

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Francisco Gonçalves Cerqueira Bnoun

**DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA A  
INSTALAR NUMA UPAC PARA  
AUTOCONSUMO COLETIVO: ESTUDO DE  
CASO DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, do ramo de especialização em Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

setembro de 2023



1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

# **Dimensionamento da potência a instalar numa UPAC para Autoconsumo Coletivo: Estudo de caso de um Campus Universitário**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e  
de Computadores no ramo de especialização em Energia

## **Dissertação de Mestrado**

**Autor**

**Francisco Gonçalves Cerqueira Bnoun**

**Orientador**

**Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge**

**Júri**

**Presidente**      **Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes**

**Orientador**    **Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge**

**Vogal**            **Professor Doutor André Manuel dos Santos Mendes**

**Coimbra, setembro de 2023**

## **Declaração**

**Nome:** Francisco Gonçalves Cerqueira Bnoun

**Endereço Eletrónico:** franciscobnoun@hotmail.com

**Cartão de Cidadão:** 13657445

**Título da Dissertação:** Dimensionamento da potência a instalar numa UPAC para Autoconsumo Coletivo: Estudo de caso de um Campus Universitário

**Orientador:** Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

**Ano da Conclusão:** 2023

**Designação do Mestrado:** Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

**Área de Especialização:** Ramo de Energia

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTE DOCUMENTO

Universidade de Coimbra \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

*Para ti minha Mãe e Avó,*



## **Agradecimentos**

Este documento é dedicado às duas Mulheres mais importantes na minha vida, Mãe e Avó. A ti minha querida Mãe que me incentivaste no meu progresso académico e pessoal, por sempre insistires e resistires para a conclusão do Mestrado e por fazeres de mim o homem com os valores que sou hoje. Herdei de ti a teimosia a resiliência e que com muito trabalho podemos ser o que queremos. Um obrigado por todo o investimento em mim, sem ti nunca seria possível. Obrigado, Mãe!

Um obrigado póstumo à minha querida avó por toda a educação e cuidado que me deu e me dava nas orelhas para estudar. Que apesar de não teres tido a oportunidade de me ver entrar e sair desta instituição, tenho a certeza que tens muito orgulho no teu neto. Obrigado, Avó!

Um agradecimento muito especial a um professor que sempre acarinhei desde a minha entrada nesta academia, ao Professor Doutor Humberto Jorge, pois sem ele, este trabalho não era possível e por todo o apoio, força e empenho e que até ao fim da sua carreira académica, continue a apresentar e transmitir os enormes valores e conhecimento que tem. Obrigado!

Um enorme agradecimento a ti Beccas por nunca me fazeres desistir do meu sonho e me teres acompanhado neste processo desde o início, motivando-me todos os dias! Obrigado.

Um obrigado ao meu antigo colega na DTE SA, Eng.º Carlos Linhares, por todo o conhecimento, valores, persistência, na minha formação, para me tornar um profissional capaz de tomar as rédeas do cavalo sem nunca deixar cair. Obrigado, Carlos!

Obrigado ao Eng.º Vítor Pereira da Fergrupo SA, por se mostrar disponível para que eu concluísse esta etapa e claro ao Eng.º Bruno Duro e ao Eng.º Rui Rodrigues, por todo o tempo e disponibilidade que demonstraram!

Um obrigado especial, claro está, aos meus amigos de infância e de Universidade pela insistência e por todas as histórias. Está feito!

Um obrigado a Coimbra, por me fazer crescer como homem e me fazer ter o prazer de conhecer pessoas maravilhosas, pelas noites, pelas tardes, pelas manhãs, pelos convívios, pela Queima das Fitas, a Festa das Latas, pelas repúblicas, pela cultura, pela praxe, pelo traçadinho, pelos jantares, pelas trupes, pelas noites na biblioteca (não foram poucas), pela Polónia, por Białyostok, por ERASMUS. OBRIGADO COIMBRA! F-R-A!





*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”*

Winston Churchill



## Resumo

O Autoconsumo coletivo refere-se a um modelo de produção descentralizada de eletricidade com base em fontes de energia renovável destinada a consumo local, em que a energia produzida é partilhada por um grupo de instalações consumidoras que têm uma relação de vizinhança, dependente do nível de tensão da rede onde estão ligadas. O autoconsumo coletivo pode ajudar na redução do uso de combustíveis fósseis por facilitar de integração de fontes de energia renovável de forma centralizada, em especial solar fotovoltaica, com custo mais de energia e redução da independência energética.

Nesta dissertação usa-se como estudo de caso o dimensionamento da instalação de uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) para servir um conjunto de edifícios de um polo universitário, em que uma parte dos edifícios já possui uma UPAC no edifício para autoconsumo individual.

Constata-se que neste caso particular, visto os edifícios terem perfis consumos muito semelhantes, não é possível obter grandes níveis de autossuficiência de energia, sem recurso a armazenamento de energia, que no estado atual da tecnologia ainda não tem viabilidade económico.

Assim, de modo a garantir neste estudo de caso, que energia injetada na rede não exceda mais do 20% do valor da energia produzida anualmente não se pode instalar na UPAC coletiva mais do 450 kWp. Com este valor potência instalada só se consegue garantir uma autossuficiência de 18%, ou seja, só se consegue substituir 18% de toda a energia compra para abastecer o consumo inicial do polo universitário, servido pela rede pública.

Para se aumentar os níveis de autossuficiência energética, sem aumentar os níveis de energia injetada na rede, para além se de uso de armazenamento, poder-se-ia associar, existindo nas proximidades, outros edifícios como participantes no autoconsumo coletivo, com perfis complementares aos existentes, nomeadamente com grandes consumos durante os fins-de-semana, período onde se verificam maior valores de injeção de energia na rede.

**Palavras-chave:** Autoconsumo coletivo, energia fotovoltaica, comunidade de energia, produção descentralizada, campus sustentável



## **Abstract**

Collective self-consumption refers to a model of decentralized electricity production based on renewable energy sources intended for local consumption. In this model, the energy produced is shared among a group of consumer installations that have a neighborhood relationship, depending on the voltage level of the grid to which they are connected. Collective self-consumption can contribute to the reduction of fossil fuel use by facilitating the centralized integration of renewable energy sources, especially photovoltaic solar energy, with lower energy costs and reduced energy independence.

In this dissertation, the sizing of a self-consumption production unit for serving a group of buildings within a university campus is used as a case study. Some of the buildings within the campus already have individual self-consumption production units.

It is observed that in this particular case, given the buildings' very similar consumption profiles, it is not possible to achieve high levels of energy self-sufficiency without energy storage, which is currently not economically viable due to the state of technology. Therefore, in order to ensure that the energy injected into the grid does not exceed 20% of the annually produced energy in this case study, the collective UPAC installation cannot exceed 450 kWp. With this installed power capacity, only 18% self-sufficiency can be achieved. In other words, only 18% of the energy purchased to supply the initial consumption of the university campus served by the public grid can be replaced.

To increase energy self-sufficiency levels without increasing the levels of energy injected into the grid, besides using energy storage, additional buildings with complementary consumption profiles, particularly those with high consumption during weekends when there is a higher energy injection into the grid, could be associated as participants in collective self-consumption, if such buildings are located nearby.

**Keywords:** Collective self-consumption, photovoltaic energy, energy community, decentralized production, sustainable campus.



# Índice

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	vii
Abstract .....	ix
Lista de Figuras .....	xiii
Lista de Tabelas .....	xvi
Lista de Abreviaturas .....	xviii
Capítulo I - Introdução.....	1
1.2. Motivação e Objetivos .....	4
1.3. Estrutura da Dissertação .....	5
Capítulo 2 - Estado da Arte.....	7
2.1 - Enquadramento .....	7
2.2. Autoconsumo coletivo e comunidade de energia .....	11
2.3 Partilha de energia no autoconsumo coletivo .....	15
2.4 Métodos de partilha de Energia .....	16
Capítulo 3 – Caraterização do estudo de caso .....	19
3.1 Caracterização do consumo dos edifícios envolvidos .....	19
4. Simulação e análise de resultados.....	29
5. Conclusão.....	35
Bibliografia .....	37





## Lista de Figuras

Figura 1. Dados até o ano de 2022 da diferença de produção de energia fotovoltaica entre Portugal e a União Europeia (EU) [Our World in Data, 2023] .....	1
Figura 2. Esquema de implementação de uma UPAC para consumo coletivo [Poupa energia, 2023] .....	3
Figura 3. Evolução do consumo de energia primária até 2050 [DGEG, 2023].....	9
Figura 4. Cidade sustentável em Abu Dhabi [Edisocialexpo, 2023] .....	11
Figura 5. Processo de produção de energia fotovoltaica com injeção na rede [11noticias, 2023] .....	13
Figura 6. Cooperativa/urbanização - <i>Multi-family Solar System</i> , localizado em San Diego, EUA [Hessolar, 2023].....	15
Figura 7. Smart City Fujisawa SST da Panasonic [Welt, 2023] Fonte: <a href="https://welt.de/">https://welt.de/</a> ...	17
Figura 8. Campus do Polo 2 da Universidade de Coimbra – [Google Earth Pro] .....	19
Figura 9. Gráfico representativo de potência média e potência máxima por edifício do Polo 2 da UC .....	20
Figura 10. Diagrama semanal da semana 11 (14 a 20 de março) onde foi registada a potência máxima da compra de energia para o polo 2.....	21
Figura 11. Gráfico representativo do consumo no ano de 2022 por departamento do campus do Polo 2 da UC .....	22
Figura 12. Gráfico representativo da repartição de consumos em kWh nos edifícios em estudo .....	22
Figura 13. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 16 do mês de abril para os edifícios pertencentes.....	24
Figura 14. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 16 do mês de abril para os edifícios pertencentes à UPAC .....	24
Figura 15. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 29 do mês de julho para os edifícios pertencentes à UPAC .....	25
Figura 16. Gráfico do diagrama de carga referente à semana 29 do mês de julho para os edifícios sem UPAC.....	25
Figura 17. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 42 do mês de outubro para os edifícios pertencentes à UPAC.....	25
Figura 18. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 42 do mês de outubro para os edifícios pertencentes à UPAC.....	26
Figura 19. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 51 do mês de dezembro para os edifícios pertencentes à UPAC.....	26

Figura 20. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 51 do mês de dezembro para os edifícios pertencentes à UPAC.....	27
Figura 21. Gráfico dos diagramas de carga do agregado do Polo para cada uma das semanas anteriormente apresentadas.....	27
Figura 22. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (global do ano de 2022) .....	30
Figura 23. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada no mês de abril .....	31
Figura 24. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (mês de julho) .....	32
Figura 25. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (mês de outubro) .....	32
Figura 26. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (mês de dezembro).....	33
Figura 27. Gráfico comparativo de semana representativa do mês de abril e julho para uma potencia a instalar de 200kW.....	33
Figura 28. Gráfico comparativo de semana representativa do mês de abril e julho para uma potencia a instalar de 300kW.....	34
Figura 29. Gráfico comparativo de semana representativa do mês de abril e julho para uma potencia a instalar de 400kW.....	34



## Lista de Tabelas

Tabela 1. Potência média e potência máxima por edifício em estudo e campus referente a intervalos de 15 minutos durante o ano de 2022 .....	20
Tabela 2. Dados de consumo por departamento no ano de 2022 no Polo 2 da UC em kWh .....	21
Tabela 3. Tabela de potência instalada nas UPAC e UP existentes por edifício do campus .....	23
Tabela 4. Potência injetada na rede nos meses de abril e julho entre três valores de potência a instalar.....	30



## **Lista de Abreviaturas**

AC – Autoconsumo

ACC – Autoconsumo coletivo

CER – Comunidades de Energia Renovável

CPE – Código de Ponto de Entrega

DCT-UCP – Departamento Ciências da Terra - Unidade Central Pedagógica

DEC – Departamento de Engenharia Civil

DEEC – Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

DEI – Departamento de Engenharia Informática

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DEQ – Departamento de Engenharia Química

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto Lei

EGAC – Entidade Gestora do Autoconsumo Coletivo

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

GEE – Gestão de Energia Elétrica

IA -Instalação de armazenamento autónomo participante em autoconsumo

IC –Instalação de consumo participante em autoconsumo

IPr – Instalação de Produção de eletricidade para autoconsumo

IU – Instalações de Utilização

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e Clima [2021-2030]

ORD – Operador de Rede de Distribuição de eletricidade

SEN – Sistema Elétrico Nacional

SERUP – Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção

UC – Universidade de Coimbra

UE – União Europeia

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo







# Capítulo I - Introdução

A energia tem sido um elemento central nos diversos períodos de desenvolvimento das sociedades humanas ao longo da história. Concretamente, as transformações que se verificam na forma como produzimos, armazenamos, distribuímos e consumimos energia estão, em muitos casos, na origem de transformações económicas, sociais e políticas. [Antunes, 2023].

