
O papel ativo do consumidor na transição energética – Implementação de sistemas FV como solução para edifícios multifamiliares em Portugal.

Jorge Miguel Costa da Silva

Dissertação

Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Orientado por
Dr. Sofia Teives Henriques

2023

Agradecimentos

No final do meu percurso acadêmico, começo por agradecer a todos que, de uma forma ou outra, me apoiaram neste caminho até ao fim.

À minha orientadora, Professora Sofia Teives Henriques, pela indispensável ajuda em todos os momentos da realização deste trabalho, pela paciência com as minhas faltas de comunicação e por toda a disponibilidade, apoio e interesse genuíno demonstrado.

Um especial agradecimento aos meus pais, que me apoiaram todos estes anos e que me levaram a fazer, e ser, sempre melhor. Apesar da dificuldade da tarefa, tenho a certeza de que o continuarão a fazer.

Aos meus amigos, Francisco, Kiko, Marcelo e João pelos momentos de descontração durante a realização deste trabalho, sem que nunca deixassem de me lembrar a importância de concluir este percurso académico com um bom trabalho.

A todos um muito obrigado,
Jorge Silva

Resumo

A emergência climática e o aumento da insegurança energética pressionam a comunidade mundial para acelerar a transição para um sistema energético mais sustentável. Por norma, o consumidor não aparenta ter muitas possibilidades de atuar diretamente na transição energética. No entanto, os consumidores podem fazer a escolha de produzir a sua própria energia elétrica e garantir que esta provém de uma fonte de energia renovável.

Em Portugal mais de 40% da população habita em edifícios multifamiliares. Alguns destes edifícios foram construídos antes de 1945 e não foram construídos para acomodar novas tecnologias que melhoram a sustentabilidade das construções, incluindo as tecnologias de produção de energia. Os sistemas fotovoltaicos mostram-se como uma das melhores soluções para que os consumidores possam contribuir na transição energética tomando controlo da produção da própria energia que consomem. Uma vez que esta tecnologia se encontra cada vez mais acessível financeiramente e Portugal incentiva a implementação do fotovoltaico, numa altura em que esta tecnologia se encontra pouco aproveitada no país, é possível que a implementação de sistemas fotovoltaicos em edifícios multifamiliares portugueses seja um investimento favorável para o consumidor, tanto economicamente como para o avanço da transição energética.

O caso prático mostra que, no edifício multifamiliar utilizado, a área da cobertura é suficiente para implementar um sistema fotovoltaico capaz de satisfazer as necessidades energéticas de todos os seus habitantes, e, como investimento, o projeto apresenta os indicadores de avaliação mais importantes muito positivos, incentivando à implementação de um sistema fotovoltaico num edifício multifamiliar.

Este resultado positivo no caso prático pode significar que mais edifícios multifamiliares no país possam aderir à implementação de sistemas fotovoltaicos.

Abstract

Climate change and energy security concerns are pressing communities around the world to accelerate the transition from a fossil-based system to a renewable one. However, not all energy consumers have the ability to produce their own energy and guarantee the energy they consume is sourced from renewable energy.

In Portugal, more than 40% of the population lives in apartment buildings, some of which were built before 1945. This means that they were never built to accommodate new technology that improves the sustainability of the building, including self-consumption technology. Photovoltaic systems appear to be one of the best solutions for consumers that want to contribute to the energy transition, since this technology has become more widely available and affordable, and Portugal greatly incentivises the implementation of these systems. The implementation of these systems in apartment buildings in Portugal, might be a great investment opportunity for the consumer, both as a financial decision and a “consciously-green” decision.

The case study shows that, in the apartment building that was used, the roof area is enough to implement a photovoltaic system that can satisfy all of the inhabitants’ energy needs. As an investment opportunity, this project shows also very positive results in all major indicators for project evaluation.

The positive result on the case study might mean that more apartment buildings in Portugal should invest in a photovoltaic system of their own.

Índice

1. Introdução	1
2. A Transição Energética	3
2.1. O impulso da transição energética pelas COP.....	3
2.2. A invasão russa e o impacto na transição energética	6
2.3. A resposta europeia	9
3. O Consumidor na Transição Energética	10
3.1. Porquê consumidores habitantes em edifícios multifamiliares?	11
3.2. Produção de energia elétrica em edifícios multifamiliares – quais as opções?	13
3.2.1. Turbinas Eólicas	13
3.2.2. Painéis FV.....	16
4. O Fotovoltaico em Portugal	19
4.1. Fotovoltaico na Europa vs. Portugal	19
4.2. Se existe potencial, o que impediu o sucesso?	20
4.3. Legislação das Tarifas de Remuneração – Barreira ou Impulsionador?	21
5. Barreiras ao FV em Edifícios Multifamiliares	25
5.1. Limitações Físicas	25
5.2. Problemas de Propriedade.....	26
5.3. Problemas de conhecimento	26
5.4. Problemas Económicos	27
5.5. Problemas Regulatórios	28
6. Caso Prático – Projeto de Investimento para a Instalação de um Sistema Fotovoltaico num Edifício Multifamiliar na cidade de Fafe ...	29
6.1. Introdução.....	29
6.2. Oportunidade de Investimento.....	29
6.3. Descrição do Projeto.....	31
6.3.1. Materiais	31
6.3.2. Dimensionamento do Sistema FV	32
6.4. Análise Económica	36
6.4.1. Pressupostos	36
6.4.2. Investimento Inicial	37
6.4.3. <i>Simple Payback Time</i>	39

6.4.4. Avaliação através de Indicadores	42
6.5. Riscos	44
6.5.1. Riscos do Mercado	44
6.5.2. Riscos Regulatórios	44
6.5.3. Riscos Técnicos	44
6.5.4. Riscos Financeiros	45
6.5.5. Riscos Ambientais	45
6.5.6. Riscos Operacionais	45
6.5.7. Riscos “Sociais”	46
7. Discussão de Resultados	47
8. Conclusão	53
9. Referências	54
10. Anexos	64

Índice de Figuras

Figura 1 - Metas, por países, para as emissões de GEEs de acordo com o <i>Burden Sharing Agreement</i> para o protocolo de Quioto.	3
Figura 2 - Emissões de CO ₂ globais por setor, atualizado em 2022.	10
Figura 3 - População mundial a viver em zonas urbanas e rurais ao longo dos anos (1960-2020).....	12
Figura 4 - Diferentes tipos de turbinas eólicas disponíveis para uso doméstico.	14
Figura 5 - Diferentes tipos de painéis solares.	17
Figura 6 - Gráfico \$/Watt produzido por painéis FV ao longo dos anos.	29
Figura 7 - Vista aérea do edifício multifamiliar sujeito do caso prático.....	31
Figura 8 - Esquema da orientação dos módulos do sistema FV.....	32
Figura 9 - Planta da cobertura e blocos do sistema FV.	58
Figura 10 - Gráfico da relação entre a Temperatura Ambiente e a Temperatura do Módulo.	59

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela com estimativas baixas, médias e altas do custo dos materiais do sistema.	37
Tabela 2 - Tabela do Investimento Inicial em três diferentes estimativas, em €.	38
Tabela 3 - Tempos de retorno, em anos, dos diferentes cenários.....	41
Tabela 4 - Tabela comparativa com outros projetos de investimento de sistemas FV em Portugal.	50
Tabela A1 - Dados de temperatura ambiente média, irradiância solar, irradiância solar angular, horas solares, radiação solar incidente e temperaturas do módulo..	59
Tabela A2 - kWh Produzido diariamente, mensalmente e o total do 1º ano de funcionamento do sistema FV dimensionado.....	60
Tabela A3 - kWh Produzido durante a vida útil do sistema FV considerando um decaimento de performance de 0.6%.	61
Tabela A4 - Tabela de Valores Pressupostos para a avaliação económica.....	62
Tabela A5 - Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual e <i>Cash Flow</i> para o Cenário 1.	63
Tabela A6 - Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual e <i>Cash Flow</i> para o Cenário 2.	63
Tabela A7 - Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual e <i>Cash Flow</i> para o Cenário 3.	63
Tabela A8 - Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual, <i>Cash Flow</i> , VAL, SPT, TIR e LCoE para o Cenário 4.	63

1. Introdução

Para o consumidor, a transição energética, muitas vezes, representa algo de grande dimensão fora do seu alcance, algo para ser tratado pelos governos e organizações internacionais. Apesar da consciência ambiental de cada consumidor os alertar para a emergência desta transição, a falta de conhecimento tende a impedi-los de agir e, por isso, é necessário identificar qual o papel dos consumidores na transição energética.

A produção de eletricidade para autoconsumo representa uma grande parte desse papel e os sistemas fotovoltaicos (FV), com o seu rápido desenvolvimento em anos recentes e descida nos preços da tecnologia, mostram-se como uma opção viável para os consumidores que queiram investir em projetos de autoconsumo. No entanto, até muito recentemente, nem todos os consumidores tinham a possibilidade de participar neste tipo de projetos. Desde as várias escolhas para o método de produção, o custo das tecnologias e até a tipologia de habitação são barreiras que impedem o consumidor de fazer a sua parte na transição energética. Este trabalho foca-se, especialmente, na última das barreiras mencionadas, a tipologia de habitação do consumidor.

Os consumidores habitantes em edifícios multifamiliares, ou apartamentos, não possuem a mesma capacidade de escolha de participar em projetos de autoconsumo de um consumidor que habita numa moradia, devido, principalmente à partilha do espaço de cobertura (Roberts *et al.*, 2022). Atualmente, esta área encontra-se pouco estudada, uma vez que os estudos de sistemas FV se focam nos consumidores habitantes em moradias ou, quando mencionam os edifícios multifamiliares, focam-se em estudar os aspetos técnicos dos sistemas FV ou em analisar, hipoteticamente, os benefícios e possíveis riscos de um projeto de investimento deste tipo (Roberts *et al.*, 2019).

Considerando esta falha existente na literatura, este trabalho pretende apresentar uma resposta para a dúvida que se coloca aos consumidores habitantes em edifícios multifamiliares, se a implementação de um sistema FV num edifício multifamiliar é uma boa solução para participarem ativamente na transição energética. Para isso, este trabalho revê o estado da transição energética a uma escala global, europeia e nacional (Capítulos 2), explica a escolha do FV para produção de eletricidade para autoconsumo em edifícios multifamiliares (Capítulo 3), explora o estado do FV como tecnologia em Portugal (Capítulo 4) e as principais barreiras à implementação de um sistema FV num edifício multifamiliar (Capítulo 5). É também realizado um caso prático, utilizando um edifício multifamiliar na

cidade de Fafe (Capítulo 6), onde é dimensionado um sistema FV para a cobertura do edifício (Capítulo 6) e, posteriormente, é realizada uma avaliação económica do projeto (capítulo 6).

A revisão da literatura mostra que, em Portugal, o FV tem um enorme potencial que se encontra, de momento, mal aproveitado. O clima do país juntamente com uma regulação aliviada para implementação deste tipo de projetos e várias possibilidades de financiamento de projetos renováveis, por parte de programas governamentais, tornam a implementação de sistemas FV em Portugal muito promissoras. Já o caso prático, de um ponto de vista técnico, a tecnologia atual dos módulos FV permite, atendendo à área de cobertura disponível, dimensionar um sistema FV que satisfaça as necessidades energéticas de todos os habitantes de um edifício multifamiliar. De um ponto de vista económico, todos os indicadores para avaliação de projetos, como o Valor Atualizado Líquido, o *Simple Payback Time*, a Taxa Interna de Rentabilidade e o *Levelized Cost of Energy*, mostraram resultados muito positivos.

2. A Transição Energética

Com a emergência das alterações climáticas e a escassez das reservas de petróleo e gás natural, a comunidade mundial encontra-se pressionada para, além de melhorar a gestão de reservas existentes, acelerar a transição para o uso predominante de energias renováveis (Solomon & Krishna, 2011). Apesar desta emergência ambiental apenas ter chegado ao centro das atenções do público geral em anos mais recentes, o problema já vem a ser notado há várias décadas e as COP (*Conference of the Parties*) das Nações Unidas (UN) tentam impulsionar mudanças significativas nos comportamentos ambientais dos países, elaborando metas e objetivos concretos a serem cumpridos pelas diferentes nações participantes.

2.1. O impulso da transição energética pelas COP

Em 1997, na COP3, o Protocolo de Quioto, considerado o primeiro grande acordo ambiental internacional, limitava as emissões de gases de efeitos de estufa (GEE) dos países industrializados (UNFCCC, 2019). A União Europeia concordou em reduzir as emissões de GEEs em 8% (Comissão Europeia, 2004) utilizando um programa de *burden sharing*, que consistia em distribuir diferentes metas de redução aos países membros da União Europeia (Marklund & Samakovlis, 2007). Com este programa, apesar de a UE querer atingir uma redução de GEEs de 8% no território ocupado pelos países membros, países como a Alemanha e o Reino Unido tinham metas de redução de 21% e 12.5%, respetivamente, enquanto países como Portugal e Grécia poderiam aumentar as suas emissões em 27% e 25%, respetivamente (Agência Europeia do Ambiente, 2009).

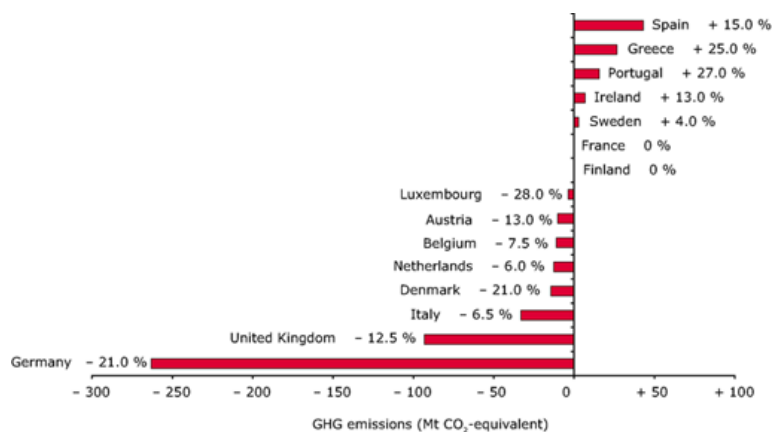


Fig. 1 – Metas, por países, para as emissões de GEEs de acordo com o *Burden Sharing Agreement* para o protocolo de Quioto

Fonte: AEA

No entanto, com processos de ratificação longos e complexos, o Protocolo apenas entrou em vigor em fevereiro de 2005 (UNFCCC, 2019). Na COP18, em 2012, este Protocolo foi emendado de modo a estender a sua validade e integrar países que anteriormente não eram abrangidos pelas metas de redução de GEEs (UNFCCC, 2019). Apesar de bem-intencionado, o Protocolo de Quioto foi visto como pouco ambicioso, devido às metas estabelecidas serem consideradas baixas, e, como consequência dos processos de ratificação demasiado complexos, muitos países acabaram por não cumprir com o acordo (APA, 2019.).

Na COP21, em 2015, o Acordo de Paris tornou esta conferência uma das COP mais importantes. O principal objetivo, a longo prazo, estabelecido por este acordo seria limitar o aumento da temperatura média global a 2°C, preferivelmente um aumento abaixo dos 1,5°C (UNFCCC, 2015). Contrariamente ao Protocolo de Quioto, o Acordo de Paris reconhece que tanto os países desenvolvidos como os países em desenvolvimento têm a obrigação de lutar contra as alterações climáticas e por isso, com o objetivo de travar o aumento da temperatura média global, os países teriam de voluntariamente reduzir as suas emissões de GEE. Sendo a UE um dos membros desta Convenção que assinou o Acordo, cerca de um ano depois de ser assinado, em 2016, o Acordo foi ratificado para legislação europeia (Decisão da UE 1841, 2016). Com a meta principal de manter a subida da temperatura média anual abaixo dos 1,5°C, a UE estipulou, com a ratificação do Acordo, uma redução de 40% nas emissões de GEEs até 2030, em relação aos níveis de 1990. Como a legislação portuguesa tem o dever de seguir o direito europeu, o governo lançou o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) 2020/2030 com o objetivo de estabelecer uma orientação e metas de forma a atingir os principais objetivos do Acordo. O principal objetivo do PNAC 2020/2030 era reduzir as emissões de GEEs entre 18% e 23% em 2020 e entre 30% a 40% em 2030, em relação aos níveis de 2005 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 56, 2015). Nos primeiros cinco anos do PNAC 2020/2030 (2015-2020), o setor energético atingiu alguns objetivos no caminho para as metas do Acordo: a produção de energia renovável aumentou em 2231 MW, causando uma diminuição da dependência energética em 4,1 pontos percentuais (pp) (APA, 2019); o consumo de energia proveniente de fontes renováveis aumentou em 4,9pp e o mercado energético português atingiu o valor mais baixo de sempre num leilão solar¹ – 11,14€ MWh (APA, 2019); as duas centrais termoelétricas que ainda se

¹ Leilão Solar – leilão realizado para atribuir lotes de capacidade de rede a centrais solares fotovoltaicas, de modo a poderem injetar a energia produzida na rede (APREN).

encontravam em atividade, cessaram a produção de eletricidade a partir de carvão em 2021 (Madeira, 2021). Todos estes resultados causaram uma diminuição de 17.8 MtCO₂eq nas emissões de GEE, provenientes do setor energético (APA, 2019).

Mais recentemente, na COP26 em Glasgow, foi declarado que para atingir as metas estabelecidas no Acordo de Paris “é necessário afastar-nos do carvão e mover-nos em direção às energias renováveis cinco vezes mais rápido do que nos encontramos a fazer” (COP26, 2021). O Pacto Climático de Glasgow enaltece os limites estabelecidos pelo Acordo de Paris e as nações comprometem-se, para atingir esses objetivos, a reduzir gradualmente a utilização de carvão e, também, eliminar os subsídios para combustíveis fósseis (UNFCCC, 2022).

Os acordos e protocolos assinados pelas nações da UN nas COP focam-se, maioritariamente, na redução das emissões de GEEs. Depois de serem ratificados, os objetivos teriam de ser alcançados à descrição das diferentes nações, utilizando os mecanismos disponibilizados pela UN. Uma vez que a utilização de combustíveis fósseis e, especialmente, do carvão, para a produção de energia, é um dos maiores contribuintes para as emissões de GEEs, vários países optaram pela substituição gradual destas fontes de energia em prol de fontes de energias renováveis. Apenas o recente Pacto Climático de Glasgow, da COP26, clarificou a redução gradual da utilização do carvão para fins energéticos como uma necessidade para atingir o objetivo principal do Acordo de Paris (UNFCCC, 2022). Já na COP27 em Charm el-Cheikh, a COP mais recente, reiterou-se o apelo ao Pacto Climático de Glasgow e uma redução das emissões de GEEs em 43%, em relação ao nível de 2019, até 2030 (Comissão Europeia, 2023). Nesta Convenção, a UE, como membro, concentrou-se em declarar os seus esforços para alcançar parcerias com vários países sobre, principalmente, hidrogénio renovável e a gestão e preservação de florestas (Comissão Europeia, 2023) Como esta COP foi realizada no mês de novembro de 2022, ainda não existe nenhuma ratificação oficial por parte da Comissão Europeia, até porque os principais objetivos, como o de não aumentar a temperatura em 1,5°C, que já vêm do Acordo de Paris, se mantêm inalterados.

