa para a Eficiência Energética e Energias Renováveis, que visa um conjunto de objetivos de política energética, para a otimização dos recursos endógenos, o aumento da eficiência energética e atualização dos equipamentos e sistemas tecnológicos do sistema energético nacional. Assim, verificou-se uma adequação da legislação existente a fim de integrar novas soluções de produção descentralizada de energia e de inovação tecnológica. Esta nova perspetiva apresenta o produtor-consumidor de energia elétrica em baixa tensão (ou do produtor em autoconsumo), cujas entregas à rede da energia excedente de produção não devem representar menos valias para o produtor. Portanto, o decreto referido anteriormente é particularmente relevante porque estabelece o regime dos direitos e deveres dos produtores-consumidores no panorama da produção de energia pois define a produção com autoconsumo de energia elétrica como a atividade de produção em que, pelo menos 50% da energia elétrica produzida é destinada a consumo próprio ou de terceiros [9].

Apesar disso, com o Decreto-lei n.º 363/2007, de 2 de novembro, dá-se início à fundamentação do regime atual que sustenta a produção de energia elétrica através de unidades de produção (UP). Este decreto sofreu várias versões nomeadamente no que respeita à introdução de leilões de potência, aos ajustes dos modelos de produção, à injeção em média tensão, ao autoconsumo, à adaptação à introdução do mercado liberalizado e aos limites à

aplicação do regime remuneratório. Nas suas diversas redações estão também contemplados os regimes remuneratórios, em especial o bonificado, numa clara intenção de ajustar o esforço do Estado na promoção da produção distribuída, garantindo uma remuneração *feed-in-tariff* (FIT) face à diminuição do investimento dos pequenos produtores. O Decreto-lei n.º 363/2007 visava particularmente os pequenos consumidores pelo que se verificou a necessidade de nova legislação, o Decreto-lei n.º 34/2011 (alterado pelo Decreto-de-Lei n.º 25/2013 de 19 de fevereiro), para enquadrar legalmente os grandes consumidores através da miniprodução.

A Figura 2.4 apresenta a evolução das tecnologias de utilização das Fontes de Energia Renovável (FER) para a produção de eletricidade anteriores ao Decreto-lei 153/2014. Com o Decreto-lei nº153/2014, era esperado um crescimento de 30 MW/ano [10].

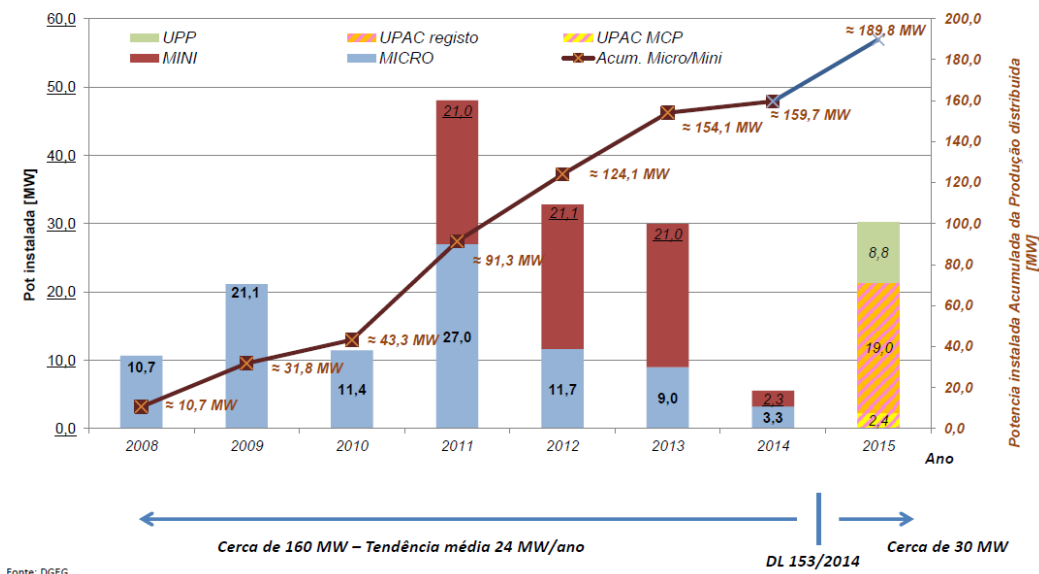


Figura 2.4 - Progresso desde o ano 2006 até 2015 da pequena produção de energia elétrica [10]

2.2.1- Decreto-lei nº 153/2014, de 20 de outubro

O Decreto-lei n.º 153/2014, impulsionou e viabilizou a atividade de produção distribuída em Portugal. Este contexto jurídico veio introduzir os regimes referentes às Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) e Unidades de Pequena Produção (UPP). Esta legislação permitiu, entre outras, viabilizar a sustentabilidade técnica do Sistema Elétrico Nacional (SEN), promover o desenvolvimento ordenado da atividade e permitir a injeção de excedentes na Rede do Sistema Elétrico de Serviço Público (RESP), validar as novas instalações em função das necessidades de consumo verificadas no local e clarificar o modelo da mini e microprodução garantindo que as entidades com perfis de consumo menos constantes sejam enquadradas no regime de produção distribuída [11].

Com a entrada em vigor deste diploma foram revogados [12]:

- O Decreto-lei nº363/2007, de 2 de novembro na redação do Decreto-lei nº 25/2013, de 19 de fevereiro, referente à microprodução;
- O Decreto-lei nº34/2011, de 8 de março na redação do Decreto-lei nº 25/2013, de 19 de fevereiro, referente à miniprodução;
- Apesar da revogação dos decretos anteriores, os regimes remuneratórios das unidades de microprodução e miniprodução que deles estejam a usufruir, mantêm as condições existentes.

Não obstante, no ano de 2019 foi introduzido o novo Decreto-lei nº 76/2019, de 3 de junho, que altera e revoga parcialmente o Decreto-lei nº 153/2014 no que respeita à produção de eletricidade através de unidades de pequena produção.

Recentemente foi transposta parcialmente a diretiva europeia 2018/2001 para o Decreto-lei n.º 162/2019, de 25 de outubro, que se refere à promoção da utilização de energia de fontes renováveis e realça a importância do autoconsumo de eletricidade renovável criando os conceitos de autoconsumidores de energia renovável e de autoconsumidores de energia renovável que atuam coletivamente, bem como de comunidades de energia renovável. Tal relevo ao papel destas entidades visa desonerar os encargos relacionados com todas as atividades inerentes ao investimento realizado [13].

2.2.1.1- Unidades de Produção para Autoconsumo

As UPAC permitem a produção de energia elétrica de modo a satisfazer as necessidades energéticas do local de instalação, ou seja, para autoconsumo, a partir de tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, com a condição de que a produção de energia excedente, seja vendida à RESP [12].

A Tabela 2.1, faz referência às principais características dos sistemas de autoconsumo conforme documento “ Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída” [11].

Tabela 2.1 - Principais características do autoconsumo [11]

Autoconsumo	
Fonte	<ul style="list-style-type: none"> Renovável e Não Renovável
Limite Potência	<ul style="list-style-type: none"> Potência de ligação <100% da potência contratada na instalação de consumo
Requisitos Produção	<ul style="list-style-type: none"> Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo; Venda do excedente instantâneo ao CUR;
Remuneração	<ul style="list-style-type: none"> Valor da “pool” para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos; Numa base anual, o excedente produzido face às necessidades de consumo não remunerado;
Compensação	<ul style="list-style-type: none"> Entre 30% e 50% do respetivo valor dos CIEG quando a potência acumulada de unidades de autoconsumo exceda 1% da potência instalada no SEN
Contagem	<ul style="list-style-type: none"> Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5 kW
Processo Licenciamento	<ul style="list-style-type: none"> Processo gerido via plataforma eletrónica; Mera comunicação prévia: Entre 200W - 1,5kW; Registo e certificado de exploração: Entre 1,5 kW e 1 MW; Licença de produção e exploração: >1MW;
Outros aspetos	<ul style="list-style-type: none"> Não existe quota de atribuição

2.2.1.1.1- Remuneração da UPAC

De acordo com a Tabela 2.1, o preço de venda do excesso de produção à RESP é o da “pool” deduzido de 10% (para compensar custos com injeção). O cálculo da remuneração encontra-se apresentado em (1) [14].

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} * OMIE_m * 0,9 \quad (1)$$

Onde:

- $R_{UPAC,m}$ - A remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês “m”, em €;
- $E_{fornecida,m}$ - A energia fornecida no mês “m”, em kWh;
- $OMIE_m$ - 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;
- m - O mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP;

Segundo a referida legislação, “As UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e cuja instalação elétrica de utilização se encontre ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de uma compensação mensal fixa, nos primeiros 10 anos após obtenção do certificado de exploração”, calculada com base na seguinte expressão (2) [14].

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} * V_{CIEG,t} * K_t \quad (2)$$

Sendo:

- $C_{UPAC,m}$ - A compensação paga no mês “m” por cada kW de potência instalada;
- P_{UPAC} - Valor de potência instalada da UPAC constante no respetivo certificado de exploração;
- $V_{CIEG,t}$ - O valor que permite recuperar os Custos de Interesse Económico Geral (CIEG) da respetiva UPAC, medido em € por kW, determinados no ano t;
- K_t - O coeficiente de ponderação, entre 0% e 50%, a aplicar ao $V_{CIEG,t}$ tendo em consideração a representatividade da potência total registada das UPAC no SEN, no ano t;
- t - O ano de emissão do certificado de exploração da respetiva UPAC;

A expressão que se segue permite calcular o valor de $V_{CIEG,t}$ [14].

$$V_{CIEG,t} = \sum_{n=0}^2 (CIEG_{i(t-n)}^p) * \frac{1}{3} + \sum_{n=0}^2 (CIEG_{i,h(t-n)}^e) * \frac{1}{3} * \frac{1.500}{12} \quad (3)$$

Em que:

- $CIEG_i^p$ - Corresponde ao somatório do valor das parcelas “i” do CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, medido em € por kW, para o nível de tensão da respetiva UPAC, constante nos documentos de suporte da proposta de fixação de tarifas, publicados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) para o ano “t-n”;
- $CIEG_{i,h}^e$ - Corresponde ao somatório, da medida aritmética simples do valor para os diferentes períodos horários “h” de cada uma das parcelas “i” dos CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3º da Portaria nº 332/2012, de 22 de outubro, medido em € por kWh, para o nível de tensão respetiva UPAC, constante nos documentos de suporte da proposta de fixação de tarifas, publicados pela ERSE para o ano “t-n”;
- i - Refere-se a cada uma das alíneas do n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;
- h - Corresponde ao período horário de entrega de energia elétrica aos clientes finais, tal como definido na Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;
- t - Corresponde ao ano de emissão do certificado de exploração da respetiva UPAC;

Encontram-se na Tabela 2.2, os valores de $V_{CIEG,2019}$ em (€/kW), relativo ao ano de 2019, conforme o Decreto-lei no 153/2014, de 20 de outubro.

Tabela 2.2 - Valor referente à recuperação dos custos de interesse económico geral $V_{CIEG,2019}$ para 2019 [16]

Nível de tensão/Tipo de fornecimento	$V_{CIEG,2019}$ (€/kW) /mês
AT	3,130
MT	4,080
BTE	5,485
BTN <20,7 kVA	5,432
BTN ≤ 20,7 kVA	7,517

Ainda de acordo com o mesmo Decreto-lei, o coeficiente K_t assume os seguintes valores [14]:

- $K_t = 50\%$, caso o total acumulado de potência registada de UPAC, no âmbito do regime de autoconsumo, exceda 3% do total da potência instalada de centro electroprodutores do SEN;
- $K_t = 30\%$, no caso total acumulado de potência instalada de UPAC, no âmbito do regime de produção de electricidade em autoconsumo, se situe entre 1% e 3% do total da potência instalada de centro electroprodutores do SEN;
- $K_t = 0\%$, caso o total acumulado de potência instalada de UPAC, no âmbito do regime de autoconsumo, seja inferior a 1% do total de potência instalada de centro electroprodutores do SEN;

2.2.1.1.2- Processo de Licenciamento

Para instalar uma Unidade de Produção (UP) é necessário o registo de exploração na Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), através do Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP). O SERUP fiscaliza as unidades de produção e aprova os pedidos de registo, autorização da instalação, realização da inspeção, emissão do certificado de exploração e eventualmente, dá apoio à celebração do contrato de venda com o Consumidor de Último Recurso (CUR) [17].

A aprovação do processo realiza-se em várias etapas. No caso de uma UPAC de potência instalada superior a 1,5 kW e inferior a 1MW, as fases a respeitar são [11] [17]:

1. Pedido de registo no SERUP;
2. Pagamento das taxas respetivas (registo/inscrição e inspeção) à DGEG;
3. Aceitação do pedido por parte da DGEG;
4. Instalação da UPAC;
5. Pedido de inspeção e realização da mesma (até 18/24 meses após instalação);
6. Inspeção (Necessidade de reinspeção em caso de não conformidade);
7. Emissão do certificado de exploração;
8. Contrato com CUR para venda de energia (opcional);
9. Ligação da UPAC à instalação de consumo e à RESP através do CUR quando aplicável;

Na Tabela 2.3 apresentam-se sumariamente os principais requisitos exigidos às UPAC.

Tabela 2.3 - Principais requisitos exigidos à UPAC [11]

	Dimensão das UPAC ligadas à RESP (Potência de ligação)				
	<200	>200 e \geq 1500 W	\leq 1,5 kW e \geq 1 MW	>1MW	“em ilha”
Registo	-	Mera comunicação prévia	Controlo prévio/certificado de exploração	Licença de Exploração	Mera comunicação prévia
Taxa de registo	-	Isento	✓	✓ Aplicável ao respetivo regime	Isento
Equipamento de contagem	-	-	Sim. Com Telecontagem	Sim. Com Telecontagem	-
Remuneração excedente (“Pool”)	(apenas se existir registo)	(apenas se existir registo)	✓	(terá de ser definida com contraparte)	-
Compensação Seguro	Isento	Isento	✓	✓	-
Responsabilidade Civil	-	-	✓	✓	-

2.2.1.2- Unidade de Pequena Produção

Unidades de Pequena Produção (UPP), são instalações destinadas à produção de eletricidade a partir de energias renováveis, cuja potência de ligação à rede seja igual ou inferior a 250 kW, sendo que esta não pode ser superior a 100% do valor da potência contratada no local. Estas unidades produzem energia cuja finalidade é a venda à RESP a tarifa licitada em mercado [11] [12] [14].

Mediante as medidas acessórias implementadas a potência a atribuir às UPP varia em função das seguintes categorias de acordo com o artigo 30.º do capítulo IV do Decreto-lei n.º 153/2014 [14]:

- Categoria I - Produtor pretende proceder apenas à instalação de uma UPP
- Categoria II - Produtor que, para além da instalação de uma UPP, pretende instalar no local de consumo associado àquela, tomada elétrica para o carregamento de veículos elétricos
- Categoria III - Produtor que, para além da instalação de uma UPP, pretende instalar no local de consumo associado àquela, coletores solares térmicos com um mínimo de 2 m² de área útil de coletor ou de caldeira a biomassa.

2.2.1.2.1- Remuneração de Unidade de Pequena Produção

A remuneração da energia elétrica ativa produzida pelas UPP e entregue à RESP é atribuída em leilão, neste os licitadores oferecem descontos na tarifa de referência em função da categoria atribuída. A tarifa de referência para cada categoria é estabelecida anualmente mediante despacho do secretário de estado da energia, que pode ser atualizada por portaria a fim de assegurar que a pequena produção se adequa aos objetivos da política energética em função da evolução dos mercados ou de outras políticas setoriais. A tarifa de remuneração não é acumulável com outro tipo de incentivo à produção da eletricidade produzida em regime especial. Os produtores ficam vinculados ao regime selecionado durante o prazo de vigência da respetiva tarifa. A tarifa de remuneração é atribuída por um período de 15 anos, a partir da data de início de fornecimento de energia elétrica à RESP. Após termo do período de 15 anos a energia produzida passa a ser remunerada no regime geral de produção em regime especial [14].

A contagem da eletricidade produzida é feita por telecontagem, mediante contador bidirecional ou contador que assegure a contagem líquida dos dois sentidos, autónomo do contador da instalação de consumo. O sistema de contagem de eletricidade deve estar acessível a todos os intervenientes. O CUR e o Operador da Rede de Distribuição (ORD) devem comunicar à ERSE as informações necessárias para aferir sobre a correta intervenção de cada interveniente.

Para situações em que a contagem de energia é feita em Baixa Tensão (BT) e os consumidores estejam registados em Média Tensão (MT) as ligações da UPP podem ser feitas em BT desde que localizadas antes do contador de consumo para permitir a separação da instalação de produção e da de consumo [15].

2.2.1.2.1.1- Processo de licenciamento

Através da plataforma eletrónica SERUP, a DGEG gere o processo de licenciamento das UPP. Tal como para o licenciamento das UPAC, o licenciamento das UPP exige o cumprimento das mesmas etapas exceto que, após o pagamento da taxa de exploração, o produtor está sujeito ao leilão de atribuição de potência e tarifa remuneratória correspondente [16].

2.3- Sistema fotovoltaico - Autoconsumo

O autoconsumo, isto é, a produção de energia elétrica através de um sistema FV para consumo próprio, tem-se revelado uma solução cada vez mais atrativa nos mercados de energia em todo o mundo, pelo estímulo do desenvolvimento da tecnologia, por marcos regulatórios e apoios à geração de eletricidade a partir de fontes renováveis [18] [19].

Os dados apresentados na Figura 2.5, resultam de um estudo realizado pela universidade de Viena que coloca em evidência a tendência decrescente do custo médio do sistema FV em situações residenciais, para o horizonte até 2030 [20].

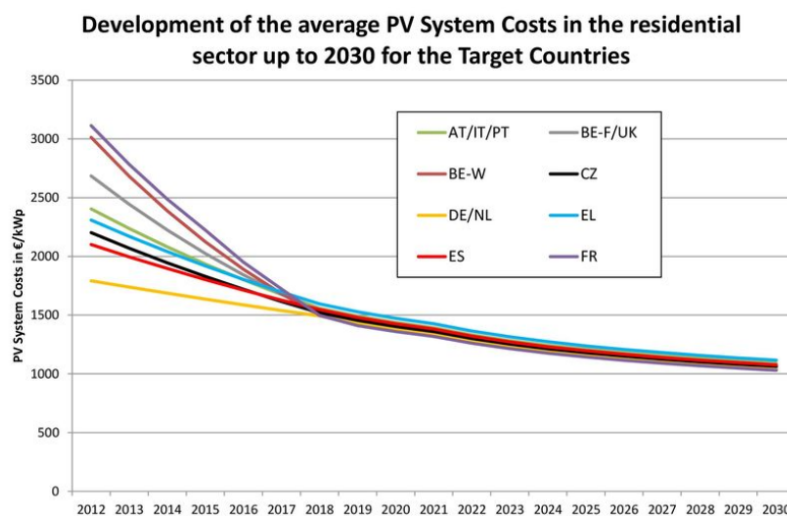


Figura 2.5 - Custo médio dos sistemas PV em situações residenciais [20].

Não obstante, é possível aumentar o desempenho e a viabilidade dos sistemas de autoconsumo via sistemas de armazenamento, resultando num abatimento maior da fatura da energia elétrica. Estima-se que a prestação dos sistemas de autoconsumo FV suba entre 13% e 24% com o recurso adicional a sistemas de armazenamento [21].

Por outro lado, tendo em conta a oscilação das FER, a diversidade de perfis de consumo e os esquemas tarifários de compra e venda de energia elétrica exigem:

- Um dimensionamento do sistema adaptado às necessidades energéticas do local de instalação;
- Ligação à RESP e/ou recurso a sistemas de armazenamento;
- Gestão flexível;

a fim de otimizar os benefícios económicos e energéticos para o consumidor.

A partir da definição de autoconsumo, surgiu o conceito de “*prosumer*¹” (producers e consumers), e, por conseguinte, o termo “*prosumage*¹”. *Prosumage*, (producers, consumers e storage) conjuga três conceitos: produtor de energia elétrica recorrendo a sistema FV, consumidor e sistema de armazenamento, no local da instalação [21].