Num contexto Europeu e Mundial, Portugal protagoniza-se como um dos países com as condições mais propícias na obtenção de energia através de fontes renováveis, pela sua localização geográfica. Neste quadro, coloquemos em destaque a energia fotovoltaica, onde Portugal possui uma exposição solar acima da média europeia o que permite elevados níveis de radiação solar ao longo do ano. A média anual é aproximadamente 8 horas diárias com uma receção superior a 1200W/m<sup>2</sup>. [Monteiro, 2015].

Os níveis de produção fotovoltaica de energia elétrica, para autoconsumo, tanto para o setor doméstico como o industrial, devido à disponibilidade da tecnologia, à redução de custos de instalação e aos incentivos regulatórios implementadas pela União Europeia (EU), dispararam na última década, tornando o autoconsumo cada vez mais significativo (Fig.1).

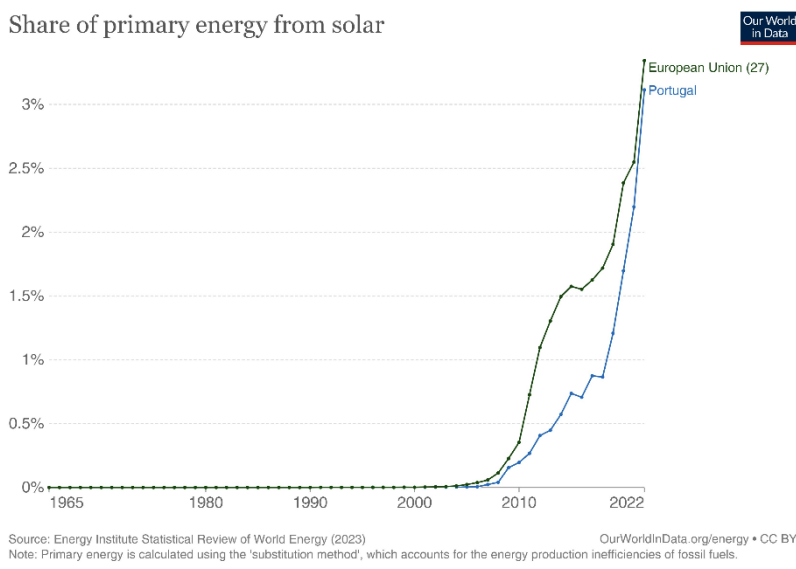


Figura 1. Dados até o ano de 2022 da diferença de produção de energia fotovoltaica entre Portugal e a União Europeia (EU) [World Data, 2023]

A potência instalada a partir de tecnologia fotovoltaica atingiu o valor de 1,6GW, representando em 2021, 10,8% da potência total instalada de origem renovável, onde 40% da potência instalada encontrava-se em instalações descentralizadas. [Observatório da Energia 2022].

Para tirar partido deste potencial, o Governo português tem fomentado investimento em projetos de produção de eletricidade com origem em energia fotovoltaica em pequena e larga escala.

Portugal tem criado diversos mecanismos de incentivo ao financiamento de adoção de energia fotovoltaica, no âmbito do Portugal 2020, PRR e do plano PNEC 2030, conduzindo a um crescimento significativo no sector da energia fotovoltaica do País, criando emprego, novas empresas, estimulando a economia e alterando mentalidades.

Globalmente, a utilização da energia fotovoltaica tem vindo a crescer rapidamente, e espera-se que continue a fazê-lo no futuro. O País está a caminho de alcançar o objetivo de se tornar um dos países com maior cota de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, reduzindo a sua dependência dos combustíveis fósseis, entrando em concordância com as metas europeias estabelecidas até 2030.

Em 2022, a Europa defronta-se com o problema da dependência energética, devido ao conflito na Ucrânia, relativamente ao gás e petróleo fornecidos pela Rússia. As medidas implementadas para uma independência energética de combustíveis fósseis tende a crescer, colocando a produção descentralizada numa opção viável para a mesma. Efetivamente, ao longo dos últimos anos, a volatilidade do preço da energia traduziu-se em variações bastante significativas com fortes impactos na sustentabilidade financeira das organizações.

Autoconsumo coletivo (ACC) verifica-se quando a produção de energia elétrica de uma Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) (Fig.2) que se encontra associada a um Código de Ponto de Entrega (CPE), é consumida em duas ou mais Instalações de Utilização (IU), podendo o excedente de energia elétrica gerada ser vendida à rede. Resumindo, o autoconsumo coletivo existe quando um conjunto de IU (mais do que um CPE com contrato de fornecimento ativo) constituído por um ou mais setores de atividade (Ex: indústria, comércio e serviços, agrícola, residencial, etc.), desde que situados numa vizinhança próxima (até 2km em rede BT e 4 km em rede MT) e disponham de uma ou mais UPAC.

Por sua vez, uma Comunidade de Energia Renovável (CER) é uma pessoa coletiva, constituída mediante adesão aberta e voluntária dos seus membros, sócios ou acionistas, os quais podem ser pessoas singulares ou coletivas, de natureza pública ou privada, incluindo,

nomeadamente, pequenas e médias empresas ou autarquias locais, por estes controlada e que cumulativamente [ADENE, 2022]:

- a) Os membros ou participantes estejam localizados na proximidade dos projetos de energia renovável ou desenvolvam atividades relacionadas com os projetos de energia renovável da respetiva comunidade de energia, incluindo necessariamente UPAC;
- b) Os referidos projetos sejam detidos e desenvolvidos pela CER ou por terceiros, desde que em benefício e ao serviço daquela;
- c) A CER tenha por objetivo principal propiciar aos membros ou às localidades onde opera a comunidade, benefícios ambientais, económicos e sociais em vez de lucros financeiros;

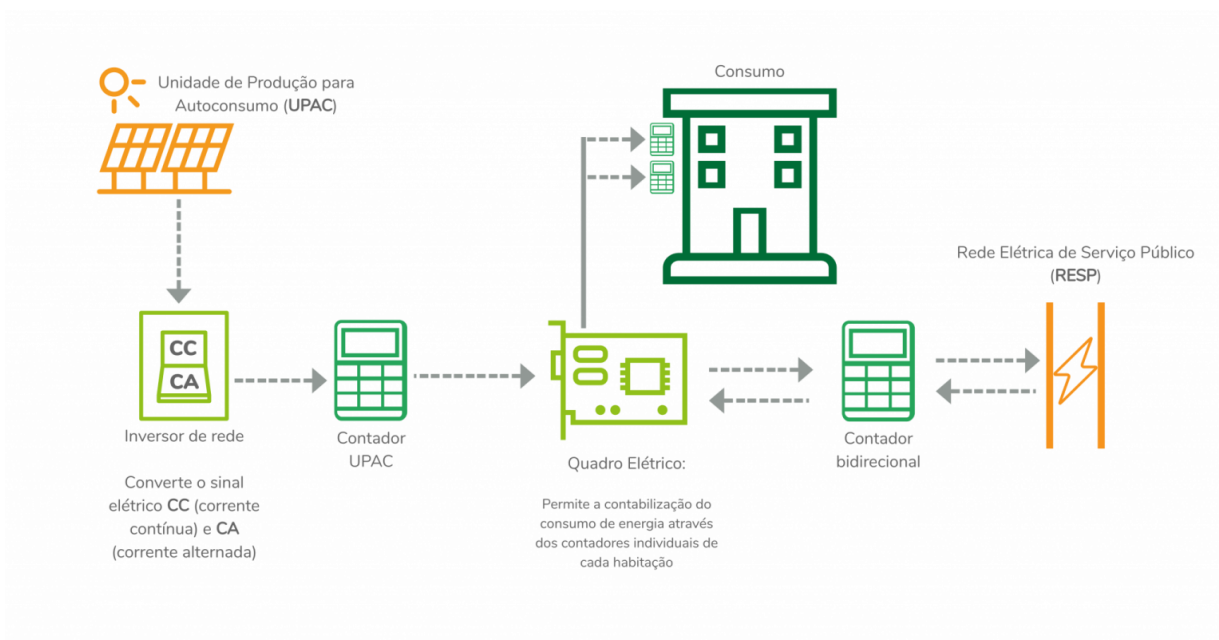


Figura 2. Esquema de implementação de uma UPAC para consumo coletivo [Poupa energia, 2023]

## **1.2. Motivação e Objetivos**

A presente dissertação tem como objetivo dimensionar uma UPAC para um ACC associado a um Polo Universitário que agrega seis edifícios ligados à rede de MT, tendo já em quatro deles uma UPAC instalada, em regime de autoconsumo. Pretende-se dimensionar uma instalação adicional que seja usada em autoconsumo coletivo que satisfaça parte dos consumos do polo, que são satisfeitos pela compra de energia fornecida pela rede elétrica de MT, que alimenta os seis edifícios.

Para este estudo serão utilizados dados de consumo referentes ao ano de 2022 de cada um dos seis edifícios do polo universitário pertencente à Universidade de Coimbra. Usando esses dados de consumo e um perfil de produção fotovoltaica de uma UPAC existente no Polo, serão feitas simulações da constituição de AAC de modo a obter um valor de capacidade a instalar que mais se adegue a este caso em concreto. Na simulação será utilizado o software Microsoft Office Excel.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

É apresentado no capítulo 1 deste documento uma Introdução ao assunto em discussão neste trabalho assim como a motivação e objetivos e estrutura do documento.

No capítulo 2, o Estado da Arte, apresenta-se um enquadramento do autoconsumo coletivo uma breve introdução da motivação que despoletou a transição energética. De seguida, será explicado em que consiste o autoconsumo coletivo e alguma legislação que regulamenta esta área. Por fim, são apresentadas as CER e sua importância para a facilitação de integração de produção de eletricidade a partir de fonte renovável.

O capítulo 3, sobre o estudo de caso, onde é feita uma caracterização dos consumos dos edifícios e da produção admissível para uso em autoconsumo coletivo.

No capítulo 4, sobre as simulações e análise de resultados para escolha de valores adequados de potência a instalar na UPAC coletiva

O capítulo 5 apresenta a conclusão final de todo o trabalho de pesquisa e estudo.



## Capítulo 2 - Estado da Arte

### 2.1 - Enquadramento

Portugal assumiu em 2016, na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, o compromisso de alcançar a neutralidade carbónica até 2050. Para a concretização desse objetivo, foi aprovado, pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho, o Roteiro para a neutralidade carbónica 2050 (RNC 2050). [Decreto Lei 15/2022]

Como tal, e para cumprir as metas delineadas, o Estado Português estabeleceu o Plano Nacional de Energia-Clima 2021-2030 (PNEC 2030), abrangendo cinco dimensões: Descarbonização, eficiência energética, segurança de abastecimento, mercado interno da energia e investigação e inovação e competitividade. [PNEC 2030]

Enaltecer também o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050) em que estabelece a visão e as trajetórias para que Portugal atinja a neutralidade carbónica até 2050, apontando para uma redução de emissões entre 85% a 90% até 2050, face a 2005), ou seja, tornar nulo o balanço entre as emissões e as remoções de dióxido de carbono e outros gases com efeito de estufa (GEE) da atmosfera. [Decreto Lei 85/2019]

A transição energética e a descarbonização da sociedade não se esgotam na evolução tecnológica, através da substituição ou da adoção de novas tecnologias, ou na utilização de novas formas de energia. Em grande medida será a participação do cidadão, com um papel mais ativo enquanto consumidor/produzidor de energia e enquanto agente para a mudança de comportamentos, que terá um impacto preponderante nesta trajetória. Um cidadão mais informado faz escolhas melhores, mais eficientes e sustentáveis, e no centro da decisão ele representa um consumidor mais ativo na transição para uma sociedade neutra em carbono, disponível para participar nas mudanças estruturantes que são necessárias para alcançar este desafio. [PNEC 2030]

A eficiência energética afigura-se também para a descarbonização da sociedade e como resposta à necessidade de uma economia competitiva e um sistema energético resiliente, seguro e autossuficiente. Neste contexto, Portugal compromete-se com o princípio da “Prioridade à

Eficiência Energética” nas decisões sobre projetos de investimento no setor energético, numa lógica de sustentabilidade e custo-eficácia. A experiência mostra que o desafio da eficiência energética é igual ou maior que o das renováveis. [PNEC 2030]

O autoconsumo coletivo é uma forma importante de contribuir para a descarbonização porque se alinha com os objetivos mais amplos de sustentabilidade e de combate às mudanças climáticas. Ao promover o uso de energia renovável e reduzir as emissões de carbono, o autoconsumo coletivo pode ajudar a construir um futuro mais sustentável para todos.

