

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Autoconsumo de Eletricidade Solar em Edifícios Residenciais**

Inês Isabel Nunes Almeida

Trabalho realizado sob a supervisão de  
Orientador: Professor Doutor Miguel Centeno Brito (FCUL)

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente**

**Dissertação**

2015

## Resumo

Esta dissertação foca-se no autoconsumo doméstico à luz do novo Decreto-lei n.º 153/2014 de 20 de outubro de 2014 que regula as políticas de autoconsumo em Portugal.

O mesmo Decreto-Lei expõe que a potência instalada do módulo fotovoltaico deverá ser encontro às necessidades de consumo da habitação em causa. No entanto, necessidades de consumo essas, que são variáveis ao longo do dia, o que resultam num excedente de produção acentuado, caso não se subdimensione a instalação. Nesse sentido, para uma habitação em particular, analisa-se com base no presente Decreto-Lei, qual a potência a instalar de acordo as necessidades efetivas de consumo da habitação e posteriormente apresenta-se duas potenciais soluções. Ambas com o intuito de potenciar o autoconsumo da energia gerada pelo módulo de forma evitar o excedente produzido.

A primeira incide sobre a agregação de habitações de um bairro. A segunda solução incide no acoplamento de uma bateria ao sistema fotovoltaico

De acordo com os resultados, verifica-se que o excedente produzido médio no contexto de autoconsumo agregado é quatro vezes inferior ao excedente produzido em contexto de autoconsumo individual, para a mesma habitação. Verifica-se também que ao acoplar-se uma bateria ao sistema fotovoltaico, autoconsome-se entre 90% a 100% da geração fotovoltaica.

**Palavras-Chave:** Autoconsumo doméstico; agregação de habitações; acoplamento de uma bateria.

## Abstract

This dissertation focuses on domestic self-consumption according to the new Decree-Law No. 153/2014 from October 20th 2014 regulating self-consumption policies in Portugal, which states that the capacity of the photovoltaic module installed should be according to the consumption needs of the dwelling under consideration. But these consumer's needs are variable throughout the day ending up in a high produced surplus if there is no subdimensioned installation. In this sense, for a particular dwelling, this dissertation analyses based on this Decree-Law, which power should be installed according to the actual needs of dwelling consumption and subsequently presents two potential solutions. Both of them in order to enhance the power generated by the module's own consumption, to avoid producing surplus.

The first focuses on the aggregation of houses in a neighbourhood. The second solution focuses on adding a battery to the PV system.

According to the results, it appears that the surplus produced in a self-consumption average household context is four times lower than the surplus produced in an individual self-consumption context, for the same dwelling. It also appears that when a battery is added to the PV system, it consumes amongst 90% to 100% of its photovoltaic generation.

**Keywords:** Domestic autoconsumption; aggregation of housing; coupling a battery.

## Índice

Resumo.....	ii
Abstract .....	ii
Índice de Figuras .....	iv
Índice de Tabelas.....	vi
Agradecimentos.....	vii
Glossário/Abreviações/Abreviaturas.....	viii
Capítulo 1 – Introdução.....	9
1.1. Enquadramento e Motivação.....	9
1.2. Objetivos .....	12
1.3. Estrutura da Tese.....	12
Capítulo 2 – Metodologia.....	13
2.1. Definição da Amostra.....	13
2.2. Classes de Consumo.....	14
2.3. Geração do Sistema Fotovoltaico.....	15
2.4. Excedente Produzido.....	16
2.4.1. Indicador do Excedente Produzido Anualmente .....	16
2.5. Eletricidade Autoconsumida .....	16
2.5.1. Indicador de Energia Autoconsumida Anualmente.....	17
2.6. Valorização da Eletricidade Produzida .....	17
2.7. Tempo de Retorno do Investimento .....	19
2.8. Custo Anual da Energia Elétrica de uma habitação .....	19
2.9. Agregação de Habitações .....	20
2.10. Sistemas de autoconsumo com apoio de bateria .....	21
Capítulo 3 – Caracterização da amostra .....	22
3.1. Definição da amostra.....	22
3.2. Classes de consumo representativas.....	24
Capítulo 4 – Resultados .....	27
4.1. Produção em Autoconsumo Individual .....	27
4.2. Produção em Autoconsumo Agregado.....	31
4.3. Produção em Autoconsumo Individual com apoio de bateria.....	35
4.3.1. Tesla Powerwall: Modelo 7 kWh/dia.....	36
4.3.2. Tesla Powerwall: Modelo 10 kWh/dia.....	38
4.4. Comparação entre as duas soluções .....	39
Capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros .....	41
Referências Bibliográficas .....	43