A UE tende a ir mais além dos objetivos ratificados pelos acordos que assina na Convenções da UN. Como o as metas de redução de GEEs estabelecidas na ratificação do Acordo de Paris não se adequavam ao objetivo de manter a subida de temperatura média geral abaixo dos 1,5°C, em 2020, sem qualquer novo acordo da UN, a UE apresentou o Programa “*Fit for 55*”, que transforma a meta da redução de 40% na emissão de GEEs em

55% e compromete-se a transformar todo o território da UE completamente neutro em carbono até 2050 (Comissão Europeia, 2022).

Já em Portugal, de modo a acompanhar as metas europeias em constante mudança, revogou-se o antigo PNAC 2020-2030 e apresentou na Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020 o desenvolvimento do Plano Nacional Energia e Clima (PNEC) 2030. As metas deste novo plano são mais ambiciosas que as apresentadas no PNAC 2020-2030 e, entre elas, o governo demarcou como objetivos primários a redução das emissões de GEEs entre 45% a 55%, atingir 47% de energias renováveis no consumo final bruto de energia e reduzir em 35% o consumo de energia. No tópico da redução das emissões de GEEs, o governo divide as metas pelos setores mais importantes: uma redução de 70% na indústria, 35% nas residências, 40% nos transportes, 11% na agricultura e 30% no setor dos resíduos e águas residuais.

Então, de modo a atingir os objetivos acordados nas diferentes COPs e as metas mais rigorosas da UE, a transição energética tornou-se uma ferramenta poderosa no arsenal ambiental dos países pertencentes a estas organizações. No entanto, o progresso europeu, especialmente, na transição energética foi brutalmente interrompido pela invasão russa do território ucraniano, que se iniciou a 22 de fevereiro de 2022. Mesmo com a comunidade europeia unida na reprimenda desta invasão, não foi possível impedir a disrupção dos mercados internacionais, em especial os mercados energéticos.

2.2. A invasão russa e o impacto na transição energética

A guerra na Ucrânia criou um aumento drástico nos preços da energia e uma grande volatilidade nos mercados (Adolfson et al., 2022). As fontes não-renováveis de energia também sofreram um grande aumento, onde o petróleo viu o seu preço a aumentar por 40%, o carvão aumentou cerca de 130% e o gás natural aumentou uns incríveis 180% e mantém uma grande volatilidade desde o início do conflito (Adolfson et al., 2022). Estes aumentos causaram, inadvertidamente, um impacto no preço da eletricidade para o consumidor. Isto acontece devido à grande dependência que a zona euro tem da energia russa. Em 2020, a zona euro importava da Rússia 23% do crude e 43% do carvão total importado, que representava cerca de 9% e 2%, respetivamente, do consumo de energia primária da zona euro (Adolfson et al., 2022). No entanto, o gás natural representa uma dependência ainda maior das importações russas, sendo que 35% do gás natural importado é proveniente da Rússia e representa cerca de 11% da energia consumida na Europa (Adolfson et al., 2022).

A União Europeia, e a comunidade internacional, de modo a responder à invasão russa, remeteu vários pacotes de sanções de natureza financeira e de exportação e embargos na importação de várias fontes de energia provenientes da Rússia (Korosteleva, 2022). Do seu lado, a Rússia respondeu com o racionamento de gás natural distribuído pela Europa, algo que, apesar de afetar seriamente o mercado energético da União Europeia, também tem um impacto significativo na economia russa (Korosteleva, 2022). Como já foi mencionado, a dependência pré-existente das fontes de energia russas tornava-se num catalisador que, juntamente com as sanções aplicadas à Rússia, bem como as respostas do país, causaram uma incontornável crise energética. Apesar de bem-intencionadas, com o objetivo de demover a invasão russa de continuar o seu progresso, estas sanções pouco demoveram a vontade do governo russo, enquanto afetavam seriamente os mercados de energia europeus (Korosteleva, 2022).

Com os preços da eletricidade na Europa a subirem face ao conflito, acelerar o progresso da transição energética mostra-se como uma solução para os problemas crescentes do mercado energético (Korosteleva, 2022), algo que é partilhado não só por especialistas, mas também pela população europeia. Um estudo realizado na Suíça em abril de 2022, dois meses depois do início da invasão, numa altura em que os preços da eletricidade estavam a subir e a atingir novos recordes todas as semanas, inquiriu 1000 residentes suíços sobre cinco tópicos relacionados com os combustíveis fósseis e as políticas no país: (1) o *phase-out* de combustíveis fósseis até 2050, (2) o uso de gás natural como fonte de energia, (3) a proibição de instalação de novos sistemas de aquecimento a combustíveis fósseis, (4) a proibição da venda carros a combustão a iniciar em 2030 e (5) a regulação de novos investimentos em tecnologias de combustíveis fósseis. Adicionalmente, os inquiridos foram questionados em cinco tópicos relacionados com energias renováveis: (6) apoios governamentais a projetos eólicos e solares, (7) coordenação do mercado energético suíço com o mercado europeu, (8) mudanças na política para a permissão de projetos de FV montados no solo, (9) a simplificação das permissões para a instalação de turbinas eólicas e (10) apoios governamentais para novas tecnologias de descarbonização. De forma generalizada, os consumidores inquiridos mostraram elevados níveis de apoio nos tópicos relacionados com políticas de energia mais verdes, níveis de apoio que poderiam justificar ações rápidas do governo (Steffen & Patt, 2022). Mais especificamente, 62% dos 1000 inquiridos apoiam o *phase-out* total dos combustíveis fósseis até 2050 e 79% apoiam a criação de políticas que acelerem o progresso das energias renováveis no país (Steffen & Patt, 2022). Este tipo de

apoio por parte dos consumidores também se alastra aos tópicos da acessibilidade de tecnologias FV e a acessibilidade a turbinas eólicas para consumidores domésticos (Steffen & Patt, 2022). Resumidamente, os autores concluíram que o apoio demonstrado pelos consumidores suíços para políticas de apoio a energias renováveis alinha-se com a interpretação de que a crise energética que atingiu a Europa, depois do início do conflito entre a Ucrânia e a Rússia, está diretamente relacionada com a dependência das importações e utilização de combustíveis fósseis provenientes da Rússia (Steffen & Patt, 2022).

No entanto, mesmo com os consumidores a partilhar a interpretação de que a crise energética causada pela invasão russa se relaciona com a forte dependência da importação e uso de combustíveis fósseis, não significa que os governos, e mesmo as empresas de energia, irão agir imediatamente em prol de políticas mais ambiciosas para as energias renováveis. Num relatório elaborado por Nerlinger & Utz (2022) a serviço do Instituto de Finanças Suíço, apenas um mês depois do inquérito realizado por Steffan & Patt (2022), os autores investigaram como o conflito entre Ucrânia e Rússia afetou o mercado energético suíço e internacional. Contrariamente ao que os consumidores suíços esperavam, bem como autores como Korosteleva (2022), os resultados do relatório mostraram que as empresas de geração de eletricidade a carvão obtiveram o maior retorno anormal médio comparativamente a todas as outras fontes de energia, não só combustíveis fósseis, mas também renováveis (Nerlinger & Utz, 2022). Ou seja, a guerra na Europa não só desacelerou o progresso da transição energética, como também conseguiu enaltecer novamente o uso de um dos piores combustíveis fósseis para a obtenção de energia – o carvão. Apesar de não pertencer à UE, a Suíça mantém uma relação muito próxima com a UE, desde relações políticas, como a passagem livre pelas fronteiras entre os países da UE e a Suíça – Acordo de Schengen –, e também relações económicas, como o acesso aos mercados da UE (Delegação da UE para a Suíça e Lichtenstein, 2021). O povo suíço também se relaciona muito com o povo da UE, graças especialmente à política de fronteiras, 39,5% dos residentes suíços, atualmente, possuem um *background* de migração (Federal Statistical Office, 2021), onde, dentro desses 39,5%, 1,4 milhões são cidadãos da UE (Delegação da UE para a Suíça e Lichtenstein, 2021). Esta proximidade da Suíça com a UE torna estes inquéritos ao consumidor muito relevantes em mostrar a vontade do consumidor europeu relativamente à transição energética, seja residente de um país membro da UE, ou residente de um país pertencente ao continente europeu.

2.3. A resposta europeia

Face à disrupção dos mercados de energia e às expectativas do público geral em relação aos avanços na transição energética, que nos momentos após o início do conflito estavam a ser travados pelo sucesso dos combustíveis fósseis, a UE decidiu preparar o plano REPowerEU que consiste em melhorar as poupanças de energia, aumentar a produção de energia verde e diversificar o aprovisionamento energético da UE (Comissão Europeia, 2022). O plano contém medidas a curto prazo e a médio prazo, a concretizar antes de 2027. Algumas medidas a curto prazo consistem em criar novas parcerias com fornecedores de energia viáveis, implementar rapidamente novos projetos de energia solar, eólica e de hidrogénio, de modo a reduzir as importações de gás em cerca de 50 mil milhões de metros cúbicos, e aprovar projetos de produção de energia a hidrogénio em grande escala. As medidas a médio prazo incluem utilizar os Fundos de Recuperação e Resiliência em projetos de energias renováveis a nível nacional, criar nova legislação para acelerar o licenciamento de projetos de energias renováveis e o aumento da meta europeia de energias renováveis para 2030 de 40% para 45% (Comissão Europeia, 2022). Este programa da UE é um ótimo passo para avançar a transição energética e proteger os mercados de energia de possíveis conflitos que possam existir no continente europeu e no mundo, no entanto, o REPowerEU ainda não conta com nenhuma diretiva transposta para lei europeia oficial, o que torna um pouco difícil para os países ratificarem as ações contidas no plano e aturem nas suas metas.

Então, com o contraste entre o que muitos autores, e até os consumidores europeus, esperavam – a aceleração no progresso da transição energética devido à forte dependência europeia nas importações de combustíveis fósseis russos – e o que realmente sucedeu – o temporário sucesso do carvão nos mercados de energia suíços –, seja a falta de vontade por parte dos governos em acelerar a criação de políticas energéticas mais verdes para o seu país, a difícil implementação do plano REPowerEU ao nível nacional ou apenas a procura de lucros rápidos por parte das empresas produtoras e distribuidoras de energia, torna-se apelativo a ação direta por parte dos consumidores.

3. O Consumidor na Transição Energética

Normalmente, o consumidor não aparenta ter muitas possibilidades de atuar diretamente na transição energética. Atualmente, e desde o surgimento da tecnologia, a forma mais óbvia de um consumidor participar ativamente na transição energética é a substituição de veículos motorizados pessoais, como carros e motocicletas, movidos a combustíveis fósseis por alternativas elétricas. Sendo o setor dos transportes um dos maiores contribuidores para as emissões de GEEs (Fig. 2) (IEA, 2022), as organizações europeias e mundiais criam medidas que incentivam essa substituição, impulsionando a transição energética.

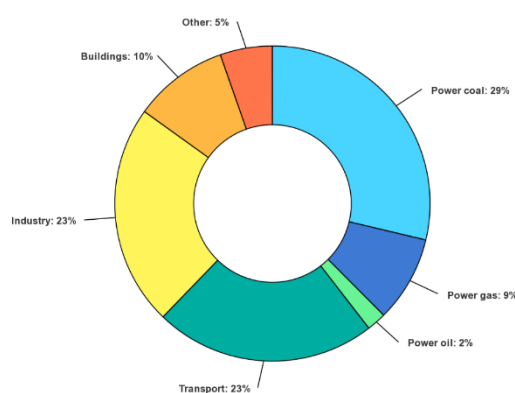


Fig. 2 – Emissões de CO₂ globais por setor, atualizado em 2022.

Fonte: IEA

No entanto, o foco desta tese não se encontra no setor dos transportes, mas sim na área do consumo doméstico de eletricidade. Nesta área, sendo um bem essencial para a vida da maioria das pessoas, os consumidores estão, normalmente, à mercê das empresas vendedoras de eletricidade. O consumidor tem a possibilidade de escolher o seu fornecedor de eletricidade – em Portugal, o Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, afirma que um consumidor pode escolher, ou trocar, o seu fornecedor de eletricidade sem quaisquer penalizações por parte dos fornecedores –, mas essa decisão costuma limitar-se em escolher o fornecedor que consegue oferecer o preço mais baixo para as necessidades do consumidor. A não ser que se trate de um consumidor ambientalmente consciente, a fonte de energia da eletricidade que é consumida não é uma prioridade. Em Portugal e na maioria dos países europeus, os fornecedores de energia são obrigados a informar os consumidores de onde provém a eletricidade que foi comercializada (Decreto-Lei n.º 141/2010, 31 de dezembro), mas o consumidor não consegue manipular de qualquer forma a quantidade de eletricidade utilizada que provém de energias renováveis ou não-renováveis. Posto isto, que maneiras

existem para um consumidor português garantir que 100% da eletricidade que consome provém de energias renováveis? Mas antes de analisar quais os caminhos que um consumidor pode escolher para tomar controlo sobre a produção da sua própria energia elétrica, é necessário identificar o consumidor alvo desta tese – os habitantes de edifícios multifamiliares.

3.1. Porquê consumidores habitantes em edifícios multifamiliares?

A produção de energia através das diferentes fontes renováveis, seja a energia solar, eólica, hídrica ou outra, tem, entre elas, um elo comum: a necessidade de uma área considerável para a instalação da tecnologia. A quantidade de energia produzida está diretamente relacionada com a dimensão das barragens, quantidade de painéis instalados numa central FV ou no tamanho e quantidade de turbinas eólicas nos parques eólicos, algo que é extremamente inconveniente para os consumidores que querem garantir o controlo da produção da própria energia. O acesso geral a este tipo de tecnologias tem vindo a melhorar ao longo dos anos, graças ao progresso e inovação alcançados, com turbinas eólicas mais pequenas ou painéis FV mais baratos e fáceis de instalar, tudo enquanto mantêm a sua eficiência.

No entanto nem todos os consumidores têm a liberdade de fazer a escolha de produzir a sua própria eletricidade. Descartando, por momentos, as discrepâncias económicas das diferentes classes económicas, um consumidor que habita uma moradia tem controlo total sobre todo o espaço da sua habitação, incluindo o telhado, uma área geralmente inutilizada e muito comum para a instalação de tecnologias de produção de energia renovável. Já uma pessoa que habite num apartamento, tem o problema do telhado ser uma área partilhada por todos os habitantes do prédio, não podendo utilizar esse espaço comum para o seu próprio benefício. Por isso, um projeto de autoconsumo para um edifício multifamiliar invoca a necessidade de cooperação entre os moradores. Esta é uma das maiores barreiras para um destes consumidores, uma vez que este tipo de projetos de autoconsumo são bastante dispendiosos, algo que pode não estar acessível a todos os moradores do prédio. Numa situação hipotética de instalação de um projeto de autoconsumo num prédio, se não houver total cooperação de todos os habitantes, as partes interessadas em que o projeto avance terão de arrecadar uma parte maior dos custos, enquanto que os habitantes que não pretendem participar no investimento terão de abdicar do usufruto do telhado e da energia que será eventualmente produzida.

Estes projetos de autoconsumo em edifícios multifamiliares abrangem consumidores que representam uma grande parte da população, que é muitas vezes desconsiderada como potenciais utilizadores destas tecnologias, especialmente pela razão levantada no parágrafo anterior. O número destes consumidores vai continuar a aumentar graças ao fenómeno da urbanização (Fig. 3) – refere-se às mudanças que uma cidade sofre em relação a fatores como a sua densidade populacional, tamanho e industrialização (Vlahov & Galea, 2002). Este contínuo aumento da densidade populacional nas cidades traz, consequentemente, desafios no ordenamento de território destas cidades. Com o espaço existente nas cidades a diminuir constantemente, a acomodação de toda a população torna-se um desafio, algo que a construção de edifícios multifamiliares tenta resolver, uma vez que, na mesma área onde existiriam apenas uma ou duas moradias capazes de acomodar uma família, é possível utilizar a verticalidade dos edifícios multifamiliares para acomodar mais pessoas nos diferentes apartamentos.

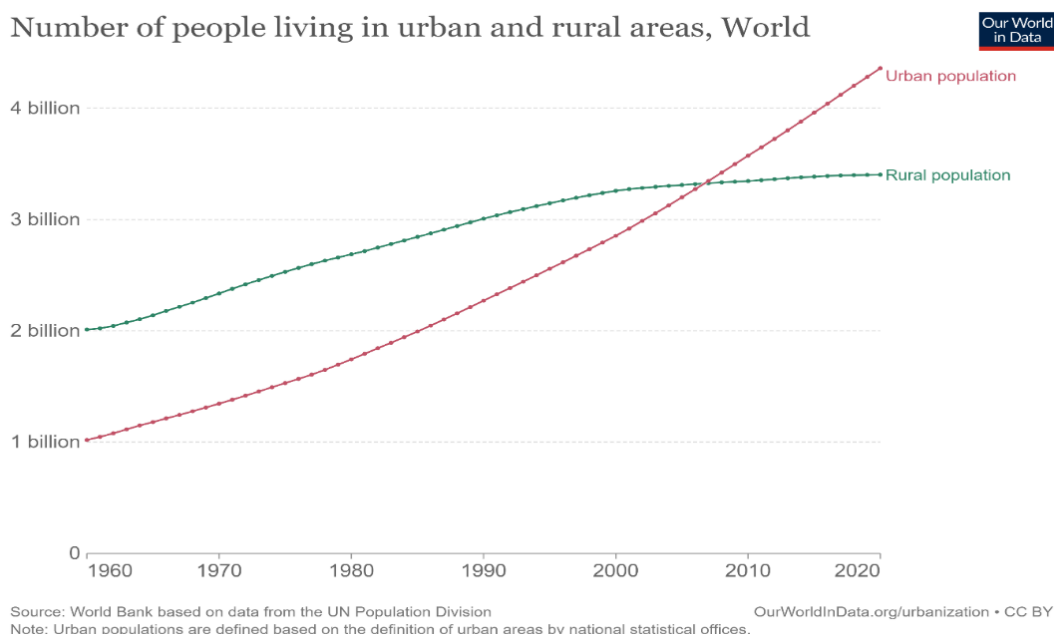


Fig. 3 – População mundial a viver em zonas urbanas e rurais ao longo dos anos (1960-2020).
Fonte: OurWorldinData

Como é possível verificar na Fig. 3, o processo de urbanização tem vindo a crescer exponencialmente desde a década de 60 do século XX, podendo ser deduzido que a construção de edifícios multifamiliares de modo a facilitar o ordenamento de território das cidades também acontece, pelo menos, desde então. Consequentemente, muitos dos edifícios

multifamiliares, que ainda são utilizados atualmente, foram construídos sem estarem preparados para a instalação de tecnologias de produção de energia para autoconsumo, ou seja, podem possuir uma área de telhado muito reduzida ou até sem acesso, dificultando a instalação e a manutenção destas tecnologias.