O autoconsumo coletivo refere-se ao conceito em que um grupo de código de ponto de entrega, associados a um conjunto de consumidores utiliza e compartilha, através da rede pública, coletivamente a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis de energia, minimizando a venda de excesso de energia para a rede. Criar comunidades de energia significa desenvolver projetos de produção descentralizada energia, altamente especializados (seja de produção, de fornecimento, de distribuição ou de mobilidade), para servir os consumos de cidadãos sem conhecimentos técnicos em energia. [Antunes, 2023]

Um dos principais benefícios do autoconsumo coletivo é a permissão às comunidades que assumam o controlo de seu abastecimento de energia e reduzam sua dependência da rede elétrica que fornece energia proveniente, em geral, de produção centralizada. Além disso, o autoconsumo coletivo também pode ajudar a reduzir a carga na rede e a um possível adiamento de necessidade de reforço de capacidade.

A legislação e a regulação que regulam o autoconsumo coletivo tem evoluído rapidamente nos últimos anos devido a vários fatores: a diminuição do custo das tecnologias de energia renovável, a crescente popularidade dos sistemas de energia distribuída e a crescente procura por soluções de energia sustentável, bem como toda a regulamentação europeia no sentido de acelerar a transição energética.

O PNEC 2030, apresenta como linha de atuação, a promoção da disseminação da produção distribuída e o autoconsumo de energia e as comunidades de energia, ou seja, da produção no próprio local de consumo ou muito próximo deste, traduzindo-se em redução de custos com as redes de transporte e distribuição, redução de perdas e otimização das soluções de produção de energia.

O Plano apresenta como principais medidas:

- Fomentar a produção distribuída e o autoconsumo de energia a partir de fontes renováveis removendo obstáculos à sua disseminação;
- Promover a criação e o desenvolvimento das comunidades de energia;



- Promover programas de apoio ao estabelecimento de comunidades de energia em parceria com os municípios;
- Reforçar o Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção;
- Implementação de um portal eletrónico de informação sobre produção distribuída, autoconsumo e comunidades de energia.

A trajetória para a neutralidade carbónica conduzirá a uma utilização mais alargada dos recursos energéticos endógenos renováveis, dos quais mais de dois terços são sol e vento, representando em 2050 mais de 80% do consumo de energia primária (Fig.3). O sistema energético nacional passará de uma base essencialmente fóssil para uma base essencialmente renovável, até 2050, com consequências positivas na fatura energética, na balança comercial e na redução da dependência energética. Em 2050, a dependência energética será inferior a 20% (face a 78% em 2015). [RCM 107/2019]

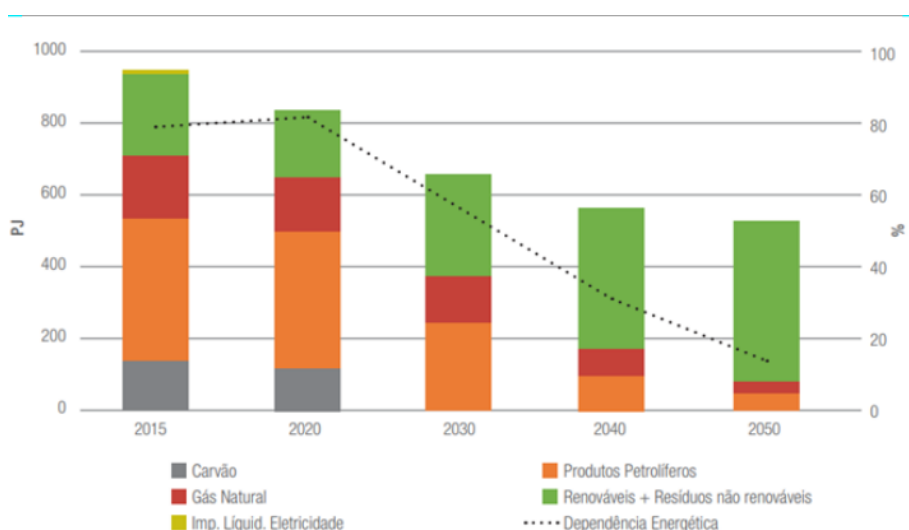


Figura 3. Evolução do consumo de energia primária até 2050 [DGEG, 2023]

O Decreto-Lei n.º 162/2019, o qual aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável, transpondo a Diretiva 2018/2001.

O mesmo visa promover e facilitar o autoconsumo de energia e as comunidades de energia renovável, eliminando obstáculos legais injustificados e criando condições para o estabelecimento de soluções inovadoras, tanto do ponto de vista económico como do ponto de vista social, baseadas no aproveitamento das novas oportunidades tecnológicas. [Decreto Lei, 2019].

Este estabelece regras e procedimentos para a produção, consumo e venda de energia elétrica, em regimes de AC, assim como condições técnicas e administrativas para a instalação

de sistemas de autoconsumo e a previsão de venda do excedente de energia produzido à rede elétrica nacional. Além disso, prevê a criação de um regime simplificado para sistemas de pequena dimensão.

De acordo com a lei, os consumidores podem produzir eletricidade a partir de fontes de energia renovável e consumir essa energia nas suas próprias instalações, sujeitas a certas condições. Condições essas, que incluem a necessidade de obtenção de licença junto da Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) e o cumprimento de requisitos técnicos e de segurança estabelecidos na lei.

O Decreto-Lei n.º 15/2022, de 14 de janeiro, que estabelece a organização e o funcionamento do Sistema Elétrico Nacional, incorporou as disposições relativas ao autoconsumo renovável (e revogou o Decreto-Lei n.º 162/2019, de 25 de outubro).

No artigo 81º e seguintes do Decreto-Lei n.º 15/2022 respeitantes ao autoconsumo, verifica que o DL atribui autonomia aos consumidores e estabelece o papel que estes possam desempenhar no âmbito do SEN, no caso, com atuação coletiva podendo passar de meros consumidores passivos a agentes ativos que produzem eletricidade para autoconsumo com possibilidade de venda dos excedentes para a rede, armazenam e oferecem serviços de flexibilidade e agreguem produção.

O Decreto-Lei tem um carácter imperativo, o que significa que se não forem cumpridos os requisitos legais e comerciais estabelecidos, que pode invalidar o propósito da lei, como a eficácia das normas. Por exemplo, podemos mencionar o controlo prévio previsto no Artigo 81º, as questões de proximidade no Artigo 83º ou as comunicações prévias no Artigo 85º.

Reforça-se a ideia com base no Artigo 86º que exige aos autoconsumidores coletivos a elaboração de um regulamento interno que deverá ser comunicado à DGEG, no prazo máximo de 3 meses após a entrada em funcionamento da UPAC, requisitos de acessos a novos membros.

A disposição do Artigo 86º, alínea 4, vem indicar, ainda, a responsabilidade solidária entre os membros do autoconsumo coletivo. A obrigatoriedade da instalação de contadores e redes inteligentes e através da criação da figura do agregador, que é mencionado na introdução da lei, a eliminação dos obstáculos à participação nos mercados da eletricidade.

Também é importante notar que, em algumas situações, não é necessário envolver o operador da RESP, e o Artigo 87º do Decreto-Lei estabelece um critério de proximidade elétrica. Estas medidas proporcionam maior segurança jurídica nas ações relacionadas ao autoconsumo.

O Decreto-Lei estabelece medidas de proteção para os autoconsumidores contra a apropriação ilícita de energia, que é um sistema fraudulento que envolve diversos riscos, tanto

materiais como imateriais. Além disso, o mesmo, prevê que qualquer pessoa singular pode tornar-se autoconsumidor, seguindo as condições no Artigo 187º e suas alíneas.

O Artigo 188º trata dos deveres dos consumidores, enquanto o artigo seguinte está relacionado com as CER. Para estas comunidades, aplicam-se, com as devidas adaptações, as regras previstas para o AAC.

A CER é uma entidade que tem como objetivo propiciar aos membros e às localidades onde opera a comunidade benefícios ambientais, económicos e sociais ao invés de lucros, como se pode observar o complexo urbanístico/cooperativo presente na figura 4. Por fim, o Artigo 191º aborda assuntos relacionados às comunidades de cidadãos para a energia.

Tem também o objetivo de oferecer alternativas viáveis para as necessidades dos particulares e, ao mesmo tempo, contribuir para alcançar a tão desejada neutralidade carbónica, como preconizado pelas instâncias comunitárias e nacionais.



Figura 4. Cidade sustentável em Abu Dhabi [Edisocialexpo, 2023]

## 2.2. Autoconsumo coletivo e comunidade de energia

Desde as primeiras décadas do século XX que começaram a surgir as primeiras cooperativas de energia, ainda antes de se considerarem energias renováveis, com o objetivo de produzir energia para pequenas comunidades locais.

Seja no período pré-industrial, seja já no século XX, não faltam casos nos quais as relações energéticas assentam na ideia de bem comum e de cooperação e através do qual uma

comunidade partilham gere e decide coletivamente acerca das estruturas de conversão energética. [Antunes, 2023]

Uma comunidade de energia é um conjunto de indivíduos, organizações ou negócios que trabalham juntos para produzir, consumir e gerir energia produzida localmente. Os membros da comunidade de energia geralmente partilham um objetivo comum de reduzir os custos de energia, aumentar a independência energética e promover práticas de energia sustentável.

Num contexto histórico e cronológico, na localidade de Prader, em Itália, no ano de 1923, seis cidadãos decidiram avançar com a construção de uma pequena hidrelétrica para produzir energia para a sua comunidade. Em Portugal, também se encontram exemplos destas cooperativas, que datam do início da eletrificação da Europa, como o caso da Cooperativa Elétrica do Vale d'Este (1930), fornecendo energia para os seus associados em oito freguesias. As cooperativas de energia introduziram assim novas formas de organização socioeconómica no sistema de fornecimento de energia. [Antunes, 2023]

As comunidades de energia podem assumir várias formas, como um grupo de famílias que partilham um sistema de painel fotovoltaico ou uma cooperativa habitacional, bairro ou condomínio que investe numa alternativa de energia limpa. Podem ser mais complexos, envolvendo várias partes interessadas, como empresas, autarquias, empresas de serviços públicos, trabalhando juntos para desenvolver e implementar uma estratégia de energia partilhada.

As comunidades energéticas incluem maior independência energética, menores custos de energia e contribuem para a redução de emissões de carbono, redução da dependência de fontes de energia tradicional e apoiar o desenvolvimento da infraestrutura de energia renovável (Fig. 5).

Além de promover práticas energéticas sustentáveis, as comunidades de energia também podem promover benefícios sociais e económicos com a criação de empregos, construir capital social e apoiar empresas locais.

A introdução de energias renováveis no autoconsumo coletivo representa uma excelente oportunidade para as comunidades assumirem o controlo do seu futuro energético e promover práticas energéticas sustentáveis.

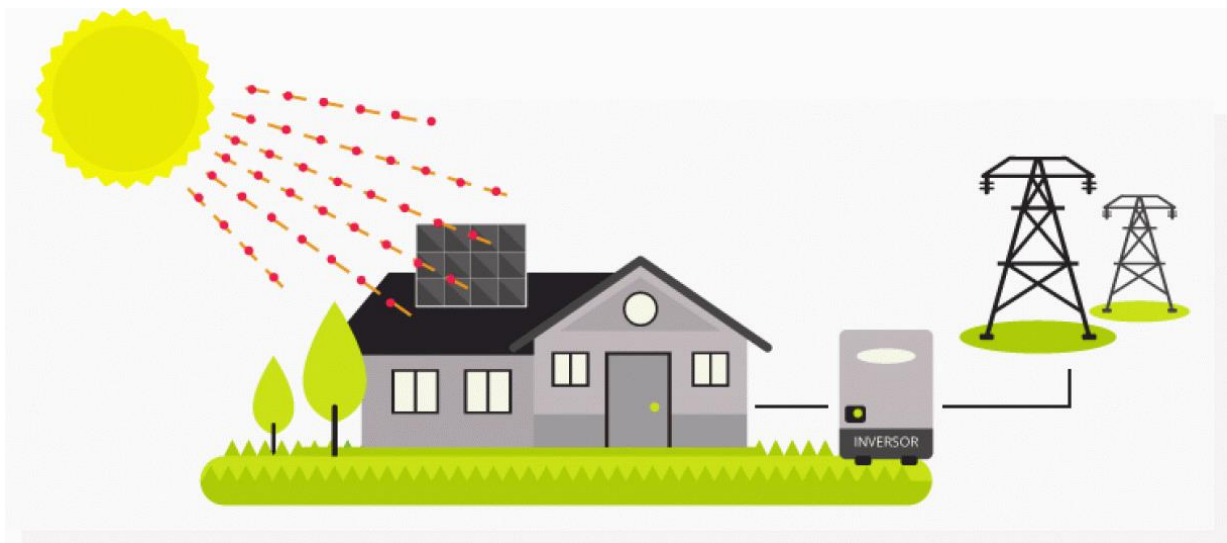


Figura 5. Processo de produção de energia fotovoltaica com injeção na rede [11noticias, 2023]

O autoconsumo coletivo contribui para a descarbonização ao promover o uso de energia renovável e reduzir a procura de energia produzida a partir de combustíveis fósseis. Quando um grupo de consumidores partilha energia de uma fonte renovável, está a reduzir coletivamente sua dependência de fontes de energia tradicionais, frequentemente associadas a altas emissões de carbono. O processo de redução ou eliminação das emissões de carbono do sistema energético nacional tem vindo a aumentar.