## Índice de Figuras

Figura 1- Exemplos de uma UPAC [GPR,2014].	10
Figura 2 - Consumo diário de um dia arbitrário para uma resolução temporal de 15 minutos.	11
Figura 3 – Configuração do sistema fotovoltaico [GRP,2014].	15
Figura 4 - Exemplo de um diagrama de carga [GRP,2014].	17
Figura 5 - Configuração do sistema fotovoltaico com apoio de bateria [Tesla,2015].	21
Figure 6- Habitações não selecionadas por percentagem de dados omissos superior a 20%.	23
Figura 7 - Habitações não selecionadas por consumo anual inferior a 800 kWh/ano.	23
Figura 8 - Percentagem de dados em falta das habitações selecionadas.	23
Figura 9 - Análise estatística do consumo: a) Habitação A - 0.7 habitantes, b) Habitação B - 1 habitante, c) Habitação C - 2 habitantes, d) Habitação D - 3 habitantes.	24
Figura 10 - Representação de cada uma das Habitações A, B, C e D para uma semana de inverno...	25
Figura 11 - Representação de cada uma das Habitações A, B, C e D para uma semana de verão.	26
Figura 12 - Consumo diário anual.	27
Figura 13 – Geração fotovoltaica horária anual.	28
Figura 14 - Excedente fotovoltaico horário anual.	28
Figura 15 – Geração anual fotovoltaica e excedente anual produzido.	29
Figura 16 - Indicador de excedente anual produzido.	29
Figura 17 - Receita final.	30
Figura 18 - Tempo de retorno do investimento.	30
Figure 19 - Variabilidade do consumo para um dia arbitrário para a resolução temporal de 15 minutos e de 1 hora.	31
Figure 20 - Consumo médio por habitação de cada agregação.	32
Figura 21 - Excedente anual médio produzido por habitação de cada agregação.	32
Figura 22 - Energia média anual autoconsumida por habitação de cada agregação.	33
Figura 23 - Indicador de Excedente anual médio por habitação.	34
Figura 24 - Receita final média por habitação.	34
Figura 25 - Tempo de retorno do investimento médio por habitação.	35
Figura 26 - Energia diária armazenada autoconsumida e Consumo diário a ser suprido.	36
Figura 27 - Consumo diário não suprido.	36
Figura 28 - Excedente médio diário não armazenado.	37
Figura 29 - Energia anual armazenada autoconsumida e consumo diário a ser suprido pelo armazenamento.	38
Figura 30 - Consumo diário não suprido.	38

Figura 31 - Excedente médio diário não armazenado. ....39

## Índice de Tabelas

Tabela 1- Classes de consumo da amostra. ....	14
Tabela 2- Tarifa Bi-Horário [ERSE, 5 Fevereiro de 2015]. ....	18
Tabela 3 - Classes de Consumo da Amostra. ....	24
Tabela 4 - Variação diária de consumo numa semana de inverno. ....	25
Tabela 5 – Variação diária de consumo numa semana de verão. ....	26
Tabela 6 - Tabela de resumo do cenário 2 e 3. ....	34

## Agradecimentos

Fecho este ciclo da minha vida começando por agradecer à Faculdade de Ciências pelos grandes cinco anos que aqui passei, pelos bons Professores que tive e pelos amigos que me ofereceu.

Começando pelos Professores, quero agradecer todos os bons momentos de convívio, conselhos e aprendizagem, em particular, ao Professor Jorge Maia Alves, ao Professor Miguel Brito e ao Professor João Serra.

Um obrigada especial ao Professor Miguel Brito pelo apoio prestado ao longo destes sete meses, pela partilha de conhecimento e pela motivação. Obrigada!

Outro obrigada especial ao Rodrigo porque foi um querido comigo e ajudou-se muito a programar em Matlab.

Aos meus amigos da Moita e da FCUL um muito obrigado pelo companheirismo e pela vossa amizade, pelas experiências em conjunto, por todos os desabafos e por todo o apoio e motivação de parte a parte!

Ao Kristoffer, por todo o amor, suporte e companheirismo. Hoje e sempre!

Aos meus pais e à restante família, o meu muito obrigada pelos valores que me passaram e por todos os exemplos de empenho, determinação e sacrifício que testemunhei e que servem de inspiração para me realizar.

Um obrigada mais especial e sentido de sempre, aos meus pais por me terem educado na *liberdade* e na *disciplina*, pelo apoio incondicional, pelos conselhos e pelo exemplo de determinação, humildade e altruísmo ímpar.