2.3.1- Tipos de autoconsumo

2.3.1.1- Sistemas de autoconsumo autónomos

Os sistemas autónomos são sistemas que não estão ligados à RESP, de forma a tornar viável esta solução de autoconsumo, é por isso necessário, recorrer a tecnologias de armazenamento [22] e proceder ao correto dimensionamento dos sistemas FV, bem como, dos sistemas de armazenamento, de modo a responder aos requisitos da instalação no que concerne à capacidade. Este tipo de solução é usado prioritariamente em locais cuja ligação à rede de distribuição de eletricidade em BT seja de difícil acesso, contudo, esta solução apresenta custos de investimento mais dispendiosos, face a soluções de autoconsumo com ligação à rede, devido ao custo das baterias [23] [24] [25].

Na Figura 2.6 está representado um exemplo de um sistema autónomo.

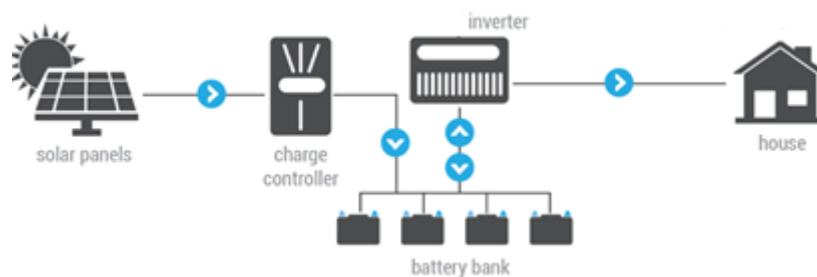


Figura 2.6 - Sistema de autoconsumo autónomo, adaptada de [26]

Em termos gerais, os sistemas autónomos são constituídos por: painéis fotovoltaicos, que convertem a energia solar em energia elétrica de corrente contínua (CC), regulador de carga, que gere a produção de energia elétrica a ser carregada para as baterias; baterias, cujo objetivo é armazenar a energia excedente produzida pelo sistema FV e inversor que converte a corrente CC em Corrente Alternada (CA).

¹ Trata-se de um anglicismo utilizado na língua portuguesa.

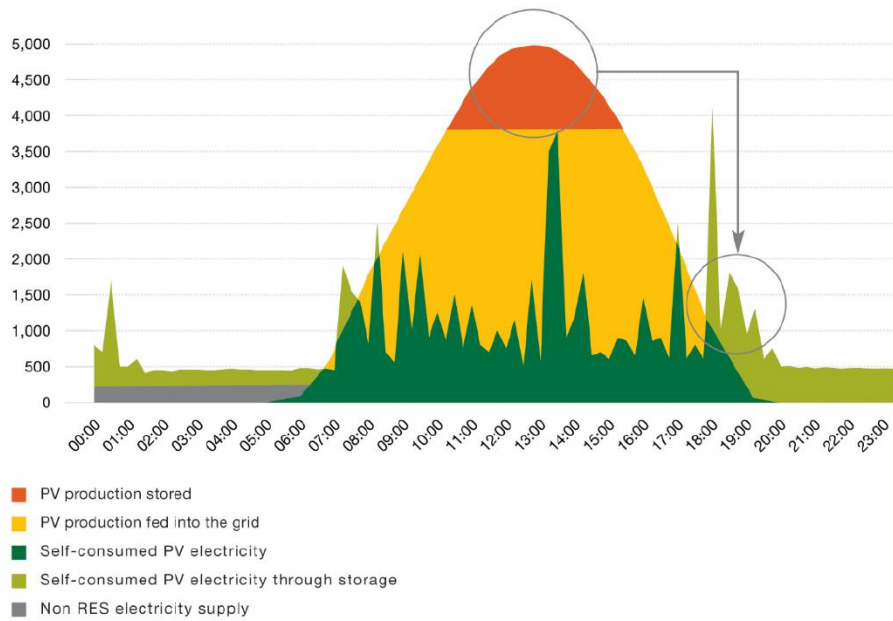
2.3.1.2- Sistemas de autoconsumo Ligados à RESP

Estes tipos de sistema encontram-se ligados às RESP. Esta solução permite ao consumidor colmatar as suas necessidades energéticas, para as situações em que a UPAC não produza energia suficiente para garantir as necessidades energéticas do local, assim esse défice é colmatado através da compra de eletricidade à RESP. Estes sistemas apresentam-se em duas possíveis soluções: sistema de autoconsumo instantâneo ou sistemas de autoconsumo com armazenamento. No primeiro, toda a produção de energia do sistema solar FV é utilizada para consumo instantâneo, sem recorrer a sistemas de armazenamento, sendo que, a energia excedente da produção será injetada na RESP. Por outro lado, os sistemas de autoconsumo com sistemas de armazenamento, permitem acumular o excedente de produção de energia em tecnologias próprias, nomeadamente, baterias, para consumo posterior, para situações cuja energia elétrica produzida seja inferior aos níveis de consumo do local da instalação [27].

2.3.1.2.1-Autoconsumo com Injeção da energia excedente da produção na RESP

A remuneração, para os sistemas de autoconsumo instantâneo, é calculada segundo a expressão (1). Sendo necessário ao sistema coadjuvar com um contador bidirecional de forma a contabilizar a energia injetada na RESP.

Em contrapartida, para o caso do sistema de autoconsumo com armazenamento, o excesso de energia produzida é armazenada e posteriormente consumida quando a produção solar FV for insuficiente para satisfazer o perfil de consumo do local da instalação. No entanto, é possível recorrer à compra de eletricidade da RESP, nos períodos em que a produção e a energia armazenada não sejam suficientes para fazer face às necessidades do consumo. Esta solução maximiza o aproveitamento da energia proveniente dos sistemas solares FV, com o benefício de reduzir os momentos de máxima injeção de energia na rede, mas acarreta um investimento inicial mais elevado, pois implica a aquisição de baterias. A Figura 2.7, traduz o perfil de consumo e produção de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com capacidade de armazenamento [27] [28] [29].



source: EPIA, based on SMA analysis, 2012

Figura 2.7 - Perfil de consumo e produção de um sistema de autoconsumo fotovoltaico, com armazenamento [28]

2.3.1.2.2- Autoconsumo sem Injeção da energia excedente da produção na RESP

O sistema de autoconsumo sem injeção da energia na rede exige que a energia produzida seja utilizada instantaneamente pois os excedentes não podem ser injetados na RESP. A alternativa à utilização do excedente da energia produzida será o recurso a tecnologias de armazenamento. A Figura 2.8 representa um esquema de um modelo de autoconsumo sem injeção do excedente na RESP e sem sistema de armazenamento.

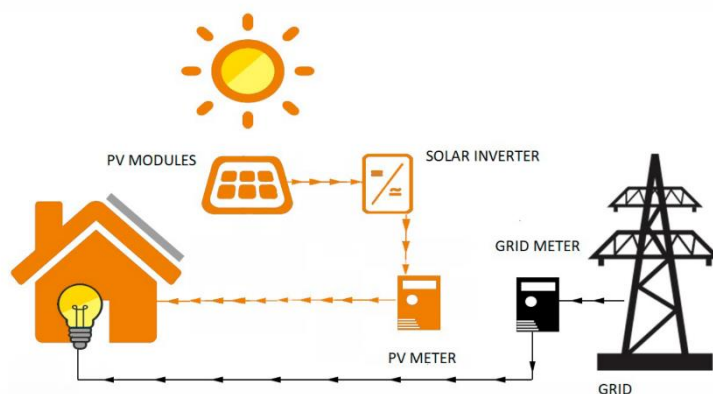


Figura 2.8 - Esquema de autoconsumo sem injeção na RESP [29]

Para sistemas sem capacidade de armazenamento e sem injeção da energia excedente de produção na RESP, a energia produzida pelo sistema solar FV é consumida instantaneamente. É necessário ter em conta que estes tipos de sistemas são dotados de instrumentos capazes de avaliar o fluxo de energia no local de entrada da instalação de forma a que [30]:

- O inversor converta apenas a energia para satisfazer o consumo energético do local da instalação, com vista a impedir a injeção de energia excedente de produção na RESP;
- A energia elétrica necessária para satisfazer o consumo em situações de défice de produção a partir do sistema solar FV seja assegurada pela RESP;

Por outro lado, os sistemas de autoconsumo dotados de sistemas de armazenamento, possuem instrumentos capazes de avaliar [30]:

- A energia produzida necessária para colmatar as necessidades energéticas da instalação, sendo o excedente de produção armazenado em baterias;
- As situações em que a produção solar FV é insuficiente para cobrir as necessidades energéticas do local da instalação e sempre que possível recorrer à energia armazenada nas baterias.

2.4- Vantagens do Autoconsumo

2.4.1- Benefícios

O autoconsumo permite aos seus utilizadores tirar partido de vários benefícios tanto a nível económico como ambiental e social. A promoção e incentivo deste tipo de mecanismo de produção de energia elétrica, permite o cumprimento das metas estabelecidas para o plano energético, tanto a nível europeu como a nível nacional, tais como as metas para o plano 2030 e 2050.

Seguidamente, encontram-se apresentadas algumas das principais vantagens dos sistemas de autoconsumo [31] [32]:

- Produção de energia 100% limpa e renovável, contribuindo para a diminuição da emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE), promoção de ações de sustentabilidade e promoção do cumprimento das metas estabelecidas por Portugal para o horizonte de 2030 e 2050.
- O consumo de energia elétrica a partir da fonte de produção solar, proporciona globalmente uma diminuição da dependência energética das fontes fósseis convencionais.
- Permite ao consumidor uma solução alternativa de produção de sua própria energia elétrica
- Controlo e diminuição dos encargos financeiros dos consumidores associados à energia elétrica.
- Permite ao consumidor optar a novas formas de comercialização de energia.
- Estimula o progresso tecnológico dos sistemas FV e dos sistemas de armazenamento.
- Permite a criação de medidas de incentivo e apoio à integração de FER para a produção de energia elétrica.
- Estimula a economia, intensificando a procura de soluções e incentivo à indústria relacionada com as energias renováveis.

2.4.2- Levelized cost of electricity (LCOE)

Paralelamente à diminuição do preço das tecnologias FV, assiste-se também a uma diminuição do preço das tecnologias de armazenamento. Portanto é expectável que as soluções otimizadas para o setor residencial acompanhem esta tendência de diminuição. Assim tornou-se necessário recorrer a mecanismos de cálculo capazes de avaliar os custos de investimento de um sistema de geração de energia em função da energia produzida ao longo do período de vida esperado da instalação. Este indicador (LCOE) é obtido através do quociente entre o custo total anual da instalação (que inclui os custos de investimento inicial inclusive e o custo do capital, acrescido do valor anual de despesas de manutenção e funcionamento) e o da energia total produzida no mesmo período, em custo por kWh [33].

A Figura 2.9 apresenta a evolução do LCOE (USD/kWh) entre o ano 2010 e 2017, dos diferentes sistemas de geração de energia. Contudo, comparativamente com as outras fontes de produção, os sistemas solares FV, foram das tecnologias que apresentaram uma maior diminuição do LCOE [34].

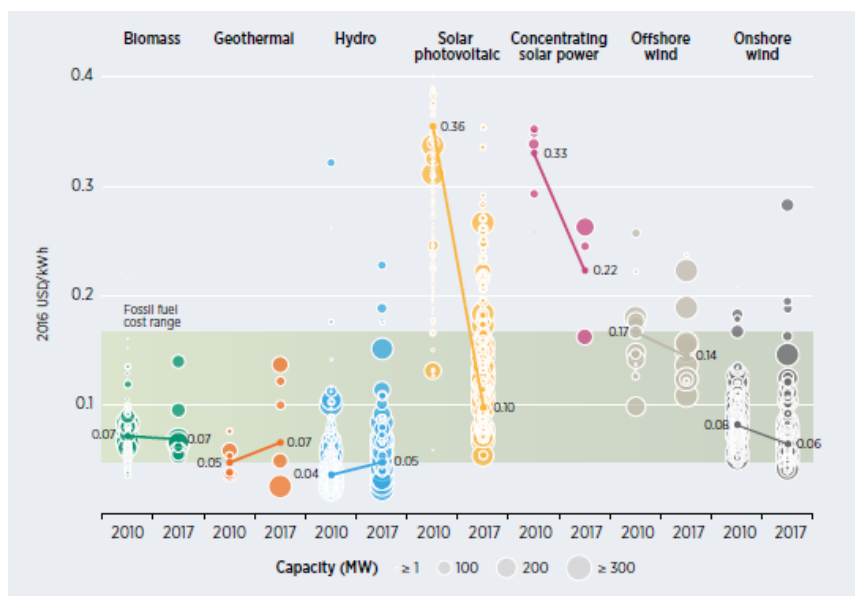


Figura 2.9 - Evolução do LCOE (USD/kWh) para os diversos sistemas de produção de energia entre os anos 2010 e 2017 [34]

2.4.3- Paridade da rede

Paridade da rede ou *Grid Parity* é caracterizada como o ponto de maturidade e desenvolvimento tecnológico fotovoltaico, ou seja, representa o momento temporal em que a tecnologia fotovoltaica atinge um preço competitivo face às tecnologias de produção de eletricidade convencionais [35].

A UE criou um projeto com políticas e estratégias para a promoção e suporte do setor fotovoltaico, designado por PVPARITY. Este projeto desenvolveu propostas no âmbito dos incentivos alternativos aos existentes para instalações fotovoltaicas, incentivos para sistemas de armazenamento, entre outros, com o intuito de que os países membros atinjam a paridade da rede [36].

Através da análise da Figura 2.10, é possível verificar, a nível europeu, a evolução do ponto de paridade da rede no setor doméstico. Destaca-se que Portugal já atingiu o ponto de paridade com a rede.

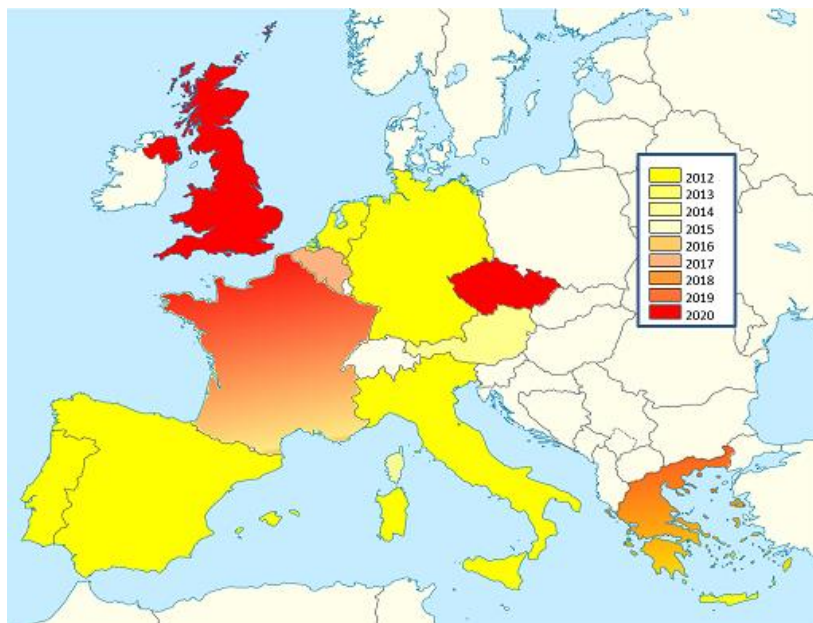


Figura 2.10 - Paridade da rede no setor doméstico [35]

Desta forma, é possível verificar que o autoconsumo, promove um mercado solar mais sustentável e permite encarar esta solução como uma resposta viável numa perspetiva de poupança financeira.

2.5- Tecnologias de Armazenamento

O programa da União da Energia visa assegurar uma energia a preços acessíveis, segura e sustentável para toda a Europa e para os seus cidadãos [38]. As tecnologias de armazenamento desempenham um papel fundamental em três das cinco principais áreas do pacote da União da Energia, sendo estas [39]: a segurança energética, eficiência energética e descarbonização. O avanço dos modelos tecnológicos, estrutura de legislação de suporte e incentivo à indústria deste tipo de tecnologias são algumas medidas que permitem estimular o potencial dos sistemas de armazenamento de energia.

O valor acrescentado do armazenamento de energia está presente ao longo de todo o circuito de valor do sistema de energia elétrica: auxilia na diminuição do impacto da volatilidade dos preços dos combustíveis, contribui para mitigar o congestionamento no transporte e distribuição da energia elétrica, contribui para a gestão da rede de energia e a sua qualidade [40].

O recurso a unidades de armazenamento de energia elétrica permite equilibrar o diagrama de carga de forma eficiente, rápida e eficaz para as situações de flutuações na procura, dada a possibilidade de armazenar o excedente da produção de energia para posterior utilização, nomeadamente durante as horas de pico ou cheia. Para os sistemas de autoconsumo residencial, o armazenamento do excesso de produção proporciona um aumento da viabilidade da implementação deste tipo de sistemas, dada a possibilidade de acumular a energia produzida em excesso para consumo posterior, evitando a compra à rede. Além disso, as tecnologias de armazenamento, permitem apoiar a integração de FER na rede elétrica, embora, estas fontes apresentem um carácter intermitente, pois, com a conjugação dos sistemas de armazenamento é possível atenuar as condições menos favoráveis resultantes da integração das FER para produção de energia elétrica. Os sistemas de armazenamento de energia trazem inúmeras vantagens e meios de resolução de problemas atuais de forma a minimizar algumas dificuldades associadas à gestão de sistemas de energia elétrica [40].

2.5.1- Classificação das tecnologias de armazenamento de energia elétrica

Tendo em conta aspetos tecnológicos ou referentes à funcionalidade, é possível categorizar os sistemas de armazenamento de energia. Na tabela 2.4 encontra-se a classificação das tecnologias de armazenamento de energia elétrica [40].

Tabela 2.4 - Classificação das tecnologias de armazenamento de energia elétrica [40]

Categoria	Tecnologia
Mecânico	Bombagem (PHS)
	Ar comprimido (CAES)
	Volante de inércia (flywheel)
Elétrico	Supercondensadores
	Supercondutores magnéticos
Químico	Células de combustível (<i>fuel cell</i>)
Eletroquímico	Baterias secundárias
	Bateria de fluxo
Térmico	Calor latente
	Calor sensível

Tendo em conta a aplicabilidade dos sistemas de armazenamento é necessário ter em consideração a relação entre a potência de saída e a capacidade de armazenamento. Para o estudo efetuado no presente trabalho serão avaliadas as condições técnicas das tecnologias de armazenamento de energia eletroquímicas, nomeadamente baterias secundárias [40]. A Figura 2.11, representa a relação entre a potência de saída e a capacidade de armazenamento das diversas tecnologias de armazenamento existentes.

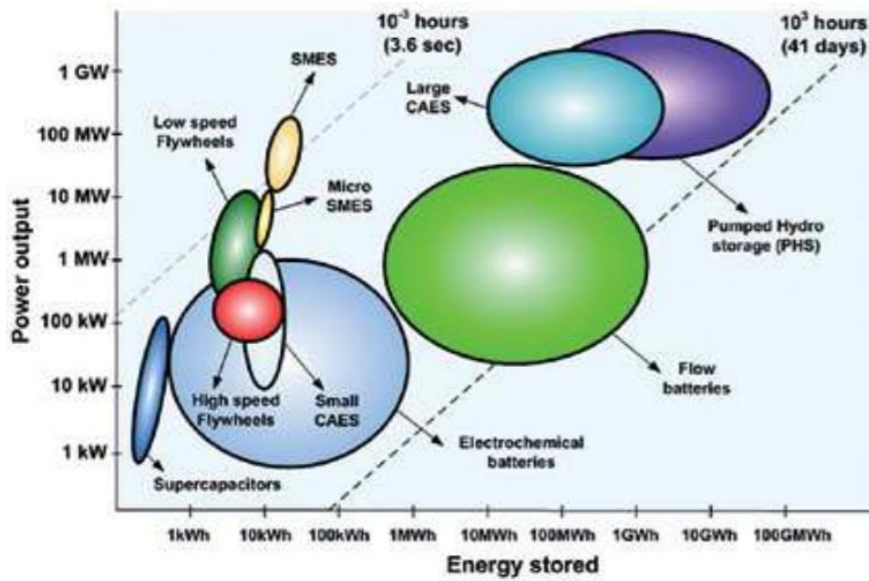


Figura 2.11 - Âmbito de aplicação de tecnologias de sistemas de armazenamento de energia [40]

2.5.2- Baterias

Bateria é um dispositivo que converte a energia química em energia elétrica através de um fenómeno eletroquímico designado reação oxidação-redução. As baterias são compostas pelos seguintes elementos ativos: ânodo, cátodo e eletrólito. Os materiais presentes nestes compostos geram energia por interações químicas, nomeadamente a transferência de eletrões entre os materiais através de um circuito elétrico [41].