A introdução de fontes renováveis no autoconsumo coletivo, como fotovoltaica, eólica ou hídrica, por um grupo de consumidores que partilham entre si a energia produzida na comunidade, está a tornar-se cada vez mais competitiva em termos de custo, sendo uma opção atraente para os consumidores que procuram reduzir os custos de energia e, ao mesmo tempo, promover a sustentabilidade e a eficiência energética, pois os consumidores podem trabalhar em conjunto para otimizar o consumo de energia e reduzir o desperdício. Por exemplo, com a partilha de dados de consumo de energia, o grupo pode identificar oportunidades para reduzir o uso de energia, como desligar um equipamento não necessário ou ajustar termostatos de forma mais eficiente e diferenciada em relação à estação do ano.

O acesso dos consumidores a uma CER não pode estar sujeito a condições ou a procedimentos injustificados ou discriminatórios que impeçam a participação. A CER deve ainda admitir a saída de qualquer dos seus participantes, sob condição dos cumprimentos das obrigações a que esteja vinculado.

Tanto as CER como o ACC têm a faculdade de [ADENE, 2022]:

- a) Produzir, consumir, armazenar, comprar e vender energia renovável com os seus membros ou com terceiros;
- b) Partilhar e comercializar entre os seus membros a energia renovável produzida por UPAC ao seu serviço, com observância dos outros requisitos previstos, sem prejuízo de os membros da CER manterem os seus direitos e obrigações enquanto consumidores;
- c) Aceder a todos os mercados de energia, incluindo de serviços de sistema, tanto diretamente como através de agregação.

O modelo de autoconsumo coletivo assenta na associação de consumidores e unidades de produção próximas para partilha de energia. A Entidade Gestora do Autoconsumo (EGAC), a designar pelos respetivos membros, representa o autoconsumo coletivo perante operadores e entidades administrativas. O regulamento responsabiliza a EGAC pelo relacionamento com o operador de rede, para efeitos de gestão da partilha de energia e de disponibilização dos dados de produção, bem como pelo relacionamento com o agregador para efeitos da venda dos excedentes do autoconsumo coletivo.

No caso da partilha de energia dentro de um autoconsumo coletivo, o consumo medido no contador da instalação de utilização deixa de corresponder à energia fornecida pelo comercializador, pois terá de ser descontado da energia partilhada pelo autoconsumo. Por outro lado, se a UPAC estiver interligada com a instalação de consumo através da rede pública, há lugar à cobrança de tarifas de acesso às redes sobre o valor de energia partilhada. Essa cobrança é feita pelo operador de rede à EGAC.

O Decreto-Lei n.º 15/2022 prevê o Regulamento do Autoconsumo, a aprovar pela ERSE, abrangendo matérias como o relacionamento comercial entre as entidades intervenientes, a medição, leitura e disponibilização de dados, os modos de partilha de energia entre autoconsumidores ou a aplicação das tarifas e preços regulados.

Globalmente, o regime jurídico do autoconsumo em Portugal visa promover o desenvolvimento dos sistemas de energias renováveis e facilitar o acesso dos consumidores às energias renováveis. Fornece uma estrutura legal de apoio para os consumidores produzirem e consumirem energia renovável e promove o uso de energia renovável como meio de alcançar independência energética e sustentabilidade.

As comunidades energéticas representam uma excelente oportunidade para que as comunidades assumam o controlo de seu futuro energético, promovam práticas energéticas sustentáveis e construam um sistema energético mais resiliente e equitativo.



## 2.3 Partilha de energia no autoconsumo coletivo

O autoconsumo coletivo é um modelo de partilha de energia que permite a vários indivíduos ou entidades consumirem conjuntamente energia proveniente de uma fonte de energia renovável, como pode ser observado na figura 6.

A ideia é que o grupo de consumidores, a nível residencial ou empresarial, possa partilhar a energia produzida por um sistema fotovoltaico ou de energia eólica, e que seja maximizada a utilização dessa energia produzida para o uso próprio da comunidade.

Para facilitar a partilha de energia no autoconsumo coletivo, são definidas chaves de partilha, que podem ser estáticas (fixa) ou variáveis em função do consumo de cada participante. Cada membro da comunidade é-lhe atribuída uma chave de partilha, que define a sua parcela da energia produzida pela UPAC partilhada que lhe foi entregue.

As chaves são utilizadas para atribuir a quantidade de energia entregue a cada membro, em cada período de quinze minutos. Se a quantidade de energia entregue for superior ao consumo nesse período é gerado um excedente de energia que será entregue à rede.



Figura 6. Cooperativa/urbanização - *Multi-family Solar System*, localizado em San Diego, EUA [Hessolar, 2023]

## 2.4 Métodos de partilha de Energia

Em relação à partilha de energia no Autoconsumo Coletivo a ERSE expõe no documento do Regulamento do Autoconsumo na secção II entre os artigos 28º e 32º os diferentes métodos de partilha existentes.

Existem regras gerais da partilha que se aplicam a instalações participantes em autoconsumo, em que se aplicam um dos quatro métodos previsto no DL 15/2022, onde a EGAC é o responsável pela escolha do método como pela comunicação ao ORD dos parâmetros necessários à sua implementação.

A partilha incide sobre a energia injetada na rede, pela instalação de produção ou UPAC integrados. Com exceção dos casos de utilização de partilha dinâmica, em que ORD só aplicará a partilha de energia com essas instalações que produzem, consomem e armazenam energia, em que tenham sistema de armazenamento ou UPAC e nos períodos que não estejam a injetar na rede, ou seja, caso a produção e o consumo de energia seja superior ao necessário, o excedente não será objeto de partilha e é considerado saldo para a rede. Este processo incentiva do uso de armazenamento do excedente para uma utilização posterior ao invés da partilha, para garantir, uma gestão mais eficiente da rede.

Em relação ao excedente total do autoconsumo, o operador procede à imputação desse excedente, atendendo às regras de partilha aplicáveis. A partilha é apurada em períodos de 15 minutos, em coerência com a aplicação de saldos aos valores recolhidos nos equipamentos de medição.

O apuramento é efetuado através de equipamentos instalados nas instalações de autoconsumo que fazem um cálculo de acordo com a energia produzida e consumida, em que a diferença entre ambos, nesse período de 15 minutos, no caso de o saldo ser positivo, indica que existe mais produção que consumo, e por consequência, o excedente é injetado na rede, caso contrário, em presença de saldo negativo, a instalação pode utilizar o excedente para suprir as suas necessidades.

Caso os consumidores de AC, concordem com o novo modelo de partilha, aquando a comunicação da EGAC, o operador da rede, será responsável pela aplicação da mudança na faturação, a partir do próximo período de faturação. Esta medida garante que haja transparência e eficiência na partilha de energia entre os consumidores de autoconsumo, de forma a não prejudicar os envolvidos.



A partilha entre instalações é realizada seguindo as regras da partilha de energia no autoconsumo coletivo, presente no artigo 28.º, mas no caso de omissão ou invalidade, o ORD aplica os coeficientes proporcionais.

Como já foi referido, existem quatro modelos de partilha:

- **Partilha com coeficiente fixo** – estabelecida uma comunicação entre EGAC e ORD, a informar todos os coeficientes fixos de cada instalação participante, pelo meio de uma plataforma eletrónica estabelecida na legislação.
- **Partilha com coeficientes proporcionais ao consumo** – a partilha é feita pelas instalações participantes, de acordo com coeficientes proporcionais ao consumo medido nas IC e nas IPr e à injeção medida nas IA, em períodos de 15 minutos, cabendo à ORD a sua determinação.
- **Partilha Hierárquica** – a partilha obedece a uma estrutura hierárquica de grupo de instalações de consumo, produção e armazenamento, em que é definido o modo de partilha entre eles. A EGAC pode escolher o modo de partilha de coeficiente fixo ou proporcional ao consumo, onde os excedentes são compartilhados entre os elementos.
- **Partilha Dinâmica** – A EGAC comunica ao ORD os coeficientes de partilha entre as instalações. O ORD valida e permite correções e até este ser feito, realiza a partilha de energia provisoriamente com coeficientes proporcionais ao consumo. Caso a EGAC não comunique corretamente os dados, o ORD realiza a partilha definitiva com bases nesses coeficientes.



Figura 7. Smart City Fujisawa SST da Panasonic [Welt, 2023] Fonte: <https://welt.de/>



## Capítulo 3 – Caracterização do estudo de caso

Neste capítulo, é apresentado o estudo de caso que serve de base ao tema desta dissertação, que tem como objetivo, dimensionar a potência adequada a instalar numa UPAC num campus universitário para produção de eletricidade a partir de energia renovável fotovoltaica para autoconsumo coletivo. Pólo Universitário em estudo, o Pólo 2 da UC (Fig.8), que tem seis edifícios alimentados em MT e em quatro deles já existe uma UPAC para autoconsumo.

Os dados usados para o estudo são dados de diagramas de carga anuais de compra de energia entregue aos seis edifícios pela rede pública e referentes ao ano de 2022. Além disso, é usado um perfil de produção anual, registado em 2022, de uma UPAC instalada num dos edifícios do Polo 2 para usar como referência para simular a produção de uma UPAC a instalar no Polo para partilhar a sua produção em regime de autoconsumo coletivo.



Figura 8. Campus do Polo 2 da Universidade de Coimbra – [Google Earth Pro]

### 3.1 Caracterização do consumo dos edifícios envolvidos

Fazem parte deste estudo de caso, os edifícios pertencentes ao Polo 2 da Universidade de Coimbra: DEEC, DEI, DEQ, DEC, DEM e DCT-UCP, tendo quatro deles uma UPAC instalada para autoconsumo (DEEC, DEI, DEC e DEQ) e os edifícios do DEM e do DCT-UCP, têm em cada um uma unidade de produção para venda total. A tabela 1, apresenta os valores de potência média e máxima dos diagramas de carga da energia fornecida pela rede para cada edifício. Através do valor da potência média pode-se constatar que estes edifícios apresentam necessidades de energia relativamente semelhantes, com excesso do edifício do DCT-UCP que é o que apresenta menores valores de consumo.

Tabela 1. Potência média e potência máxima por edifício em estudo e campus referente a intervalos de 15 minutos durante o ano de 2022

	Potência Média [kW]	Potência Máxima [kW]
<b>DEEC</b>	54,0	139,0
<b>DEI</b>	49,3	104,0
<b>DEQ</b>	44,0	100,0
<b>DEC</b>	47,0	144,0
<b>DEM</b>	46,8	110,0
<b>DCT-UCP</b>	32,6	79,0
<b>Polo 2</b>	273,7	676,0

O gráfico da figura 9 faz uma representação dos valores da tabela 1, ou seja, das potências média e máxima por departamento de forma mais perceptível em valores absolutos.