Considerando que a percentagem da população mundial que vive em centros urbanos vai continuar a aumentar, com previsões que apontam que 6,3 mil milhões de pessoas, cerca de 70% da população mundial, vai habitar grandes centros urbanos (Bretzke, 2013), Portugal não é exceção a essa tendência. Com cerca de 10 milhões de residentes no país (INE, 2021), mais de 7 milhões habitam zonas predominantemente urbanas (INE, 2022), o que representa cerca de 70% da população residente no país. De acordo com o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico de 2020 da Direção Geral da Energia e Geologia, existem em Portugal 1.923.062 de edifícios com 3 ou mais alojamentos familiares, contando com mais de 4 milhões de residentes a habitarem nestes prédios (DGEG, 2021), ou seja, mais de 40% da população portuguesa. No entanto, alguns destes prédios foram construídos antes de 1945 (DGEG, 2021), e mesmo os que foram construídos depois dessa data não foram construídos para acomodar novas tecnologias que melhoram a sustentabilidade das construções, incluindo as tecnologias de produção de energia. Considerando, então, que quase metade da população portuguesa habita nestes edifícios multifamiliares, sendo alguns deles construções com mais de 70 anos, estes consumidores tornam-se no foco desta tese, com o objetivo de explorar as melhores soluções para que possam contribuir para a transição energética tomando controlo da produção da própria energia que consomem.

3.2. Produção de energia elétrica em edifícios multifamiliares – quais as opções?

Como já foi mencionado, uma possível maneira de os consumidores participarem ativamente na transição energética é controlarem totalmente, ou o máximo possível, a produção da energia elétrica que consomem. De modo a alcançar este objetivo, os consumidores podem optar por duas opções distintas – as turbinas eólicas ou os painéis FV. Apesar de ambas serem opções válidas, uma mostra-se uma melhor escolha para os consumidores-foco desta tese, os habitantes de edifícios multifamiliares.

3.2.1. Turbinas Eólicas

As turbinas eólicas para uso doméstico podem assemelhar-se às turbinas eólicas que se encontram nos parques eólicos, mas em ponto mais pequeno, ou podem ter um *design*

pensado para se integrar melhor nas casas dos consumidores (Fig. 4). Estas turbinas podem gerar entre 400 W até 20 kW de eletricidade, dependendo do tamanho, do modelo, do modo de rotação e tipo de hélices (Energy.Gov, 2015.). O tipo apresentado em a), representado pelo modelo Atlas-X 7 da empresa TESUP, e o tipo c) são os mais comuns nas casas dos consumidores devido ao tamanho reduzido e facilidade de instalação.

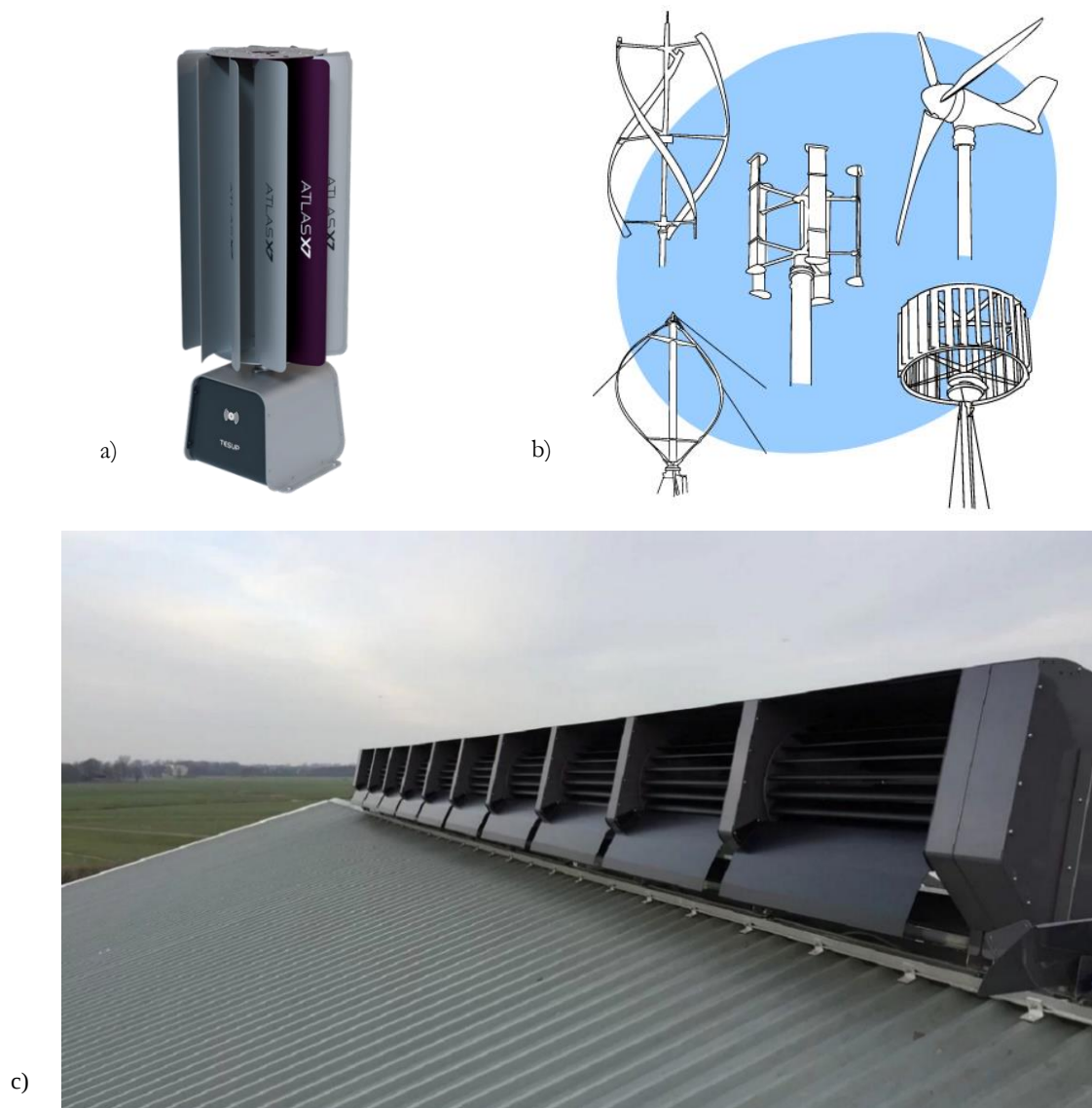


Fig. 4 – Diferentes tipos de turbinas eólicas disponíveis para uso doméstico.

Fonte: a) TESUP; b) BUILD.au; c) ClickPetroleoGas.

O tipo c) é comum em novas construções, especialmente no Reino Unido, devido à facilidade de integração nos telhados das casas. Os tipos apresentados em b) são semelhantes entre si, diferenciando-se na forma das hélices e no mecanismo de rotação. Comparado com os tipos

em a) e c), estas turbinas eólicas tendem a ter um tamanho maior, sendo mais adequadas para consumidores com propriedades com mais área, como por exemplo quintas.

Todas estas turbinas dependem do vento para fazer girar as hélices e produzirem eletricidade, por isso, o sucesso da sua operação estará sempre dependente da frequência e velocidade do vento no local da instalação. A maior parte destas turbinas eólicas necessitam de vento com uma velocidade média anual de 4 m/s para gerar energia, se forem de tamanho reduzido, e as de maior tamanho necessitam de mais de 5 m/s (U.S. Energy Information Administration, 2023). Em Portugal, a região do Norte apresenta ventos com velocidades médias anuais muito mais baixas comparativamente às regiões Centro e Sul, que se assemelham entre si. No Norte, a velocidade média anual, recolhida em 2023, foi de 2,86 m/s (MeteoCercal, 2023), enquanto que no Centro, representado pela cidade de Lisboa, a velocidade média anual, em 2023, foi de 4,92 m/s (Weather Spark, 2023) e no Sul, representado pela cidade de Faro, em 2023, a velocidade média anual foi de 5,14 m/s (Weather Spark, 2023). Os diferentes valores da velocidade do vento foram recolhidos entre os 10m e 20m de altura (MeteoCercal & WeatherSpark, 2023), uma altura que pode ser considerada adequada para se relacionar com a posição de instalação de uma turbina eólica na maioria das habitações, incluindo prédios entre 3 a 5 andares, portanto, os valores das velocidades médias anuais nas diferentes regiões de Portugal apresentados não são encorajadores para os consumidores, especialmente para os habitantes da zona Norte do país, onde a velocidade média do vento não consegue atingir os mínimos necessários para sustentar a operação de uma turbina eólica de tamanho reduzido. Posto isto, as turbinas eólicas tendem a ser estruturas bastantes altas de modo a aproveitar ao máximo o vento disponível, uma vez que, por norma, uma maior altitude significa valores para velocidade média do vento mais elevados (Wizelius, 2007). Esta necessidade de possuir uma elevação grande para garantir uma constante rotação das hélices, faz com que as turbinas eólicas deixem de ser uma opção adequada para os consumidores que habitam em edifícios multifamiliares – o grande foco desta tese –, uma vez que, por motivos óbvios de segurança, a instalação de uma estrutura com cerca de 10m, ou até mais, de altura (Young, 2021), no topo de um edifício que conta, no mínimo, com outros 10m de altura, podendo ser muito mais dependendo da quantidade de andares existentes no edifício, é extremamente perigoso e praticamente impossível, uma vez que não existe maneira de propriamente, e seguramente, fixar uma estrutura como uma turbina eólica num telhado de um edifício multifamiliar. Consequentemente, os consumidores habitantes de apartamentos, se optarem pela produção

de energia por turbinas eólicas, estão constrangidos pela altura do prédio onde habitam e pela escolha de um modelo de turbinas eólicas de tamanho muito reduzido, como o apresentado em a) ou c) na figura 4.

Descartando, por momentos, a inviabilidade das turbinas eólicas em edifícios multifamiliares, de um ponto de vista económico, as turbinas eólicas também não possuem uma clara vantagem comparativamente à alternativa dos painéis FV. Apesar de existirem turbinas eólicas a preços muito acessíveis a todos os consumidores, estas possuem uma potência demasiado baixa para sustentar qualquer nível de consumo energético numa habitação. Se o objetivo do consumidor é controlar a produção da sua própria eletricidade, seria necessário uma, ou várias, turbinas eólicas de uma potência elevada, ou seja, de um tamanho e preço considerável, aproximando-se dos preços, geralmente, elevados dos painéis FV.

Então, considerando todos os tópicos mencionados sobre as turbinas eólicas, esta alternativa mostra-se pouco adequada para os consumidores “alvo” desta tese, sendo que este tipo de produção de energia se adequa mais para consumidores que habitem regiões/países mais ventosos do que Portugal e para consumidores que possuam grandes terrenos, como quintas, que facilitem a instalação de turbinas eólicas de maior tamanho e maior potência, algo que não é possível para consumidores que habitem em moradias ou apartamentos em centros urbanos.

3.2.2. Painéis FV

Uma vez que as turbinas eólicas não se adequam para os consumidores que moram em apartamentos, a única outra solução para controlarem a própria produção de energia elétrica são os painéis FV. A tecnologia do FV já tem vindo a ser observada e estudada desde o séc. XIX, mas só mais recentemente, depois de toda a inovação e progresso, é que o FV começou a ser visto como uma das alternativas mais viáveis às energias fósseis graças ao baixo custo de fabrico, instalação e manutenção quando comparado a outras fontes de energias renováveis (Lameirinhas *et al.*, 2022). De forma simplificada, os painéis FV conseguem produzir energia elétrica através da absorção da luz solar. Os fotões emitidos pelo sol são absorvidos pelas células FV que, ao serem atingidas pela luz, criam uma corrente elétrica (Boxwell, 2010). Esse “efeito FV”, como é denominado, apenas acontece em alguns tipos de materiais, por isso, as células FV que se encontram nos painéis são compostas, normalmente, por silício (Boxwell, 2010). Existem três tipos mais prominentes de painéis

FV: monocristalino, policristalino e *thin-film* (Fig.5). Estes três painéis, para além de se distinguirem no seu aspeto, diferem, principalmente, na sua composição. O monocristalino é composto por cristais únicos de silício puro. Este método de produção de painéis é complexo e tem um custo mais elevado do que os outros tipos, sendo, em contrapartida, o mais eficiente de todos (Dobrzańsk *et al*, 2013). Os painéis policristalinos são compostos por grandes blocos de silício derretido. Este método de produção é mais barato, no entanto os cristais de silício perdem pureza, diminuindo a eficiência energética dos painéis (Dobrzańsk *et al*, 2013). Como o silício é um material extremamente procurado em todas as áreas da tecnologia, a escassez e possível elevado custo da obtenção desta matéria-prima levou ao surgimento dos painéis FV do tipo *thin-film* (Green, 2007). Estes painéis usam outros materiais capazes de reproduzir o efeito FV, como o cobre e o cádmio, para a produção de energia. Estes painéis são os mais baratos de produzir, mas, consequentemente, devido às fracas propriedades dos materiais utilizados, são os menos eficientes na produção de energia elétrica (Green, 2007).

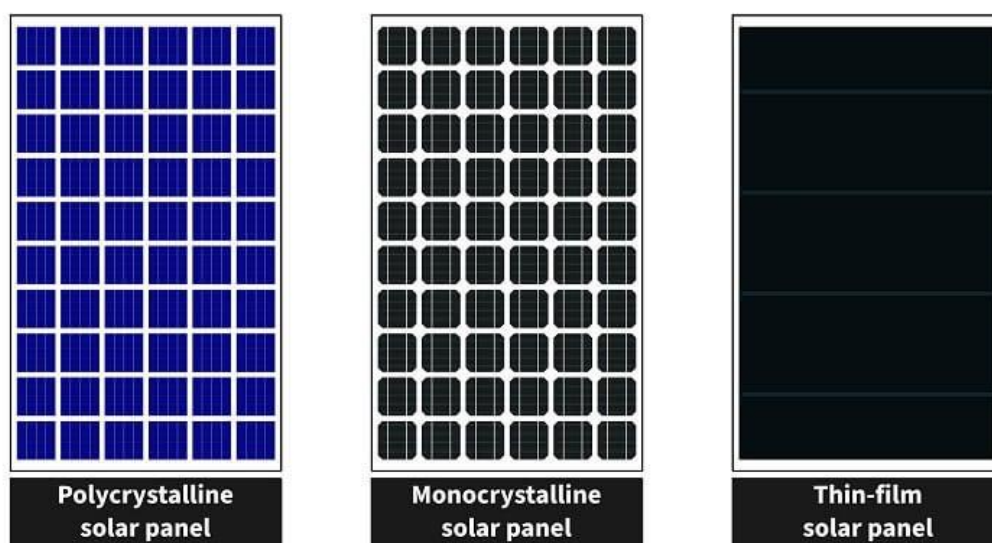


Fig. 5 – Diferentes tipos de painéis solares.

Fonte: Ecoexperts

A escolha do tipo de painel que o consumidor deve fazer depende de vários fatores, que vão ser explorados mais à frente.

Tal como acontece com as turbinas eólicas, que estão dependentes do vento para produzir energia, os painéis solares estão dependentes da radiação solar. Neste caso, são necessárias muitas horas de exposição solar e um nível alto de radiação para os painéis funcionarem ao seu melhor. Portugal é um dos países europeus com maior exposição solar,

obtendo cerca de $1200\text{W}/\text{m}^2$ em 8h diárias (Figueira, 2019). No entanto, muita exposição solar pode significar um aumento da temperatura de funcionamento dos painéis, afetando negativamente o *output* energético dos mesmos (Siecker *et al.*, 2017), algo que não acontece com as turbinas eólicas, que beneficiam sempre de mais vento e com maior velocidade. Mas, também em contraste com as turbinas eólicas que necessitam de uma velocidade de vento mínima para iniciar e manter a sua atividade, os painéis solares mantêm-se a produzir energia mesmo com níveis de radiação solar muito baixos, embora que o façam à custa do *output* de energia obtido.

Os painéis FV também possuem algumas vantagens indiretas, em relação às turbinas eólicas, quando instalados em edifícios multifamiliares. Como os painéis sobrepõe a cobertura dos prédios, estes irão criar um ensombramento localizado na superfície da cobertura, melhorando a situação térmica dos apartamentos mais próximos do nível da cobertura, tornando-os mais frescos em alturas do ano em que as temperaturas são mais elevadas. Da mesma maneira que ajudam com o controlo da temperatura, os painéis FV também vão proteger a cobertura do prédio da precipitação, fornecendo um melhor isolamento ao telhado e, conseqüentemente, estendendo o tempo de via útil do isolamento da cobertura (D'Agostino, 2021).

Considerando, então, os consumidores em que esta tese se foca, os habitantes de edifícios multifamiliares, os painéis FV mostram-se a melhor opção para a produção de energia elétrica. Especialmente em Portugal, a falta de vento constante e de alta velocidade a uma altura de 10-20m desencoraja o investimento em turbinas eólicas, mas a grande quantidade de exposição solar, juntamente com as temperaturas amenas típicas do mediterrâneo, favorecem a produção de energia elétrica através de painéis solares. A instalação dos painéis FV é também mais acessível e mais segura, para o espaço onde ocorre a instalação (o telhado dos prédios), e a sua manutenção também pode ser feita de maneira mais segura, comparativamente às turbinas eólicas.

4. O Fotovoltaico em Portugal

4.1. Fotovoltaico na Europa vs. Portugal

Num artigo da revista VISÃO, Miguel Lobo da Lightsource BP Portugal, afirma confiantemente que “a energia solar em Portugal está subaproveitada”. Os dados estatísticos da energia solar em Portugal comprovam o descontentamento dos peritos do setor. Já em 2015, os 21.5% que representavam o consumo de energia proveniente de fontes renováveis, o solar apenas contribuía com 0.6% do total da energia consumida (Bórawski *et al.*, 2018). Avançando para 2021, esse mesmo valor aumentou para cerca de 2.17% (Ritchie *et al.*, 2022). Em capacidade de FV instalada *per capita*, Portugal encontra-se na 19ª posição entre os 27 da UE, com uma capacidade instalada de 160 W/habitante (EurObserv'ER, 2022). Estes valores são muito desanimadores, especialmente quando comparando com outros países da UE, como os vizinhos ibéricos de Portugal, a Espanha, que conta com 276.5 W/habitante de capacidade FV instalada, ou os Países Baixos, o país da UE no primeiro lugar do ranking em capacidade FV instalada *per capita*, que conta com 815.4 W/habitante (EuObserv'ER, 2022). No entanto, apenas os resultados não conseguem explicar porque é que a energia solar está a ser “subaproveitada”. Bódis *et al.* (2019), ao relacionar variáveis como o preço da eletricidade no mercado nacional, a irradiação solar e a quantidade de espaço livre para a instalação de FV, concluíram que Portugal é o segundo país com mais potencial, técnico e económico para o sucesso de projetos de FV. Estimam, ainda, que a percentagem do consumo total de energia em Portugal, proveniente do solar, pode chegar a 52.3% (Bódis *et al.*, 2019). Portanto, Portugal é um país com elevado potencial para o sucesso do FV, mas falha em capitalizar nos privilégios que possui, como a posição geográfica e o clima mediterrâneo que agrada o país.

Apesar de uma baixa penetração do FV na produção de energia em Portugal, de acordo com os dados técnicos da Redes Energéticas Nacionais (REN), em 2021 a produção de energia renovável cobriu 59% de toda a produção energética do país (REN, 2022). A energia eólica e hídrica, representando 26% e 23% da energia produzida, respetivamente, dominam a produção das renováveis por uma larga margem comparativamente ao solar, que representa apenas 3% da produção de renováveis (REN, 2022). Esta discrepância mostra uma das grandes barreiras que impediu Portugal de capitalizar no imenso potencial que possui para a produção de energia solar.