Tendo em conta a capacidade ou não de carregamento das baterias, é possível classificá-las como, baterias primárias (não recarregáveis) ou baterias secundárias (recarregáveis).

2.5.2.1- Especificidade técnicas

Para uma melhor compreensão deste tipo de tecnologia, destacam-se algumas das mais importantes características técnicas que descrevem as baterias e que se encontram disponibilizadas nas fichas técnicas do fabricante [42].

- **Capacidade (Ah)**- A quantidade disponível de energia que uma bateria fornece quando descarregada a uma corrente de descarga constante durante um intervalo de tempo, medida em ampere-hora. A capacidade varia com as condições de temperatura e da corrente de descarga.
- **Ciclos de vida**- O número de ciclos de carga/descarga que a bateria pode suportar até deixar de cumprir os critérios de desempenho específicos. O ciclo de vida é calculado para condições específicas de carga e descarga.
- **Densidade de Energia (Wh/kg)** - Consiste na energia nominal da bateria por unidade de massa;
- **Profundidade de descarga (Depth of Discharge (DOD)) (%)** - A percentagem de descarregamento da bateria relativamente à capacidade total.
- **Corrente máxima de descarga contínua** - A corrente máxima na qual a bateria pode ser descarregada continuamente. Este valor é determinado pelo fabricante da bateria de forma a evitar taxas de descarga excessivas que a danifiquem ou reduzam sua capacidade.
- **Potência específica (W/kg)** - Potência máxima disponível por unidade de massa.

2.5.2.2.- Tipos e características

Para implementação de um sistema de armazenamento numa UPAC, é necessário ter em consideração as várias possibilidades de baterias secundárias, os materiais constituintes destas e por consequência as suas características distintas. Por isso, é imprescindível conhecer as particularidades das diferentes opções, de modo a fazer a melhor seleção para responder às exigências do sistema a aplicar. Destacam-se as baterias de chumbo-ácido, baterias de gel, baterias de íões de lítio, baterias de níquel-cádmio e baterias níquel-hidreto metálico [43] [44].

2.5.2.2.1- Baterias de chumbo-ácido

As baterias de chumbo-ácido, são das tecnologias mais antigas, com maior campo de aplicação dando-se destaque para a sua utilização em sistemas UPS e sistemas de autoconsumo autónomos. Dado o seu baixo custo de investimento, esta solução é das mais requisitadas [45].

Em termos químicos estas baterias são constituídas por um elétrodo negativo de chumbo (Pb) e um de dióxido de chumbo (PbO₂). O eletrólito é uma solução de ácido sulfúrico com água destilada [46].

Este tipo de baterias, comparativamente com as outras tecnologias, apresentam um peso e uma taxa de autodescarga superior. Este fator está diretamente relacionado com a temperatura, para as mais elevadas, os processos químicos na bateria são acelerados, provocando um aumento da sua taxa de autodescarga. A humidade é outro fator que altera a taxa de autodescarga [48].

Seguidamente apresentam-se algumas das vantagens e limitações das baterias de chumbo-ácido [45] [47].

Tabela 2.5 - Vantagens de desvantagens das baterias ácido-chumbo [45] [47]

Vantagens	Desvantagens
Tecnologia de baixo custo	Necessidade de reposição de água em intervalos regulares
Baixa taxa de manutenção	Ciclo de vida baixo
Tecnologia com elevado nível de maturidade	Baixos valores de densidade de energia
Taxas de descarga elevadas	Representatividade de risco ambiental
Elevada aplicabilidade a baixas temperaturas	Elevadas taxas de autodegração a altas temperaturas e altos índices de humidade

2.5.2.2.2- Baterias de Níquel-Cádmio (NiCd)

Este tipo de bateria quimicamente é constituído por um ânodo formado por uma liga de ferro e cádmio e um cátodo formado por hidróxido de níquel e eletrólito alcalino como separador. Do ponto de vista técnico, as baterias de NiCd, apresentam um bom desempenho para baixas temperaturas, para o intervalo entre -40°C e -20°C . No entanto, comparando-as com as de íões de Lítio e de Níquel Hidreto Metálico, estas têm um valor de densidade de energia superior. Embora, sob o aspeto do ciclo de vida, as baterias NiCd apresentem um maior ciclo de vida em comparação com as de chumbo-ácido. Este tipo de baterias são também caracterizadas por se recarregarem em condições de altas correntes, que se traduz num menor tempo de recarga. Dadas as suas características técnicas do ponto de vista mecânico e elétrico, estas baterias são as mais apropriadas para ambientes hostis, porém dada a sua toxicidade, desde 2006 foram proibidas para o uso do consumidor [44] [49].

Na tabela 2.6 apresentam-se algumas das principais vantagens e desvantagens desta tecnologia [44] [45] [47].

Tabela 2.6 - Vantagens e desvantagens das baterias NiCd [44] [45] [47]

Vantagens	Desvantagens
Bom funcionamento após elevados períodos com baixo estado de carga	Redução da capacidade de recarga ao longo do tempo de vida útil
Elevada taxa de fiabilidade e resistência	Menor densidade de energia em relação a outras baterias
Bom desempenho a baixas temperaturas	Efeito de memória
Nível de tensão estável	Elevados riscos ambientais - toxicidade do cádmio
Exigem baixa manutenção	Menor capacidade

2.5.2.2.3- Baterias de Níquel Hidreto metálico (NiMH)

Da necessidade de substituição das baterias de NiCd, surgem as baterias NiMH sendo de constituição semelhante às aquelas, mas com a principal vantagem de não possuírem metais tóxicos na sua composição [50]. Em termos químicos, a principal diferença face às baterias de NiCd, reside no material que constitui o cátodo, sendo este constituído por uma liga de elementos metálicos que torna nulo o efeito de memória, uma das principais desvantagens das baterias anteriormente referidas. Em termos de características técnicas estas baterias são semelhantes às das baterias NiCd, tendo em conta a elevada autodescarga, embora a sua capacidade nominal, seja 10 vezes inferior [51].

Na tabela 2.7 apresentam-se algumas das principais vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Tabela 2.7 - Vantagens e desvantagens das baterias NiMH [51]

Vantagens	Desvantagens
Mais capacidade de armazenamento do que as de NiCd	Baixo efeito de memória
Exigem pouca manutenção	Custo relativo mais alto
Reduzido risco ambiental	Período útil de vida restrito
Capacidade de recarga acelerada	Reduzido rendimento a baixas temperaturas

2.5.2.2.4- Baterias de Iões de Lítio (Li-ion)

Estas baterias são constituídas por diferentes compostos de lítio para o eletrodo positivo e para o negativo, isto é, o eletrodo positivo é constituído por óxido metálico ou fosfato metálico de lítio e o negativo é constituído por grafite de lítio, sendo o eletrólito feito de uma solução aquosa de lítio [45]. A aplicabilidade desta tecnologia é vasta, destacando-se o facto de serem leves, terem um elevado período de vida (cerca de 10 anos) e apresentarem um alto fornecimento de energia. Por outro lado, também se destacam pelo seu elevado rendimento para amplas gamas de temperaturas (entre -40°C e $+80^{\circ}\text{C}$) [51].

Tabela 2.8 - Vantagens e desvantagens das baterias de iões de lítio

Vantagens	Desvantagens
Elevada densidade de energia	Investimento elevado
Reduzida taxa de autodescarga face a outras tecnologias de armazenamento	Pouca oferta de lítio
Baixa exigência de manutenção	Controlo da carga de forma a evitar sobrecargas
Capacidade elevada de carga	Sensibilidade a elevadas temperaturas

2.5.3- Comparação do desempenho das baterias secundárias

Segue-se na tabela 2.9 um resumo de algumas das principais características dos sistemas de armazenamento anteriormente mencionados [44].

Tabela 2. 9 - Comparação das especificações dos diferentes tipos de baterias [44]

Bateria	Energia específica (Wh/kg)	Energia e densidade (Wh/kg)	Potência específica (W/kg)	Ciclos de vida	Tempo de recarregamento (horas)	Rendimento energético (%)	Matérias recicláveis (%)
Chumbo-ácido	33	30	130	400	8 até 17	65	97
Níquel-Cádmio	57	56	200	2000	8	65	99
Níquel - Hidreto - Metálico	70	80	250	600	<6	90	90
ões de Lítio	100	100	300	1200	<3	Na	50

2.5.3.1- Perfil de Tensão e Descarga

A Figura 2.12 compara os diferentes perfis de descarga das tecnologias anteriormente mencionadas a uma taxa C/5. As células das baterias ácido-chumbo têm o maior valor de tensão dos sistemas aquosos, contrariamente à tensão dos sistemas alcalinos que varia entre 1.65 V e 1.1 V. Neste rácio de descarga, as curvas dos diferentes sistemas apresentam-se bastante semelhantes a uma temperatura de 20°C. No entanto, se estas variáveis sofrerem alterações também as curvas apresentarão maiores diferenças. A maioria dos perfis de descarga dos sistemas convencionais apresentam um perfil plano. Na curva de descarga das baterias de lítio a tensão das suas células é superior à das baterias aquosas convencionais, com uma média de 3.6 V [45].

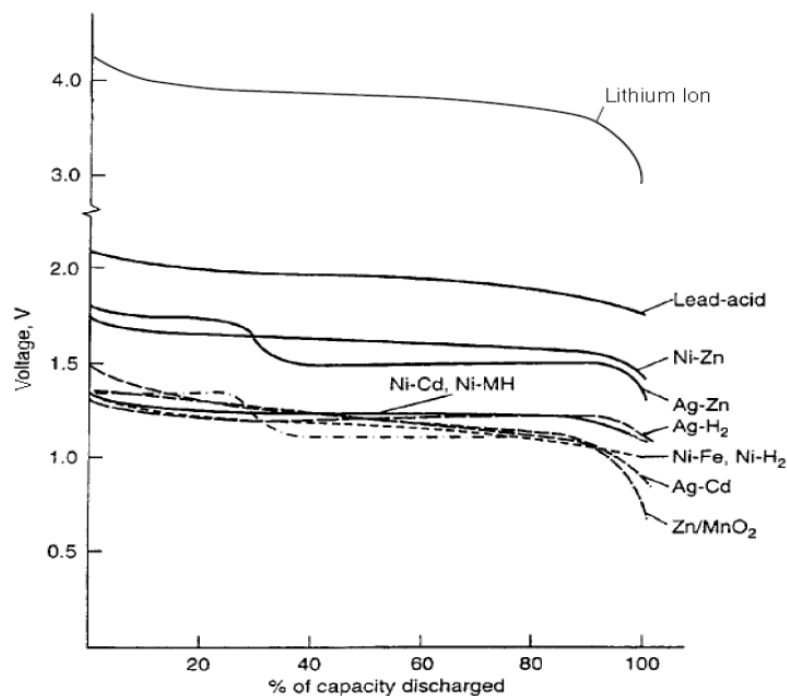


Figura 2.12 - Perfil de descarga de baterias secundárias convencionais [45]

2.5.3.2- Efeito da taxa de Descarga no Desempenho

O efeito da taxa de descarga no desempenho dos distintos tipos de baterias secundárias encontra-se apresentado na Figura 2.13. Esta coloca em evidência a potência (corrente de descarga * ponto médio da tensão) dos vários tipos de baterias, para um determinado período de tempo. Os índices de retenção da capacidade, estão diretamente relacionados com os declives das curvas, quanto maior o declive maior é a retenção da capacidade com o aumento da descarga [45].

A energia específica pode ser calculada da seguinte maneira [45]:

*Energia Específica = Potência específica * horas de serviço*

$$\text{Wh/kg} = \text{W/kg} = \frac{A * V * h}{\text{kg}} \quad (4)$$

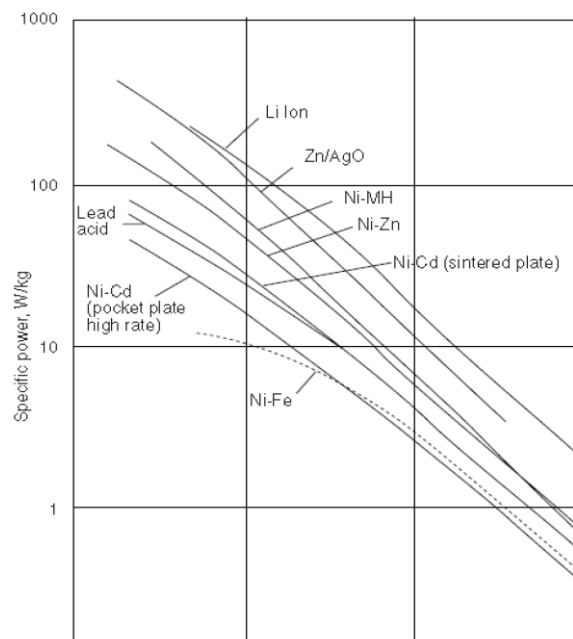


Figura 2.13 - Comparação de desempenho de sistemas de baterias em estudo [45]

2.5.3.3- Efeito da Temperatura

A Figura 2.14 representa o desempenho das baterias secundárias face às variações de temperatura, um intervalo entre os -40°C e os 60°C a uma taxa de descarga C/5. Analisando a Figura 2.14, verifica-se que, de todas as tecnologias em análise, as baterias de íões de lítio para a temperatura de -20°C apresentam maior densidade energia. Para temperaturas baixas, as baterias cujo comportamento melhor se adequa são as baterias alcalinas, que apresentam melhor desempenho do que as baterias de chumbo-ácido. Contudo, no que respeita a temperaturas mais elevadas, a bateria com melhor performance é a de chumbo-ácido. Verifica-se que a prestação destas tecnologias é muito dependente das condições específicas de descarga [45].

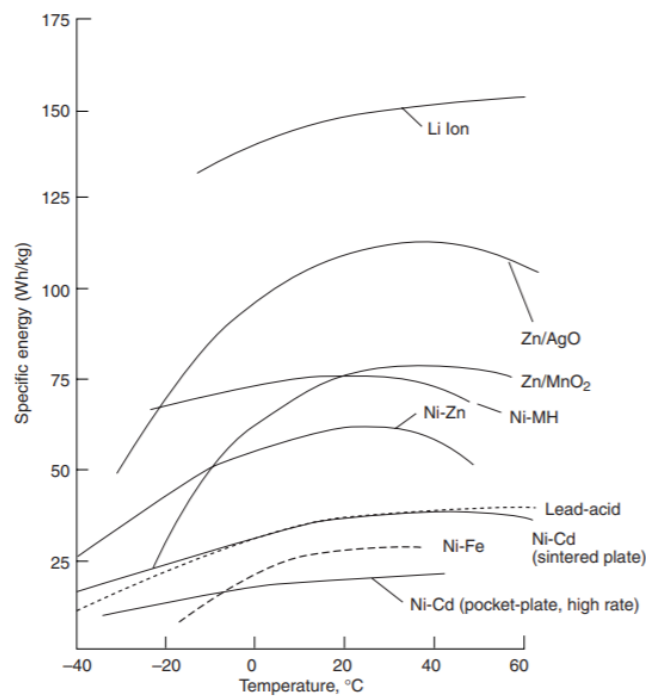


Figura 2.14 - Influência da temperatura na densidade de energia em baterias secundárias [45]

2.5.3.4- Taxa de Retenção ou Autodescarga

Comparativamente com as baterias primárias, as baterias secundárias apresentam menor taxa de autodescarga. É necessário, de forma periódica, proceder ao recarregamento destas baterias, sendo que, por exemplo, as baterias de óxido de níquel, são caracterizadas pela facilidade de armazenamento prolongado com a bateria descarregada, sem prejuízo do seu bom funcionamento quando carregadas. Por sua vez, dadas as características das baterias chumbo-ácido, tal solução não é possível. Na Figura 2.15, estão apresentadas as propriedades de retenção de carga, nas diferentes tecnologias secundárias. Analisando esta figura, verifica-se que quanto maior o tempo de armazenamento, menor a taxa de retenção da capacidade. Para esta situação, a tecnologia que apresenta melhor desempenho é a das baterias de Li-ion [45].

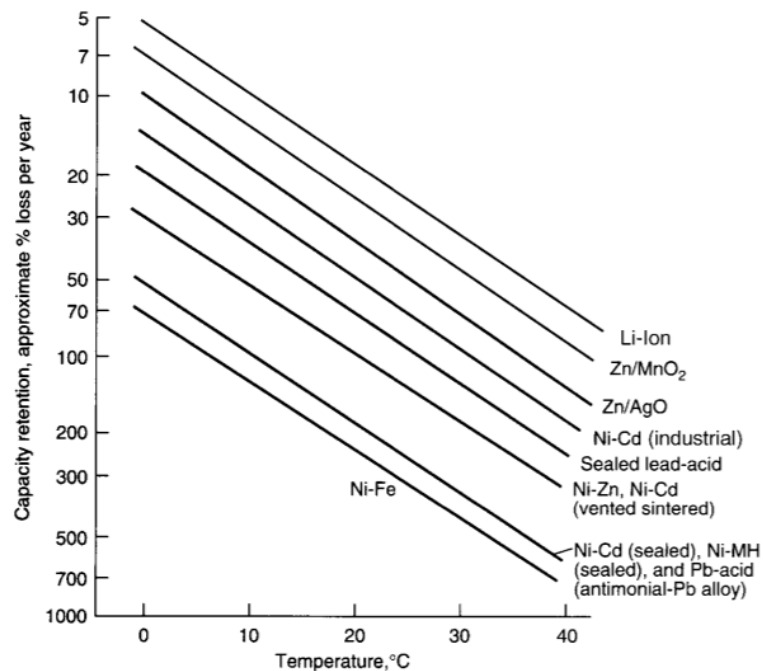


Figura 2.15 - Retenção da capacidade das baterias secundárias [45]

2.5.3.5- Vida

A Figura 2.16 representa a profundidade de descarga (DOD) das baterias, que depende muito das condições de utilização e do próprio design. Das baterias convencionais, aquelas que apresentam melhor durabilidade são as de níquel-ferro e as de NiCd, ou seja, o ciclo de vida mais prolongado. Neste aspeto, as baterias de ácido-chumbo ficam aquém do desempenho das baterias alcalinas [45].

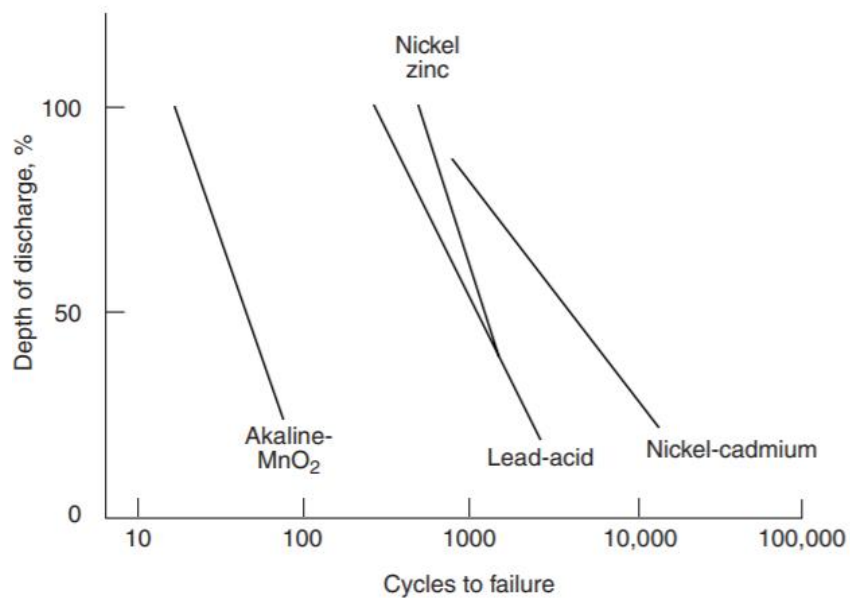


Figura 2.16 - Efeito da DOD no ciclo de vida das baterias [45]

2.5.3.6- Características de Carga

A Figura 2.17 apresenta as curvas de carga típicas das diferentes baterias a taxas normais de carga a corrente constante. O carregamento da maioria das baterias poderá ser realizado em situações de corrente constante. Dadas as características técnicas das baterias de NiCd é possível carregá-las sob um amplo intervalo de temperaturas sem que a sua qualidade e eficácia fiquem comprometidas. De forma a evitar sobreaquecimento das baterias de NiMH há que ter em conta o controlo da carga, pois este tipo de baterias é sensível a sobrecargas. Por outro lado, as baterias de chumbo-ácido também têm boas características de carga apesar de que é fundamental ter em atenção o risco do sobreaquecimento [45].