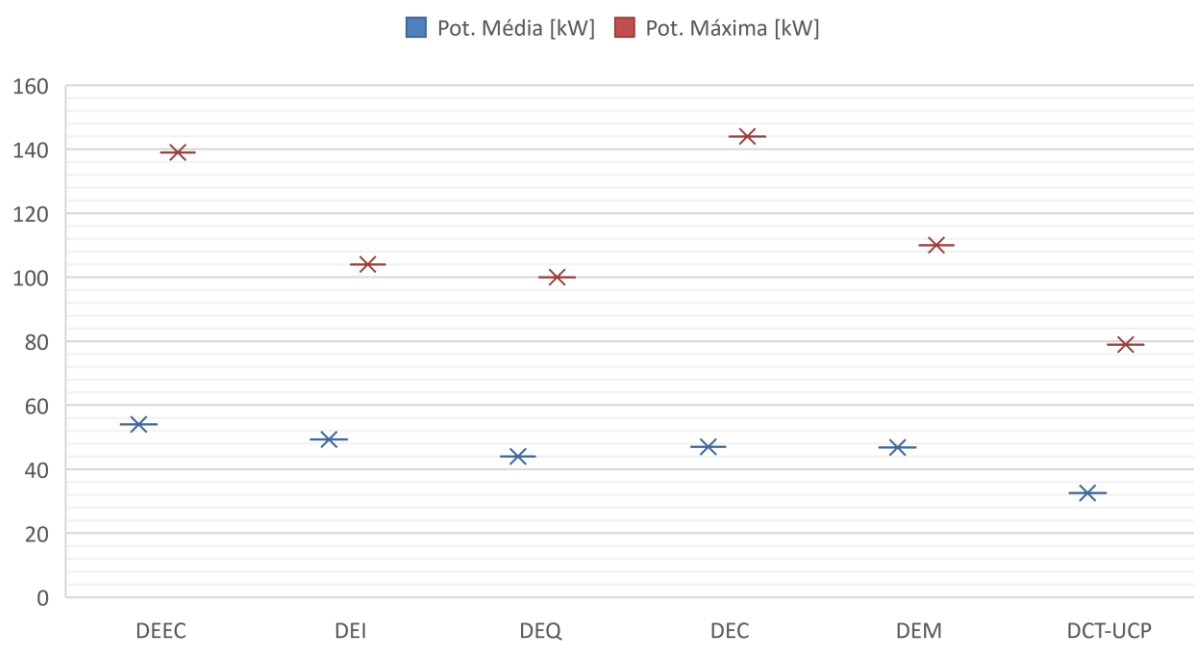


Figura 9. Gráfico representativo de potência média e potência máxima por edifício do Polo 2 da UC

A análise da sazonalidade no consumo dos edifícios é importante para perceber as variações entre produção e consumo. O diagrama de carga global do polo 2 (Fig.10) para o ano de 2022 apresenta uma potência máxima, registada na semana 11, com um valor de 674kW e uma potência média de 258kW.

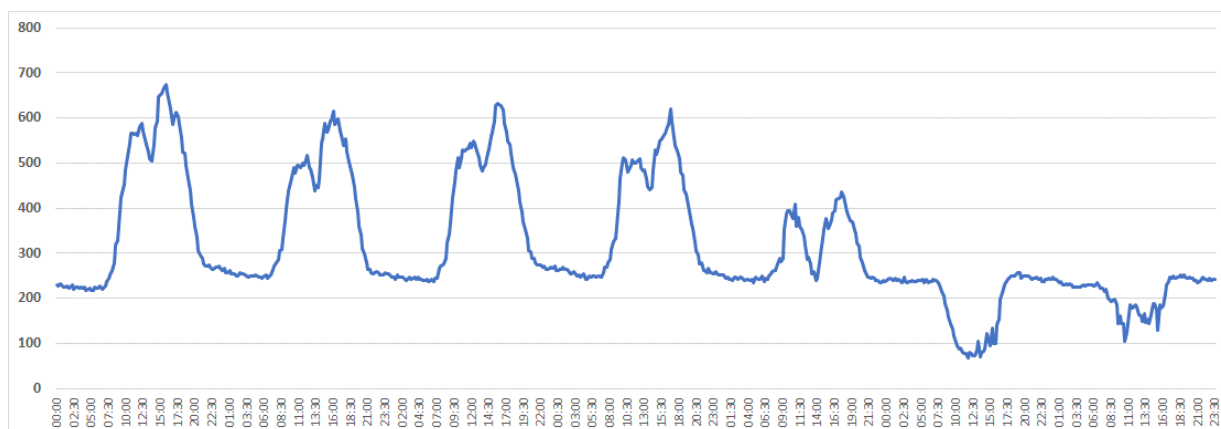


Figura 10. Diagrama semanal da semana 11 (14 a 20 de março) onde foi registada a potência máxima da compra de energia para o polo 2

Os meses com consumo de energia mais elevado são os meses de inverno, devido ao consumo de energia usado para climatização dos espaços e para equipamentos de iluminação, visto os dias serem mais curtos e a quantidade de luz natural ser muito mais reduzida, enquanto que nos meses de verão acontece precisamente o oposto. No entanto, em edifícios com sistemas de climatização para arrefecimento já apresentam valores de consumo também significativos nos meses de verão, sobretudo no mês de julho, como é o caso do edifício do DCT-UCP.

O campus Polo 2 da UC no ano de 2022 teve a necessidade de efetuar a compra de energia elétrica à rede no valor de 2250MWh para consumo como pode ser observado na tabela 2., onde constam os consumos mensais e totais por departamento.

Tabela 2. Dados de consumo por departamento no ano de 2022 no Polo 2 da UC em kWh

	DTC-UCP	DEC	DEEC	DEI	DEM	DEQ	Total
<b>Jan</b>	23 265	34 774	43 591	36 050	32 247	31 011	<b>200 937</b>
<b>Fev</b>	22 740	38 458	38 188	33 476	33 839	31 154	<b>197 855</b>
<b>Mar</b>	26 206	41 204	42 208	41 553	37 886	32 249	<b>221 306</b>
<b>Abr</b>	23 054	30 122	32 104	30 848	33 506	26 457	<b>176 089</b>
<b>Mai</b>	25 364	27 206	29 530	30 097	34 803	26 448	<b>173 446</b>
<b>Jun</b>	26 433	24 374	29 471	30 289	34 514	25 947	<b>171 027</b>
<b>Jul</b>	38 687	27 943	30 737	29 580	39 947	26 901	<b>193 794</b>
<b>Ago</b>	27 271	33 990	22 590	23 453	24 545	17 323	<b>149 172</b>
<b>Set</b>	28 822	29 921	30 142	29 797	29 171	23 636	<b>171 488</b>
<b>Out</b>	28 698	33 045	33 056	34 156	31 618	26 076	<b>186 647</b>
<b>Nov</b>	25 123	37 626	39 167	40 000	32 111	30 945	<b>204 972</b>
<b>Dez</b>	22 863	40 139	42 740	42 961	29 705	30 413	<b>208 821</b>
<b>Total</b>	<b>318 524</b>	<b>398 800</b>	<b>413 522</b>	<b>402 260</b>	<b>393 890</b>	<b>328 557</b>	<b>2 255 553</b>



Na figura 11 pode ser observado a repartição de consumo pelos edifícios do campus em estudo através dos dados da tabela 2.

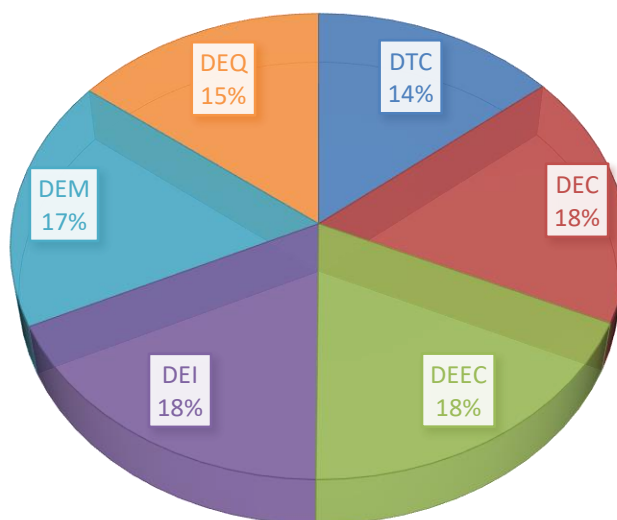


Figura 11. Gráfico representativo do consumo no ano de 2022 por departamento do campus do Polo 2 da UC

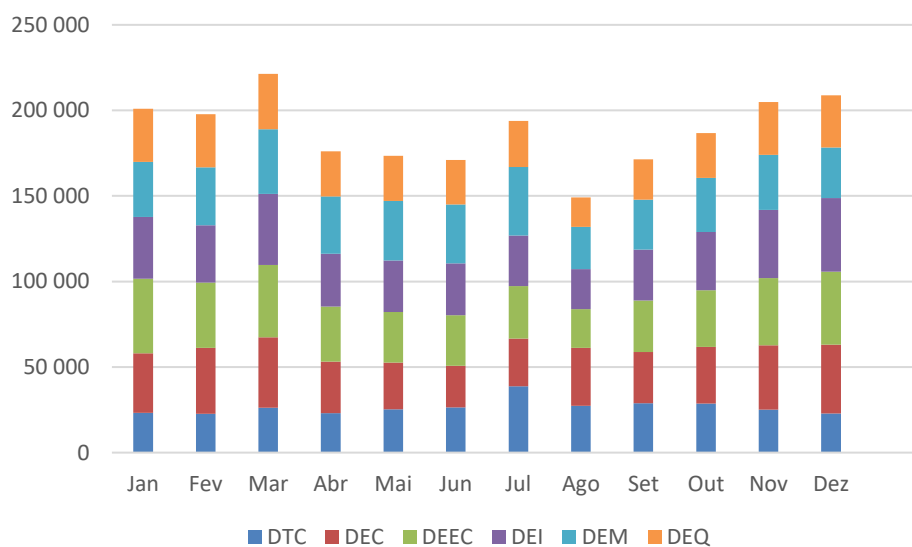


Figura 12. Gráfico representativo da repartição de consumos em kWh nos edifícios em estudo

São apresentados os diagramas semanais de carga, da figura 13 à figura 21, usando uma semana representativa, dos meses de abril, julho, outubro e dezembro de 2022. Dezembro por ser mês de Inverno com maior consumo de energia e com menor produção. Abril, outubro por serem meses de meia estação e julho por ser um mês de verão, mais gerador de produção excedentária por ser um mês de maior produção e com consumo moderado. Nas semanas

escolhidas teve-se em conta a não existência de feriados ou períodos de férias ou qualquer interrupção, tornando a análise mais representativa.

Foram escolhidas para o estudo semanas de segunda-feira a domingo, sem feriados ou pausas letivas, para que os diagramas fossem o mais representativo possível dos respetivos meses.

Podemos observar (Fig.13 e Fig. 14) que na semana 16, entre os dias 18 e 24 de abril de 2022 os consumos apresentam perfis com uma característica relativamente semelhante entre os dias úteis (de segunda-feira a sexta-feira) e entre os dias de fim de semana (sábado e domingo). Pode também ser observado o efeito da produção para autoconsumo em especial ao fim de semana, durante o fim de semana com diversos períodos com compra nula à rede, nos edifícios DEC, DEI, DEEC e DEQ.

Tabela 3. Tabela de potência instalada nas UPAC e UP existentes por edifício do campus

<b>Produção para Autoconsumo (UPAC)</b>	
<b>Edifício</b>	<b>Potência Instalada [kW]</b>
DEC	100
DEEC	70
DEQ	50
DEI	60
<b>Total</b>	<b>280</b>

<b>Produtores para venda à rede (UP)</b>	
<b>Edifício</b>	<b>Potência Instalada [kW]</b>
DEM	100
DCT-UCP	50
<b>Total</b>	<b>150</b>

É também possível perceber que os departamentos (DCT-UCP) e (DEM) que não usam a produção descentralizada para autoconsumo apresentam perfis mais relacionados com o regime de funcionamento do edifício, ou seja, o consumo segue os períodos de utilização das instalações.