4.2. Se existe potencial, o que impediu o sucesso?

De forma a melhor contextualizar os dados relativos à produção de energia proveniente de fontes renováveis, é necessário analisar o começo destes diferentes projetos em Portugal. Relativamente à energia eólica, em 1986 era ativado o primeiro parque eólico do país, na ilha de Porto Santo, gerido pela Empresa de Eletricidade da Madeira. Este parque eólico contava com 8 aerogeradores, cada um contava com 30kW de potência, totalizando um potencial de geração de energia de 240kW (EEM, 2019). Avançando para 2021, e a construção de muitos mais parques eólicos ao longo dos anos, Portugal posicionava-se como o 18º maior país do mundo no setor da produção de energia eólica, com cerca de 5368 MW instalados (REN, 2022). Já na produção de energia hídrica, os projetos de centrais hidroelétricas de grande dimensão, capacidade acima de 30MW, começaram a ser ativados já na década de 50. Em 2021, Portugal contava com 7222 MW de potência instalada (REN, 2022). No mesmo ano de 2021, comparativamente, apenas estavam instalados 1387 MW de potência relativos a unidades de produção de energia solar (REN, 2022). Em Portugal, o FV apenas entrou no mercado energético português no ano de 2002, com o começo da construção da central fotovoltaica Hércules. Esta obra apenas vinha a ser terminada em 2006 e ativada em 2007, contando com uma capacidade total de 11MW (Energias Renováveis, 2008).

Posto isto, a primeira razão para o insucesso do FV em Portugal pode ser considerada a mais óbvia. De um ponto de vista tecnológico, o FV é uma tecnologia muito mais recente do que as outras soluções energéticas. Numa altura em que a grande eficiência de centrais hidroelétricas e parques eólicos atraíam o foco de investimentos privados, e mesmo públicos, o FV era ainda uma tecnologia de produção energética pouco madura e com custos de produção muito elevados (Jorge, 2020). Como foi mencionado, em Portugal, os empreendimentos eólicos e hídricos penetraram o mercado energético com 20 e 50 anos de avanço respetivamente, comparativamente ao FV.

Outra possível razão que contribui para a fraca *performance* do FV em Portugal é, historicamente, o foco do governo em projetos de energia eólica e hídrica. Possivelmente ligado à fraca maturidade tecnológica (dada como primeira barreira para o insucesso do FV em Portugal), o governo português, especialmente desde o virar do século, tem vindo a focar-se em apoiar o investimento em parques eólicos e centrais hidroelétricas. Em 2001, em linha com o Programa E4, um programa que visava diminuir as importações de energia, internalizar a produção energética e atingir 39% de energia produzida proveniente de fontes

renováveis (Domingos, 2002), o governo investia cerca de 5 mil milhões de euros para acompanhar investimentos de entidades privadas, como o Grupo Semapa, o Banco Português de Investimento (BPI), a Caixa Geral de Depósitos (CGD) e o Banco Comercial Português (BCP), em projetos de energias renováveis, maioritariamente eólicos e hídricos (Domingos, 2002). Como já mencionado, este foco do país em projetos de produção de energia eólica e hídrica pode bem ter sido uma das maiores barreiras para o sucesso do FV em Portugal e também o motivo para a discrepância entre a capacidade FV instalada em Portugal, comparativamente a países como a Espanha, Alemanha e Países Baixos. Os antigos investimentos, tanto do governo como das entidades privadas, podem desmotivar novos investimentos no setor da energia solar, mesmo que, atualmente exista um grande potencial para o FV no país.

4.3. Legislação das Tarifas de Remuneração – Barreira ou Impulsionador?

Não só em Portugal, mas como em toda a Europa e até no Mundo, as tarifas de remuneração utilizadas pelos governos – “tarifas verdes” como são, por vezes, denominadas – são estruturas de preços de eletricidade em mercados regulados aplicáveis às energias renováveis, numa tentativa de impulsionar o poder de mercado da eletricidade proveniente de energias renováveis (Dias-Rainey & Tzavara, 2012). Estas tarifas, como são aplicadas num mercado regulado, estão meticulosamente legisladas e sofrem alterações regulares. Por vezes, as alterações constantes na legislação de um mecanismo que tem por objetivo incentivar a produção e consumo de eletricidade proveniente de energias renováveis, podem acabar por adicionar uma complexidade desnecessária fazendo esquecer o objetivo principal destas tarifas de remuneração. Para perceber se, em Portugal, estas tarifas, bem como a legislação que as rodeia, é necessária uma contextualização histórica.

No mesmo ano do já mencionado Programa E4, o Ministério da Economia e o, então, Ministério Ambiente e do Ordenamento de Território publicavam a 29 de dezembro o Decreto-Lei n.º 339-C/2001 que fazia uma completa revisão dos Decretos-Lei n.ºs 189/88, de 27 de maio, e 168/99, de 18 de maio, que estabeleciam o regime de remuneração para os pequenos produtores de energias renováveis. O primeiro dava ênfase a minicentrals hídricas e licença e estabelecia tarifas remuneratórias fixas, variando apenas com o tipo de fonte de energia. Já o segundo veio introduzir um regulamento complexo para a autorização, instalação e licenciamento de centrais de energias renováveis para pequenos produtores e a introdução de uma nova forma de remuneração para este tipo de produção energética – as

tarifas *feed-in*. Resumidamente, as tarifas *feed-in* são um método de remuneração utilizada pelos governos que consiste no pagamento de uma tarifa fixa a produtores de energia renovável, num período de tempo fixo (por norma entre 15 e 25 anos). Este tipo de tarifas remuneratórias tem como objetivo ajudar as energias renováveis penetrarem nos mercados energéticos onde são aplicadas, amortizando o investimento inicial nestas tecnologias, que por norma são mais elevados do que tecnologias de produção de energia não-renovável.

Voltando ao Decreto-Lei n.º 339-C/2001, de 29 de dezembro, este trazia uma importante alteração ao cálculo das tarifas *feed-in*, a introdução de um coeficiente que variava dependendo das características da tecnologia utilizada, algo que, potencialmente, beneficiava o FV, uma vez que era uma das tecnologias que possuía um dos maiores coeficientes. Este Decreto-Lei viu várias alterações nos anos seguintes, nomeadamente na abrangência de centrais com uma maior capacidade instalada, de modo a acompanhar o progresso das tecnologias de produção de energia renovável, e na continuação do aumento do coeficiente relativo à produção FV. No entanto, em 2006, no ano da construção da primeira grande central FV, um ano antes da sua ativação, o Decreto-Lei n.º 29/2006, de 15 de fevereiro, introduzia duas classificações para a produção de eletricidade em Portugal: a produção em regime ordinário (PRO) e a produção em regime especial (PRE). Os pequenos produtores de energias renováveis, previstos na lei desde 1988, e mesmo as grandes centrais hídricas, eólicas e FV inseriam-se, agora, na segunda classificação. Todos os PRE, como passaram a ser denominados, beneficiavam da compra da sua eletricidade a preços ajustados pelas tarifas *feed-in* respetivas. Depois desta alteração nas classificações, o Decreto-Lei n.º 225/2007, de 31 de maio, trouxe a última alteração positiva para os valores utilizados no cálculo das tarifas *feed-in* da produção FV.

Até aqui, as tarifas remuneratórias atuavam como um impulsionador das tecnologias FV, uma vez que estas beneficiavam de tarifas mais elevadas do que outras tecnologias de energias renováveis, algo que o governo esperava ajudar com os problemas que o FV tinha nessa altura. Esses grandes impedimentos continuavam a ser a sua “imaturidade”, em comparação com outras fontes de energias renováveis, e o enorme investimento inicial necessário, mesmo para uma unidade de pequena produção.

No entanto, após o Decreto-Lei n.º 225/2007, de 31 de maio, o governo, aparentemente, inverteu a sua estratégia em relação ao FV. Em 2010, a Portaria n.º 1057/2010, de 15 de outubro e o Decreto-Lei n.º 132-A/2010, de 21 de dezembro diminuíram o valor das tarifas *feed-in* relativas a pequenos produtores de FV e também a

grandes centrais FV, ajuste que pode ter sido o resultado da grande recessão financeira que atingiu Portugal em 2008. Mas este pequeno ajuste não se comparava à mudança no regime tarifário que iria afetar as fontes de energias renováveis. Dois anos depois, o Decreto-Lei n.º 215-B/2012, de 8 de outubro, alterava por completo o regime remuneratório dos PRE. Estes produtores passavam a ter dois regimes remuneratórios, um “regime geral” onde passavam a vender a sua eletricidade no mesmo regime dos PRO, privando-os da remuneração das tarifas *feed-in*, e um “regime de remuneração garantido”, um novo mecanismo de tarifas *feed-in*. A diferença para o antigo método de remuneração era que apenas os PRE aprovados e licenciados pelo governo poderiam aceder ao “regime de remuneração garantido”. Ou seja, a instalação de centros de produção de eletricidade proveniente de energias renováveis, que beneficiassem do modelo de remuneração das tarifas *feed-in*, ficava sob controlo total do governo. Isto, obviamente, vinha a reduzir consideravelmente a propagação das tecnologias de energias renováveis, em especial o FV, a tecnologia mais acessível a todos os potenciais pequenos produtores. A propagação do FV foi realmente impedida em Portugal, uma vez que, em 2014, dois anos após o novo Decreto-Lei, Portugal possuía em produção de energia renovável uma potência de instalada de 11 677 MW, em que 5570 MW eram produzidos por energia hídrica, 4953 MW era produzido pelas centrais eólicas e o FV apenas contava com 419 MW, apenas cerca de 3,5% da produção de energia renovável no país (DGEG, 2023).

Continuando a tendência decrescente nos apoios governamentais para as energias renováveis, dez anos depois de terem privado o acesso de muitos eletroprodutores às tarifas *feed-in*, o Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, vinha pôr um fim definitivo as essas tarifas de remuneração em Portugal. O Decreto-Lei estabelece um único regime remuneratório, tanto para os PRO como para os PRE, que assenta no preço estabelecido livremente no mercado de eletricidade. Todos os eletroprodutores de energias renováveis, e mesmo os que ainda eram abrangidos pelo “regime remuneratório garantido” deixam, então, de usufruir das tarifas *feed-in*.

Resumindo, apesar de, no início, a regulamentação e a implementação do modelo de tarifas *feed-in*, para energias renováveis em Portugal, terem funcionado como um impulsionador de novas tecnologias de produção de eletricidade mais “verde”, o aumento na complexidade dos regulamentos para a obtenção das licenças que davam acesso aos regimes remuneratórios, juntamente com os constantes ajustes ao valor da tarifa, tornou um mecanismo que deveria ter ajudado a proliferação da produção de eletricidade, proveniente de energias renováveis, numa barreira burocrática controlada pelo governo. Para o FV, isto

foi especialmente prejudicial, uma vez que, quando a tecnologia começava a rivalizar a eficiência das centrais hídricas e eólicas, o governo, com as alterações realizadas aos regimes remuneratórios, impedia o sucesso dos investimentos no FV, visto que as tarifas *feed-in* eram um dos mecanismos que assistiam no rápido retorno económico destes investimentos e com a penetração da tecnologia FV no mercado da eletricidade.

Apesar do fim destas tarifas *feed-in*, o governo português elabora todos os anos o programa Fundo Ambiental, que abre candidaturas para uma variedade de projetos na área da sustentabilidade. Estas candidaturas, se aceites, são parcialmente financiadas pelo governo português, incentivando assim o investimento em projetos sustentáveis. No Fundo Ambiental de 2023, graças aos fundos comunitários europeus do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), os projetos FV de Autoconsumo Coletivo, em edifícios residenciais, podiam candidatar-se para obter uma remuneração por parte do governo português. A comparticipação máxima do estado português seria de 70% ou 500.000€ por projeto, dentro de 10 milhões de euros disponibilizados para esta categoria (Fundo Ambiental, 2023).

5. Barreiras ao FV em Edifícios Multifamiliares

Os painéis FV são a melhor alternativa para a produção de energia elétrica para os consumidores que habitam em edifícios multifamiliares, no entanto, a instalação de sistemas FV nestas construções tem algumas barreiras características que podem impedir o sucesso de um investimento deste tipo. Uma das maiores barreiras já foi mencionada no subcapítulo “Porquê consumidores habitantes em edifícios multifamiliares?”, que é a cooperação entre os diferentes moradores, mas existem outras barreiras com o mesmo nível, ou ainda mais, de importância para o sucesso do projeto, sendo que algumas das barreiras podem mesmo chegar a impedir o início do projeto.

5.1. Limitações Físicas

A primeira grande limitação física é a falta de espaço de telhado para a quantidade de energia que será necessário produzir (Roberts *et al.*, 2019). Apesar de isto também poder ser uma barreira para a instalação de sistemas FV em moradias, os edifícios multifamiliares tendem a utilizar a área de telhado para outras funções, por exemplo como um espaço aberto partilhado para os moradores, e para acomodar outros dispositivos como aparelhos de ar condicionado e antenas. O próprio acesso à zona do telhado (caixa de escadas) pode ocupar bastante espaço e causar problemas de ensombramento.

A segunda limitação física é as condições do telhado onde ocorre a instalação (Roberts *et al.*, 2019). Os telhados da maioria dos edifícios multifamiliares atualmente erguidos não foram pensados para acomodar sistemas FV, por isso, a instalação dos painéis FV pode não ser viável devido à estrutura e aos materiais utilizados no telhado (especialmente entre o telhado e o teto do último andar), e, adicionalmente, o peso extra dos painéis FV pode não ser suportado pelo telhado. Com a possibilidade de danos sérios à estrutura do prédio, isto causa uma preocupação extra, tanto os consumidores como os próprios instaladores do sistema FV, passível de adicionar ao custo do investimento, caso seja necessário prevenir ou solucionar quaisquer danos.

A terceira limitação física é mais pontual, mas ainda importante de mencionar, sendo esta a altura dos edifícios multifamiliares. Prédios muito altos podem dificultar a instalação do sistema FV, podendo ser necessários meios adicionais que aumentem o custo da instalação (Roberts *et al.* 2019). A altura dos prédios envolventes, se existirem, também pode

afetar a *performance* dos sistemas FV, caso os edifícios que rodeiam o prédio onde ocorre a instalação sejam mais altos e causem ensombramento dos painéis FV.

5.2. Problemas de Propriedade

Muitos consumidores que habitam os edifícios multifamiliares, ao contrário do que acontece aos habitantes de moradias, arrendam o espaço onde vivem. Em Portugal, cerca de um milhão de habitantes possuem um contrato de arrendamento para a sua habitação (Censos, 2021). É possível que ainda mais consumidores estejam a arrendar o espaço onde vivem, apenas não possuem um contrato, sendo impossível de os contabilizar. Como estes consumidores não possuem a propriedade onde moram, apenas a arrendam a um proprietário, é muito menos provável sentirem a necessidade de investir em projetos como os de sistema FV, uma tecnologia imóvel, ficando apenas com custos irre recuperáveis sem poder tomar partido total dos benefícios, caso mudem de habitação (Roberts *et al.*, 2019). Já os proprietários que possuem apartamentos em edifícios multifamiliares e não habitam neles, também não têm motivos para investir em medidas de eficiência energética e em sistemas de produção de energia elétrica, uma vez que apenas vão ter os custos e os benefícios seriam apenas aproveitados pelos arrendatários. Ou seja, muitos consumidores habitantes de edifícios multifamiliares encontram-se nesta situação, ou semelhante, em que nem o próprio consumidor, no papel de inquilino, nem o proprietário têm motivos suficientes para justificar o investimento num sistema FV, e, relacionando com o problema da cooperação entre os moradores, quantos mais consumidores, nesta situação, existirem num edifício multifamiliar, menos provável é que o sistema FV seja instalado.

5.3. Problemas de conhecimento

Como a instalação de sistemas FV em edifícios multifamiliares ainda não é uma prática muito habitual, a falta de informação acessível sobre o assunto desencoraja o planeamento deste tipo de projetos, e possivelmente outros que se relacionem com a sustentabilidade em edifícios multifamiliares (Roberts *et al.*, 2019). Mesmo as empresas que trabalham com o planeamento e na instalação de sistemas FV, a falta de experiência na instalação de sistemas FV em edifícios multifamiliares pode criar erros nas estimativas, nos materiais necessários e na instalação dos painéis. Estes problemas podem dificultar e atrasar os projetos de implementação de sistemas FV, a um ponto que desencoraja os consumidores

de sequer iniciar o planeamento e também as próprias empresas de aceitarem propostas de instalação deste género.

O planeamento de um sistema FV implica a projeção de um sistema, composto por vários materiais, que interage diretamente com os mercados de energia, o que significa que muitas variáveis na projeção são completamente desconhecidas e muitas vezes imprevisíveis. Desde as taxas de juro e de inflação, variações nos preços dos materiais até às alterações nas tarifas energéticas, a impossibilidade de estimar, com 100% de certeza, as alterações nestas variáveis, ao longo do tempo, dificulta o planeamento e abala a confiança dos consumidores neste tipo de projetos. Apesar de isto ser um problema que também afeta a projeção de sistemas FV em moradias, a maior dimensão dos projetos de sistemas FV em edifícios multifamiliares faz com que uma possível falha nas estimativas, devido aos imprevistos mencionados, agrave a quantidade de possíveis custos não previstos.

5.4. Problemas Económicos

O problema mais evidente para a maioria dos consumidores é o elevado custo inicial da instalação de um sistema FV. Esta tecnologia está, muitas vezes, fora do alcance financeiro da maioria dos consumidores e a instalação de um destes sistemas FV em edifícios multifamiliares, devido à dimensão do projeto, tende a ter um custo inicial mais elevado do que outras instalações. Mais uma vez, o problema de cooperação entre os moradores relaciona-se com este problema, na medida que, quanto mais pessoas estiverem dispostas a investir na instalação do sistema FV no seu edifício multifamiliar, o custo pode ser dividido por mais partes, tornando estes investimentos mais acessíveis para todos os consumidores. No entanto, o oposto também pode acontecer, onde apenas uma minoria dos habitantes de um edifício multifamiliar estão interessados na instalação de um sistema FV, fazendo com que ocorra uma divisão dos custos por menos habitantes, tendo cada um dos interessados de arcar com custos iniciais muito mais elevados.

Muitos países possuem planos de incentivos financeiros para medidas de sustentabilidade, e a instalação de sistemas FV é, muitas vezes, uma das ações abrangidas por estes incentivos, mas, no caso de não ser abrangido, o consumidor terá de suportar a totalidade dos custos, sem qualquer apoio externo. Mesmo nos casos onde a instalação de sistemas FV é incentivada pelo governo do país, o apoio financeiro pode não ser suficiente em relação aos custos suportados pelo consumidor, desencorajando a instalação de sistemas FV.

5.5. Problemas Regulatórios

Um projeto desta escala está sempre sujeito a um nível de regulação elevado, que varia de país para país. Desde a fase de planeamento até à introdução da energia produzida, pelo sistema FV, na rede e no mercado energético, todas as fases do projeto estão altamente reguladas (Roberts *et al.*, 2019), algo que, apesar de necessário, desacelera a implementação destes projetos.