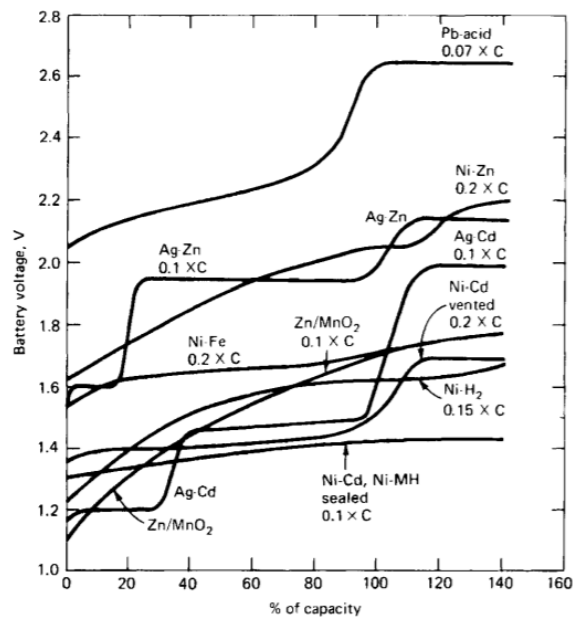


Figura 2.17 - Característica típica de carga dos sistemas de baterias secundárias [45]

A Figura 2.18 representa a característica de carga de uma bateria cilíndrica típica de lítio. O carregamento da bateria dá-se nas condições de corrente constante de 1,8 A (à taxa C nominal) e de tensão de 4,2 V. Atualmente os fabricantes recomendam o carregamento das baterias em 2/3 horas. Este método exige mecanismos que parem o carregamento antes de a bateria atingir a sobrecarga, uma pressão ou temperatura excessivas. Estes mecanismos podem ser canalizados sob vários aspetos: prevenção de sobrecarga, facilitação do carregamento rápido, deteção de anomalias, entre outros.

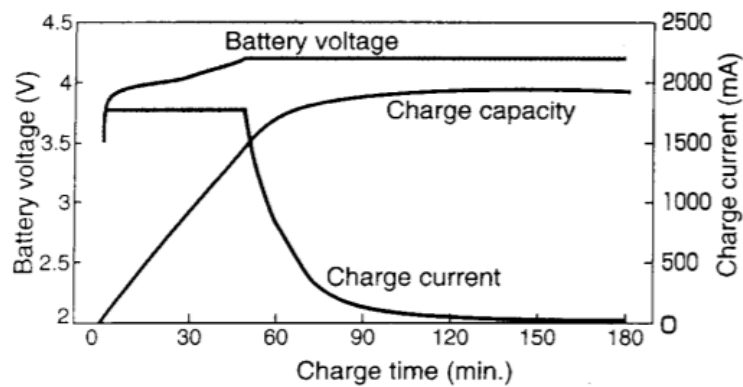


Figura 2.18 - Características de carga de baterias de íões de lítio.
[45]

Capítulo 3

Metodologia e Casos de Estudo

3.1- Especificações do sistema de autoconsumo fotovoltaico

3.1.1- Pré-requisitos dos casos em estudo

- O local de instalação situa-se na zona do Porto;
- Os dados referentes aos perfis de consumo adquiridos pertencem ao local da instalação do sistema de autoconsumo, contudo, devido ao facto de não se encontrarem os valores que perfaziam 1 ano completo, foram estimados os valores em falta. Os dados disponíveis foram obtidos com uma periodicidade de 15 minutos.
- Os dados adquiridos referentes à produção têm a periodicidade de 15 minutos, as lacunas foram preenchidas por estimativa, tendo em conta o perfil de produção, para perfazer 1 ano.

3.1.2- Pré-requisitos técnicos

- Potência contratada dos edifícios residenciais: 10,35 kVA;
- Ciclo de vida do sistema fotovoltaico: 25 anos;
- Índice de degradação dos módulos fotovoltaicos: 0,48%/ano;
- Despesas de operação e manutenção (O&M) anuais correspondentes a 1% do custo inicial total investido. Valor constante em todo o ciclo de vida do projeto; [53]
- A taxa de autodegradação das baterias não foi tida em conta;
- Considerou-se uma profundidade de descarga de 60%, ou seja, uma variação entre os 20% e os 80% da capacidade da bateria a fim de preservar o período útil desta;
- Consideraram-se 5% para as perdas das baterias;

3.1.3- Pré-requisitos económicos

- Tendo em conta o ciclo de vida dos módulos fotovoltaicos, considerou-se o prazo de análise do sistema de 25 anos;
- Considerou-se uma taxa de inflação anual de 1% relativa ao aumento anual de eletricidade [54];
- Admitiu-se, para tarifa energética a tarifa simples;

3.1.4- Pré-requisitos de investimento

- O Investimento foi efetuado com recurso a capitais próprios, pressupondo-se que os ativos aplicados no sistema de autoconsumo são iguais no primeiro e no último ano do projeto;

3.1.5- Preço do sistema de autoconsumo

Durante a realização do trabalho, foram tidas em conta as características técnicas de cada um dos componentes seguidamente apresentados:

- **Módulos fotovoltaicos de 190 W, 210 W, 290 W e 310 W** da marca *Luxor* modelo *Eco Line M60* e *Eco Line M72*;
- **Inversor**, do fabricante *SolaX Power*;
- **Baterias**, dos fabricantes *BYD* de capacidade *2,56kWh* e *LG* de capacidade *3,3 kWh*;

Segundo o documento “Levelized cost of Electricity renewable energy technologies” publicado em março de 2018 pelo Fraunhofer Institute for solar energy systems (ISE) prevê-se um investimento inicial para o sistema de autoconsumo entre os 1200€/kWp e 1400€/kWp para potência instalada inferior a 10 kW [55]. Tendo em conta esta informação bem como os preços dos diversos constituintes do sistema apresentados em mercado, expõem-se na tabela 3.1 o valor total de investimento para o sistema de autoconsumo.

Tabela 3.1 - Preços do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento

Potência da UPAC (W)	Preço total do sistema de autoconsumo sem armazenamento	Preço total do sistema de autoconsumo com armazenamento (2,56 kWh)	Preço total do sistema de autoconsumo com armazenamento (3,3 kWh)
Painel 190 W			
380	925,96 €	2 843,83 €	4 009,07 €
570	1 156,41 €	3 121,18 €	4 286,42 €
760	1 386,86 €	3 351,63 €	4 516,87 €
Painel 210 W			
420	986,10 €	2 950,87 €	4 116,11 €
630	1 246,61 €	3 211,38 €	4 376,62 €
840	1 507,13 €	3 471,90 €	4 637,14 €
Painel 290 W			
580	1 033,44 €	2 998,21 €	4 163,45 €
870	1 299,00 €	3 263,77 €	4 429,01 €
1160	1 601,83 €	1 964,77 €	4 731,84 €
Painel 310 W			
620	1 093,58 €	3 058,35 €	4 223,59 €
930	1 407,84 €	3 372,61 €	4 537,85 €
1240	1 722,10 €	3 686,87 €	4 852,11 €

3.2- Tarifário

Para diminuir a dependência do consumo de energia solicitada à RESP, é fundamental dimensionar uma UPAC, a fim de aumentar a autonomia da instalação. Assim, é necessário conhecer o regime tarifário para fundamentar a decisão de instalar ou não o sistema de autoconsumo. Para os perfis analisados, foram calculados e analisados os encargos financeiros referentes à energia elétrica para o regime tarifário simples.

O Decreto-lei n.º 75/2012 de 26 de março, revisto pelo Decreto-lei n.º 15/2015, de 30 de janeiro prevê a alteração, no que respeita às tarifas reguladas, aplicáveis aos clientes finais em baixa tensão normal (BTN). A 31 de dezembro de 2020, a tarifa regulada deixará de existir, dando lugar ao mercado de eletricidade em regime de preços livres [56].

Encontra-se na tabela 3.2, a tarifa transitória de eletricidade para 2019 para Portugal Continental [56]. Através da tabela 3.2, verifica-se que o preço aplicado à tarifa simples é de 0,1559 €/kWh.

Tabela 3. 2 - Tarifa transitório de venda a clientes finais em BTN [56]

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN (≤20,7 kVA e >2,3 kVA)		PREÇOS	
Potência	(kVA)	(EUR/mês)	(EUR/dia) *
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	3,45	5,00	0,1645
	4,6	6,50	0,2138
	5,75	7,99	0,2628
	6,9	9,48	0,3118
	10,35	13,96	0,4589
	13,8	18,43	0,6060
	17,25	22,91	0,7531
	20,7	27,38	0,9001
Energia ativa		(EUR/kWh)	
Tarifa simples ≤6,9 kVA		0,1557	
Tarifa simples >6,9 kVA		0,1559	
Tarifa bi-horária ≤6,9 kVA	Horas fora de vazio	0,1875	
	Horas de vazio	0,1024	
Tarifa bi-horária >6,9 kVA	Horas fora de vazio	0,1890	
	Horas de vazio	0,1025	
Tarifa tri-horária ≤6,9 kVA	Horas de ponta	0,2246	
	Horas de cheias	0,1682	
Tarifa tri-horária >6,9 kVA	Horas de vazio	0,1024	
	Horas de ponta	0,2287	
Tarifa tri-horária >6,9 kVA	Horas de cheias	0,1704	
	Horas de vazio	0,1025	

* RRC art. 119.º, n.º 6

De notar que, aos preços apresentados, acresce IVA à taxa em vigor.

3.3- Perfil de consumo

De modo a adequar o sistema fotovoltaico para autoconsumo é necessário ter em conta o perfil de consumo do local da instalação. Através do conhecimento detalhado desse perfil, é possível ajustar a potência da UPAC com o intuito de maximizar o rendimento do sistema instalado, com vista a minimizar o consumo de energia da RESP. A opção de registo com a periodicidade de 15 minutos visa obter a solução ideal para cada caso com o maior detalhe e fiabilidade.

Nas tabelas 3.3 e 3.4 encontram-se os perfis de consumo para cada um dos casos estudados, bem como os encargos financeiros de cada um.

Tabela 3.3 - Consumos mensais e encargos para o perfil de consumo 1 em estudo no período de um ano

Mês	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)
janeiro	373,86	71,50
Fevereiro	319,65	61,77
Março	337,55	65,84
Abril	330,71	64,34
Maio	326,25	64,07
Junho	328,57	64,01
Julho	263,60	54,31
Agosto	339,30	66,11
Setembro	316,68	62,16
Outubro	344,36	66,90
Novembro	364,34	69,59
Dezembro	381,90	72,75
Anual	4029,77	783,34

Tabela 3.4 - Consumos mensais e encargos para o perfil de consumo 2 em estudo no período de um ano

Mês	Consumo Mensal (kWh)	Custo Mensal (€)
janeiro	761,88	131,99
Fevereiro	682,98	118,41
Março	457,94	84,61
Abril	414,74	77,44
Maio	374,42	71,58
Junho	356,66	68,39
Julho	356,78	68,84
Agosto	337,99	65,90
Setembro	424,04	78,89
Outubro	524,69	95,01
Novembro	540,48	97,05
Dezembro	557,68	100,16
Anual	5790,28	1058,27

Analisando as tabelas 3.3 e 3.4 verifica-se que o consumo nos meses de verão tende a ser inferior face ao consumo nos meses de inverno.

3.4- Perfil de Produção Fotovoltaica

Analisando os perfis de consumo dos casos em estudo, foi possível ajustar a potência a instalar na UPAC. Foram consideradas 4 potências de painéis distintas de modo a ajustar a produção tendo em conta o consumo de cada instalação.

Encontra-se nas tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 a produção mensal para cada uma das potências instaladas estudadas.

Tabela 3.5 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 190 W para a região do Porto

Potência da UPAC	Produção Mensal (kWh)		
	380 W	570 W	760 W
Janeiro	19,38	29,08	38,77
Fevereiro	35,19	52,79	70,38
Março	56,96	85,44	113,93
Abril	54,74	82,10	109,47
Maiο	67,60	101,39	135,19
Junho	59,81	89,72	119,63
Julho	70,51	105,77	141,03
Agosto	67,70	101,55	135,41
Setembro	56,62	84,93	113,24
Outubro	37,49	56,24	74,99
Novembro	29,09	43,64	58,18
Dezembro	21,85	32,77	43,69
TOTAL	576,96	865,43	1153,91

Tabela 3.6 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 210 W para a região do Porto

Potência da UPAC	Produção Mensal (kWh)		
	420 W	630 W	840 W
Janeiro	21,42	32,14	42,85
Fevereiro	38,90	58,35	77,79
Março	62,96	94,44	125,92
Abril	60,50	90,75	121,00
Maiο	74,71	112,07	149,42
Junho	66,11	99,16	132,22
Julho	77,94	116,90	155,87
Agosto	74,83	112,24	149,66
Setembro	62,58	93,87	125,16
Outubro	41,44	62,16	82,88
Novembro	32,15	48,23	64,30
Dezembro	24,15	36,22	48,29
TOTAL	637,69	956,53	1275,38

Tabela 3.7 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 290 W para a região do Porto

Potência da UPAC	Produção Mensal (kWh)		
	580 W	870 W	1160 W
Janeiro	29,59	44,38	59,17
Fevereiro	53,71	80,57	107,43
Março	86,94	130,41	173,89
Abril	83,55	125,32	167,09
Maiο	103,17	154,76	206,35
Junho	91,29	136,94	182,59
Julho	107,63	161,44	215,25
Agosto	103,34	155,00	206,67
Setembro	86,42	129,63	172,84
Outubro	57,23	85,84	114,46
Novembro	44,40	66,60	88,80
Dezembro	33,34	50,02	66,69
TOTAL	880,62	1320,92	1761,23

Tabela 3.8 - Produção anual e mensal para as várias potências instaladas através da utilização de painéis de 310 W para a região do Porto

Potência da UPAC	Produção Mensal (kWh)		
	620 W	930 W	1240 W
Janeiro	31,63	47,44	63,26
Fevereiro	57,42	86,13	114,84
Março	92,94	139,41	185,88
Abril	89,31	133,96	178,62
Maio	110,29	165,43	220,58
Junho	97,59	146,39	195,18
Julho	115,05	172,57	230,10
Agosto	110,46	165,69	220,93
Setembro	92,38	138,57	184,77
Outubro	61,17	91,76	122,35
Novembro	47,46	71,19	94,93
Dezembro	35,65	53,47	71,29
TOTAL	941,35	1412,02	1882,70

Através da análise das tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8, verifica-se que a produção nos meses de verão é superior à dos meses de inverno devido, entre outros, ao facto de o número de horas de exposição solar nos meses de verão ser superior face aos meses de inverno. É de salientar que, devido a essa condicionante, para a potência instalada de 380 W, a produção no mês de julho é aproximadamente igual à produção de fevereiro para a potência instalada de 760W. O mesmo ocorre para os outros casos em estudo.

A Figura 3.1, destaca o efeito da sazonalidade na produção, pois é verificável a comparação entre a produção num mês de inverno e num mês de verão.

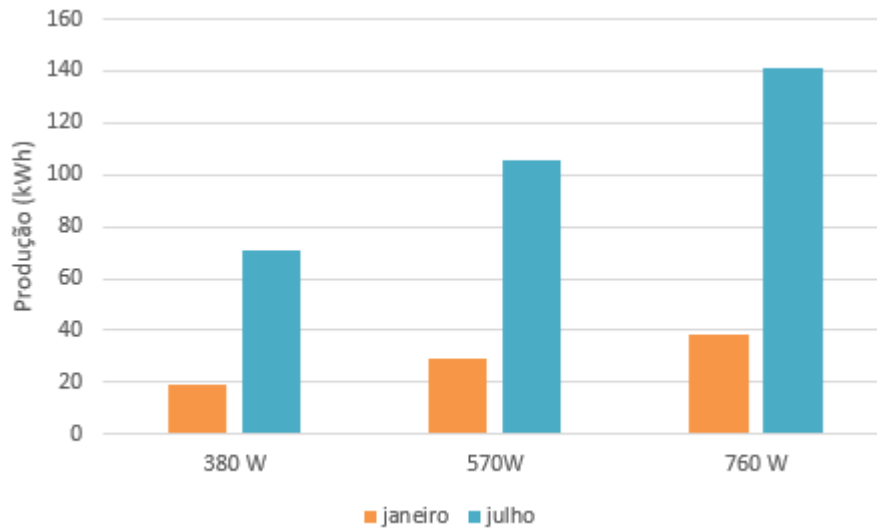


Figura 3.1 - Produção fotovoltaica em janeiro e julho para diferentes potências através da utilização de painéis de 190 W

De forma mais detalhada, na Figura 3.2, apresentam-se dois perfis de produção para um dia de inverno e para um dia de verão, para a potência instalada de 380 W.

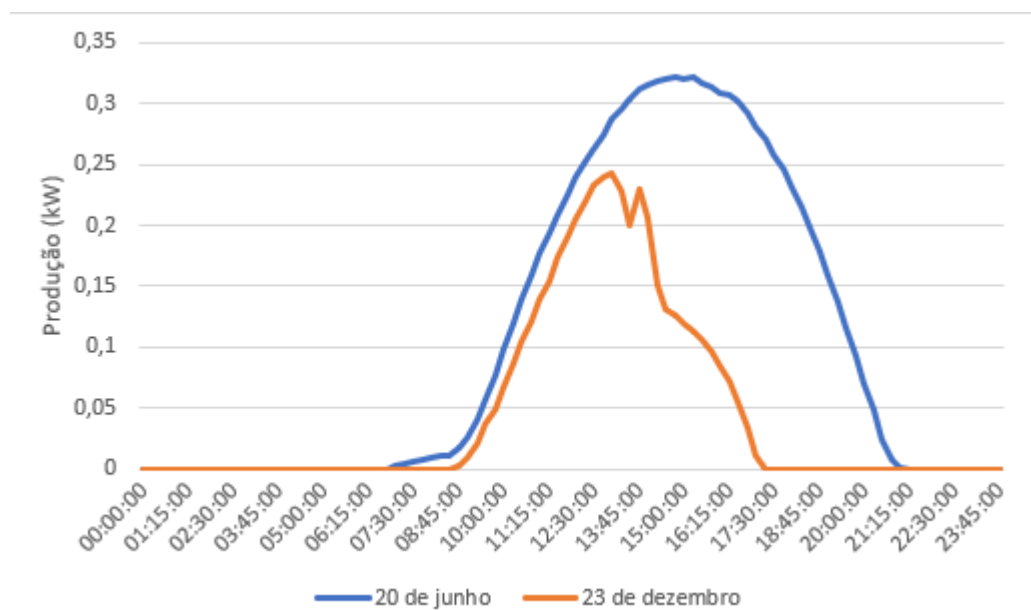


Figura 3.2 - Produção referente a um dia de inverno e a um dia de verão para potência de instalação de 380 W

Analisando a Figura 3.2, verifica-se o efeito que a sazonalidade tem no perfil de produção. Destaca-se a diferença horária entre um dia de verão e um dia de inverno quanto à produção de energia, o perfil de produção para um dia de inverno (23 dezembro) varia entre as 8h30 e as 17h00 contrariamente, para um dia de verão (20 junho) o período de produção varia desde as 7h00 até às 21h00. Evidencia-se também que a produção de energia no verão é superior à produção no inverno, relevando-se assim, que a potência máxima produzida no dia 20 junho é consideravelmente superior à potência máxima produzida no dia 23 de dezembro.

3.5- Metodologia utilizada

As simulações para avaliar a viabilidade económica da instalação do sistema fotovoltaico para autoconsumo com e sem sistema de armazenamento, foram realizadas com recurso às folhas de cálculo da ferramenta *Excel*. Primeiramente foi analisado o encargo financeiro resultante do cenário de um sistema FV de autoconsumo sem sistema de armazenamento. Seguidamente colocou-se a hipótese da implementação de um sistema de armazenamento. Posteriormente, foi ponderado o cenário onde a RESP funcionava como sistema de armazenamento da energia excedente de produção.