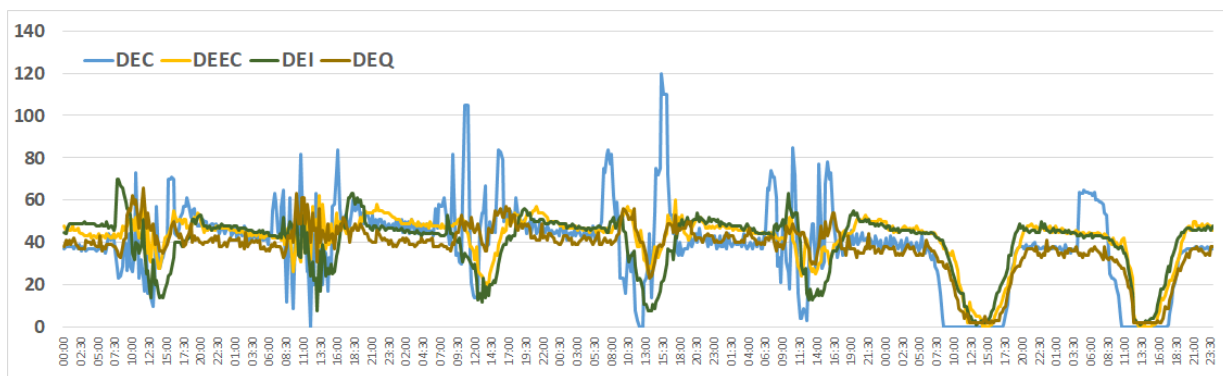


Figura 13. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 16 do mês de abril para os edifícios pertencentes à UPAC

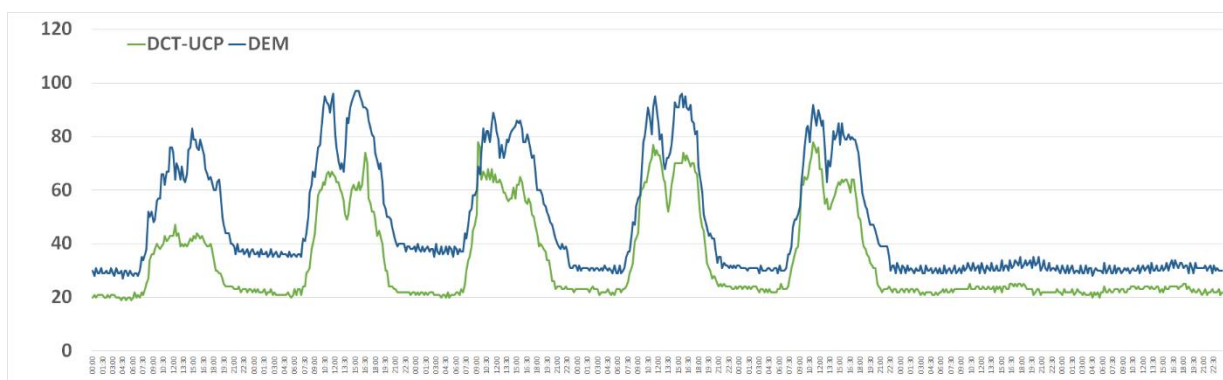


Figura 14. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 16 do mês de abril para os edifícios pertencentes à UPAC

No gráfico da figura 15 e 16, apresenta-se o diagrama de cargas da semana 29 entre os dias 18 e 24 de julho de 2022. Verifica-se que o DCT-UCP, além de não ter produção para autoconsumo, tem um consumo mais acentuado, visto usar sistema de climatização para arrefecimento com maior impacto no consumo do que os restantes edifícios, que têm menos áreas climatizadas com arrefecimento, quando comparado com este edifício.

Nos restantes edifícios, constata-se um consumo mais reduzidos devido à produção para autoconsumo e também menor consumo por terem poucas áreas climatizadas com arrefecimento. Ao fim de semana são notórios os valores nulos de compra de eletricidade com exceção dos edifícios da DCT-UCP e DEM, que não possuem instalação de produção para autoconsumo.



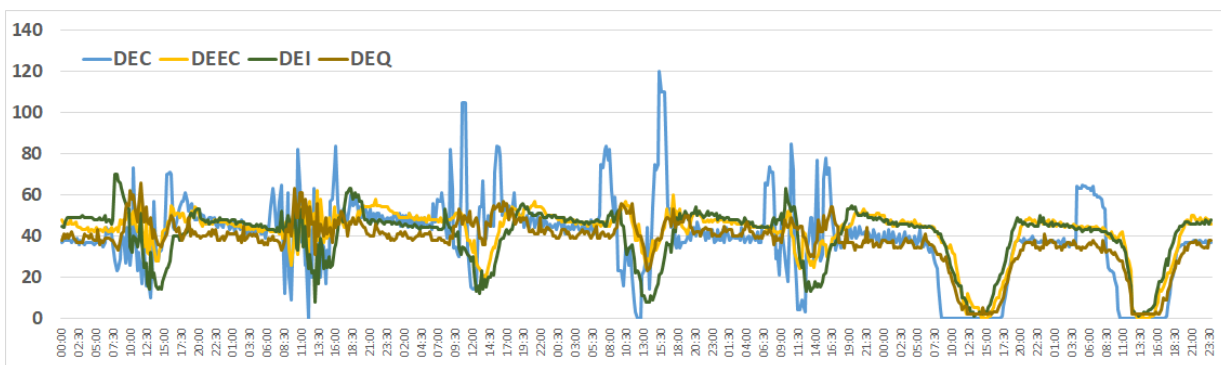


Figura 15. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 29 do mês de julho para os edifícios pertencentes à UPAC

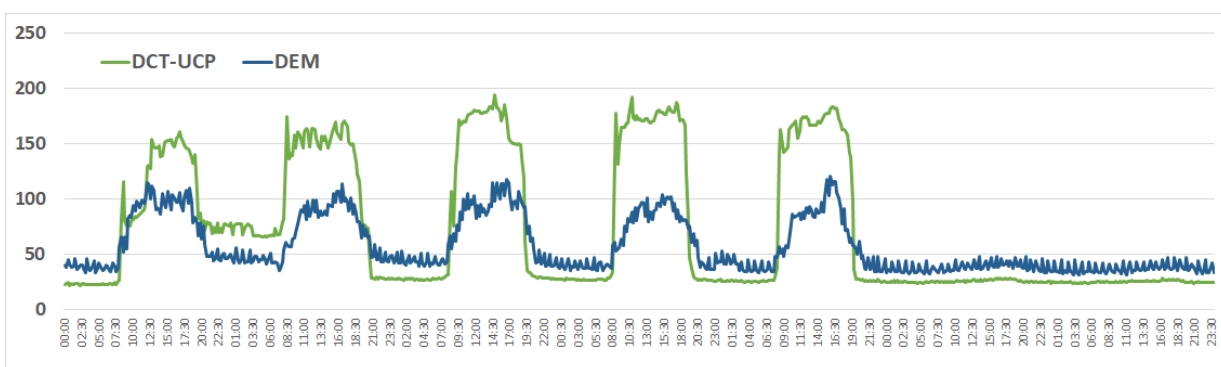


Figura 16. Gráfico do diagrama de carga referente à semana 29 do mês de julho para os edifícios sem UPAC

No gráfico da figura 17 e 18, pertencente à semana 42 entre 17 e 23 de outubro de 2022, em que podemos verificar mais uma vez a diferença nos edifícios com produção e sem produção para autoconsumo, mantendo o mesmo registo com os anteriores diagramas de carga.

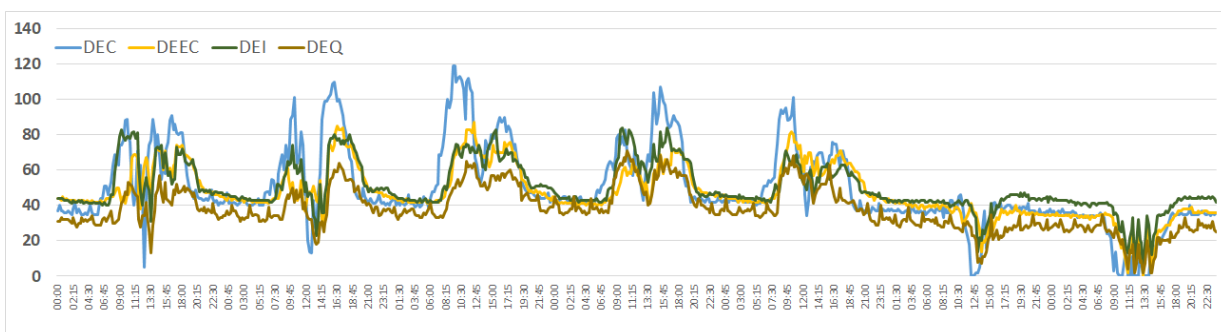


Figura 17. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 42 do mês de outubro para os edifícios pertencentes à UPAC

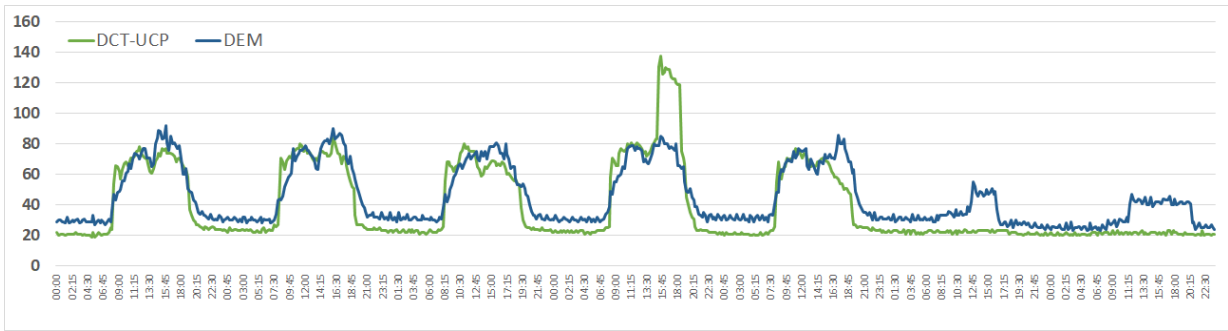


Figura 18. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 42 do mês de outubro para os edifícios pertencentes à UPAC

A figura 19 e 20, os diagramas de carga representados pertencem à semana de ao intervalo de dias 19 a 25 de dezembro de 2022, da semana 51, com consumos bem mais elevados pelo que já foi explicado anteriormente e seguindo o mesmo padrão. Como existe mais consumo e menor produção, os diagramas de carga tendem a comportar-se de forma semelhante em consumos por todos os edifícios.

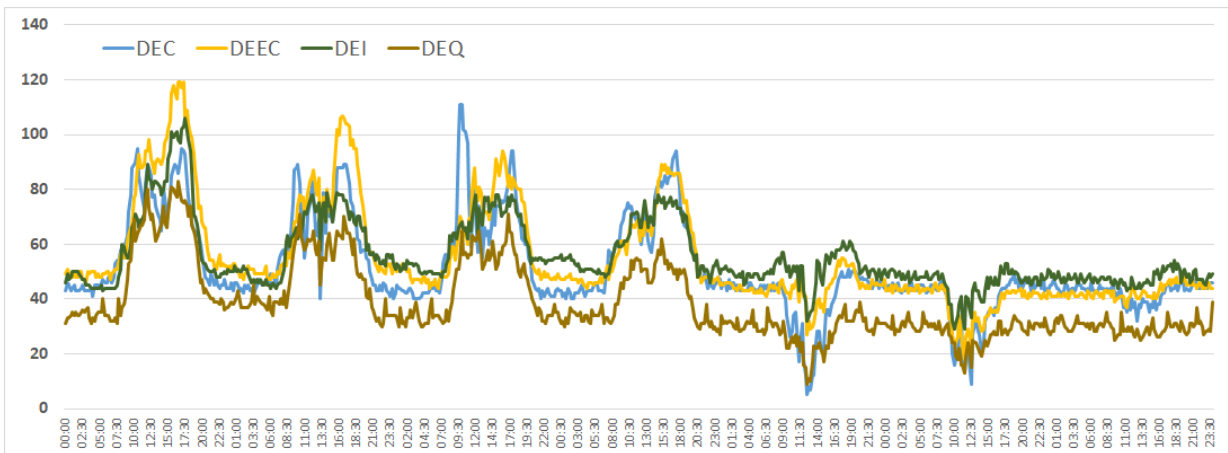


Figura 19. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 51 do mês de dezembro para os edifícios pertencentes à UPAC

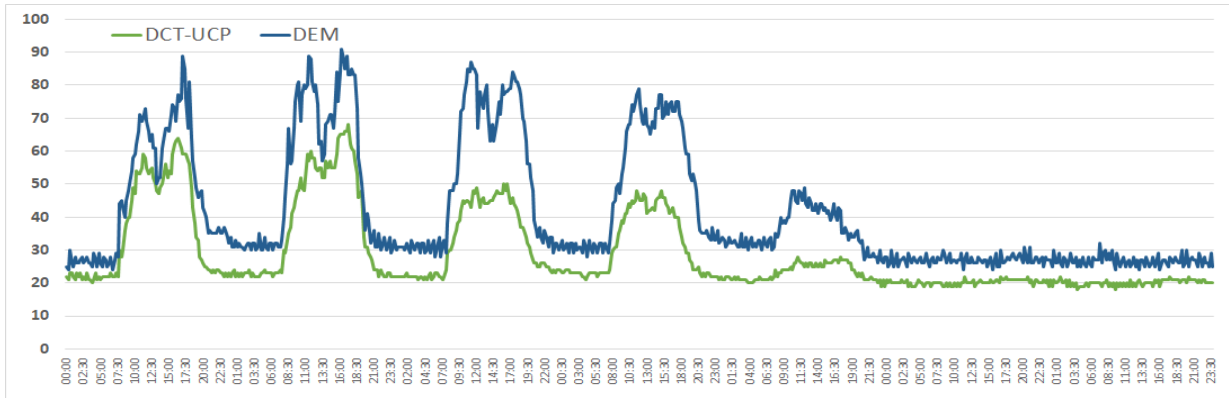


Figura 20. Gráfico do diagrama de carga referente ao à semana 51 do mês de dezembro para os edifícios pertencentes à UPAC

A figura 21 pretende mostrar a sazonalidade dos consumos do polo 2 (compra de energia à rede) através de representação dos diagramas de cargas semanais globais do polo, referentes às semanas em estudo. É de notar que a sexta-feira da semana de dezembro apresenta valores fora do comum, visto ter sido dia 23 de dezembro (tolerância de ponto).