6. Caso Prático – Projeto de Investimento para a Instalação de um Sistema Fotovoltaico num Edifício Multifamiliar na cidade de Fafe

Como já foi mencionado, os habitantes de edifícios multifamiliares em Portugal representam uma grande parte da população e os prédios onde habitam são construções de um período onde a implementação de projetos como painéis FV não estavam previstas. Por isso, de modo a explorar a possibilidade, e a capacidade, de um edifício multifamiliar já erguido, em Portugal, acomodar um projeto desta dimensão que seja tanto económica como energeticamente viável, elaborou-se um projeto de investimento usando um edifício multifamiliar situado na cidade de Fafe. Com os resultados e conclusões obtidas com a elaboração deste projeto de investimento, será possível extrapolar se outros edifícios multifamiliares de diferentes tamanhos e situados em diferentes localidades em todo o país podem usufruir deste tipo de investimentos, ou não.

6.1. Introdução

A implementação de um sistema FV num edifício multifamiliar, para além de ser um passo certo no caminho da transição energética, coloca o consumidor numa posição mais livre e independente nos mercados energéticos, garante ao habitante um fornecimento de energia 100% limpa e também oferece ajuda estrutural para a cobertura do prédio, como melhor isolamento das condições climáticas aumento o tempo de vida útil dos materiais de construção da cobertura (D'Agostino, 2021). Numa altura em que a tecnologia FV se encontra cada vez mais acessível ao consumidor e com o Estado português a atribuir ajudas financeiras (mencionadas em capítulos anteriores deste trabalho) para projetos de natureza sustentável, projetos de investimento na implementação de sistemas FV em edifícios multifamiliares tornam-se bastante apelativos.

Considerando isto, este projeto de investimento foca-se na implementação de um sistema FV num edifício multifamiliar, situado na cidade de Fafe.

6.2. Oportunidade de Investimento

Como já foi discutido, o FV encontra-se muito subaproveitado em Portugal e com o paradigma climático atual, a urgência de o próprio consumidor atuar torna-se imprescindível na luta contra as alterações climáticas. Portugal, de acordo com vários autores, graças, em

grande parte, ao seu clima mediterrâneo juntamente com o acesso aos mercados de eletricidade europeus, é um país com enorme potencial para o sucesso do FV. A crescente acessibilidade e eficiência desta tecnologia iniciou um constante declínio do preço do watt produzido por painéis FV (Fig. 6).

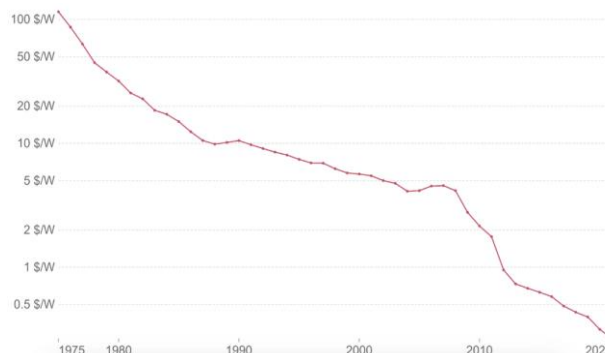


Fig. 6– Gráfico \$/watt produzido por painéis FV ao longo dos anos.

Fonte: Avenston

Quando primeiro ficou disponível ao público, em 1956, o preço rondava os 300\$/watt, um preço demasiado alto para competir com os combustíveis fósseis (Solaris, 2020) e 20 anos depois, em 1975, este preço tinha reduzido para quase 1/3 desse preço, cerca de 115\$/watt (Avenston, 2023). Atualmente o preço ronda os 0.90\$/watt e os 1.50\$/watt (Brill & Ogletree, 2023), o que representa apenas 0.3% do preço inicial. Esta nova acessibilidade dos preços dos painéis FV torna esta opção muito apelativa de um ponto de vista económico na implementação de projetos de autoconsumo energético.

Mas, em Portugal, não são só os novos preços da tecnologia que tornam esta opção apelativa. O Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, que estabelece a organização e o funcionamento do sistema elétrico nacional, transpondo novas diretivas da UE, consolida os passos necessários para a exploração das UPACs (Unidades de Produção para Autoconsumo) e assegura a “utilização da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) para veiculação de energia partilhada entre autoconsumidores e as suas unidades de produção para autoconsumo”. A facilitação da ligação das UPACs à RESP, juntamente com a desburocratização dos registos e exploração das UPACs, apresentado por este recente Decreto-Lei é mais uma razão que apela à instalação de projetos FV.

Estes sistemas FV são uma solução mais comum em moradias singulares do que em edifícios multifamiliares e, só mais recentemente, novas construções de edifícios multifamiliares começam a ser erguidas com sistemas FV planeadas para as suas coberturas. Ou seja, um projeto deste tipo, especialmente em Portugal, é um projeto inovador. Os

habitantes de edifícios multifamiliares nunca tiveram a oportunidade de aceder a este tipo de tecnologia devido ao elevado preço de sistemas FV de grande capacidade e a burocratização necessária para instalar sistemas FV de grande capacidade. Com a descida dos preços dos materiais e nova legislação em Portugal, estes projetos ficam finalmente acessíveis a toda a população.

Com os preços da energia elétrica cada vez mais altos, a instalação de projetos de autoconsumo, como um sistema FV, apesar do grande investimento inicial, trazem uma poupança drástica na fatura mensal da eletricidade. Se o sistema FV for corretamente dimensionado é possível que, para além da poupança obtida, depois de recuperado o investimento, o sistema FV consiga gerar retorno adicional ao consumidor na maior parte da vida útil do sistema FV.

6.3. Descrição do Projeto

Para a instalação de um sistema FV é necessário uma grande variedade de materiais e componentes vitais para o bom funcionamento do mesmo. A escolha dos materiais a serem utilizados torna-se, então, crucial.

6.3.1. Materiais

A escolha dos módulos para um sistema FV desta dimensão é muito importante. Como já foi mencionado na secção 3.2.2 deste trabalho, existem três tipos de módulos FV, cada um com as suas vantagens e desvantagens. Para este projeto, como se trata de um investimento coletivo por parte das famílias habitantes no edifício multifamiliar, sendo o objetivo de produzir o máximo de energia possível com a área disponível, os painéis monocristalinos, os mais eficientes dos três tipos, serão a escolha acertada. Apesar de terem um preço mais elevado do que os outros dois tipos, policristalino e *thin-film*, a sua eficiência extra, juntamente com a capacidade de produção de energia mais elevada de cada módulo, torna os módulos monocristalinos a escolha óbvia para este projeto. Posto isto, tendo em conta os diferentes módulos disponíveis em Portugal, o modelo escolhido foi o RSM144-7-450M da RISEN ENERGY. Neste modelo, cada módulo possui 144 células FV com capacidade de produzir cerca de 450W de energia elétrica e uma eficiência de 20.4%. Este módulo conta com 2.104m de comprimento, 1.048m de largura e apenas 40mm de espessura, o que significa que, usando a disposição esquematizada, as diferentes partes do sistema não ultrapassam os 8m de comprimento.

Já as baterias de um sistema FV são um dos componentes mais caros deste tipo de projetos. Como serão usadas apenas para fornecimento energético em caso de “emergência” (explicado mais à frente), a capacidade das baterias é mais importante do que o seu *output*, as baterias utilizadas podem assegurar apenas cerca de 5% do consumo diário de todo o edifício multifamiliar, dependendo da sua capacidade e *output* energético. Em caso de existir sobreprodução de energia elétrica, esta será distribuída diretamente para a rede elétrica. De modo a garantir que as baterias não sobrecarreguem, uma vez que o módulo irá produzir mais energia do que estas podem aguentar, é necessário um dispositivo que controle a energia enviada para as baterias – um regulador de corrente. Estes dispositivos, apesar de importantes, são bastante insignificantes para os cálculos energéticos e dos custos considerando a escala do projeto.

Mais importante do que os reguladores de corrente, o inversor de corrente é um dispositivo que transforma a corrente direta (DC – *Direct Current*) produzida pelo sistema FV em corrente alternada (AC – *Alternating Current*), o tipo de corrente que chega aos apartamentos e casas em Portugal. Este dispositivo já entra nos cálculos energéticos do sistema, podendo pôr em causa a eficiência e o rendimento do sistema FV.

6.3.2. Dimensionamento do Sistema FV

O edifício multifamiliar em questão é o apresentado na figura abaixo (Fig. 7). O prédio, localizado nas coordenadas geográficas 41.45°, -8.17°, possui 3 andares, 23 apartamentos e uma área de cobertura de aproximadamente 1200 m². Retirando, dessa área, o espaço ocupado pelas caixas de escadas, as estruturas de comunicações e ventilação e o espaço necessário para manter o fácil acesso aos painéis para assegurar uma fácil manutenção dos mesmos, a área disponível para os painéis FV aproxima-se dos 900 m² (ver na figura 8, em Anexo).



Fig. 7 – Vista aérea do edifício multifamiliar sujeito do caso prático.
Fonte: Google

De acordo com os estudos de Qadourah (2022), a disposição dos painéis FV que resultam na melhor eficiência e maior produção de energia é a apresentada na Figura 8, em baixo.

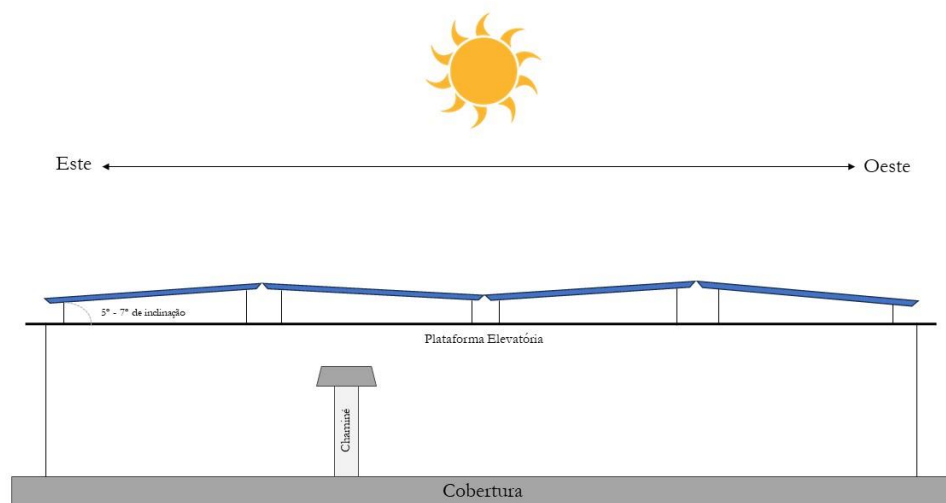


Fig. 8 – Esquema da orientação dos módulos do sistema FV

Como a orientação do edifício multifamiliar está alinhada com a movimentação do sol, a disposição dos painéis FV, como demonstrado no esquema, para além de ser a melhor em termos de eficiência, é também a melhor opção para utilizar o máximo de área possível, podendo assim colocar um maior número de módulos no sistema, obtendo uma maior produção de energia. O sistema estará dividido em 5 blocos (ver figura 8, nos Anexos), devido à posição das caixas de acesso à cobertura pelo interior do edifício multifamiliar, sendo necessário a construção de cinco plataformas elevatórias para cada um dos blocos do sistema FV.

Decidida a sua disposição, de modo a aproveitar todo o espaço possível da cobertura, as diferentes partes do sistema FV terão de ser instaladas em plataformas elevadas, acima do nível base da cobertura, uma vez que as chaminés presentes no telhado impossibilitam a instalação do sistema FV diretamente na cobertura. A altura destas plataformas deverá ter em conta o normal funcionamento das chaminés, mas manter o fácil acesso aos painéis.

De acordo com os dados do consumo de eletricidade *per capita* apresentados pela DGEG (2021) para o ano de 2020, um habitante consome cerca de 140 kWh de eletricidade mensalmente. Os Censos 2021 admitem uma média de 2.5 pessoas por cada habitação, no entanto, o concelho de Fafe regista uma média de menos de 2 pessoas por habitação (Censos,

2022). Posto isto, os cálculos foram efetuados considerando que, nos 23 apartamentos existentes no edifício multifamiliar, habitam uma média de ~ 2 pessoas por apartamento:

$$140 \text{ kWh/mês} \times 2 = 280 \text{ kWh/mês}$$

$$\frac{280 \text{ kWh/mês}}{30} = 9.333 \text{ kWh/dia} = 9333 \text{ Wh/dia}$$

$$W_c = 9333 \text{ Wh/dia} \times 23 = \mathbf{214659 \text{ Wh/dia}}$$

Para garantir um fornecimento normal de energia para todos os 23 apartamentos, é necessário considerar a energia consumida diariamente (W_c), o rendimento do sistema (K) e o menor número de horas solares diárias (H_s), por mês, durante o ano, que neste caso em concreto é o mês de dezembro (ver na tabela 4 em Anexo). Portanto a potência do sistema FV instalado terá de ser:

$$P = \frac{W_c}{K \times H_s}$$

$$P = \frac{214659}{0.83 \times 1.182437668}$$

$$\mathbf{P \approx 218722 \text{ W}}$$

Considerando o seu *output* ótimo de 450W, para determinar o número de módulos (N_m) necessário temos:

$$N_m = \frac{P}{450}$$

$$N_m = \frac{218722}{450} \approx \mathbf{487}$$

Cada módulo ocupa cerca de 2.21m^2 de área, por isso a área necessária (A_N), em m^2 , para instalar este sistema seria:

$$A_N = 487 \times 2.21 = \mathbf{1076.27 \, m^2}$$

Como já foi estipulado que o espaço disponível para a instalação do sistema FV não pode ser mais do que 900 m², não é possível fornecer 100% da energia elétrica necessária para todos os apartamentos deste prédio, se esta for distribuída equitativamente. No entanto, nem todos os sistemas FV estão desenhados para fornecer a totalidade da energia elétrica consumida. Com o espaço disponível, é possível abater uma “fatia” considerável da fatura da eletricidade das famílias deste edifício multifamiliar. Começando pela área disponível (A_D), sabemos a quantidade de módulos que são possíveis instalar na cobertura:

$$A_D = 900 \, m^2 = N'_m \times 2.21$$

$$N'_m \approx \mathbf{407}$$

Seria então possível instalar 407 módulos FV na cobertura. Uma vez que para funcionarem corretamente, o número de módulos instalados precisa de ser par, **406** módulos é a verdadeira quantidade de módulos capaz de ser instalada num sistema FV nesta cobertura. Com o seu *output* de 450W, calcula-se a potência (P'), em Watts, deste sistema com 406 módulos FV:

$$P' = 406 \times 450 = \mathbf{182700 \, W = 182.700 \, kW}$$

Considerando esta nova potência do sistema FV, é possível calcular a quantidade de energia elétrica produzida diariamente (W_p) pelo sistema FV:

$$W_p = P' \times (K \times H_s)$$

$$W_p = 182700 \times (0.83 \times 1.182437668)$$

$$W_p \approx \mathbf{179306 \, Wh/dia}$$

Sabendo que o valor do consumo diário de energia elétrica (W_c) é **214659 Wh**, esta produção (W_p) representa cerca de **84%** de toda a energia consumida diariamente no edifício

multifamiliar. É de notar que este valor representa a energia produzida pelo sistema FV durante o mês com menos horas de exposição solar. Com o cálculo realizado para o mês com mais horas de exposição solar, o mês de julho, o valor de W_p seria bastante diferente:

$$W_p = P' \times (K \times H_s)$$

$$W_p = 182700 \times (0.83 \times 7.559050992)$$

$$W_p \approx \mathbf{1146262 \text{ Wh/dia}}$$

Este valor representa mais de **cinco vezes** o consumo diário de todo o edifício multifamiliar (534% do consumo), o que significa que nos meses com maior exposição solar, todo o consumo elétrico do edifício multifamiliar está assegurado pelo sistema FV projetado.

Todo este excesso será armazenado nas baterias de grande capacidade para que, em caso de dias de maior ensombramento e/ou mal funcionamento, o sistema FV não consiga produzir a energia elétrica a ser consumida.

6.4. Análise Económica

6.4.1. Pressupostos

Para a realização da análise económica deste projeto foram assumidos alguns pressupostos:

- O projeto é financiado, na íntegra, por todos os habitantes do edifício multifamiliar, não havendo entrada de empréstimos por parte de instituições bancárias ou qualquer financiamento por iniciativas governamentais;
- Assume-se o preço do kWh a €0.15 (com desconto de 20% para taxas de serviço do comercializador), um preço médio para o ano de 2022, para os 25 anos de vida útil do sistema FV. A venda pode ocorrer nos diferentes períodos do mercado diário, mas para facilitar as previsões e os cálculos, assume-se a utilização do mesmo valor do kWh para todas as vendas. O mais provável é que o preço do kWh aumente nos próximos anos, beneficiando o investidor;

- Assume-se que todos os consumidores possuem uma fatura elétrica com opção horária simples, e que a poupança mensal corresponde ao valor médio de consumo energético mensal descontado ao preço do kWh do mercado assumido.
- Assume-se que o sistema FV perde cerca de 0.6% em *performance* ao longo dos 25 anos de vida útil;
- Assume-se uma taxa de atualização do capital de 3%;

6.4.2. Investimento Inicial

A primeira parte desta análise económica é determinar os custos da instalação deste sistema FV. Para isso, foi elaborada uma tabela de custos estimados dos materiais. Estas estimativas foram obtidas utilizando preços, de vários modelos, obtidos nos mercados nacionais, europeus e internacionais dos diferentes materiais. As estimativas para os módulos FV basearam-se nos preços de €120, €150 e €170 que foram encontrados, respetivamente na loja alemã Soltecshop, na loja portuguesa Leroy Merlin e na loja espanhola Tienda Solar. Quanto à estimativa das baterias, foi considerado duas unidades de diferentes modelos de baterias. Os modelos escolhidos para as estimativas baixa, média e alta foram, respetivamente, a Generac Pwrcell, sendo que cada bateria deste modelo ronda os €11 000, a Bluetti EP900, em que cada uma das baterias custa cerca de €18 000, e, a mais cara de todas, a Sonnen EcoLinx, que cada unidade custa cerca de €30 000. Esta grande diferença no preço dos diferentes modelos baseia-se principalmente na capacidade de armazenamento, capacidade de descarga e eficiência de cada uma. No cálculo das estimativas para o Regulador e para o Inversor, apenas se considerou o preço do inversor de corrente, uma vez que o regulador de corrente é um dispositivo que tem um valor insignificante comparado com os outros materiais. Posto isto, considerou-se o inversor ABB PVS-175-TL-SX2, que foi encontrado em várias lojas europeias (alemãs, espanholas e francesas maioritariamente) com um preço baixo de €8000, um preço médio de €9000 e a um preço máximo de cerca de €10 000. As estimativas das cablagens foram feitas considerando um preço de 1€/m de cabo, ou seja, as estimativas estão dependentes da quantidade de cabo (em metros) que será necessário para ligar todo o sistema FV (isto significa ligar os 5 blocos do sistema FV, ligar o sistema às baterias e fazer a ligação com cada um dos apartamentos. Já na categoria “Outros Materiais”, aqui estão incluídas, principalmente, as plataformas elevatórias que suportam o sistema FV (com valores estimados para o uso de cimento, madeira e/ou alumínio na sua construção). Os preços das estimativas foram calculados utilizando o preço atual do mercado dos

materiais listados anteriormente, sendo o cimento o material mais barato, a madeira em segundo lugar e o alumínio o material mais caro. Foi elaborado uma estimativa para estruturas que ocupem o mesmo espaço que o sistema FV, ou seja, 900m².