Através dos dados recolhidos, nomeadamente referentes à produção e ao consumo do local da instalação da UPAC, foram calculados alguns parâmetros relevantes para a obtenção dos resultados, tais como, energia elétrica autoconsumida, quantidade de energia excedente resultante da produção injetada na RESP, quantidade de energia consumida proveniente da RESP, trocas de energia feitas com a bateria e encargos financeiros resultantes, tendo em conta o sistema de autoconsumo recorrendo ou não recorrendo a sistemas de armazenamento.

Na Figura 3.3, é apresentada a transição dos fluxos energéticos entre os vários intervenientes sem sistema de armazenamento. Este esquema também é válido para quando se considerou a RESP como um sistema de armazenamento.

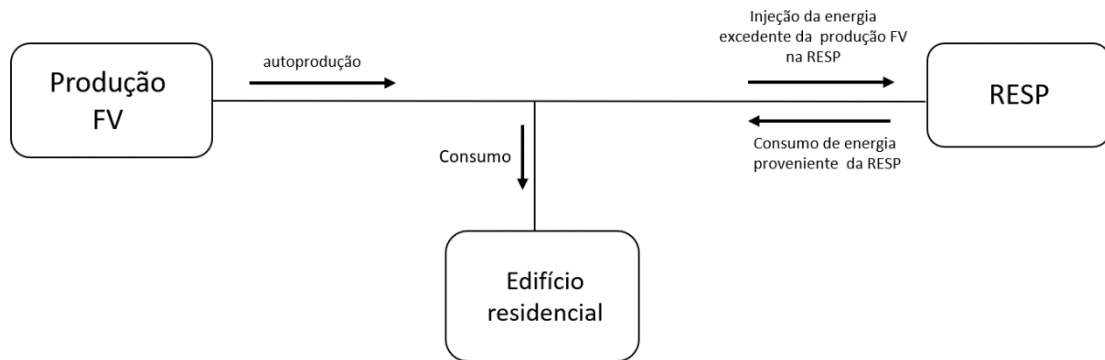


Figura 3.3 - Representação da transição dos fluxos energéticos para um sistema de autoconsumo FV sem sistema de armazenamento. Adaptado de [58]

Na Figura 3.4, é apresentada a transição dos fluxos energéticos entre os vários intervenientes recorrendo a um sistema de armazenamento.

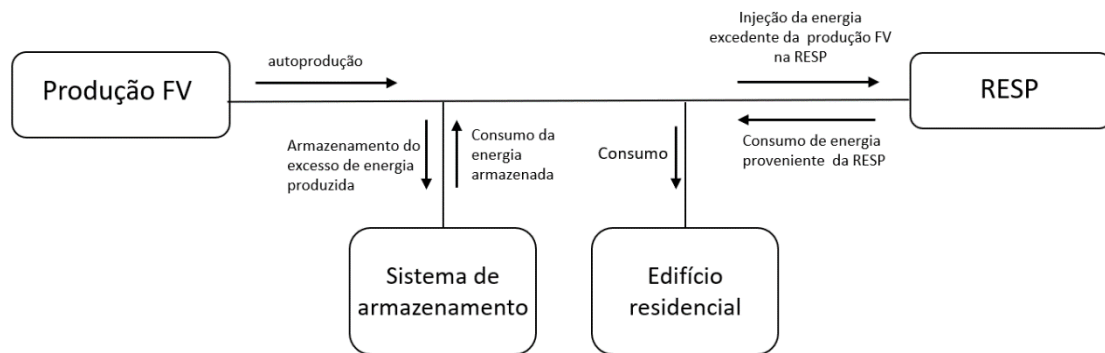


Figura 3.4 - Representação da transição dos fluxos energéticos para um sistema de autoconsumo FV com sistema de armazenamento. Adaptado de [58]

Todos os cálculos foram efetuados tendo em conta a seguinte metodologia²:

1) Sistema de autoconsumo sem armazenamento

Para o cálculo do autoconsumo foi considerado o seguinte:

- Se $Consumo_{t^3} > Produção_t$

$$Autoconsumo_t = Produção_t \quad (5)$$

- Se $Consumo_t < Produção_t$

$$Autoconsumo_t = Consumo_t \quad (6)$$

Sempre que o consumo for superior à produção, a energia proveniente da RESP irá colmatar o défice de energia sendo que o consumo desta energia é calculado da seguinte forma:

- Se $Consumo_t > Produção_t$

$$Energia consumida proveniente da RESP_t = Consumo_t - Produção_t \quad (7)$$

- Se $Consumo_t < Produção_t$

$$Energia consumida proveniente da RESP_t = 0 \quad (8)$$

² Todas as unidades apresentadas desde a expressão 5 à expressão 14 encontram-se expressas em kWh

³ t - Representa a hora

Por outro lado, quando a produção é superior ao consumo, a energia excedente da produção é injetada na RESP, tendo em conta:

- *Se* $Produção_t > Consumo_t$

$$Energia\ injetada\ na\ RESP_t = Produção_t - Consumo_t \quad (9)$$

- *Se* $Produção_t < Consumo_t$

$$Energia\ injetada\ na\ RESP_t = 0 \quad (10)$$

2) Sistema de autoconsumo com armazenamento

Considerou-se a seguinte metodologia para proceder ao carregamento da bateria:

- *Se* *injeção da energia excedente de produção* > 0
 - *Se* $SoC < SoC_{máx}$ ⁴

$$SoC_t = SoC_{t-1} + (produção_t - consumo_t) \quad (11)$$

De modo análogo, para descarregar a bateria considerou-se:

- *Se* $SOC > SOC_{min}$ ⁵

$$SOC_t = SOC_{t-1} - (Consumo_t - Produção_t) \quad (12)$$

Desta forma, o cálculo para o autoconsumo é dado através da expressão 13 e 14:

- *Se* $consumo_t > Produção_t$

$$autoconsumo_t = produção_t + descarregar\ bateria \quad (13)$$

- *Se* $consumo_t < Produção_t$

$$autoconsumo_t = consumo_t \quad (14)$$

⁴ $SoC_{máx}$ - State of Charge - capacidade máxima da bateria, que para preservação da sua vida útil foi limitado a 80% da capacidade máxima definida pelo fabricante

⁵ SoC_{min} - Capacidade mínima da bateria, que para preservação da sua vida útil foi limitado a 20% da capacidade mínima definida pelo fabricante

3) Sistema de autoconsumo considerando a RESP como sistema de armazenamento

Considerando a RESP como suporte de armazenamento da energia excedente da produção, ponderou-se a injeção do excedente de energia desde que, no final de cada mês, o somatório da energia injetada não superasse a soma do consumo da energia proveniente da RESP. Assim, para uma determinada hora, caso o consumo seja superior à produção e a energia injetada na RESP seja superior a zero é possível consumi-la até que a esta seja zero (sendo que a RESP funcionará como uma bateria).

3.6- Indicadores Económicos

A avaliação financeira do projeto de investimento é um estudo de apoio à tomada de decisão do investidor.

Os critérios inerentes ao estudo de avaliação do projeto ditarão a tomada de decisão, quanto à sua implementação ou não. Desses critérios destacam-se, o Prazo de Recuperação do Investimento (PRI ou *Payback*), Valor Atualizado Líquido (VAL) e Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) [57] [59].

Seguidamente apresenta-se a definição de cada um destes indicadores [59]:

PRI, (expresso em anos) corresponde ao tempo de recuperação do investimento. É dado pelo número de anos correspondente ao período de vida útil necessários para que os fluxos positivos igualem o montante total investido. Se $PRI < n^6$ projeto rentável, se $PRI > n$ projeto não rentável.

VAL, (expresso em euros) trata-se de uma medida de rentabilidade que traduz, o montante residual dos fluxos positivos gerados durante o período de vida útil do investimento. Este valor é líquido da taxa de remuneração dos capitais iniciais a uma taxa de juro igual à de atualização utilizada nos cálculos. Um projeto é rentável quando o VAL é positivo, ou seja, todos os projetos com $VAL > 0$ são implementáveis. Pelo contrário, $VAL < 0$ significa rejeição do projeto.

TIR, (expressa em percentagem) é a taxa de atualização para a qual se anula o respetivo valor líquido atualizado ($VAL = 0$). A taxa interna de rentabilidade de um investimento mede o rendimento anual produzido durante o período de vida útil do projeto depois de recuperados os respetivos custos.

⁶ Período de vida útil do investimento

3.7- Conclusões

No presente capítulo foram apresentados os perfis de consumo para estudo, bem como os perfis de produção para cada potência a instalar da UPAC. A análise e estudo destes perfis é fundamental para adequar o sistema de autoconsumo às necessidades energéticas de cada local, tendo em conta os pressupostos assumidos.

De modo, a determinar a influência que o sistema de autoconsumo tem nos encargos económicos do consumidor, é necessário conhecer o regime tarifário aplicável a cada caso.

Neste capítulo, foi descrita a metodologia de trabalho utilizada para o estudo dos perfis de consumo apresentados, recorrendo ao software *Excel*. De modo a validar a viabilidade dos sistemas a implementar (sistema de autoconsumo com e sem armazenamento de energia), são calculados indicadores económicos tais como, o VAL, TIR e PRI.

Capítulo 4

Análise e Discussão de Resultados

4.1- Cenário de Estudo 1

4.1.1- Sistemas de autoconsumo sem armazenamento

Nas tabelas 4.1 e 4.2, encontram-se os dados obtidos durante a simulação para a condição de implementação de um sistema para autoconsumo sem armazenamento. Testou-se uma seleção de diversos painéis com potências distintas, de modo verificar qual o sistema que melhor se identifica com as necessidades energéticas da residência. Portanto, nas referidas tabelas expõem-se alguns dos parâmetros definidos que permitem destacar os resultados obtidos. No anexo A indicam-se os resultados dos restantes parâmetros em análise.

Tabela 4.1 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 190 W e 210 W.

Painel	190 W			210 W			
Potência da UPAC (W)	Sem Autoconsumo	380	570	760	420	630	840
Energia proveniente da RESP (kWh)	4029,77	3491,71	3318,48	3198,48	3449,06	3276,39	3156,73
Energia Produzida Consumida (%)	-	92,74	81,84	71,80	90,60	78,45	68,22
Poupança na fatura no 1º ano (€)	-	83,42	110,42	129,16	90,07	116,98	135,64
VAL (€)	-	2096,22	2926,20	2522,26	1032,68	2687,36	1714,39
TIR (%)	-	4	4	4	3	4	3
PRI (anos)	-	10,94	10,96	11,26	11,64	11,11	11,54
Área de ocupação (m ²)	-	2,55	3,83	5,11	2,55	3,83	5,11

Tabela 4.2 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis 290 W e 310 W.

Painel	290 W			310 W		
Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Energia proveniente da RESP (kWh)	3311,14	3142,16	3022,14	3283,10	3114,38	2994,21
Energia Produzida Consumida (%)	81,27	66,97	57,04	79,00	64,62	54,84
Poupança na fatura no 1º ano (€)	117,57	137,91	156,62	115,94	142,24	160,98
VAL (€)	6415,57	7613,03	5578,98	6214,69	6168,79	3857,12
TIR (%)	7	7	5	7	6	4
PRI (anos)	9,54	9,50	10,55	9,71	10,23	11,21
Área de ocupação (m ²)	3,25	4,88	6,51	3,25	4,88	6,51

Analisando as tabelas 4.1 e 4.2, é notório que, com o aumento da potência instalada da UPAC, assiste-se a um aumento da energia produzida, logo menor é consumo de energia da RESP, resultando num menor encargo financeiro. Porém, evidencia-se um aumento da energia produzida injetada na rede, não sendo o mais desejável.

Deste modo, verifica-se a não linearidade relativamente à seleção da capacidade de produção a instalar pois, melhorando um indicador poder-se-á piorar outro, assim, de forma a satisfazer as condições ótimas para o consumidor e fornecedor é imperioso encontrar um ponto de equilíbrio. Além dos aspetos referidos anteriormente é necessário para a seleção da UPAC ter em conta o espaço disponível no local da instalação da mesma, pois este fator condiciona a tomada da decisão.

As tabelas 4.1 e 4.2 permitem também concluir que, ao nível da rentabilidade, a melhor solução de entre as estudadas, será a da implementação de um sistema para autoconsumo FV com potência de 870 W, uma vez que por um lado, esta solução apresenta um menor período de retorno de investimento e por outro, uma maior TIR. No entanto, na perspetiva da poupança de energia, a melhor solução apresentada será para o caso de uma potência de 380 W, pois traduz uma maior percentagem de consumo da energia produzida, logo uma menor quantidade de energia excedente. Por outro lado, a solução que apresenta maior poupança financeira relativamente ao cenário sem UPAC é para o caso da potência instalada seja de 1240W, contudo com o maior período de retorno do investimento.

A Figura 4.1, diz respeito ao cenário de um dia de inverno para uma potência de sistema de autoconsumo correspondente a 870 W.

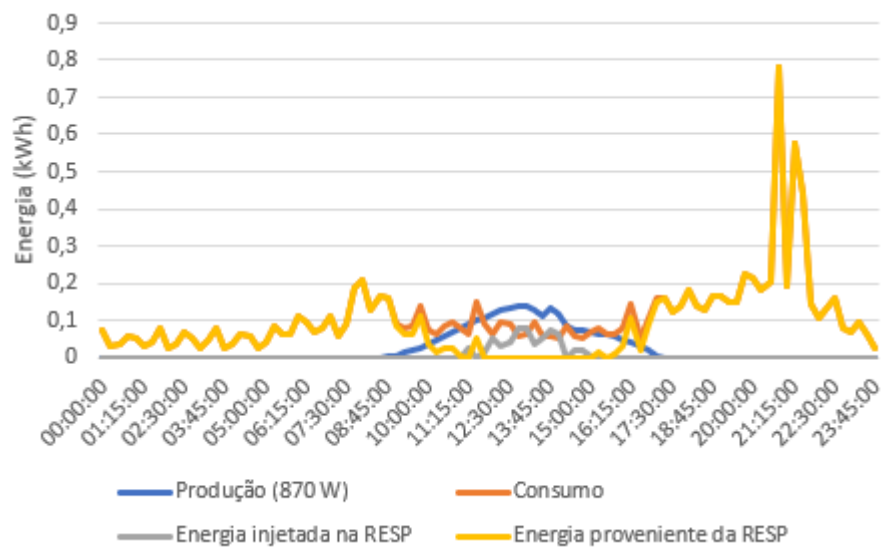


Figura 4.1 - Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de 870 W

Nesta figura, verifica-se que durante a maior parte do dia, a energia produzida é insuficiente para colmatar as necessidades energéticas da habitação, o que seria de esperar uma vez que os períodos de incidência solar são menores do que, por exemplo, os do dia de verão apresentado na figura 4.2. No entanto, entre as 12h30 e as 15h00, a produção de energia através dos painéis solares é superior ao consumo, por isso o excedente de energia produzida é injetada na RESP.

Na Figura 4.2 apresentam-se os dados para um dia de verão: produção, consumo, energia injetada na RESP e energia consumida da RESP. É notório, face aos resultados apresentados na Figura 4.1, que a produção de energia atinge valores superiores, conduzindo por sua vez a uma maior quantidade de energia injetada na RESP. Isto nem sempre traduz um efeito positivo, dado que a energia está a ser entregue à rede gratuitamente, traduzindo-se num desperdício para o consumidor, particularmente, entre as 12h00 e as 16h15.

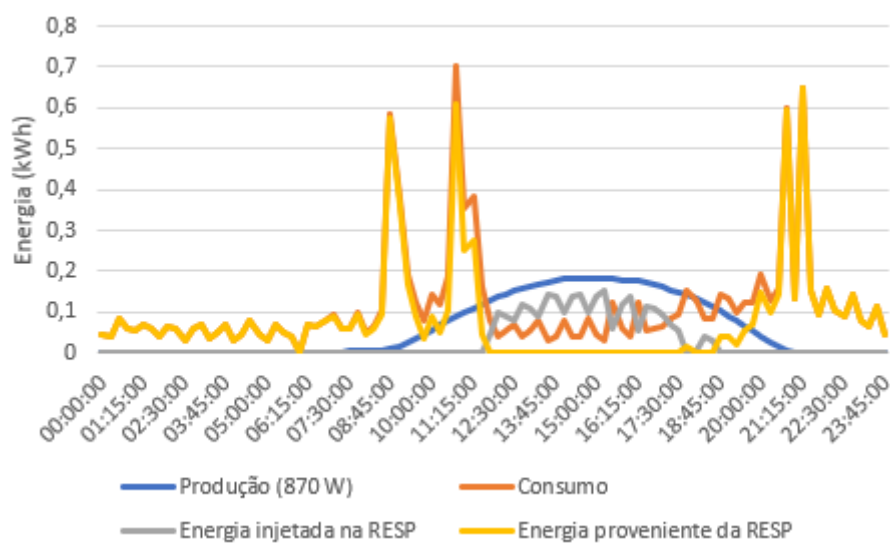


Figura 4.2 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W

4.1.2- Sistemas de autoconsumo com armazenamento

Nas tabelas 4.3 e 4.4 são apresentados os resultados anuais obtidos durante o estudo para um sistema de autoconsumo FV com armazenamento. Face às tendências de consumo foi considerada para o estudo uma bateria com capacidade de 2,56 kWh. Encontram-se no anexo B os resultados detalhados obtidos para a simulação dos diferentes parâmetros dos sistemas de autoconsumo com baterias.

Tabela 4.3 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 190 W e 210 W

Painel	190 W			210 W		
Potência da UPAC (W)	380	570	760	420	630	840
Capacidade da bateria (kWh)	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Energia produzida consumida (%)	99,97	99,68	97,11	99,94	99,17	94,87
Poupança na fatura no 1º ano (€)	89,61	133,35	172,91	98,91	146,48	186,68
VAL (€)	-47247,33	-40454,22	-34795,42	-45987,58	-38953,86	-33716,69
TIR (%)	-	-	-	-	-	-
PRI (anos)	>25	>25	>20	>25	>25	>20

Tabela 4.4 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 290 W e 310 W

Painel	290 W			310 W		
Potência UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Capacidade da bateria (kWh)	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Energia Produzida consumida (%)	99,61	93,80	82,88	99,29	91,70	79,86
Poupança na fatura no 1º ano (€)	135,57	191,36	226,70	144,31	200,04	233,98
VAL (€)	-36731,77	-27099,79	-24139,18	-35733,91	-27243,51	-24974,47
TIR (%)	-	-12	-8	-	-11	-8
PRI (anos)	>20	>20	>15	>20	>15	>15

Em termos de rentabilidade e de investimento financeiro para os diversos sistemas estudados os resultados foram negativos, dado ter-se obtido VAL menor que zero em todos os casos. Porém, destaca-se o efeito positivo da bateria, através das tabelas 4.3 e 4.4 conclui-se que a poupança económica e de consumo de energia da rede são bastantes significativas face aos resultados sem a bateria. Salienta-se que, para uma potência de 380W, 99,97% da energia produzida é consumida e para uma potência de 870 W, é consumida uma percentagem de 93,80. No entanto, o período de retorno do investimento, para todos os casos considerados, ultrapassa os 15 anos.

Nas figuras 4.3 e 4.4, estão apresentados os perfis de produção, de consumo, de energia injetada na rede e do estado da bateria, para os dias 20 de junho e 23 de dezembro, respetivamente.