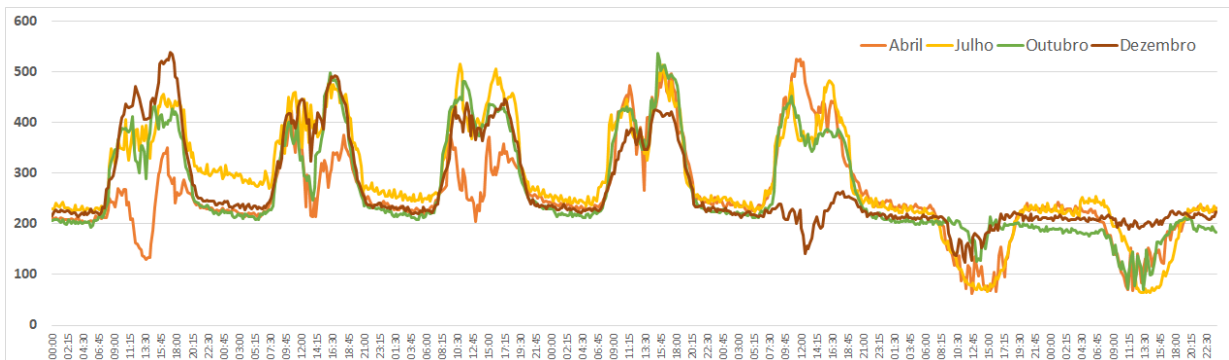


Figura 21. Gráfico dos diagramas de carga do agregado do Polo para cada uma das semanas anteriormente apresentadas



## 4. Simulação e análise de resultados

Neste capítulo, procede-se à análise dos resultados de simulação, para diferentes cenários de capacidade instalada na UPAC para autoconsumo coletivo, referentes aos meses de abril, julho, outubro e dezembro, para diferentes valores de potência instalada numa UPAC para autoconsumo coletivo no polo. Estes meses foram escolhidos para análise dos resultados por serem meses que cobrem os aspetos relativos à variação sazonal do consumo e da produção fotovoltaica ao longo do ano (primavera, verão, outono e inverno).

Os indicadores calculados nas simulações feitas foram: autossuficiência energética do polo universitário conseguida com a produção adicional para autoconsumo coletivo; energia aproveitada para autoconsumo resultante de produção, e energia excedentária injetada na rede.

Foram feitas simulações para diferentes valores de potência a instalar na UPAC para autoconsumo coletivo na gama entre 100 kWp a 500 kWp, usando incrementos de potência de 10 e 10kWp. Os indicadores indicados são calculados para cada valor de potência a instalar. A análise dos valores dos indicadores permite avaliar o impacto da produção nas necessidades de consumo do polo universitário e dar informação útil para a tomada de decisão na escolha do valor mais adequado da potência a instalar.

Na figura 11, apresenta-se o gráfico com a evolução de indicadores anuais, em função da potência instalada, dos valores em percentagem da autonomia na satisfação do consumo, dos valores em percentagem da energia produzida aproveitada para autoconsumo e da energia excedentária que é injetada na rede.

Se pretendermos que o valor de energia injetada na rede fique no intervalo entre os 15% a 20%, deveria ser instalada um valor de potência situado entre os 350 a 450kWp. Para 350kWp corresponde uma percentagem de energia injetada de 15% e para 450kWp um valor de percentagem de 20%, tendo como referência o valor da produção total da UPAC a instalar. Mas se fizermos a análise mensal veremos, sobretudo em meses de maior produção, que esses valores são atingidos com potência instaladas mais baixas, como se pode ver nos gráficos das figuras seguintes.

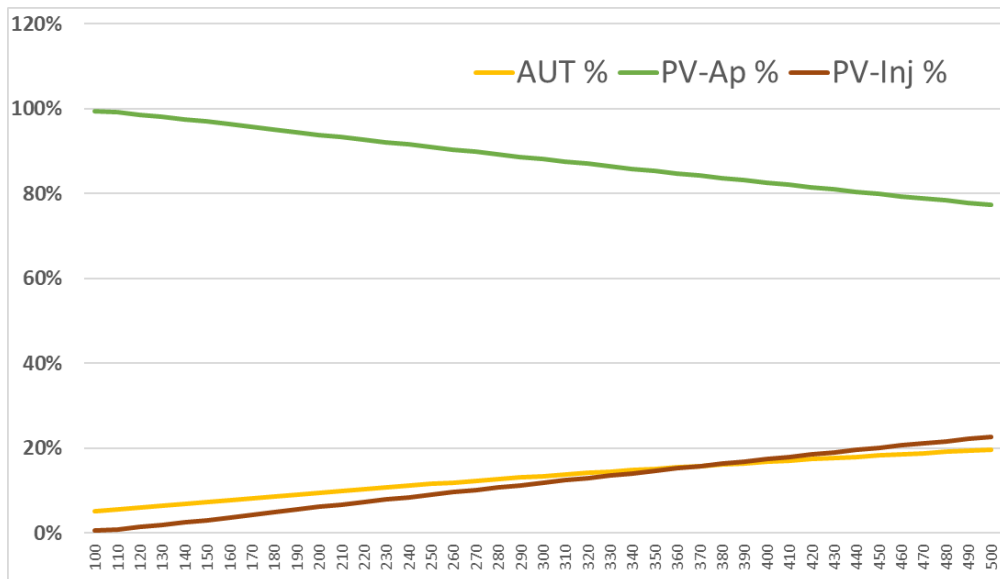


Figura 22. Gráfico representativo em porcentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (global do ano de 2022)

Tabela 4. Potência injetada na rede nos meses de abril e julho entre três valores de potência a instalar

	Abril	Julho
kWp	PV-Inj %	PV-Inj %
200	13%	8%
300	20%	14%
400	27%	19%

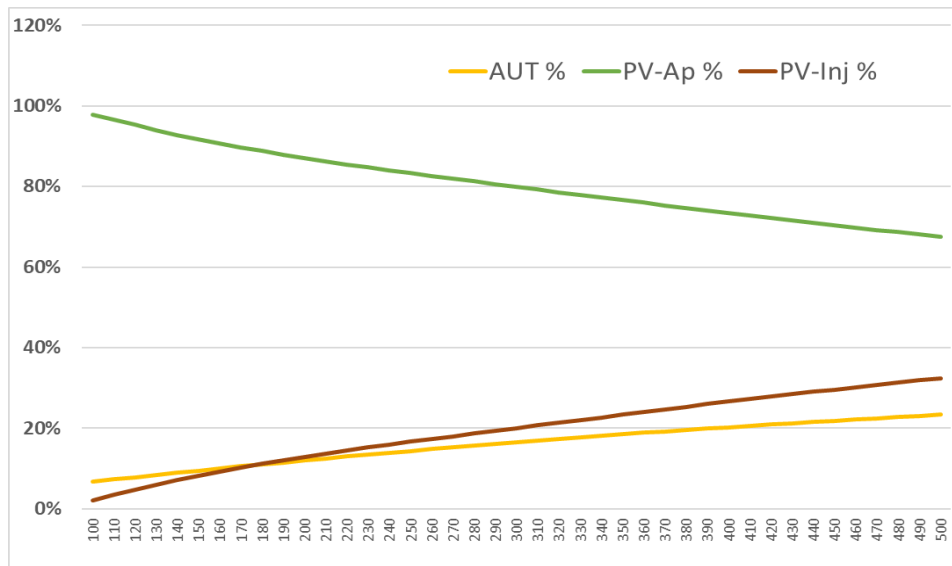


Figura 23. Gráfico representativo em porcentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada no mês de abril

Na figura 23, observa-se que a injeção de energia atinge valores de 20% com uma potência instalada de cerca de 300 kWp, ou seja, para valores superiores de potência instalada a 300kWp menos de 80% da energia elétrica produzida é aproveitada para autoconsumo, de forma a reduzir a compra de energia à rede em cerca de 18%, contribuindo para diminuição de custos e para a redução de CO2 na produção centralizada. Para 350kWp corresponde uma porcentagem de energia injetada de 23% e para 450kWp um valor percentual de 30%.

No gráfico seguinte, da figura 24, observa-se os resultados relativos ao mês de julho, um mês de elevada produção devido às condições ótimas de produção fotovoltaica. A autossuficiência conseguida pela produção é maior, conduzindo ao menor gasto de energia proveniente da rede.

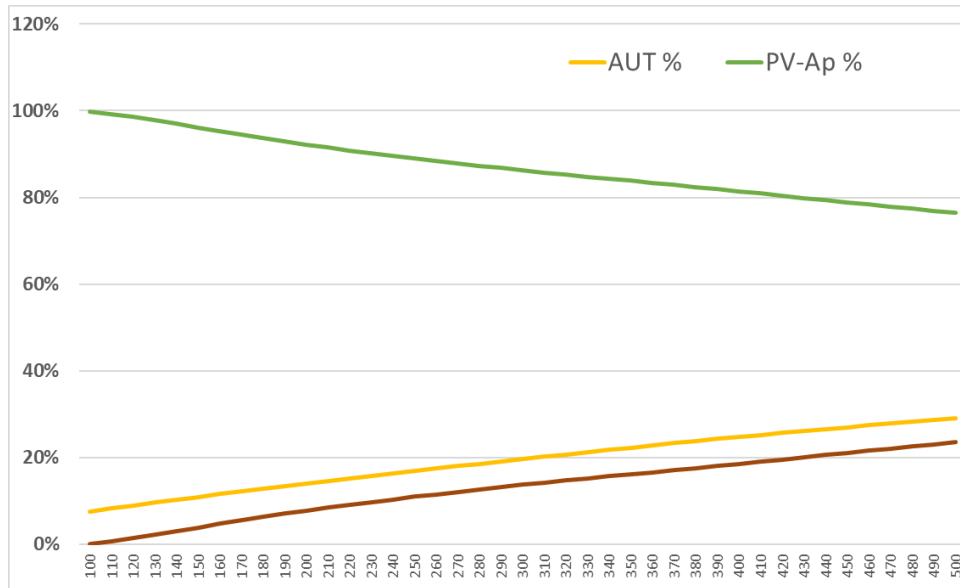


Figura 24. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (mês de julho)

A seguinte figura 25, apresenta os resultados da simulação relativos ao mês de outubro a tal como abril, mas consegue-se concluir que existe menos produção e como resultado é menor a energia injetada na rede.