Tabela 1 – Tabela com estimativas baixas, médias e altas do custo dos materiais do sistema FV em €.

Custo estimado dos materiais, em €			
Material	Baixo	Médio	Alto
Módulos FV	48720	60900	69020
Baterias	22000	36000	60000
Regulador + Inversor	8000	9000	10000
Cablagens	2000	5000	8000
Outros Materiais	10000	15000	20000
Total Estimado	90720	125900	167020

Fonte: Ver texto em cima.

Os blocos a verde representam o valor mais provável dos materiais para este caso prático. Isto significa que é o preço estimado e verificado dos modelos e materiais escolhidos para a realização da simulação do dimensionamento deste sistema FV em específico.

Com as três estimativas, baixa, média e alta, apenas os materiais do projeto custariam **€90 720, €125 900** ou **€167 020**, respetivamente Este valor representa apenas o custo dos materiais, não está estimado o valor da “mão-de-obra”, que pode variar drasticamente dependendo da empresa escolhida para instalar o sistema FV. As empresas portuguesas que fazem o planeamento e a instalação de sistemas FV fixam o preço dos equipamentos e materiais entre os 70% e os 80%, o que significa que o resto do orçamento pertence aos serviços da instalação, ou seja, toda a mão de obra. Para este caso prático, assume-se um valor de 30% para a instalação deste sistema FV. Considerando esse valor nas três diferentes estimativas, obtemos três possíveis estimativas finais que representam o investimento inicial deste sistema FV (tabela 2).

Tabela 2 – Tabela do Investimento Inicial em três diferentes estimativas, em €

	Baixo	Médio	Alto
I_0 Estimado (€)	129600	179857	238600

Para efeitos de cálculos efetuados para a avaliação deste projeto, assume-se que o valor do investimento inicial é representado pela estimativa média apresentada na tabela acima.

$$I_0 = \text{€}179857$$

Sendo este o valor necessário para instalar este sistema FV, para além deste custo inicial, é necessário considerar os custos anuais de monitorização e manutenção do sistema FV. Por norma, estes custos anuais são cerca de 1% do investimento inicial, pagos anualmente.

$$\text{Custo Anual} = I_0 * 0.01 = \text{€}1798.6$$

6.4.3. Simple Payback Time

Existem dois cenários possíveis para prever o tempo de retorno, ou *simple payback time* (SPT), deste projeto. A compensação, em ambos os cenários, fica dependente do contrato celebrado para a venda dessa energia. Por norma, existem dois tipos de contratos possíveis, um onde o valor da venda da energia tem um valor fixo e outro onde a energia é vendida ao preço do mercado de SPOT. Para esta estimativa, no lado do valor fixo utilizou-se um preço de venda de **€0.07 kWh**, o valor mais elevado encontrado entre os comercializadores, enquanto que o preço do mercado foi de **€0.12 kWh**, um preço obtido utilizando o valor médio do kWh no mercado português em metade do ano de 2023 (**€0.15 kWh**) e descontando 20% de taxas de utilização dos serviços de mercado.

Os primeiros dois cenários, e menos prováveis de serem utilizados, acontecem quando toda a energia produzida pelo sistema FV é injetada na rede. Para calcular o SPT nestes cenários utiliza-se a seguinte expressão:

$$SPT_{1/2} = \frac{I_0}{\text{Rendimento Anual} - \text{Gasto Anual}}$$

Os rendimentos anuais variam ligeiramente devido ao decaimento de performance do sistema FV. Como, neste caso, essa perda de performance não se traduz numa significativa perda de rendimento, assume-se que, para o cálculo do SPT, o rendimento anual se mantém igual durante os 25 anos de vida útil do sistema e utiliza-se o valor do rendimento obtido no 1º ano de funcionamento. Para além disso, assume-se o custo total de **€179 857**, custos de manutenção e monitorização anuais de **€1798.6**, a tabela 8 (em Anexo) mostra os tempos de retorno para a primeira variação deste cenário.

Utilizando um valor fixo de venda, o rendimento do primeiro ano de funcionamento e o valor dos custos anuais, obtém-se o primeiro SPT:

$$SPT_1 = \frac{179857}{17090.5 - 1798.6}$$

$$SPT_1 \approx 11 \text{ anos}$$

O segundo SPT, utilizando agora o rendimento anual se a venda for realizada pelos valores do mercado SPOT (apresentado em Anexo na tabela 9 para o Cenário 2):

$$SPT_2 = \frac{179857}{29298 - 1798.6}$$

$$SPT_2 \approx 6 \text{ anos}$$

Os terceiro e quarto cenários, sendo o quarto o mais comum, implicam a venda de apenas o excedente energético produzido. Este sistema FV consegue produzir excedentes de energia em onze meses do ano, sendo dezembro o único mês do ano em que o sistema FV não consegue satisfazer as necessidades energéticas do edifício multifamiliar. Tal como nos primeiros dois cenários, o rendimento anual deste excedente depende do tipo de contrato de venda celebrado. Apesar de a quantidade de kWh vendida ser menos, nestes cenários, os habitantes usufruem da energia que é produzida, reduzindo consideravelmente o preço pago na fatura de eletricidade. Como são os habitantes do edifício multifamiliar que financiam este projeto, os valores poupados na fatura da eletricidade (S) entram para o rendimento anual

do sistema FV. Considerando os cálculos efetuados na secção do dimensionamento deste projeto FV:

$$S = 280 \times 0.12 = \text{€}33.6$$

Cada um dos 23 apartamentos do edifício multifamiliar verá um desconto de, pelo menos, **€33.6** por mês na fatura da eletricidade, mesmo que a obrigatoriedade de pagar o acesso à rede, útil para o mês de dezembro que não satisfaz as necessidades energéticas de todos os 23 apartamentos, e outras taxas se mantenha. Juntando todos os 23 apartamentos:

$$S = 56 \times 23 = \text{€}1288$$

Todos os meses os habitantes recuperam cerca de **€1288**, graças aos descontos nas faturas de eletricidade.

$$S = 1288 \times 12 = \text{€}9273.6$$

O valor poupado anualmente por todas as famílias habitantes do edifício multifamiliar, a adicionar ao valor do rendimento anual no segundo cenário, é de **€9273.6**.

Para calcular os terceiro e quarto valores de SPT, de modo a incluir o valor da poupança de eletricidade, a expressão altera-se da seguinte forma:

$$SPT_{3/4} = \frac{I_0}{(\text{Rendimento Anual} + S) - \text{Gasto Anual}}$$

Considerando os valores das tabelas apresentadas para estes dois cenários (Cenários 3 e 4 nas tabelas 10 e 11 em Anexo) e a nova fórmula do SPT, se o excedente energético for vendido por um valor fixo acordado:

$$SPT_3 = \frac{179857}{(20956.3 + 9273.6) - 1798.6}$$

$$SPT_3 \approx 9 \text{ anos}$$

Se o excedente energético for vendido pelo preço dos mercados SPOT:

$$SPT_4 = \frac{179857}{(29301 + 9273.6) - 1798.6}$$

$$SPT_4 \approx 6 \text{ anos}$$

A tabela 3 facilita a comparação entre os quatro diferentes tempos de retorno deste projeto de investimento.

Tabela 3 – Tempos de retorno, em anos, dos diferentes cenários

	Tarifa Fixa (€)	Valor de Mercado (€)
SPT _{1/2}	11	6
SPT _{3/4}	9	6

Como o cenário 4, onde se considera que o rendimento anual equivale à venda do excedente energético ao preço do mercado juntamente com as poupanças dos consumidores na fatura da eletricidade, apresenta o valor mais baixo de SPT, este será o cenário considerado para o cálculo dos indicadores de avaliação de projetos que se segue. Apesar do cenário 2, onde toda a energia produzida é vendida ao preço do mercado, é pouco provável que um consumidor não queira aproveitar a energia que produz, por isso este cenário é desconsiderado.

6.4.4. Avaliação através de Indicadores

Umas das ferramentas mais importantes para validar o projeto de investimento é avaliar o seu Valor Líquido Atual (VAL). Este critério compara o valor atual dos *cash flows*, gerados com o investimento inicial realizado (Silva, 2015). A fórmula utilizada é a seguinte:

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{Cash\ Flow_t}{(1+r)^t} - Investimento$$

Nesta fórmula, n representa o tempo de vida útil do projeto, t representa os diferentes anos do projeto e r representa a taxa de desconto. A taxa de desconto assumida é de **3%** e o tempo de vida útil do projeto é de 25 anos (tempo de vida útil dos módulos FV). Já tendo calculado o valor inicial do investimento, se $VAL > 0$ então o projeto tem “luz verde” para avançar. Posto isto (tabelas de dados em Anexo):

$$VAL = \text{€}278037$$

Como o VAL é positivo, isto quer dizer que é possível recuperar o investimento realizado, mesmo considerando a depreciação do capital ao longo dos 25 anos de projeto e perda de eficiência do sistema FV.

Outra ferramenta semelhante ao VAL é a taxa interna de rentabilidade (TIR), que representa a taxa máxima que os investidores vão remunerar o seu capital. A fórmula é a seguinte:

$$\sum_{t=1}^n \frac{Cash\ Flow_t}{(1 + TIR)^t} - Investimento = 0$$

A expressão é semelhante à fórmula utilizada para calcular o VAL, substituindo a taxa de desconto, r , pela taxa que é necessário calcular. O valor da TIR tem de ser superior ao valor assumido para r (que neste caso é 3%) para o projeto ser considerado viável.

$$TIR = 15\%$$

Como o valor obtido para a TIR é 15% (>3%), pode-se dizer que este projeto é viável.

Como se trata de um projeto de produção de energia elétrica, o indicador LCoE (*Levelized Cost of Energy*) representa o preço a que a eletricidade gerada deve ser vendida de modo a que este sistema FV consiga recuperar o investimento até ao final da sua vida (Papapetrou & Kosmadakis, 2022). Este indicador é útil pois permite comparar o preço da energia que vários projetos de investimento de produção de energia elétrica devem conseguir vender a sua produção, mesmo sendo produção por FV (como este projeto), hídrica, eólica ou até mesmo por combustíveis fósseis. Para além da fonte de energia utilizada na produção, outros fatores como o custo de capital e os tempos de retorno diferenciados não afetam as comparações feitas pelo LCoE. A fórmula utilizada é a seguinte:

$$LCoE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Custos_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{kWh/Ano Vendido_t}{(1+r)^t}} = \frac{Custos_n}{kWh Vendido_n}$$

A expressão mostra que o LCoE os custos totais durante a vida útil do sistema FV, $Custos_n$, relaciona-se com a quantidade de kWh hora de energia vendido durante a vida útil do sistema FV, $kWh Vendido_n$, de modo a obter o preço de venda de energia elétrica necessário.

$$LCoE = 0.0579 \text{ €/kWh}$$

6.5. Riscos

6.5.1. Riscos do Mercado

O valor do kWh produzido por sistemas FV pode flutuar nos mercados energéticos. Por norma, e num futuro próximo, os preços de venda da energia produzida por sistemas FV ainda beneficiam o consumidor, mas a proliferação desta prática pode causar uma diminuição no preço de venda desta energia, diminuindo as poupanças conseguidas pelo consumidor, desvalorizando o sistema FV.

Por outro lado, é possível que com o rápido avanço nas tecnologias de produção de energia para autoconsumo tornem os sistemas FV instalados, agora, obsoletos em poucos anos. Não só os avanços na tecnologia FV são uma ameaça, mas também o aparecimento de novas tecnologias.

6.5.2. Riscos Regulatórios

Como se trata de uma prática recente, a produção de energia para autoconsumo, a legislação e regulação desta prática está em constante mudança. Embora, em Portugal, hoje em dia a legislação e burocratização destes processos esteja facilitada de modo a apelar o consumidor, a incerteza trazida pela possibilidade de mudanças, como o aparecimento de novas taxas e/ou tarifas, pode pôr em causa o sucesso deste tipo de projetos.

6.5.3. Riscos Técnicos

Os módulos FV não são uma tecnologia infinitamente duradoura. Todos os módulos têm um tempo de vida útil, de cerca de 25 anos, e, ao longo da sua vida, ocorre uma degradação na sua *performance*. Esta degradação acontece naturalmente e pode ser acelerada

por má monitorização e manutenção dos módulos, bem como o funcionamento a elevadas temperaturas. A degradação pode ser tanta que pode prejudicar drasticamente a produção de energia do sistema FV, e, consequentemente, os rendimentos do investidor. De modo a garantir que esta degradação ocorre ao ritmo natural desta tecnologia, deve-se manter uma manutenção periódica do sistema FV.

6.5.4. Riscos Financeiros

O valor do investimento inicial é sempre uma previsão. Problemas encontrados na fase de instalação, não previstos na fase do planeamento e/ou dimensionamento do sistema FV, podem aumentar consideravelmente o valor do investimento inicial, dificultando a recuperação do investimento. A previsão para a recuperação do investimento também é baseada em estimativas futuras, calculadas com valores assumidos (como o preço do kWh nos mercados energéticos e a taxa de atualização do capital). A impossibilidade de prever corretamente o futuro, e consequentemente errar nas estimativas, pode abater todo o rendimento estimado para um projeto deste tipo.

6.5.5. Riscos Ambientais

Como qualquer projeto de produção de energia através de tecnologias de energias renováveis, o bom funcionamento do sistema FV está dependente das condições climáticas do local. Sendo dimensionado utilizando dados climáticos de anos passados, assume-se que o local mantém, mais ou menos, as mesmas condições climáticas num futuro próximo. No entanto, com as alterações climáticas, a subida das temperaturas pode pôr em causa a *performance* de todo o sistema FV, destruindo todas as estimativas de produção apresentadas.

6.5.6. Riscos Operacionais

Na fase de instalação do sistema FV, para além de possíveis problemas encontrados, como se trata de um sistema FV de grande capacidade, com um grande número de módulo FV, é possível haver uma rutura de *stock* dos materiais escolhidos, bem como falta de pessoal técnico especializado na montagem de sistemas FV deste tamanho. Isto pode causar sérios atrasos ao início do funcionamento do projeto, atrasando a produção de energia e o retorno do investimento.

6.5.7. Riscos “Sociais”

Um dos pressupostos deste projeto foi a participação de todos os habitantes do edifício multifamiliar. No entanto, não é pouco comum, neste tipo de projetos coletivos para edifícios multifamiliares, que alguns habitantes não estejam interessados em participar. Neste caso, como a cobertura é um espaço comum de todos os habitantes, é necessário convencer os habitantes a ceder a sua parte deste espaço comum para um projeto que não o vai beneficiar. Também, qualquer habitante que não esteja interessado, faz com que parte do investimento inicial, que cada um dos outros habitantes tem de arcar, aumente consideravelmente.

7. Discussão de Resultados

Com a realização deste caso prático, o objetivo era verificar se era possível dimensionar um sistema FV para a cobertura de um edifício multifamiliar pré-existente, que satisfizesse as necessidades energéticas de todos os habitantes do mesmo, e fosse economicamente viável. Mesmo com os problemas espaciais e os obstáculos presentes na cobertura, o sistema FV dimensionado consegue satisfazer as necessidades energéticas de todo o edifício multifamiliar, exceto no mês de dezembro. Nesse mês é possível contornar a falha na produção energética usufruindo da energia elétrica providenciada pela rede (uma vez que será apenas cerca de 26% do consumo do mês).

Este caso prático teve algumas facilidades que ajudaram às boas previsões de produção de energia elétrica. Uma delas é a própria construção da cobertura. Apesar de ter algumas estruturas, como as chaminés, que dificultam a instalação do sistema FV, como a cobertura é plana, a montagem dos módulos FV é facilitada, podendo escolher o ângulo ótimo dos mesmos, para melhor aproveitamento dos raios solares, algo que não é possível em todas as coberturas. Para além disso, como se trata de um edifício multifamiliar que favorece na sua dimensão o comprimento e a largura, ao invés da altura, a cobertura, para além de facilmente acessível, tem uma área considerável para instalar um grande número de módulos FV, que permite ao sistema uma produção energética elevada.

Quanto ao valor do investimento, apesar de ser um investimento considerável, considera-se que ao realizar a divisão deste investimento inicial pelos 23 apartamentos deste edifício multifamiliar, cada apartamento fica encarregue de pagar **€7117**, para cobrir a sua parte do investimento inicial, e cerca de **€72**, para cobrir os custos anuais do sistema FV. Estes valores mostram que, para satisfazer todas as necessidades energéticas dos consumidores deste edifício multifamiliar, o custo é bastante menor do que alguns projetos de sistemas FV elaborados para moradias individuais (este custo ronda os €10 000 e os €20 000). Nota-se que este valor do investimento nacional pode ser amortizado pelos vastos incentivos que o governo português tem ao dispor dos consumidores que pretendem investir em sistemas FV. O “Programa de Apoio a Edifícios mais Sustentáveis 2023” do Fundo Ambiental 2023 incentiva a instalação de sistema FV e comparticipa no valor do investimento inicial com uma taxa de **85%** do valor total do investimento, com um limite máximo de **€3000** (para sistemas FV com a inclusão de sistemas de armazenamento de energia, que é a situação deste caso prático). Considerando o investimento que cada

apartamento tem de fazer para instalar este sistema, os €3000 comparticipados pelo governo representam cerca de 42% dos €7117, quase metade do custo que cada apartamento tem de investir para instalar este sistema FV. Esta comparticipação tão grande por parte do governo iria tornar o projeto ainda mais viável do que os cálculos mostram (uma vez que foram feitos sem contabilizar qualquer comparticipação de incentivos no valor do investimento inicial).

Considerando os valores da energia produzida pelo sistema FV dimensionado, a estimativa do investimento inicial e o facto de área de cobertura disponível para a implementação de sistemas FV nos edifícios multifamiliares já construídos ser uma das maiores preocupações, cada m² deste sistema FV custa cerca de 200€, e produz entre 200 Wh/dia e 1273 Wh/dia por cada m². Sabendo que foram utilizados valores médios para o consumo de eletricidade dos habitantes, é possível que outros edifícios multifamiliares utilizem estes valores de produção energética e custo do sistema FV por m² para verificar se é possível satisfazer as necessidades energéticas do edifício multifamiliar em questão, a um preço que se mostre acessível para as possibilidades económicas dos habitantes.