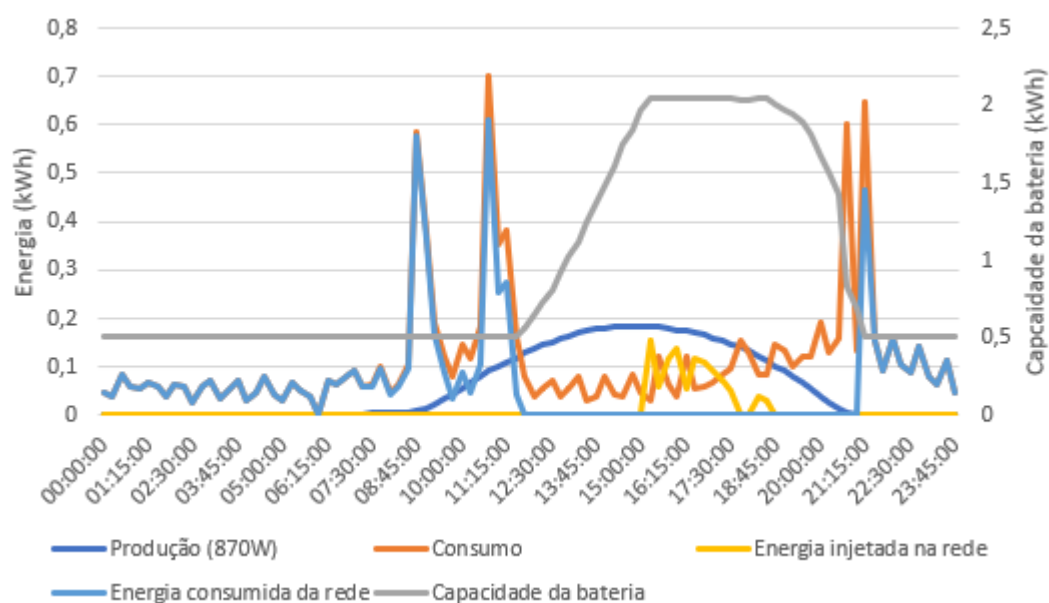


Figura 4.3 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W com bateria

Contrariamente ao analisado na Figura 4.2, situação onde a energia excedente da produção era injetada na rede, para a situação apresentada na Figura 4.3, essa energia passará a ser armazenada na bateria para utilização posterior. No entanto, devido às limitações da capacidade da bateria, entre as 15h00 e as 18h45, ocorre a injeção de energia excedente de produção na rede. Desde as 18h45 até às 21h15, a energia consumida é assegurada pela energia originária da bateria. Portanto, para o perfil de consumo apresentado, desde as 12h30 às 21h15, durante aproximadamente 9h, nenhuma energia consumida é proveniente da rede.

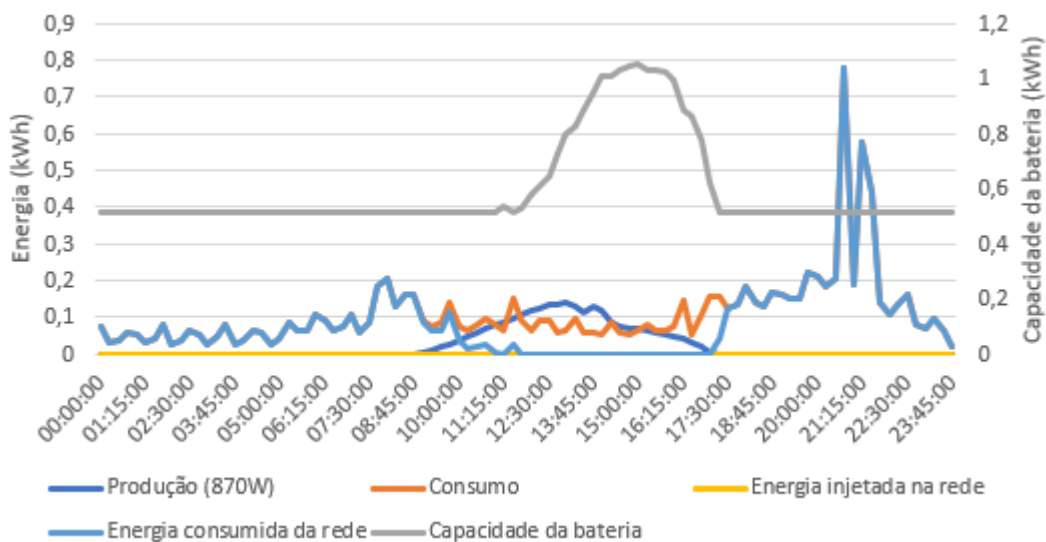


Figura 4.4 -Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W com bateria

Por outro lado, dado o perfil de produção apresentado na Figura 4.4, constata-se que, em relação à capacidade da bateria, esta não atinge o seu limite máximo, no entanto, a energia nela armazenada é utilizada para colmatar as necessidades energéticas da habitação entre as 16h00 e as 17h30. Comparativamente ao cenário apresentado na Figura 4.3, o período de consumo de energia originário da rede é inferior. Contudo, este facto reforça o ideal do efeito da sazonalidade no que diz respeito à produção de energia a partir da fonte solar.

4.1.3- Sistema de autoconsumo considerando a RESP como sistema de armazenamento

Alternativamente à utilização da bateria, considerou-se a injeção da energia excedente da produção na RESP, de forma a esta armazená-la, para consumo posterior, ou seja, a RESP funcionaria como uma bateria, “armazenando” a energia. Nas tabelas 4.5 e 4.6, estão apresentados os dados anuais para sistema de autoconsumo considerando a RESP como sistema de armazenamento. Os restantes indicadores considerados estão apresentados de forma detalhada no anexo C.

Tabela 4.5 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W

Painel	190 W			210 W		
Potência da UPAC (W)	380	570	760	420	630	840
Energia produzida consumida (%)	100	100	100	100	100	100
Redução Anual das Emissões de CO_2 (%) ⁷	14,33	21,66	28,66	15,93	23,88	31,85
Encargos financeiros (€)	693,39	648,42	603,44	683,92	634,21	584,51
TIR (%)	5	9	12	5	10	12
PRI (anos)	10,65	8,98	8,03	10,55	8,69	7,82

Tabela 4.6 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W

Painel	290 W		310 W	
Potência da UPAC (W)	580	870	620	930
Energia produzida (kWh)	880,62	1320,92	941,35	1412,02
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100
Redução Anual das Emissões de CO_2 (%)	14,33	32,80	23,57	35,03
Encargos financeiros (€)	646,05	577,40	636,58	563,20
TIR (%)	12	17	12	16
PRI (anos)	7,77	6,55	7,69	6,56

Com a implementação desta solução, é visível a redução considerável do período de retorno do investimento face aos cenários anteriormente apresentados (tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4). Esta solução viabiliza o consumo da energia produzida em 100% e está ligado diretamente ao aumento da poupança anual verificada para cada caso. Outro fator de extrema importância é referente às reduções significativas das emissões de CO_2 que esta solução permite, apesar disso,

⁷Redução das emissões de CO_2 relativamente ao cenário sem UPAC. Valor obtido em [60]

o cenário para o qual se verifica uma maior redução nas emissões de CO_2 , é para a situação cuja potência da UPAC corresponde a 930 W, que apresenta uma redução de cerca de 35%.

As potências 1160 W e 1240 W tornam-se inviáveis tendo em conta o fator limitativo do consumo da energia originária da RESP ter de ser mensalmente superior à energia injetada na mesma.

Em termos de rentabilidade, o cenário mais favorável de acordo com os resultados apresentados nas tabelas 4.5 e 4.6 é para o caso da instalação da UPAC de 870 W, uma vez que, apresenta uma TIR de 17% e um menor período de retorno do investimento.

Relativamente à poupança financeira a solução de UPAC economicamente mais atrativa é para a solução de 930 W dado apresentar uma poupança anual maior face ao cenário sem UPAC e relativamente à UPAC de 870 W, sendo que apresenta uma diferença mínima no que respeita ao período de retorno do investimento.

As figuras 4.5 e 4.6, destacam o efeito da utilização da RESP como sistema de armazenamento.

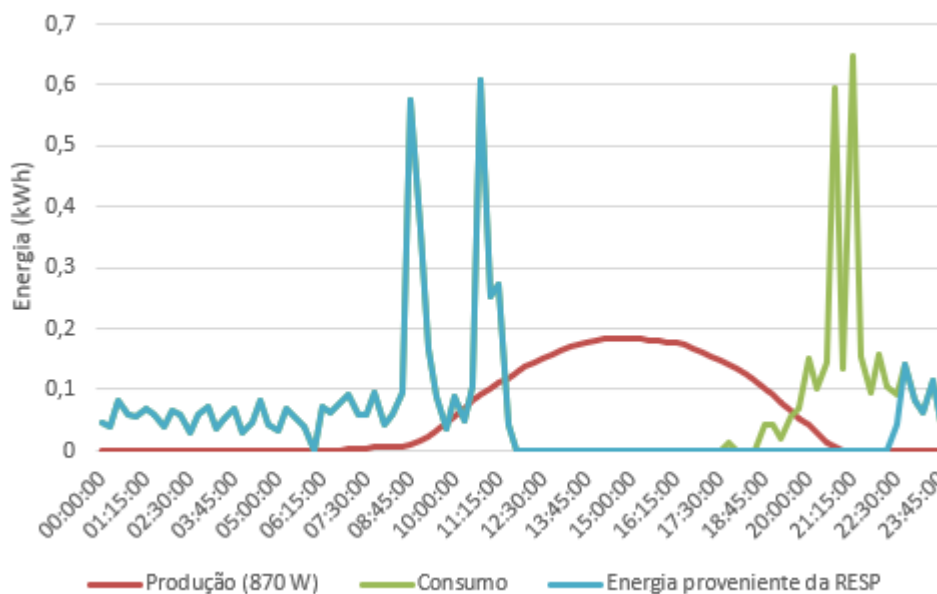


Figura 4.5 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W considerando a rede como sistema de armazenamento

Na figura 4.5, verifica-se que para o dia 20 de junho, entre as 12h00 e as 22h30 o fornecimento de energia é assegurado pelo sistema FV e pela energia anteriormente “armazenada” na rede, portanto, só a partir das 22h30 é que é necessário recorrer à compra de eletricidade da rede para fazer face ao consumo.

Segue-se a Figura 4.6 referente ao perfil de consumo, de produção e de energia consumida proveniente da rede para o dia 23 de dezembro. Observando-a, é visível que entre as 12h00 e

as 17h30, a energia consumida é exclusivamente da produção FV, durante este período o recurso à energia armazenada ocorre entre as 16h00 e as 17h30.

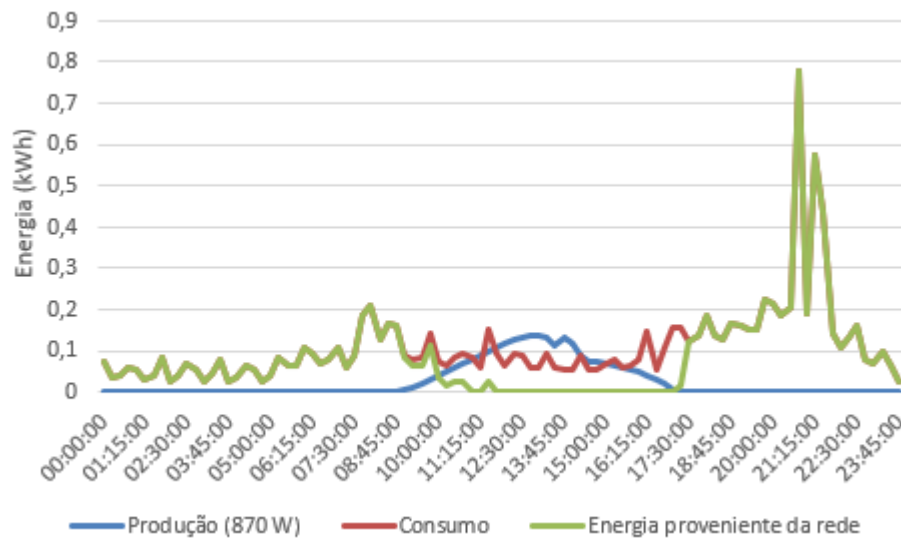


Figura 4.6 - Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W considerando a rede como sistema de armazenamento

4.2- Cenário de Estudo 2

4.2-1. Sistemas de autoconsumo sem armazenamento

Nas tabelas 4.7 e 4.8 apresentam-se os resultados obtidos para os indicadores anuais listados. No anexo D, encontram-se detalhadamente os valores obtidos referentes às diversas características em causa.

Tabela 4.7 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 190 W e 210 W

Painel	Sem autoconsumo	190 W				210 W		
		380	570	760	950	420	630	840
Potência da UPAC (W)								
Energia proveniente da RESP (kWh)	5790,28	5238,84	5029,62	4880,70	4771,27	5189,27	4976,88	4830,80
Energia Produzida Consumida (%)	-	95,58	87,89	78,83	70,65	94,25	85,04	75,22
Poupança na fatura no 1º ano (€)	-	85,97	118,59	141,80	158,86	93,70	126,81	149,56
VAL (€)	-	2743,94	5140,62	6084,30	7568,40	1973,63	5149,06	5372,04
TIR (%)	-	5	6	6	6	4	6	5
PRI (anos)	-	11,30	10,26	10,21	11,36	11,24	10,28	10,50
Área de ocupação (m ²)	-	2,55	3,83	5,11	6,39	2,55	3,83	5,12

Tabela 4.8 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 290 W e 310 W

Painel	290 W				310 W	
	Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930
Energia proveniente da RESP (kWh)	5020,39	4813,80	4676,06	4985,27	4781,51	4644,49
Energia Produzida Consumida (%)	87,43	73,92	63,26	85,52	71,44	60,86
Poupança na fatura no 1º ano (€)	120,03	152,23	173,71	125,50	157,27	178,63
VAL (€)	8488,51	11390,77	10153,40	8601,59	10157,96	8588,71
TIR (%)	9	9	8	9	8	7
PRI (anos)	8,89	8,86	9,54	9,07	9,28	10,14
Área de ocupação (m ²)	3,25	4,88	6,51	3,25	4,88	6,51

Verifica-se através das tabelas 4.7 e 4.8 que, quanto menores as potências instaladas, maior é o consumo da energia produzida, por exemplo para o caso da potência de 380 W, o consumo de energia produzida é de 95,58%. Por outro lado, esta reflete a menor poupança económica anual face ao cenário sem UPAC. No entanto, para todas as potências analisadas, excetuando as de 1160 W e 1240 W, a energia produzida consumida ultrapassada os 70%.

No que respeita à análise de rentabilidade, a UPAC com potência de 870 W, apresenta, não só o menor período de retorno de investimento, mas também uma maior TIR. No entanto, na perspetiva de poupança económica anual, a melhor solução apresentada será para o caso de uma potência de 1240 W, pois esta traduz um menor consumo de energia proveniente da rede apesar de refletir o maior período de retorno do investimento.

Segue-se figura 4.7 representativa do perfil de consumo, de produção e dos fluxos de energia provenientes da RESP para o dia 20 de junho.

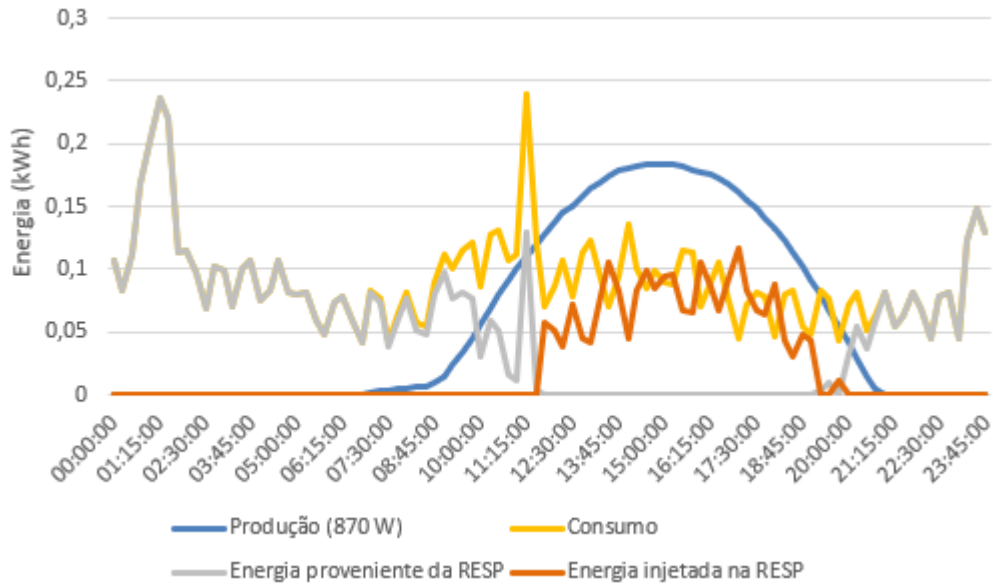


Figura 4.7 - Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W

Verifica-se que, entre as 11h15 e as 20h00, a energia consumida é proveniente da produção FV aliás, durante esse período, devido à quantidade de energia produzida ser maior do que o consumo, a energia excedente é introduzida na rede.

Por sua vez, na figura seguinte, (figura 4.8) verifica-se que para o mesmo período, o consumo de energia com origem na rede é superior. Na simulação representada na figura 4.8 a quantidade de energia injetada na rede é menor do que a apresentada na figura 4.7, no entanto, esta situação traduz-se numa perda de dinheiro para o consumidor, uma vez que está a entregar energia à rede de forma gratuita.

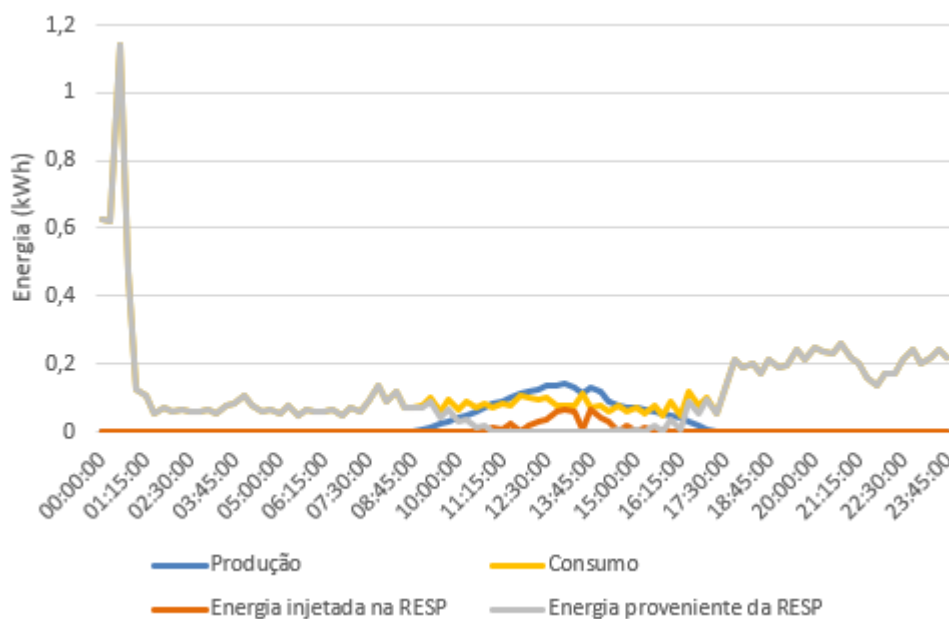


Figura 4.8 - Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W

Tabela 4.10 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 290 W e 310 W

Painel	210 W			310 W		
Potência UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Capacidade da bateria (kWh)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Energia Produzida consumida (%)	99,65	98,47	90,90	99,64	97,28	88,24
Poupança na fatura no 1º ano (€)	135,97	200,53	247,48	145,19	211,91	257,07
VAL (€)	-56336,89	-54072,63	-47637,06	-64787,60	-53403,42	-47738,85
TIR (%)	-	-	-	-	-	-
PRI (anos)	>25	>25	>20	>25	>20	>20

Tal como aconteceu para o caso em estudo 1, para este cenário a implementação da bateria é uma opção de investimento negativa, dado o VAL ser inferior a zero. No entanto, analisando a Tabela 4.9 e a Tabela 4.10 verifica-se que, através da implementação da bateria, na maioria das situações de estudo o consumo da energia produzida é superior a 90%, exceto para a situação da potência de 1240 W cuja energia produzida consumida é de aproximadamente 88%. Também através da análise das tabelas anteriormente referidas, é verificável um aumento significativo da poupança a nível económico face ao cenário sem UPAC e com UPAC sem bateria (Tabela 4.7 e Tabela 4.8). No entanto, o período de retorno do investimento, para todos os casos considerados, ultrapassa os 20 anos.

Nas figuras 4.9 e 4.10 são apresentados os perfis de consumo, de produção, de capacidade da bateria e da energia consumida e injetada na RESP, para uma potência instalada de 870 W para o dia 20 de junho e para o dia 23 de dezembro, respetivamente.