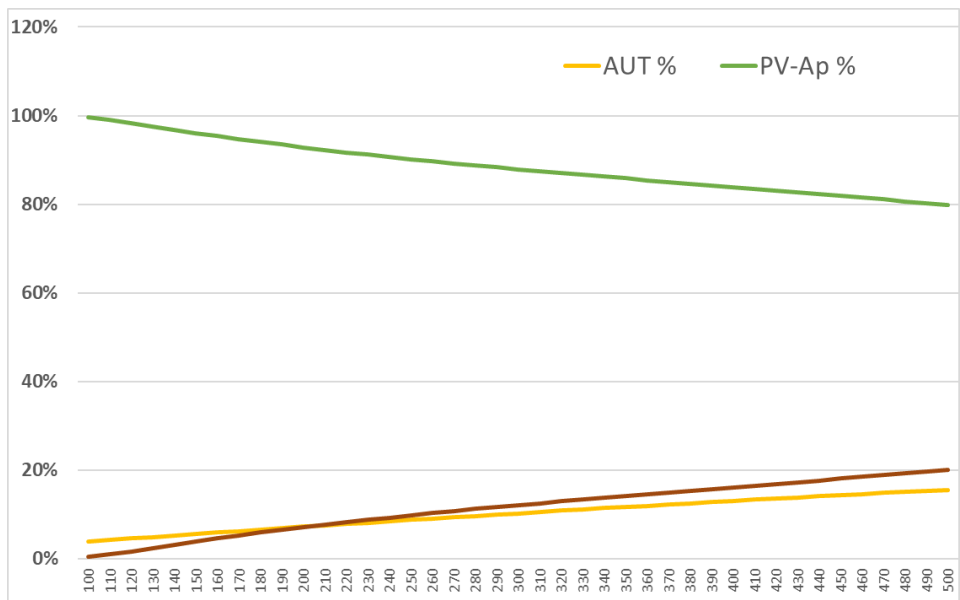


Figura 25. Gráfico representativo em percentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (mês de outubro)



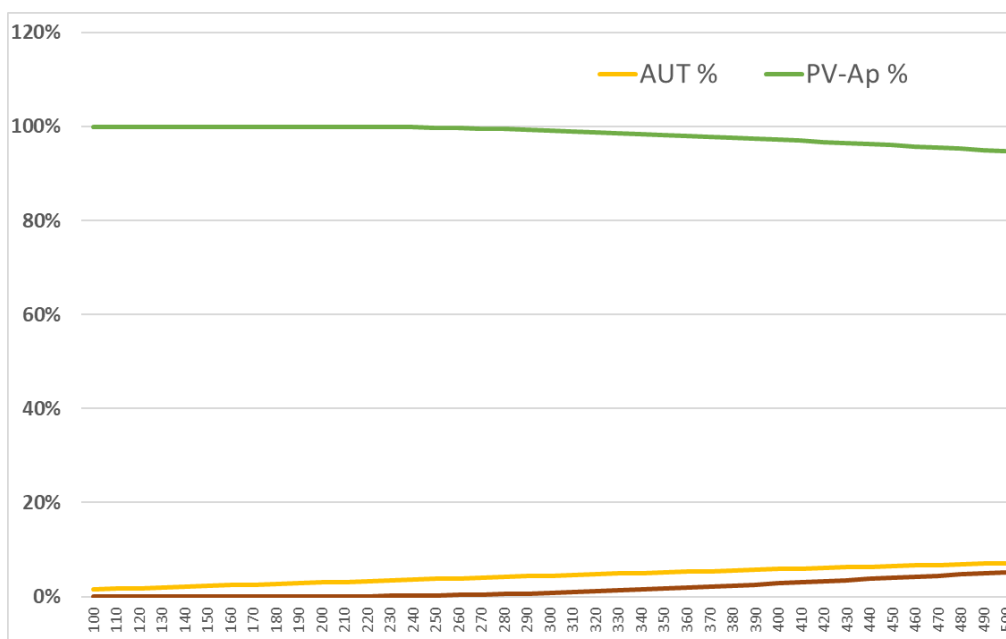


Figura 26. Gráfico representativo em porcentagem da autonomia energética, da energia aproveitada e da energia injetada (mês de dezembro)

Por fim, apresenta-se o gráfico referente ao mês de dezembro, da figura 26, em que os excedentes de energia injetados na rede são muito reduzidos, em resultado da menor produção fotovoltaica, conjugado com consumos nos edifícios mais elevados, levando a que a produção seja na quase totalidade aproveitada para autoconsumo. O valor da autossuficiência energética para o polo conseguida com a instalação da nova UPAC é também muito reduzida.

Apresentam-se nas figuras seguintes os gráficos semanais do agregado do polo para os meses de abril e julho para perceber a evolução crescente dos valores de energia injetados na rede, numa gama de potência a instalar de 200, 300 e 400kWp.

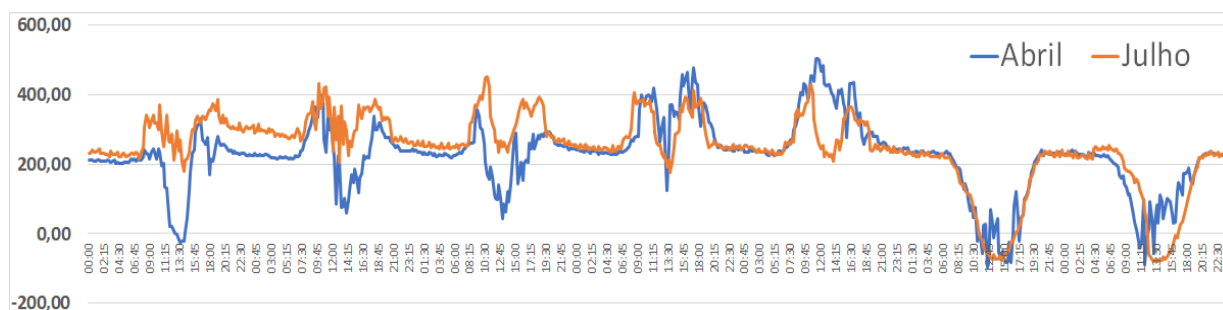


Figura 27. Gráfico comparativo de semana representativa do mês de abril e julho para uma potencia a instalar de 200kW



Figura 28. Gráfico comparativo de semana representativa do mês de abril e julho para uma potencia a instalar de 300kW

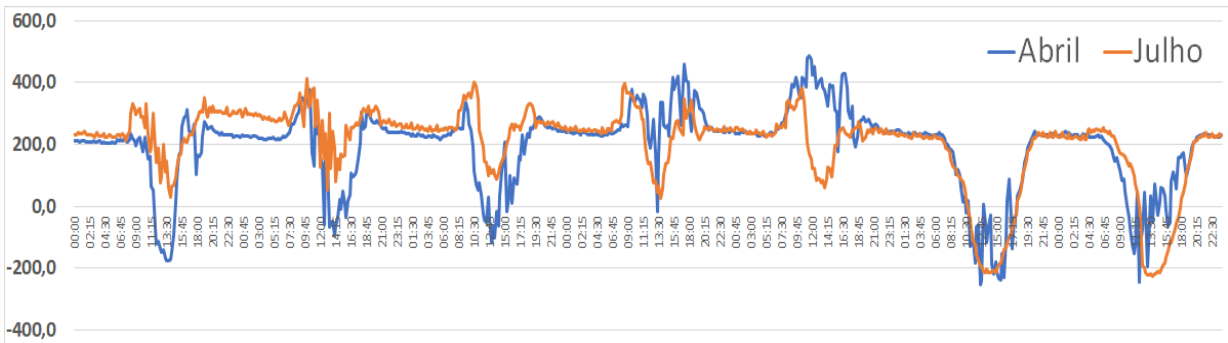


Figura 29. Gráfico comparativo de semana representativa do mês de abril e julho para uma potencia a instalar de 400kW

## 5. Conclusão

A transição energética, que já está em curso, está a implicar a substituição das fontes fósseis para produção de energia elétrica por fontes renováveis e a descentralização da produção traz algumas vantagens para a introdução de renováveis no mix de produção, mas também traz desafios importantes para a gestão das redes. A partilha de produção de UPAC por consumidores que se encontrem nas proximidades pode minimizar os problemas para as redes com a introdução de produção descentralizada a partir de fontes renováveis de energia. Nomeadamente, não aumentar os fluxos de energia na rede, procurar que estes sejam o mais reduzidos possível e sobretudo que os fluxos de potência invertidos, no sentido da carga para montante, não assumam valores elevados nas redes de distribuição, visto que as redes ao nível da distribuição não estão preparadas para isso para suportar fluxos de energia nesse sentido.

Para que haja uma boa distribuição de excedentes das UPAC é necessário um dimensionamento adequado de potência a instalar tendo em conta os consumos dos participantes e os seus perfis de consumo para evitar excesso de energia elevados que provocam impacto nas redes de distribuição com a injeção de energia excedentária.

Com este trabalho de dimensionamento de uma UPAC a instalar no Polo 2 da Universidade de Coimbra, procurou-se que os valores de energia injetado não fossem muito elevados, de preferência não ultrapassassem os 15% a 20% da produção e para isso foram usados os perfis de consumo, dos edifícios do polo servidos pela rede pública de energia para referentes ao ano de 2022.

Usando os dados dos meses em estudo conclui-se que não é razoável conseguir obter para o campus uma autonomia superior a 17%. Para obter este nível de autonomia, a potência total a instalar na UPAC teria de ser cerca de 400kWp, o que geraria de excedente a entregar à rede de cerca de 17% do valor anual de produção. No entanto, para o mês de abril os excedentes de energia gerados utilizando esta potência instalada atingiria os 27%.

A dificuldade em conseguir grandes valores de autonomia está relacionada com a dificuldade de fazer o encontro dos perfis de produção na UPAC com os perfis de consumo associados aos edifícios envolvidos. Neste caso as coisas tornam-se ainda mais difíceis visto que em quatro dos edifícios já existe uma UPAC para autoconsumo que já satisfazem uma parte do consumo nas horas de produção solar fotovoltaica.

Uma solução que permitiria aumentar a autonomia com produção fotovoltaica seria a instalação de um sistema de armazenamento próprio de energia, o que ainda não apresenta viabilidade económica, visto à baixa utilização que teria principalmente nos meses de inverno onde não há

injeção. Outra seria envolver outras instalações consumidoras com perfis de consumo complementares, sobretudo com consumos significativos ao fim-de-semana, que existissem nas proximidades, distância inferior a 4km, como é o caso de um centro comercial existente nesse raio de proximidade.

## Bibliografia

- [ADENE, 2022] [República Portuguesa, ADENE – Agência para a Energia, DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia, “*Autoconsumo e Comunidade de Energia renovável – Manual Digital – Guia Legislativo*”, outubro de 2022];
- [Antunes, 2023] [ANTUNES, Ana Rita, “*Comunidades de Energia Renovável – As comunidades de Energia e o Empoderamento dos Cidadãos*”, UMinho Editora, Braga 2023];
- [Decreto Lei 85/2019] [Diário da República, 2019] *Decreto Lei no 85/2019 de 1 de julho da Presidência do Conselho de Ministros*. Diário da República: 1ª série, N°123 (2019). Disponível em [www.dre.pt](http://www.dre.pt).
- [Decreto Lei 15/2022] [Diário da República, 2022] *Decreto Lei no 15/2022 de 14 de janeiro da Presidência do Conselho de Ministros*. Diário da República: 1ª série, N°10 (2022). Disponível em [www.dre.pt](http://www.dre.pt).
- [DGEG, 2023] Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050) ([dgeg.gov.pt](http://dgeg.gov.pt))
- [Edisocialexpo, 2023] ”Sustainable City” Edisocialexpo Emirates 2023 newsletter
- [Google Earth Pro] Imagem ilustrativa do Polo 2 da Universidade de Coimbra, Google Earth Pro 2023
- [Hessolar, 2023] [hessolar.com](http://hessolar.com)
- [Monteiro, 2015] [MONTEIRO, Nicholas Caldeira, “Vantagens da Instalação de Painéis Solares de Tubos de Vácuo”, 2015] – Vantagens da Instalação de Painéis Solares de Tubos de Vácuo - PDF Free Download ([docplayer.com.br](http://docplayer.com.br))
- [Observatório da Energia, 2022 ] [Observatório da Energia, DGEG – Direção geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística, ADENE – Agência para a Energia, Direção de Formação, Informação e Educação, “Energia em Números”, junho 2022] <https://www.dgeg.gov.pt/media/zuffmfm4/dgeg-aen-2022e.pdf>
- [PNEC 2030] [República Portuguesa, 2019] República Portuguesa, “*Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030*”, dezembro de 2019; PNEC-2030-Plano-Nacional-Energia-e-Clima.pdf ([bcsdportugal.org](http://bcsdportugal.org))

[Poupa energia, 2023] [Poupaenergia.pt/energia-verde](http://Poupaenergia.pt/energia-verde) – Comunidades de Energia renovável – Autoconsumo coletivo

[RCM 107/2019] [Diário da República, 2019] *Decreto Lei nº 162/2019 de 25 de outubro da Presidência do Conselho de Ministros*. Diário da República: 1ª série, N°206 (2019). Disponível em [www.dre.pt](http://www.dre.pt).

[World Data, 2023] Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)- <https://www.energyinst.org/statistical-review/>

[Welt, 2023] <https://welt.de/>

[11noticias, 2023] <https://11noticias.com>