Todos os cálculos para avaliar a validade deste projeto foram sujeitos a alguns pressupostos, que poderão não representar uma situação realista. Como já foi comentado, o valor do investimento inicial utilizado para os cálculos não foi amortizado pelos incentivos apresentados do governo, algo que diminuiria os SPTs considerados para os diferentes cenários e aumentaria o VAL, também para todos os cenários. A taxa de atualização de capital de 3% foi utilizada para os 25 anos de vida útil do sistema FV. Durante esses 25 anos, o valor dessa taxa pode sofrer alterações e perturbar as avaliações e o retorno de todo o projeto. Já os pressupostos dos valores de venda de energia por um valor fixo e pelo valor do mercado são os que mais podem afetar as estimativas do rendimento do sistema FV instalado. O preço utilizado para o valor fixo foi o preço oferecido por um comercializador mais elevado no ano de 2023. Estes preços de venda têm uma fidelização de um ano, que após o final do contrato celebrado, podem ser renovados ou então alterados para um preço de venda diferente. Para os cálculos foi considerado o mesmo valor de venda fixo para todos os 25 anos de vida útil, algo um pouco irrealista, uma vez que este preço é muito provável de ser alterado pelo comercializador ao longo dos anos. No entanto, este valor pode tanto alterar para mais alto como para mais baixo, o que pode acabar por beneficiar ou prejudicar o investidor, respetivamente. O mesmo acontece com o preço de venda do kWh pelo valor do mercado. Foi utilizado o valor médio do kWh no mercado ibérico de energia para o ano de 2022. Este valor sofre alterações horárias no mercado e é impossível prever o seu preço num

futuro próximo, e ainda mais impossível de prever nos próximos 25 anos. No entanto, é de notar que os investidores neste sistema FV vão beneficiar muito se o preço do kWh aumentar durante a vida útil do sistema FV, pois os rendimentos obtidos pela venda da energia produzida vão aumentar à medida que o preço do kWh aumenta no mercado ibérico de eletricidade. Já o valor da poupança anual de todo o edifício multifamiliar também está sujeito a grandes alterações, uma vez que o valor considerado foi obtido assumindo que todos os 23 apartamentos possuem a mesma potência contratada, com uma opção horária simples, e que o desconto na fatura é diretamente proporcional à venda do consumo pelo preço do kWh do mercado. Com os contratos bi ou tri-horários, este valor varia bastante considerando o consumo nas diferentes fases do dia (vazio, ponta e cheio) podendo diminuir no valor da poupança. Falando também no consumo de cada apartamento, foi considerado o consumo médio *per capita* indicado pela DGEG para o ano de 2021. É possível que alguns apartamentos consumam mais do que essa média, diminuindo o excedente energético existente ao fim do mês e, consequentemente, o rendimento mensal obtido pela venda desse excedente.

Independentemente destes pressupostos, o objetivo dos cálculos é possibilitar a transposição deste projeto para outros sistemas FV com diferentes dimensões, noutras zonas do país, que possam ter pressupostos bem diferentes deste caso prático em específico. A utilização de valores médios nos pressupostos ajuda, então, a fazer essa transposição para outros projetos futuros.

Voltando ao caso prático em questão, para recuperar o investimento feito, os cálculos elaborados mostram que, nos melhores cenários, demora menos de 6 anos a reaver o investimento realizado. É de notar que este SPT foi calculado seguindo os pressupostos apresentados no capítulo anterior, e também comentados no parágrafo anterior, no entanto, existem algumas nuances que podem beneficiar ainda mais o investidor. Os valores dos rendimentos foram calculados considerando a venda de energia ao preço do mercado, porém, é de notar que a maior parte da venda desta energia deve realizar-se nas horas em que há maior produção, ou seja, nas horas do dia em que o kWh é mais caro nos mercados diários, nestas alturas o kWh pode ser transacionado a cerca de €0.20 em vez dos €0.15 médios utilizados. Isto significa que as estimativas do rendimento deste projeto estão feitas conservadoramente, não estando a considerar o melhor cenário possível. Com isto, é possível que o SPT seja bem menor do que 6 anos, podendo aproximar-se dos 4 anos. Independentemente, uma vez que um sistema FV tem uma vida útil estimada de 25 anos, 6

anos para recuperar o investimento inicial é um ótimo resultado para um sistema FV deste calibre. Em Portugal, o tempo de retorno para projetos de autoconsumo por FV rondam o 4 a 6 anos, dependendo do tamanho do projeto. Uma vez que o investimento para este sistema consegue ser recuperado em cerca e 6 anos, apesar de ser próximo do “limite máximo”, encontra-se em linha com o tempo de retorno esperado para este tipo de projetos no país.

Quanto aos indicadores, todos os utilizados mostram-se extremamente positivos, com o VAL em quase €1M e a TIR a 15%, cerca de 14 pontos percentuais acima da taxa de atualização de capital assumida (3%). Mesmo o indicador específico de projetos energéticos, o LCoE, apresenta um valor muito promissor, uma vez que, mesmo celebrando contratos de venda de energia elétrica a um valor fixo, é facilmente possível encontrar um comercializador que compre a energia a um preço mais elevado do que o obtido no LCoE. Obviamente que este não é o objetivo, sendo que o SPT seria quase o tempo de vida útil do sistema FV, no entanto, uma vez que os preços do kWh nos mercados energéticos estão bem acima do LCoE, é uma ótima previsão para este sistema FV e todo este projeto. Apesar de haver poucos estudos sobre a implementação de sistemas FV em edifícios multifamiliares, é possível realizar uma comparação com outros projetos de investimento para sistemas FV no país.

Tabela 4 – Tabela comparativa com outros projetos de investimento de sistemas FV em Portugal.

Autor(es)	Ano	Projeto	VAL (€)	TIR (%)	SPT (anos)	LCoE (€)
Silva	2023	Sistema dimensionado para esta tese - Produção de 182 kW	278037	15	6	0.0579
Lázaro	2022	<i>Economic Analysis of Rooftop Solar Panels in Portimão, Portugal</i> - 9 painéis solares com produção de 6223 kWh	7256	38.75	4.19	0.0209

Foles, Fialho & Collares- Pereira	2019	<i>Techno-economic evaluation of the Portuguese PV and energy storage residential applications - Évora, produção de 3.45 kW</i>	3393	5.78	9.5	0.06
Foles, Fialho & Collares- Pereira	2019	<i>Techno-economic evaluation of the Portuguese PV and energy storage residential applications - Açores, produção de 3.45 kW</i>	2127	2.58	11.5	0.07
Foles, Fialho & Collares- Pereira	2019	<i>Techno-economic evaluation of the Portuguese PV and energy storage residential applications - Porto, produção de 3.45 kW</i>	2714	3.72	10.5	0.07
Camilo, Castro, Almeida & Pires	2016	<i>Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal - Produção de 4kW</i>	-726	2.93	>25	0.23

Como nenhum dos projetos de investimento usados para comparação estão destinados para edifícios multifamiliares, a produção é bastante mais baixa do que o projeto do caso de estudo e, conseqüentemente, os VALs vão ser extremamente diferentes (devido às diferenças na dimensão dos projetos. No entanto, os outros indicadores podem ser utilizados para comparação independentemente da dimensão, valor do investimento ou VAL do projeto. A TIR e o SPT deste caso de estudo são os indicadores mais promissores, uma vez que apresentam valores muito positivos comparativamente a outros projetos, ficando apenas atrás do sistema apresentado por Lázaro (2019). Já o LCoE encontra-se relativamente igual em todos os projetos, exceto no projeto de Camilo *et al.* (2016). Um fator interessante desta tabela comparativa será o ano do projeto. Como é possível verificar pela tabela, quanto mais o ano se aproxima da data atual (2023), maior é o valor da VAL e da TIR, menor é o SPT e mais baixo é o valor do LCoE, o que pode significar que a evolução, ao longo dos

anos, do FV em Portugal, tem vindo a privilegiar cada vez mais a implementação de sistemas FV.

8. Conclusão

Com a revisão da literatura sobre o estado do FV no país e os resultados obtidos neste trabalho, é possível mostrar que a transição energética se encontra num patamar mais alcançável para os consumidores do que inicialmente acreditado. Torna-se claro que o papel ativo do consumidor habitante em edifícios multifamiliares em Portugal passa pelo investimento nos projetos de produção de energia por FV para autoconsumo.

Sendo Portugal um país muito promissor para o sucesso do FV, graças ao seu clima, a nova acessibilidade desta tecnologia, juntamente com os contínuos incentivos do governo nacional, tanto económicos como regulatórios, torna a implementação de sistemas FV para autoconsumo muito apelativos. Como consumidores, a mudança para o autoconsumo através de um sistema FV é um passo que ajuda a acelerar a transição económica e garante ao consumidor assegurar energia elétrica proveniente de uma fonte renovável, pelo menos, durante a toda a vida útil do sistema FV que for implementado. Dar este passo em Portugal, mostra-se, não só, inovador e pioneiro, devido ao atual fraco aproveitamento e propagação desta tecnologia no país, como também pode cativar outros consumidores habitantes de edifícios multifamiliares a optar pela via do autoconsumo. O papel ativo do consumidor na transição energética deixa, então, de se descrever apenas pela troca de um veículo ou pela escolha do comercializador de energia “mais verde”.

Os resultados do caso prático demonstram que a implementação de um sistema FV num edifício multifamiliar encontra-se finalmente capaz de produzir energia elétrica suficiente para todos os habitantes considerando a área restrita de cobertura disponível, enquanto o valor do investimento inicial, que é partilhado por todos os habitantes do edifício multifamiliar, se mantém relativamente baixo, especialmente quando comparado com o que os consumidores habitantes em moradias necessitam de investir em sistemas FV que satisfaçam as suas necessidades energéticas. Os indicadores de avaliação de projetos de investimento utilizados, nomeadamente o VAL, SPT, TIR e LCoE, revelam valores muito positivos para este caso de estudo em específico, algo que pode indicar que a implementação de projetos de sistemas FV semelhantes, noutros edifícios multifamiliares em Portugal, também se pode mostrar extremamente benéfica para os consumidores.

Por estes resultados, a implementação de sistemas FV em edifícios multifamiliares em Portugal mostra-se como uma ótima opção para os consumidores ambientalmente conscientes que queiram participar ativamente na transição energética.

9. Referências

- Adolfson, J. F., Kuik, F., Lis, E. M., & Schuler, T. (2022). The impact of the war in Ukraine on euro area energy markets. *Economic Bulletin*, (4). Retirado de <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/ecbu/eb202204.en.pdf>.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). *Acordo de Paris*. APA. Acedido a 20 de maio de 2023 em <https://apambiente.pt/clima/acordo-de-paris>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). *Antecedentes: PNAC*. APA. Acedido a 21 de maio de 2023 em <https://apambiente.pt/clima/antecedentes-pnac>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). *Protocolo de Quioto*. APA. Acedido a 21 de maio de 2023 em <https://apambiente.pt/clima/protocolo-de-quioto>
- Avenston Group. (22 Maio, 2023). History of solar energy prices. Avenston. Acedido a 10 de agosto de 2023 em <https://avenston.com/en/articles/pv-cost-history/#:~:text=In%201975%2C%20the%20first%20solar,in%20the%20last%2010%20years>.
- Boxwell, M. (2022). The Source of Solar Power. In *Solar Electricity Handbook: A simple, practical guide to solar energy: Designing and installing solar PV systems* (pp. 2–3). essay, Greenstream Publishing.
- Bretzke, W.-R. (2013). Global urbanization: A Major Challenge for Logistics. *Logistics Research*, 6(2–3), 57–62. <https://doi.org/10.1007/s12159-013-0101-9>
- Brill, R., & Ogletree, A. (9 Agosto, 2023). How much do solar panels cost in 2023?. Forbes. Acedido a 20 de agosto de 2023 em <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/cost-of-solar-panels/#:~:text=The%20average%20cost%20to%20install,%241.90%20per%20watt%20in%20total>.
- Bódis, K., Kougiyas, I., Jäger-Waldau, A., Taylor, N., & Szabó, S. (2019). A high-resolution geospatial assessment of the rooftop solar photovoltaic potential in the European

- Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109309. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109309>
- Bórawski, P., Yashchenko, T., Sviderskyi, A., & Dunn, J. W. (2018). Development of renewable energy market in the EU with particular regard to solar energy. *Proceedings of the 2018 VII International Scientific Conference Determinants of Regional Development*, 1. <https://doi.org/10.14595/CP/01/003>
- Camilo, F. M., Castro, R., Almeida, M. E., & Pires, V. F. (2017). Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal. *Solar Energy*, 150, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.062>
- Caneira, A. (2023). *Relatório Vento Por Estação do ano (km/h)*. MeteoCercal. Acedido a 2 de maio de 2023 em <https://www.meteocercal.info/wxwindseason.php>
- Cedar Lake Ventures. (2023). *Clima Anual de Faro*. Weather Spark. Acedido a 2 de maio de 2023 em <https://weatherspark.com/y/32777/Average-Weather-in-Faro-Portugal-Year-Round>
- Cedar Lake Ventures. (2023). *Clima Anual de Lisboa*. Weather Spark. Acedido a 2 de maio de 2023 em <https://weatherspark.com/y/32022/Average-Weather-in-Lisbon-Portugal-Year-Round>
- Comissão Europeia. (2023). EU at COP27 climate change conference. Comissão Europeia. Acedido a 3 de setembro de 2023 em https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal/eu-cop27-climate-change-conference_en
- Comissão Europeia. (2022). Fit for 55 - the EU's plan for a green transition. Council of the EU and the European Council. Acedido a 3 de setembro de 2023 <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> COP26. (2022, maio 25). *Accelerating the transition from coal to clean power*. UN Climate Change Conference (COP26) at the SEC – Glasgow 2021. <https://ukcop26.org/energy/>

- Comissão Europeia. (2004). Kyoto Protocol. European Commission. Acedido a 6 de abril de 2023 em https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_04_43
- Díaz-Rainey, I., & Tzavara, D. (2012). Financing the decarbonized energy system through green electricity tariffs: A diffusion model of an induced consumer environmental market. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(9), 1693–1704. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.05.012>
- Direção-Geral de Energia e Geologia. (2021). Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico. *Direção-Geral de Energia e Geologia*. Acedido a 27 de dezembro de 2023 em <https://www.dgeg.gov.pt/media/jvfgkejhdgeg-aou-icesd-2020.pdf>.
- Dobrzański, L. A., Szczesna, M., Szindler, M., & Drygala, A. (2013). Electrical properties mono- and polycrystalline silicon solar cells. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 59(2).
- Domingos, R. (21 Janeiro, 2002). Programa de incentivo à utilização de energias renováveis supera previsões do governo. *Jornal de Negócios*. Acedido a 18 de março de 2023 em https://www.jornaldenegocios.pt/economia/detalhe/programa_de_incentivo_a_utilizacao_de_energias_renovaveis_supera_previsoes_do_governo.
- D’Agostino, D., Parker, D., Melià, P., & Dotelli, G. (2022). Optimizing photovoltaic electric generation and roof insulation in existing residential buildings. *Energy and Buildings*, 255, 111652. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111652>
- Energias Renováveis. (28 Julho, 2008). *Central Fotovoltaica Hércules*. Energias Renováveis. Acedido a 18 de abril de 2023 em <https://www.xn--energiasrenovveis-jpb.com/energia-solar/central-fotovoltaica-hercules/>
- European Union. (7 Julho, 2023). The inflation outlook and monetary policy in the Euro Area. European Central Bank. Acedido a 5 de abril de 2023 em <https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2023/html/ecb.sp230707~8f8f9debc6.en.html#:~:text=Eurosistema%20staff%20now%20see%20headline,underlying%20price%20pressures%20remain%20strong>.

- Fernandes, J. (2022). Guerra na ucrânia faz disparar projetos de autoconsumo coletivo. *Água & Ambiente*, 247, 24–25.
- Figueira, T. (2019). *Energia Solar em Portugal - Mapeamento do potencial fotovoltaico com recurso a Sistemas de Informação Geográfica* (tese). Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa.
- Foles, A., Fialho, L., & Collares-Pereira, M. (2020). Techno-economic evaluation of the Portuguese PV and Energy Storage Residential Applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100686. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100686>
- Fundação Francisco Manuel dos Santos. (2023). Consumo de Energia Elétrica per capita: Total e por tipo de consumo. Pordata. Acedido a 20 de julho de 2023 em <https://www.pordata.pt/portugal/consumo+de+energia+eletrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230>
- Fundação Francisco Manuel dos Santos. (2023). Dimensão Média dos agregados Domésticos Privados. Pordata. Acedido a 20 de julho de 2023 em <https://www.pordata.pt/portugal/dimensao+media+dos+agregados+domesticos+privados-511>
- Fundo Ambiental. (2023). *Apoio à concretização de Comunidades de Energia Renovável e Autoconsumo Coletivo*. Fundo Ambiental. Acedido a 10 de maio de 2023 em <https://www.fundoambiental.pt/apoios-prr/c13-eficiencia-energetica-em-edificios/c13-i01-02-03-apoio-a-concretizacao-de-comunidades-de-energia-renovavel-e-autoconsumo-coletivo.aspx>
- Global Energy-Related CO2 Emissions by Sector*. IEA. (2020). Acedido a 14 de dezembro de 2023 em <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>
- Governo Regional da Madeira. (20 Dezembro, 2019). *Parque Eólico do Cabeço do Carvalho*. Empresa de Eletricidade da Madeira. Acedido a 18 de abril de 2023 em <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-eletrico/producao/parques-eolicos/parque-eolico-do-cabeco-do-carvalho>

- Green, M. A. (2007). Thin-film solar cells: Review of materials, technologies and commercial status. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 18(S1), 15–19. <https://doi.org/10.1007/s10854-007-9177-9>
- Instituto Nacional de Estatística. (2022). *População Residente em Portugal*. INE. Acedido a 20 de julho de 2023 em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contexto=pi&indOcorrCod=0011628&selTab=tab0
- Instituto Nacional de Estatística. (2022). *População residente por Local de residência, Sexo e Tipologia de áreas urbanas*. INE. Acedido a 20 de julho de 2023 em https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008856&contexto=bd&selTab=tab2&xlang=pt
- Jorge, P. A. (2021). *Evolução do solar PV em Portugal: Mitos e Factos*. APREN. Acedido a 20 de abril de 2023 em <https://www.apren.pt/contents/communicationpressrelease/artigo-de-opinio--evolucao-energia-solar-em-portugal-4283.pdf>
- Korosteleva, J. (2022). The implications of Russia's invasion of Ukraine for the EU Energy Market and businesses. *British Journal of Management*, 33(4), 1678–1682. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12654>
- Lázaro, B. G. (2023). Economic Analysis of Rooftop Solar Panels in Portimão, Portugal (tese).
- Madeira, N. (24 Novembro, 2021). Portugal deixou de usar carvão na produção de eletricidade. *Euronews*. Acedido a 17 de março de 2023 em <https://pt.euronews.com/2021/11/24/portugal-deixou-de-usar-carvao-na-producao-de-eletricidade>.
- Marklund, P.-O., & Samakovlis, E. (2007). What is driving the EU burden-sharing agreement: Efficiency or equity? *Journal of Environmental Management*, 85(2), 317–329. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.09.017>