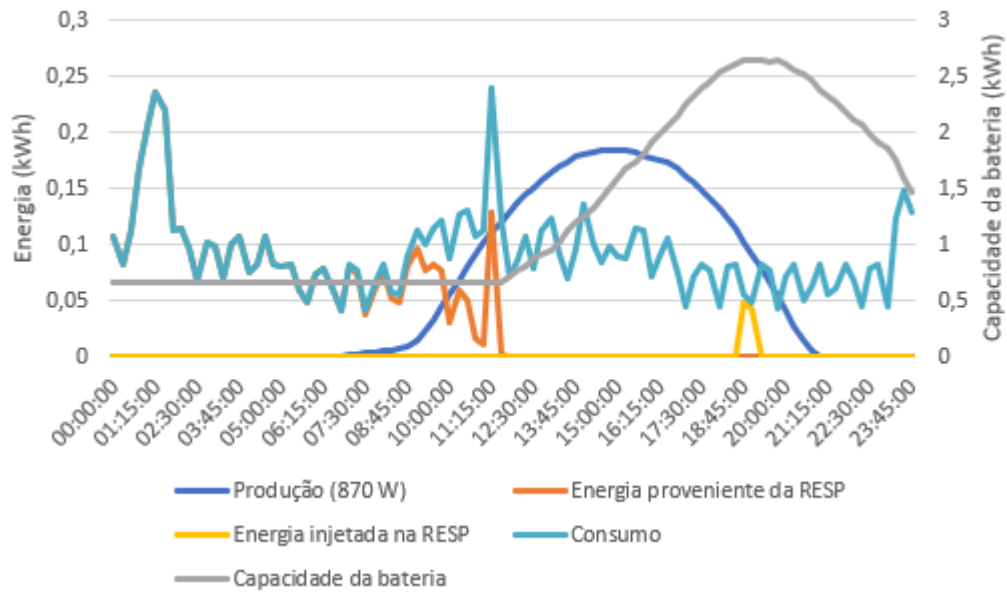


Figura 4.9 - Caso 2: Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 870 W com bateria

Segundo a análise da figura 4.9, verifica-se que entre as 12h00 e as 24h00 não foi necessário consumir energia proveniente da rede. A integração da bateria, permitiu reduzir o consumo de energia com origem na rede, pois este dispositivo permitiu colmatar as necessidades energéticas da residência para o período entre as 20h00 e as 24h00.

Já para o dia 23 de dezembro, figura 4.10, o efeito da sazonalidade está fortemente marcado, uma vez que a produção da UPAC é menor e, por conseguinte, vê-se um maior consumo de energia proveniente da RESP, sendo que apenas para o período entre as 11h15 e as 17h30, é que não houve consumo de energia da rede.

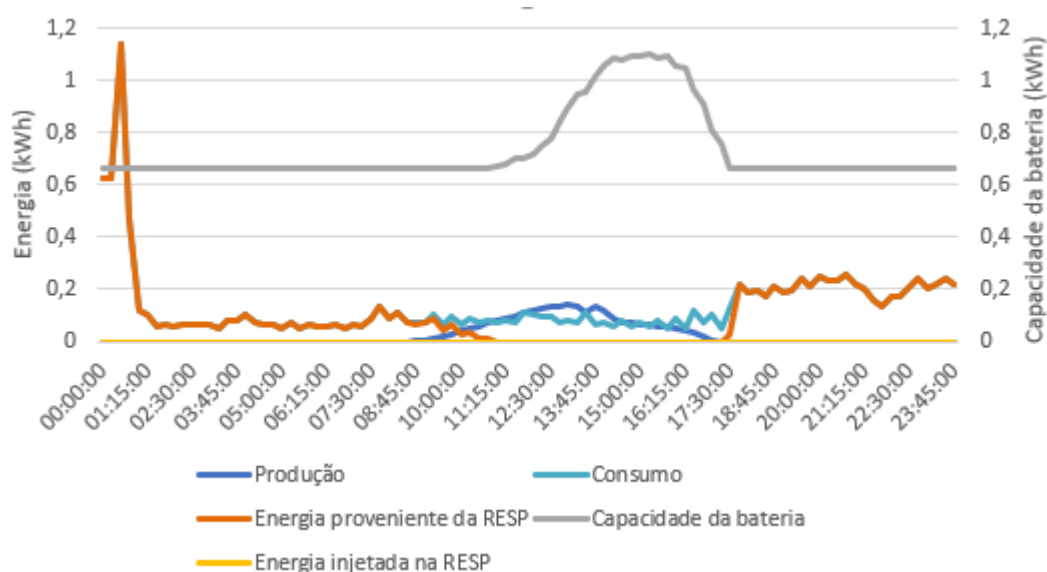


Figura 4.10 - Caso 2: Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 870 W com bateria

4.2.3- Sistema de autoconsumo considerando a RESP como sistema de armazenamento

Tal como no caso 1, considerou-se a rede como um possível sistema de armazenamento para auxiliar o sistema de autoconsumo FV. Nas tabelas 4.11 e 4.12 estão apresentados os dados anuais para sistema de autoconsumo considerando a RESP como sistema de armazenamento. Os restantes indicadores considerados estão apresentados de forma detalhada no anexo F.

Tabela 4.11 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W

Painel	190 W				210 W		
Potência da UPAC (W)	380	570	760	950	420	630	840
Energia produzida (kWh)	576,956	865,434	1153,911	1442,389	637,688	956,532	1275,376
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100	100	100	100
Redução Anual das Emissões de CO_2 (%) ⁸	9,98	14,86	19,96	24,83	10,86	20,28	21,95
Encargos financeiros (€)	968,32	923,35	878,37	833,40	958,85	909,14	859,44
TIR (%)	5	9	12	15	5	10	12
PRI (anos)	10,65	8,98	8,03	6,90	10,55	8,69	7,82

Tabela 4.12 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC considerando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W

Painel	290 W			310 W		
Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Energia produzida (kWh)	880,62	1320,92	1761,23	941,35	1412,02	1882,70
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100	100	100
Redução Anual das Emissões de CO_2 (%)	15,08	22,84	30,38	16,19	24,39	32,37
Encargos financeiros (€)	920,98	852,34	783,69	911,51	838,13	764,76
TIR (%)	12	17	19	12	16	19
PRI (anos)	7,77	6,53	5,93	7,69	6,56	6,08

Esta solução permite o consumo total da energia produzida pela UPAC, tal como verificado nas tabelas 4.11 e 4.12, nestas verifica-se ainda que, relativamente às condições do retorno do investimento, ocorreu uma diminuição do número de anos.

⁸Redução das emissões de CO_2 face ao cenário sem UPAC. Valor obtido em [60]

No que respeita às reduções das emissões de CO_2 destaca-se a UPAC de potência 1240 W, pois apresenta uma redução de cerca de 32% relativamente ao cenário sem UPAC.

Em termos de rentabilidade, o cenário mais favorável de acordo com os resultados apresentados nas tabelas 4.11 e 4.12 é para o caso da instalação da UPAC de 1160 W, uma vez que, apresenta uma TIR de 17% e um menor período de retorno de investimento, cerca de 6 anos. Porém a solução para uma UPAC com 1240 W é muito atrativa financeiramente, uma vez que apresenta a poupança máxima relativamente aos casos analisados, apresentando também um desempenho rentável uma vez que a TIR é 17% e o PRI cerca de 6 anos.

As figuras 4.11 e 4.12 destacam o efeito da utilização da RESP como sistema de armazenamento para um sistema com potência de 1160 W.

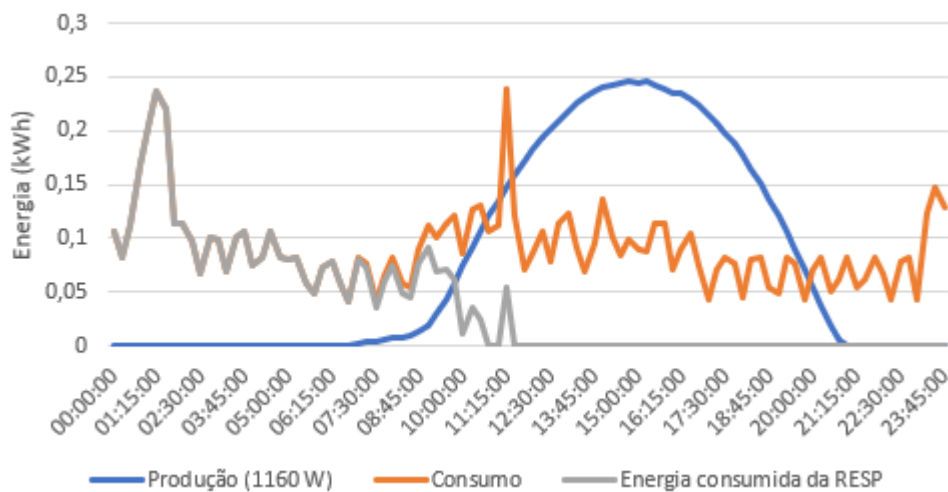


Figura 4.11 - Caso 2: Dados relativos ao dia 20 de junho para uma UPAC de potência 1160 W considerando a rede como sistema de armazenamento

Para o perfil apresentado na figura 4.11, verifica-se que apenas foi necessário recorrer à compra de energia à rede desde as 00h00 até às 12h00, pois analisando a figura conclui-se que durante o restante período (das 12h00 às 24h00) o fornecimento de energia é assegurado pelo sistema FV e pela energia anteriormente “armazenada” na rede.

Segue-se figura 4.12 referente ao perfil de consumo, de produção e de energia consumida proveniente da rede para o dia 23 de dezembro. Tal como anteriormente constatado o período de produção é menor relativamente ao dia 20 de junho, contudo observando a figura 4.12 é visível que entre as 12h00 e as 18h45, a energia consumida é exclusivamente da produção FV. Durante este período o recurso à energia armazenada ocorre entre as 16h15 e as 18h45.

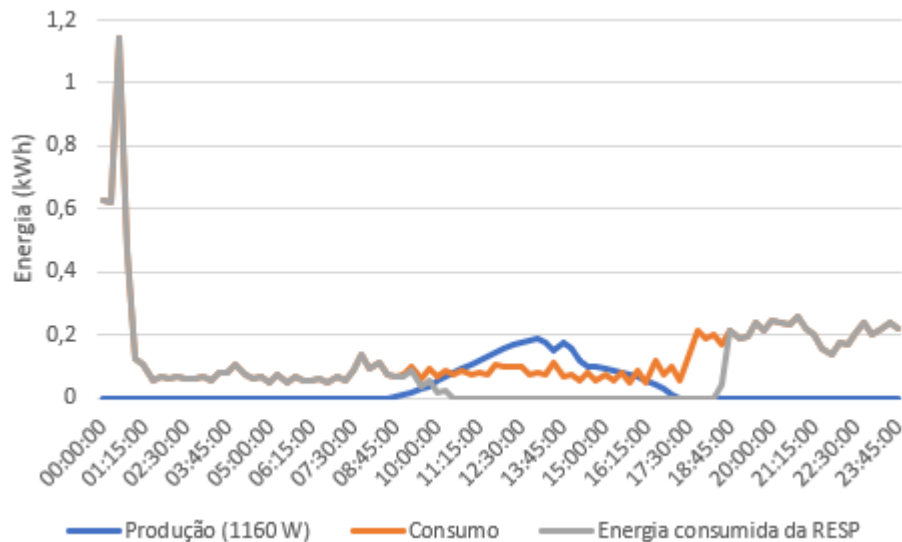


Figura 4.12- Caso 2: Dados relativos ao dia 23 de dezembro para uma UPAC de potência 1160 W considerando a rede como sistema de armazenamento

4.3- Conclusões

Durante o estudo dos perfis de consumo apresentados, foram obtidos os resultados para:

- Implementação de um sistema para autoconsumo;
- Implementação de uma bateria no sistema de autoconsumo;
- Análise do efeito da rede como sistema de armazenamento da energia excedente da produção FV do sistema de autoconsumo;

É possível verificar o efeito que a potência da UPAC tem nos indicadores analisados, destacando-se a sua implicação na redução dos encargos energéticos face ao cenário sem UPAC. Por outro lado, verificou-se a inviabilidade da implementação de baterias, devido ao seu elevado investimento inicial. Em alternativa, para ambos os casos, verificou-se que considerando a rede como um sistema de armazenamento foi possível tornar ainda mais viável, atrativa e lucrativa a implementação do sistema de autoconsumo, dado o aumento significativo da poupança dos sistemas em relação aos encargos energéticos e benefícios ambientais nomeadamente a redução das emissões de CO_2 , indo de encontro à proposta do Acordo Ecológico Europeu recentemente decretada que revê a meta europeia de redução dos GEE em 55% até 2030 relativamente aos valores de 1990.

Capítulo 5

Conclusão e Trabalho futuro

Na presente dissertação foi analisada a viabilidade económica de sistemas de armazenamento de energia em edifícios residenciais com sistemas de produção FV para autoconsumo.

O setor fotovoltaico tem ganho progressivamente mais expressão como fonte de produção de energia, sobretudo devido aos preços cada vez mais atrativos da tecnologia associada. Por outro lado, o setor das baterias tem tido um elevado crescimento e desenvolvimento tornando esta tecnologia cada vez mais robusta e fiável para aplicabilidade.

Para os perfis de consumo analisados verificou-se qual a influência da potência instalada relativamente ao seu impacto no consumo de energia, bem como no que respeita à redução dos encargos energéticos a ele associados, o que intrinsecamente está relacionado com os indicadores económicos considerados (VAL, TIR e PRI). Conclui-se para ambos os casos que, quanto maior a potência instalada, maior a poupança anual face ao cenário sem UPAC e maior a quantidade de energia entregue à rede gratuitamente. Para o perfil em estudo 1, concluiu-se que a melhor solução em termos de rentabilidade seria a implementação de um sistema de autoconsumo com potência de 870 W, dado apresentar maior TIR (7%) e menor PRI, aproximadamente 9 anos. Para o perfil 2 estudado, concluiu-se que a melhor solução a implementar em termos de rentabilidade seria também uma UPAC com potência de 870 W, tendo-se obtido uma TIR de 9% e um prazo de retorno de investimento de aproximadamente 8 anos.

Posteriormente concluiu-se através da análise da implementação de baterias que, a utilização desta tecnologia não é viável economicamente para nenhum dos casos em estudo, devido ao elevado custo de investimento inicial, o que torna a opção por este tipo de equipamento desaconselhável para os casos analisados.

Concluiu-se também que a melhor opção é a utilização da RESP como sistema de armazenamento, uma vez que evidencia diversos benefícios para os consumidores analisados, tais como, diminuição dos encargos energéticos comparativamente ao cenário sem UPAC, diminuição da energia consumida da RESP, menor PRI, maior valor de lucro para o período em estudo de 25 anos, entre outros. Desta forma, concluiu-se que, para o caso em estudo 1, para a instalação de uma UPAC de potência de 870 W, em termos de rentabilidade, apresenta uma TIR de 17%, com um prazo de retorno do investimento de pouco mais de 6 anos. Na mesma linha de pensamento tornou-se claro que a energia consumida da RESP para este cenário, comparativamente ao cenário sem UPAC, permite a redução em cerca de 33% de emissões de CO_2 , o que se traduz em cerca de 103 toneladas. No que respeita ao caso 2, percebeu-se igualmente uma redução do período de retorno do investimento de aproximadamente 6 anos, com uma TIR de 19% e uma redução das emissões de CO_2 de 30%, o que representa uma diminuição de 137 toneladas de CO_2 emitidas para a atmosfera num ano.

Com a diminuição dos preços da tecnologia fotovoltaica, torna-se mais viável e atrativo aos consumidores produzirem a sua própria energia, no entanto, estes deverão estar conscientes de que têm a restrição de esta energia ter que ser consumida diretamente. Em contraponto, verifica-se o preço elevado das baterias o que se traduz numa solução pouco atrativa pelo que a melhor alternativa para contornar este obstáculo passa pela implementação de funcionalidade da RESP como sistema de armazenamento da energia excedente de produção apresentando-a como uma solução viável e favorável à diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, promovendo o cumprimento dos acordos assinados por Portugal e pela UE, no que respeita ao cumprimento das metas propostas para 2030 e no que toca à neutralidade carbónica até 2050. Esses acordos saíram reforçados no comunicado da atual comissão europeia que propõe um acordo ecológico europeu com um aumento da diminuição das emissões de GEE para 2030.

Com base no trabalho desenvolvido, deverão ser estudadas as implicações do funcionamento da RESP como sistema de armazenamento nos regimes tarifários dos consumidores e a aplicabilidade de uma tarifa para o uso da rede. Seria interessante proceder à análise de resultados tendo em conta consumidores com diferentes potências contratadas, diferentes regimes tarifários e diferentes perfis de consumo.

Referências

- [1] Governo de Portugal. Plano Nacional Integrado Energia e Clima 2021-2030. 2018
- [2] Parlamento Europeu. *Energias renováveis | Fichas temáticas sobre a União Europeia | Parlamento Europeu*. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/70/energias-renovaveis>. Acesso em 7/janeiro/2019
- [3] ADENE. Sistemas solares fotovoltaicos. 2019
- [4] APREN (2019). *Boletim Eletricidade Renovável*. Páginas 1-3. Disponível em: https://www.apren.pt/contents/publicationsreportcarditems/boletim-energias-renovaveis-dezembro-2019-vf.pdf?fbclid=IwAR2Q3hIAnJ0_Pa7_073fDci5dmcf4GPTuH-aKl4HLuQYWEiig087g_Mfpkk. Acesso em 7/janeiro/2019
- [5] Nunes, T. *Construção Sustentável - soluções para uma prosperidade renovável*.
- [6] SolarPower Europe. Global Market Outlook for Solar Power 2019-2023. Páginas 5-86
- [7] DGEG. Estatísticas rápidas - nº 176 - junho de 2019. 2019
- [8] Governo de Portugal. Energia - Sessão Temática de Auscultação. Conferência 2018
- [9] Ministério da Economia. Decreto-lei nº68/2002 de 25 de março. 2002
- [10] DGEG. Estado atual do setor das energias renováveis em Portugal. Conferência APREN 2015
- [11] Governo de Portugal. Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída. 2014
- [12] EDP. Produção Distribuída. Disponível em: <https://www.edpsu.pt/pt/PRE/Microproducao/Pages/UnidadesdePequenaProdu%C3%A7%C3%A3o.aspx>. Acesso em 11/outubro/2019
- [13] Diário da República n.º 206/2019, Série I de 2019-10-25. 2019
- [14] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Decreto-lei nº153/2014. 2014
- [15] EDP Distribuição. Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público. 2018
- [16] Diário da República, 2ª série - N.º 13 - 18 de janeiro de 2019. 2019
- [17] DGEG. Registo de Unidades de Produção (SERUP). DISPONÍVEL EM: <http://www.dgeg.gov.pt/?cn=636364478673AAAAAAAAAAAAA>. Acesso em 11/outubro/2019
- [18] International Energy Agency (IEA). Market Report Series: Renewables 2018. Analysis and Forecasts to 2023. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/renewables2018/power/>. Acesso em: 08/setembro/2019.
- [19] W. Schill, A. Zerraj, F. Kunz. Prosumage of Solar Electricity: Pros, Cons, and the System Perspective. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. 2017

- [20]G. Lettner. *Competitiveness Roadmaps*. Apresentação, Paris, 2013.
- [21]Claudia Günther, Wolf-Peter Schill, Alexander Zerrahn. “Prosumage of solar electricity: tariff design, capacity investments, and power system effects”. German Institute for Economic Research (DIW Berlin). 2019
- [22] Sistemas solares autónomos/off-grid. Disponível em: <http://www.transicaosimples.com/sistemasautonomos.html> . Acesso em 29/setembro/2019
- [23] Pylon. Self-consumption of energy: Introduction. Disponível em: <https://pylon-network.org/energy-self-consumption-introduction.html>. Acesso em 18/setembro/2019
- [24] Sistemas Fotovoltaicos Isolados | ENERGIAS_RENOVAVEIS_ACK. Disponível em: https://critical-kinetics.pt/ENERGIAS_RENOVAVEIS_ACK/sistemas-fotovoltaicos-loisolados.html. Acesso em 8/outubro/2019
- [25] Clean Energy Reviews. Off-Grid System. Disponível em: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>. Acesso em 18/outubro/2019
- [26] Alternatie Power Solutions. Off Grid Solar System. Disponível em <https://altpowersolution.com/service/off-grid-solar-system/>. Acesso em 5/outubro/2019
- [27] US Department of Energy. Alternative Power Solutions. Off Grid Solar System. Disponível em: <https://altpowersolution.com/service/off-grid-solar-system/>. Acesso em 18/outubro/2019
- [28]Solar Power Europe. Renewable Self-Consumption. Cheap and clean power at your doorstep. 2015
- [29]Coulee Energy. What is in an off-grid solar system?. Disponível em: <https://couleenergy.com/off-grid-solar-system/>. Acesso em 18/outubro/2019
- [30] Maleitas, P. (2015). *Viabilidade Económica do Autoconsumo de Energia Fotovoltaico no Setor Não Residencial*. Universidade Nova de Lisboa.
- [31] C. Monteiro. *Energia Solar Fotovoltaica - Autoconsumo fotovoltaico*. Apresentação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2019
- [32]J. Dehler, D. Keles, T. Telsnig, B. Fleischer, M. Baumann, D. Fraboulet, A. Fichtner. Self-consumption of electricity from renewable sources. 2015
- [33] Lazard. Lazard’s levelized cost of energy analysis - version 12.0. 2018
- [34] IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2017. 2018
- [35]G. Lettner, *Competitiveness Roadmaps - FV Parity Final Workshop*. Apresentação, Paris, 2013
- [36]European Commission. Definition of grid-parity for photovoltaics and development of measures to accompany PV applications to the grid parity and beyond (PV PARITY). Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/pv-parity>. Acesso em 17/outubro/2019
- [37] B. Guimarães. Análise da Viabilidade Económica da Instalação de um Sistema de Autoconsumo de um Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico numa Habitação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2016
- [38] Comissão Europeia. Política, Energia. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/policies/energy_pt. Acesso em 20/outubro/2019