- Marques Lameirinhas, R. A., Torres, J. P., & de Melo Cunha, J. P. (2022). A Photovoltaic Technology Review: History, fundamentals and applications. *Energies*, 15(5), 1823. <https://doi.org/10.3390/en15051823>
- Nerlinger, M., & Utz, S. (2022). The impact of the Russia-Ukraine conflict on energy firms: A capital market perspective. *Finance Research Letters*, 50, 103243. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103243>
- Papapetrou, M., & Kosmadakis, G. (2022). Resource, environmental, and economic aspects of SGHE. *Salinity Gradient Heat Engines*, 319–353. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102847-6.00006-1>
- Population by Migration Status*. Federal Statistical Office. (2022). Acedido a 28 de abril de 2023 em [https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/population/migration-integration/by-migration-status.html#:~:text=Key%20figures%20on%20persons%20aged%2015%20and%20over&text=In%202021%2C%2039%25%20of%20the,\(1%2C090%2C000\)%20has%20Swiss%20nationality.](https://www.bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/population/migration-integration/by-migration-status.html#:~:text=Key%20figures%20on%20persons%20aged%2015%20and%20over&text=In%202021%2C%2039%25%20of%20the,(1%2C090%2C000)%20has%20Swiss%20nationality.)
- REN. (2023). *Dados Técnicos 2022*. REN. Acedido a 10 de maio de 2023 em <https://datahub.ren.pt/media/hkkdskwq/dados-t%C3%A9cnicos-2021.pdf>.
- República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de maio, *Estabelece normas relativas à actividade de produção de energia eléctrica por pessoas singulares ou por pessoas colectivas de direito público ou privado*, Diário da República. Acedido a 15 de janeiro de 2023 em <https://files.dre.pt/1s/1988/05/12300/22892296.pdf>
- República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 168/99 de 18 de maio, *Estabelece as regras aplicáveis à produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis e à produção combinada de calor e electricidade*, Diário da República. Acedido a 15 de janeiro de 2023 em <https://files.dre.pt/1s/1999/05/115a00/26192628.pdf>
- República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 339-C/2001 de 29 de dezembro, *Altera o Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio, que revê o regime aplicável à actividade de produção de energia eléctrica, no*

âmbito do sistema eléctrico independente., Diário da República. Acedido a 15 de janeiro de 2023 em <https://files.dre.pt/1s/2001/12/300a01/00020003.pdf>

República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 29/2006 de 15 de fevereiro, *Estabelece os princípios gerais relativos à organização e funcionamento do sistema eléctrico nacional, bem como ao exercício das actividades de produção, transporte, distribuição e comercialização de electricidade e à organização dos mercados de electricidade, transpondo para a ordem jurídica interna os princípios da Directiva n.º 2003/54/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de Junho, que estabelece regras comuns para o mercado interno da electricidade, e revoga a Directiva n.º 96/92/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Dezembro.*, Diário da República. Acedido a 15 de janeiro de 2023 em <https://files.dre.pt/1s/2006/02/033a00/11891203.pdf>

República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 225/2007 de 31 de maio, *Concretiza um conjunto de medidas ligadas às energias renováveis previstas na estratégia nacional para a energia, estabelecida através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro.*, Diário da República. Acedido a 16 de janeiro de 2023 em <https://files.dre.pt/1s/2007/05/10500/36303638.pdf>

República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 132-A/2010 de 31 de maio, *Aprova, no âmbito da Estratégia Nacional da Energia 2020, o regime de atribuição de capacidade de recepção na Rede Eléctrica de Serviço Público da energia produzida em centrais solares fotovoltaicas*, Diário da República. Acedido a 16 de janeiro de 2023 em <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2010/12/24501/0000200004.pdf>

República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 141/2010, de 31 de dezembro, *No âmbito da Estratégia Nacional da Energia 2020, define as metas nacionais de energia renovável no consumo de energia final e transpõe parcialmente a Directiva n.º 2009/28/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril*, Diário da República. Acedido a 19 de janeiro de 2023 em <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2010/12/25300/0609306098.pdf>

República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 215-B/2012 de 8 de outubro, *Sexta alteração ao Decreto-Lei n.º 172/2006, de 23 de agosto, e completa a transposição da Directiva n.º 2009/72/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de julho, que estabelece as regras comuns para o mercado*

- interno de eletricidade.*, Diário da República. Acedido a 16 de janeiro de 2023 em <https://files.dre.pt/1s/2012/10/19401/0004500133.pdf>
- República Portuguesa, Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, *Estabelece a organização e o funcionamento do Sistema Elétrico Nacional, transpondo a Diretiva (UE) 2019/944 e a Diretiva (UE) 2018/2001*, Diário da República. Acedido a 19 de janeiro de 2023 em <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2022/01/01000/0000300185.pdf>
- República Portuguesa. (Julho, 2023). Estatísticas Rápidas Renováveis - no 224. Direção-Geral de Energia e Geologia. Acedido a 3 de setembro de 2023 em <https://www.dgeg.gov.pt/media/f1zc0kxu/dgeg-arr-2023-07.pdf>.
- República Portuguesa. Portaria n.º 1057/2010 de 15 de outubro. *Estabelece o valor do coeficiente Z aplicável a centrais fotovoltaicas de concentração de forma a permitir remunerar a electricidade produzida e entregue à rede.*, Diário da República. Acedido a 16 de janeiro de 2023 em <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2010/10/20100/0453504536.pdf>
- República Portuguesa. Resolução do Conselho de Ministros n.º 56/2015 de 30 de julho. *Aprova o Quadro Estratégico para a Política Climática, o Programa Nacional para as Alterações Climáticas e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, determina os valores de redução das emissões de gases com efeito de estufa para 2020 e 2030 e cria a Comissão Interministerial do Ar e das Alterações Climáticas.*, Diário da República. Acedido a 16 de janeiro de 2023 em <https://files.diariodarepublica.pt/1s/2015/07/14700/0511405168.pdf>
- Ribeiro, L. (2022, dezembro 8). O longo caminho rumo a um futuro melhor. *VISÃO*, 1553, 75.
- Ritchie, H., & Roser, M. (13 Junho, 2018). *Urbanization*. Our World in Data. Acedido a 20 de fevereiro de 2023 em <https://ourworldindata.org/urbanization>
- Roberts, Mike. B., Bruce, A., & MacGill, I. (2019). Opportunities and barriers for photovoltaics on multi-unit residential buildings: Reviewing the Australian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 95–110. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.013>

- Roberts, Mike B., Sharma, A., & MacGill, I. (2022). Efficient, effective and fair allocation of costs and benefits in residential energy communities deploying shared photovoltaics. *Applied Energy*, 305, 117935. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117935>
- Siecker, J., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2017). A review of Solar Photovoltaic Systems Cooling Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.053>
- Silva, E. S. (2015). Critérios de Avaliação. In Projeto de Investimento - Estudo de um Caso (pp. 19–23). Vida Económica.
- Solaris. (2020). HISTORY OF SOLAR ENERGY. Solaris. Acedido a 6 de agosto de 2023 em <https://www.solaris-shop.com/history-of-solar-energy/#:~:text=In%201956%2C%20the%20first%20commercially,used%20in%20toys%20and%20radios.>
- Solomon, B. D., & Krishna, K. (2011). The Coming Sustainable Energy Transition: History, strategies, and outlook. *Energy Policy*, 39(11), 7422–7431. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>
- Steffen, B., & Patt, A. (2022). A historical turning point? early evidence on how the Russia-Ukraine War changes public support for clean energy policies. *Energy Research & Social Science*, 91, 102758. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102758>
- U.S. Energy Information Administration. (2023). *Wind explained - Where wind power is harnessed*. EIA. Acedido a 10 de maio de 2023 em <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/where-wind-power-is-harnessed.php>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2019). *What is the Kyoto Protocol?*. UNFCCC. Acedido a 10 de janeiro de 2023 em https://unfccc.int/kyoto_protocol
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). *Paris Agreement*. UNFCCC. Acedido a 11 de setembro de 2023 em https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

- União Europeia. (30 Julho, 2021). *The European Union and Switzerland*. Delegation of the European Union to Switzerland and Liechtenstein. Acedido a 28 de abril de 2023 em https://www.eeas.europa.eu/switzerland/european-union-and-switzerland_en?s=180
- União Europeia. (2022). Photovoltaic Barometer. *EurObserv'ER*. Acedido a 17 de abril de 2023 em <https://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2022/>.
- US Department of Energy. (2015). *Installing and maintaining a small wind electric system*. Energy.Gov. Acedido a 5 de maio de 2023 em <https://www.energy.gov/energysaver/installing-and-maintaining-small-wind-electric-system>
- Vlahov, D., & Galea, S. (2002). Urbanization, urbanicity, and health. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 79(90001). https://doi.org/10.1093/jurban/79.suppl_1.s1
- Wizelius, T. (2016). *Developing wind power projects: Theory and practice*. Routledge.
- Young, O. (13 Agosto, 2021). *Wind turbines vs. Solar Panels for home - which is better?*. Treehugger. Acedido a 4 de maio de 2023 em <https://www.treehugger.com/wind-turbines-vs-solar-panels-for-home-5187949>

10. Anexos



Figura 9 – Planta da cobertura e blocos do sistema FV.

Tabela A1 – Dados de temperatura ambiente média, irradiância solar, irradiância solar angular, horas solares, radiação solar incidente e temperaturas do módulo

Mês	(°C)	$I(0)$ [W.h/m ²]	$I(\beta_{opt})$	$I(\beta)$	HS	G	T _m (°C)
Janeiro	5.723548387	2421.290323	2430.944162	2266.29689	2.430944162	284.9687018	14.62882
Fevereiro	8.306785714	3055.714286	3067.897614	2860.10963	3.067897614	318.6259759	18.26385
Março	9.110967742	3372.580645	3386.02734	3156.69251	3.38602734	306.0118295	18.67384
Abril	10.94166667	5785	5808.065166	5414.68628	5.808065166	461.1707234	25.35325
Maio	18.05451613	6293.870968	6369.774129	5938.35083	6.369774129	458.3519713	32.37802
Junho	19.123	6353.666667	6378.999143	5946.95104	6.378999143	438.0056398	32.81068
Julho	24.83709677	7529.032258	7559.050992	7047.07825	7.559050992	530.5289359	41.41613
Agosto	23.79193548	6632.903226	6958.872214	6487.54944	6.958872214	530.8927382	40.38233
Setembro	18.502	4785.666667	4804.747426	4479.32302	4.804747426	413.3669669	31.41972
Outubro	16.29870968	2979.354839	2991.233717	2788.63816	2.991233717	296.2405861	25.55623
Novembro	10.304	1898	1905.567448	1776.50381	1.905567448	216.404162	17.06663
Dezembro	9.256129032	1177.741935	1182.437668	1102.35144	1.182437668	144.6887854	13.77765

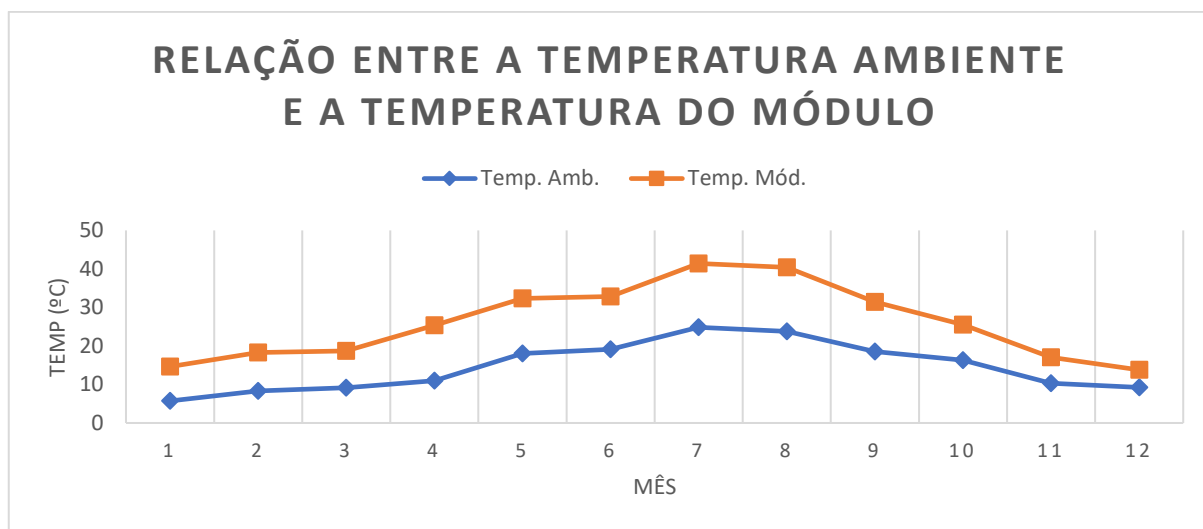


Figura 10 – Gráfico da relação entre a Temperatura Ambiente e a Temperatura do Módulo

Tabela A2 – kWh Produzido diariamente, mensalmente e o total do 1º ano de funcionamento do sistema FV dimensionado

Mês	kWh Produzido/dia	kWh Produzido/mês
Janeiro	368.6308037	11427.55492
Fevereiro	465.2190622	13026.13374
Março	513.4605719	15917.27773
Abril	880.7408098	26422.22429
Maio	965.9189187	29943.48648
Junho	967.317809	29019.53427
Julho	1146.262052	35534.1236
Agosto	1055.250341	32712.76058
Setembro	728.5967045	21857.90113
Outubro	453.5936721	14061.40384
Novembro	288.9621533	8668.8646
Dezembro	179.3060304	5558.486943
	Total Anual	244149.7521

Tabela A3 – kWh Produzido durante a vida útil do sistema FV considerando um decaimento de *performance* de 0.6%

Ano	kWh Produzido
1	244149.7521
2	242684.8536
3	241228.7445
4	239781.372
5	238342.6838
6	236912.6277
7	235491.1519
8	234078.205
9	232673.7358
10	231277.6934
11	229890.0272
12	228510.687
13	227139.6229
14	225776.7852
15	224422.1245
16	223075.5917
17	221737.1382
18	220406.7153
19	219084.2751
20	217769.7694
21	216463.1508
22	215164.3719
23	213873.3857
24	212590.1453
25	211314.6045

Tabela A4 – Tabela de Valores Pressupostos para a avaliação Económica

Taxa de Atualização	0.03
Eficiência Perdida / Ano	0.006
Venda a Valor Fixo	0.07
Venda a Valor do Mercado	0.12
Poupança Anual	9273.6
Investimento Inicial	179857
kWh Produzido / Ano (1º Ano)	244149.7521
kWh Excedente / Ano (1º Ano)	166895.1592

Tabela A5 – Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual e *Cash Flow* para o Cenário 1

Cenário 1	Venda de Toda a Energia a um Valor Fixo																									
Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investimento (I ₀)	179857	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimento (€)		17090.4826	16987.94	16886.01	16784.7	16683.99	16583.88	16484.38	16385.47	16287.16	16189.44	16092.3	15995.75	15899.77	15804.37	15709.55	15615.29	15521.6	15428.47	15335.9	15243.88	15152.42	15061.51	14971.14	14881.31	14792.02
Gasto (€)	-	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57
Cash Flow Operacional	-	15291.9126	15189.37	15087.44	14986.13	14885.42	14785.31	14685.81	14586.9	14488.59	14390.87	14293.73	14197.18	14101.2	14005.8	13910.98	13816.72	13723.03	13629.9	13537.33	13445.31	13353.85	13262.94	13172.57	13082.74	12993.45
Valor Atualizado	-	14846.5171	14317.44	13807.15	13314.98	12840.29	12382.47	11940.91	11515.04	11104.3	10708.16	10326.1	9957.615	9602.233	9259.487	8928.928	8610.124	8302.659	8006.13	7720.15	7444.344	7178.353	6921.827	6674.431	6435.841	6205.745

Tabela A6 – Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual e *Cash Flow* para o Cenário 2

Cenário 2	Venda de Toda a Energia ao Valor do Mercado																									
Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investimento (I ₀)	179857	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimento (€)	-	29297.9703	29122.18	28947.45	28773.76	28601.12	28429.52	28258.94	28089.38	27920.85	27753.32	27586.8	27421.28	27256.75	27093.21	26930.65	26769.07	26608.46	26448.81	26290.11	26132.37	25975.58	25819.72	25664.81	25510.82	25357.75
Gasto (€)	-	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57
Cash Flow Operacional	-	27499.4003	27323.61	27148.88	26975.19	26802.55	26630.95	26460.37	26290.81	26122.28	25954.75	25788.23	25622.71	25458.18	25294.64	25132.08	24970.5	24809.89	24650.24	24491.54	24333.8	24177.01	24021.15	23866.24	23712.25	23559.18
Valor Atualizado	-	26698.4468	25755.13	24845.07	23967.11	23120.12	22303	21514.7	20754.21	20020.55	19312.77	18629.97	17971.25	17335.79	16722.74	16131.33	15560.79	15010.39	14479.42	13967.18	13473.04	12996.33	12536.46	12092.82	11664.85	11252

Tabela A7 – Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual e *Cash Flow* para o Cenário 3

Cenário 3	Venda do Excedente Energético a um Valor Fixo + Poupança na Fatura da Eletricidade																									
Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investimento (I ₀)	179857	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimento (€)		20956.2611	20886.17	20816.49	20747.23	20678.39	20609.96	20541.94	20474.33	20407.13	20340.33	20273.93	20207.93	20142.32	20077.11	20012.29	19947.85	19883.81	19820.15	19756.87	19693.97	19631.45	19569.3	19507.53	19446.12	19385.09
Gasto (€)	-	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57
Cash Flow Operacional	-	19157.6911	19087.6	19017.92	18948.66	18879.82	18811.39	18743.37	18675.76	18608.56	18541.76	18475.36	18409.36	18343.75	18278.54	18213.72	18149.28	18085.24	18021.58	17958.3	17895.4	17832.88	17770.73	17708.96	17647.55	17586.52
Valor Atualizado	-	18599.7001	17991.89	17404.09	16835.64	16285.9	15754.24	15240.08	14742.82	14261.91	13796.81	13346.99	12911.95	12491.2	12084.27	11690.69	11310.03	10941.87	10585.78	10241.37	9908.248	9586.05	9274.41	8972.981	8681.426	8399.418

Tabela A8 – Tabela de valores de Rendimento Anual, Gasto Anual, *Cash Flow*, VAL, SPT, TIR e LCoE para o Cenário 4

Cenário 4	Venda do Excedente Energético a um Valor Fixo + Poupança na Fatura da Eletricidade																									
Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investimento (I ₀)	179857	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimento (€)		29301.0191	29180.85	29061.41	28942.68	28824.67	28707.36	28590.76	28474.86	28359.65	28245.13	28131.3	28018.16	27905.69	27793.9	27682.78	27572.32	27462.53	27353.4	27244.92	27137.09	27029.91	26923.37	26817.47	26712.21	26607.58
Gasto (€)	-	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57	1798.57
Cash Flow Operacional	-	27502.4491	27382.28	27262.84	27144.11	27026.1	26908.79	26792.19	26676.29	26561.08	26446.56	26332.73	26219.59	26107.12	25995.33	25884.21	25773.75	25663.96	25554.83	25446.35	25338.52	25231.34	25124.8	25018.9	24913.64	24809.01
Valor Atualizado	-	26701.4069	25810.43	24949.36	24117.19	23312.95	22535.69	21784.5	21058.51	20356.86	19678.73	19023.33	18389.89	17777.68	17185.97	16614.09	16061.35	15527.12	15010.77	14511.7	14029.32	13563.09	13112.44	12676.87	12255.86	11848.92
VAL/NPV	278037																									
SPT	6																									
TIR / IRR	15%																									
LCoE	0.057864																									