- [39]Energy union and climate. (2019). DISPONÍVEL EM: https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_en. Acesso em 9/outubro/2019
- [40]Pereira, R., Becker, B., & Antunes, B. Integração de energias renováveis e armazenamento de energia. *Renováveismagazine*, (31), 27-37. Disponível em: http://www.renovaveismagazine.pt/PDF/dossier_rm31.pdf. Acesso em 9/outubro/2019
- [41]European Commission. *Towards the battery of the future* (pp. 4-34). Luxembourg, 2018
- [42]MIT. *A Guide to Understanding Battery Specifications*. 2008. Disponível em: https://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf. Acesso em 10/outubro/2019
- [43]E. Garrido, *Concepção e certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública*. 2010. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [44]C. Monteiro. *Energia Solar Fotovoltaica - Características e componentes de sistemas FV*. 2019. Apresentação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [45]T. Reddy,, & D. Linden. *Linden's handbook of batteries* (4th ed.). New York: McGraw-Hill. 2011
- [46]T. NGUYEN.*LEAD ACID BATTERIES IN EXTREME CONDITIONS: ACCELERATED CHARGE, MAINTAINING THE CHARGE WITH IMPOSED LOW CURRENT, POLARITY INVERSIONS INTRODUCING NON-CONVENTIONAL CHARGE METHODS*. University Montpellier II 2009.
- [47]Battery University. Advantages and limitations of the Different Types of Batteries. Disponível em:https://batteryuniversity.com/index.php/learn/archive/whats_the_best_battery. Acesso em 9/outubro/2019
- [48]Bosch. Datasheet: Manual de Baterias Bosch. 2007. DISPONÍVEL EM: http://br.bosch-automotive.com/media/parts/special_auto_parts/cycles_special_parts/downloads_cycles_special_parts/Manual_de_Baterias_Bosch_6_008_FP1728_04_2007.pdf. Acesso em 20/outubro/2019
- [49]International Electrotechnical Commission. *Electrical Energy Storage*. 2011
- [50]E.A. Ticianelli. *Baterias de níquel-hidreto metálico, uma alternativa para as baterias de níquel-cádmio*. 2001
- [51]Energy Storage Association. *Energy Storage Technologies*. Disponível em: <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/>. Acesso em 19/outubro/2019
- [52] D. Abraham. *Fast charging of lithium-ion batteries*. International Iberian Nanotechnology Laboratory. 2019
- [53]M. Collares Pereira, A. Joyce, and P. Cunha Reis, “O valor e o custo da eletricidade produzida por sistemas solares (fotovoltaicos),” *Renováveis Magazine* vol. 26.
- [54]Bank, E. (2020). *Projeções macroeconómicas para a área do euro elaboradas por especialistas do BCE, setembro de 2019*. DISPONÍVEL EM: https://www.ecb.europa.eu/pub/projections/html/ecb.projections201909_ecbstaff-0ac7cbcf7a.pt.html#toc6. Acesso em 2/novembro/2019
- [55]KOST, C., SHAMMUGAM, S., JÜLCH, V., NGUYEN, H. , SCHLEGL, T. (2018). *LEVELIZED COST OF ELECTRICITY RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES*. pp.14-23.
- [56]ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS (2019). *Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2019*.

- [57] Barros, C. (2000). *Decisões de investimento e financiamento de projectos*. 3rd ed. Lisboa: Sílabo, páginas .85-89.
- [58] Perdigo, R. (2018). Metodologia para dimensionamento de sistema fotovoltaico residencial para autoconsumo com armazenamento. Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra.
- [59] Matemática Financeira e Informática de Gestão. (2010).
- [60] US EPA. (2019). *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator | US EPA*. DISPONÍVEL EM: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>. Acesso em 15/dezembro/2019.
- [61] GFM. Residential Consumption - Solar Photovoltaic Energy, presente and future. DISPONÍVEL EM: <http://www.gmfotovoltaica.co.uk/residential-self-consumption/>. Acesso em 19/outubro/2019
- [62] Green Savers. 7 Vantagens do novo modelo de autoconsumo de eletricidade para empresas. DISPONÍVEL EM: <https://greensavers.sapo.pt/7-vantagens-do-novo-modelo-de-autoconsumo-de-electricidade-para-as-empresas/>. Acesso em 29/setembro/2019
- [63] Como Calcular a Taxa de Desconto (WACC). DISPONÍVEL EM: <https://blog.luz.vc/o-que-e-como-calcular-a-taxa-de-desconto-wacc/>. Acesso em 19/outubro/2019
- [64] Stephen D. Comello, Gunther Glenk, Stefan Reichelstein. Levelized Cost of Electricity Calculator: A User Guide. 2017
- [65] Instituto Superior de Engenharia do Porto. *ENERGY STORAGE SYSTEMS* (pp. 17-28). DISPONÍVEL EM: [http://file:///C:/Users/macha/Downloads/381-Article%20Text-267-1-10-20170609%20\(3\).pdf](http://file:///C:/Users/macha/Downloads/381-Article%20Text-267-1-10-20170609%20(3).pdf). Acesso em 12/outubro/2019

Anexos

Anexo A - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC

Tabela A.1 Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 190W e 210W

Painel		190 W			210 W		
		Sem Autoconsumo	380	570	760	420	630
Potência da UPAC (W)							
Energia proveniente da RESP (kWh)	4029,77	3491,71	3318,48	3198,29	3449,06	3276,39	3156,73
Energia proveniente da RESP (%)	100	86,71	82,41	79,43	85,65	81,37	78,39
Energia Produzida (kWh)	-	576,96	865,43	1153,91	637,69	956,53	1275,38
Poupança de energia (kWh)	-	535,06	708,29	828,48	577,71	750,38	870,05
Poupança energética com UPAC (%)	-	13,29	17,59	20,57	14,35	18,64	21,61
Energia Produzida Consumida (%)	-	92,74	81,84	71,80	90,60	78,45	68,22
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	-	41,89	157,14	325,43	59,97	206,15	405,33
Excedente de energia produzida injetada na RESP (%)	-	7,26	18,16	28,20	9,40	21,55	31,78
Encargos financeiros (€)	783,34	699,92	672,91	654,18	693,27	666,35	647,70
Poupança na fatura no 1º ano (€)	-	83,42	110,42	129,16	90,07	116,98	135,64
VAL (€)	-	2096,22	2926,20	2522,26	1032,68	2687,36	1714,39
TIR (%)	-	4	4	4	3	4	3
PRI (anos)	-	10,94	10,96	11,26	11,64	11,11	11,54
Área de ocupação (m ²)	-	2,55	3,83	5,11	2,55	3,83	5,11

Tabela A. 2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis de 290W e 310W

Painel	290 W			310 W		
	580	870	1160	620	930	1240
Potência da UPAC (W)						
Energia proveniente da RESP (kWh)	3311,14	3142,16	3022,14	3283,10	3114,38	2994,21
Energia proveniente da RESP (%)	82,23	78,03	75,05	81,53	77,34	74,36
Energia Produzida (kWh)	880,62	1320,93	1761,23	941,35	1412,02	1882,70
Energia poupada com UPAC (kWh)	715,64	884,61	1004,63	743,68	912,40	1032,56
Poupança de energia (%)	17,72	21,97	24,95	18,47	22,66	25,64
Energia Produzida Consumida (%)	81,27	66,97	57,04	79,00	64,62	54,84
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	164,98	436,31	756,60	197,67	499,63	850,14
Excedente de energia produzida injetada na RESP (%)	18,73	33,03	42,96	21,00	35,38	45,16
Encargos financeiros (€)	671,77	645,43	626,71	667,40	641,09	622,36
Poupança na fatura no 1º (€)	111,57	137,91	156,62	115,94	142,24	160,98
VAL (€)	6415,78	7613,03	5578,98	6214,69	6168,79	3857,12
TIR (%)	7	7	5	7	6	4
PRI (anos)	9,54	9,50	10,55	9,71	10,23	11,21
Área de ocupação (m ²)	3,25	4,88	6,51	3,25	4,88	6,51

Anexo B- Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria

Tabela B. 1 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 190 W e 210W

Painel	190 W			210 W		
	380	570	760	420	630	840
Potência da UPAC (W)	380	570	760	420	630	840
Capacidade da bateria (kWh)	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Energia produzida (kWh)	576,96	865,43	1153,91	637,69	956,53	1275,38
Energia Produzida consumida (%)	99,97	99,68	97,11	99,94	99,17	94,87
Energia consumida sem UPAC (kWh)	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77
Energia proveniente da RESP (kWh)	3452,00	3171,43	2917,68	3392,35	3087,22	2829,33
Energia proveniente da RESP (%)	85,73	78,76	72,46	84,24	76,67	70,26
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	0,158	2,73	33,35	0,35	7,96	65,46
Energia poupada com a bateria (kWh)	574,77	855,34	1109,10	634,43	939,56	1197,44
Encargos financeiros (€)	693,73	649,99	610,43	684,43	636,86	596,66
Poupança na fatura no 1º ano (€)	89,61	133,35	172,91	98,91	146,48	186,68
VAL (€)	-47247,3	-40454,2	-34795,4	-45987,6	-38953,9	-33716,7
TIR (%)	-	-	-	-	-	-
PRI (anos)	>25	>25	>20	>25	>25	>20

Tabela B.2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis 290 W e 310W

Painel	290 W			310 W		
	580	870	1160	620	930	1240
Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Capacidade da bateria (kWh)	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
Energia produzida (kWh)	880,62	1320,92	1761,23	941,35	1412,02	1882,70
Energia Produzida consumida (%)	99,61	93,80	82,88	99,29	91,70	79,86
Energia consumida sem UPAC (kWh)	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77
Energia proveniente da RESP (kWh)	3157,19	2799,31	2571,63	3101,10	2743,60	2525,94
Energia proveniente da RESP (%)	78,40	69,52	63,89	77,01	68,14	62,73
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	3,440	81,96	301,61	6,72	117,15	379,17
Energia poupada com a bateria (kWh)	869,58	1227,46	1454,14	925,67	1283,11	1500,84
Encargos financeiros (€)	647,77	591,98	556,64	639,03	583,30	549,36
Poupança na fatura no 1º ano (€)	135,57	191,36	226,70	144,31	200,04	233,98
VAL (€)	-36731,8	-27099,8	-24139,2	-35733,9	-27243,5	-24974,5
TIR (%)	-	-12	-8	-	-11	-8
PRI (anos)	>20	>20	>15	>20	>15	>15

Anexo C- Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento

Tabela C.1 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W

Painel	190 W			210 W		
	380	570	760	420	630	840
Potência UPAC (W)	380	570	760	420	630	840
Energia produzida (kWh)	576,96	865,43	1153,91	637,69	956,53	1275,38
Energia consumida sem UPAC (kWh)	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77
Energia proveniente da RESP (kWh)	3449,82	3161,4	2872,86	3389,09	3070,24	2751,40
Energia proveniente da RESP (%)	98,80	95,26	89,82	98,26	93,71	87,16
Energia injetada na rede para armazenamento (kWh)	41,89	157,14	325,43	59,97	206,15	405,33
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100	100	100
Encargos financeiros (€)	693,39	648,42	603,44	683,92	634,21	584,51
Poupança na fatura no 1º ano (€)	89,95	134,92	179,89	99,42	149,12	198,83
VAL (€)	3321,53	9233,03	16200,90	3440,90	10995,97	18550,80
TIR (%)	5	9	12	5	10	12
PRI (anos)	10,65	8,98	8,03	10,55	8,69	7,82
Redução Anual das Emissões de CO ₂ (%)	14,33	21,66	28,66	15,93	23,88	31,85

Tabela C.2 - Caso 1: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W

Painel	290 W		310 W	
	580	870	620	930
Potência UPAC (W)	580	870	620	930
Energia produzida (kWh)	880,62	1320,93	941,35	1412,02
Energia consumida sem UPAC (kWh)	4026,77	4026,77	4026,77	4026,77
Energia proveniente da RESP (kWh)	3146,16	2705,85	3085,42	2614,75
Energia proveniente da RESP (%)	5,02	86,11	93,98	83,96
Energia injetada na rede para armazenamento (kWh)	164,98	436,31	197,67	499,63
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100
Encargos financeiros (€)	646,05	577,40	636,58	563,20
Poupança na fatura no 1º ano (€)	137,29	205,93	146,76	220,13
VAL (€)	12989,47	25786,03	14164,60	27081,28
TIR (%)	12	17	12	16
PRI (anos)	7,77	6,55	7,69	6,56
Redução Anual das Emissões de CO ₂ (%)	14,33	32,80	23,57	35,03

Anexo D- Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC

Tabela D.1 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis 190 W e 210 W

Painel		190 W				210 W		
Potência da UPAC (W)	Sem Autoconsumo	380	570	760	950	420	630	840
Energia proveniente da RESP (kWh)	5790,28	5238,84	5029,62	4880,70	4771,27	5189,27	4976,89	4830,98
Energia proveniente da RESP (%)	100	90,48	86,86	84,29	82,40	89,62	85,95	83,43
Energia Produzida (kWh)	-	576,96	865,43	1153,91	1442,39	637,69	956,53	1275,38
Poupança de energia (kWh)	-	551,44	760,66	909,58	1019,02	601,02	813,40	959,31
Poupança energética com UPAC (%)	-	9,52	13,14	15,71	17,60	10,38	14,05	16,57
Energia Produzida Consumida (%)	-	95,58	87,89	78,83	70,65	94,25	85,04	75,22
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	-	25,52	104,77	244,33	423,37	36,672	143,13	316,07
Excedente de energia produzida injetada na RESP (%)	-	4,42	12,11	21,17	29,35	5,75	14,96	24,78
Encargos financeiros (€)	1058,27	972,30	939,68	916,46	899,40	964,57	931,46	908,71
Poupança na fatura no 1º ano (€)	-	85,97	118,59	141,80	158,86	93,70	126,81	149,56
VAL (€)	-	2743,94	5140,62	6084,30	7568,40	1973,63	5149,06	5372,04
TIR (%)	-	5	6	6	6	4	6	5
PRI (anos)	-	11,30	10,26	10,21	11,36	11,24	10,28	10,50
Área de ocupação (m ²)	-	2,55	3,83	5,11	6,39	2,55	3,83	5,11

Tabela D.2 - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC para painéis 290 W e 310 W

Painel	290 W			310 W		
	580	870	1160	620	930	1240
Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Energia proveniente da RESP (kWh)	5020,39	4813,80	4676,06	4985,27	4781,51	4644,49
Energia proveniente da RESP (%)	86,70	83,14	80,76	86,10	82,58	80,21
Energia Produzida (kWh)	880,62	1320,93	1761,23	941,35	1412,02	1882,70
Poupança de energia (kWh)	769,89	976,49	1114,22	805,02	1008,78	1145,79
Poupança energética com UPAC (%)	13,30	16,86	19,24	13,90	17,42	19,79
Energia Produzida Consumida (%)	87,43	73,92	63,26	85,52	71,44	60,86
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	110,73	344,44	647,01	136,33	403,25	736,91
Excedente de energia produzida injetada na RESP (%)	12,57	26,08	42,96	14,48	28,56	39,14
Encargos Energéticos (€)	938,24	906,03	884,56	932,77	901,00	879,64
Poupança na fatura no 1º ano (€)	120,03	152,23	173,71	125,50	157,27	178,63
VAL (€)	8488,51	11390,77	10153,40	8601,59	10157,96	8588,71
TIR (%)	9	9	8	9	8	7
PRI (anos)	8,89	8,86	9,54	9,07	9,28	10,14
Área de ocupação (m ²)	3,25	4,88	6,51	3,25	4,88	6,51

Tabela E.2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC com bateria para painéis de 290 W e 310 W

Painel	290 W			310 W		
	580	870	1160	620	930	1240
Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Capacidade da bateria (kWh)	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Energia produzida (kWh)	880,62	1320,92	1761,23	941,35	1412,02	1882,70
Energia Produzida consumida (%)	99,65	98,47	90,90	99,64	97,28	88,24
Energia consumida sem UPAC (kWh)	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28
Energia proveniente da RESP (kWh)	4918,10	4504,02	4202,87	4858,98	4430,99	4141,36
Energia proveniente da RESP (%)	84,94	77,79	72,58	83,92	76,52	71,52
Excedente de energia produzida injetada na RESP (kWh)	3,05	20,26	160,32	3,41	38,39	221,32
Energia poupada com a bateria (kWh)	872,19	1286,26	1587,41	931,08	1359,29	1648,93
Encargos financeiros (€)	922,29	857,74	810,79	913,08	8466,36	801,20
Poupança na fatura no 1º ano (€)	135,97	200,53	247,48	145,19	211,91	257,07
VAL (€)	-56336,89	-54072,63	-47637,06	-64787,60	-53403,43	-47738,85
TIR (%)	-	-	-	-	-	-
PRI (anos)	>25	>25	>20	>25	>20	>20

Anexo F - Caso 2: Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento

Tabela F.1 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 190 W e 210 W

Painel	190 W				210 W		
	380	570	760	950	420	630	840
Potência UPAC (W)							
Energia produzida (kWh)	576,97	865,43	1153,91	1442,39	637,69	956,53	1275,38
Energia consumida sem UPAC (kWh)	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28
Energia proveniente da RESP (kWh)	5213,33	4924,85	4636,37	4347,89	5152,59	4833,75	4514,91
Energia proveniente da RESP (%)	99,51	97,92	94,99	91,13	99,29	97,12	93,46
Energia injetada na rede para armazenamento (kWh)	25,52	104,77	244,33	423,37	36,67	143,13	316,07
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100	100	100	100
Encargos financeiros (€)	968,32	923,35	878,37	833,40	958,85	909,14	859,44
Poupança na fatura no 1º ano (€)	89,95	134,92	179,89	224,87	99,42	149,12	198,83
VAL (€)	3321,53	9233,03	16200,29	25903,25	3440,90	10995,97	18550,80
TIR (%)	5	9	12	15	5	10	12
PRI (anos)	10,65	8,98	8,03	6,90	10,55	8,69	7,82
Redução Anual das Emissões de CO ₂ (%)	9,98	14,86	19,96	24,83	10,86	20,28	21,95

Tabela F. 2 - Comparação dos resultados obtidos para diferentes potências de UPAC utilizando a RESP como sistema de armazenamento para painéis 290 W e 310 W

Painel	290 W			310 W		
Potência da UPAC (W)	580	870	1160	620	930	1240
Energia produzida (kWh)	880,62	1320,92	1761,23	941,35	1412,02	1882,70
Energia consumida sem UPAC (kWh)	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28	5790,28
Energia proveniente da RESP (kWh)	4909,67	4469,36	4029,05	4848,94	4378,26	3907,59
Energia proveniente da RESP (%)	97,79	92,84	86,16	97,27	91,57	84,13
Energia injetada na rede para armazenamento (kWh)	110,73	344,44	647,01	136,33	403,25	736,90
Energia Produzida consumida (%)	100	100	100	100	100	100
Encargos financeiros (€)	920,98	852,34	783,69	911,51	838,13	764,76
Poupança na fatura no 1º ano (€)	137,29	205,93	274,58	146,76	220,13	293,51
VAL (€)	12989,47	25786,03	37647, 45	14167,60	27081,28	3997,96
TIR (%)	12	17	19	12	16	19
PRI (anos)	7,77	6,53	5,93	7,69	6,56	6,08
Redução Anual das Emissões de CO ₂ (%)	15,08	22,84	30,38	16,19	24,39	32,37