## **Glossário/Abreviações/Abreviaturas**

EEGO – Entidade Emissora de Garantias de Origem

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

INE – Instituto Nacional de Estatística

ISA – Intelligent Sensing Anywhere

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

LCOE – *Levelized Cost of Energy*

OMIE – Operador do Mercado Ibérico de Energia

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

UPP – Unidade de Pequena Produção

UP – Unidade de Produção

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

## Capítulo 1 – Introdução

Este capítulo apresenta um enquadramento relativo ao tema em foco, onde se expõe a motivação e os objetivos desta dissertação no contexto do Autoconsumo Fotovoltaico, baseado no Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro.

### 1.1. Enquadramento e Motivação

Antes da introdução do atual Decreto-Lei (Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro) sobre o qual este trabalho incide, a atividade de produção descentralizada de energia elétrica através de unidades de miniprodução e microprodução provenientes de energias renováveis era regida pelo Decreto-Lei n.º 25/2013 de 20 de outubro (que veio alterar Decreto-Lei n.º 34/2011 que se sucedeu ao Decreto-Lei n.º 363/2007) [1].

Aquando do anterior Decreto de Lei, o Governo de Portugal tinha intenção de incentivar o autoconsumo fotovoltaico, nomeadamente a figura do produtor em autoconsumo de energia elétrica de baixa tensão, podendo o produtor optar por vender o excedente produzido à rede pública. Porém, devido aos elevados custos de aquisição de um sistema fotovoltaico, poucos eram os registos de unidades de autoconsumo que tivessem como único fim evitar a compra de energia elétrica à rede. Deste modo, o Governo de Portugal, para contornar este constrangimento, aplicou uma remuneração bonificada face à totalidade da energia vendida à rede [2]. Adotou-se esta posição como política de incentivo para ajudar os promotores a amortizar o investimento mais rapidamente e como política de promoção para se apostar na produção renovável fotovoltaica.

No entanto, atualmente, a comercialização desta tecnologia já é praticada a preços mais baixos, o que conduziu a um reajuste face à remuneração do excedente produzido proveniente destas unidades de produção, deixando de se praticar a remuneração bonificada passando a remuneração a ser feita com base na tarifa de mercado.

Nesse sentido, surgiu o atual Decreto-Lei. No atual Decreto de Lei encontra-se a nova legislação que contempla dois cenários [3]:

1. Geração de eletricidade para autoconsumo baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis. Pretende-se satisfazer as necessidades elétricas do produtor e de preferência sem prejuízo do excedente de produção ser injetado na RESP. Neste cenário, a unidade de produção para autoconsumo (UPAC) poderá estar ou não associada a um contrato de fornecimento de eletricidade com um comercializador;
2. Geração de eletricidade a partir de uma unidade de pequena produção distribuída (UPP) com ligação à RESP, recorrendo a recursos renováveis, sendo a totalidade da geração vendida à rede.

Devido à natureza deste trabalho, apenas é focado o cenário da geração de eletricidade para autoconsumo.

De entre as condições de acesso e exercício de atividade para uma UPAC destacam-se [4]:

1. Uma UPAC com potência instalada superior a 1 MW tem de apresentar licença de produção e licença de exploração, para a sua instalação e entrada em exploração, respetivamente;
2. Uma UPAC com potência instalada superior a 200 W e igual ou inferior a 1,5 kW ou cuja instalação elétrica de utilização não se encontre ligada à RESP está sujeita a mera comunicação prévia de exploração;
3. Uma UPAC cuja potência instalada seja igual ou inferior a 200 W está isenta de controlo prévio.

O registo de uma unidade de produção (UP) pode ser feito através de uma pessoa singular ou coletiva. Para tal, há que assegurar que a potência de ligação da UP seja no máximo 100% da potência contratada estipulada no contrato de fornecimento de energia elétrica celebrado com um comercializador, como também assegurar que a potência instalada na UP não exceda o dobro da potência de ligação.

O contrato de fornecimento de 10 anos, energia elétrica acima referido terá o prazo máximo de 10 anos, sendo a partir desta data renovável por períodos de 5 anos.

O Decreto-Lei expõe que o produtor beneficia quando a unidade de produção é dimensionada de acordo com as efetivas necessidades de consumo da instalação associada à unidade. Para suportar esta afirmação, um dos deveres do produtor presente no Capítulo II, Artigo 8.º – *Deveres do Produtor, alínea e)* afirma que: “Dimensionar a UPAC de forma a garantir a aproximação, sempre que possível, da energia elétrica produzida com a quantidade de energia elétrica consumida na instalação elétrica de utilização”

No entanto, nem sempre é possível evitar o excedente de produção. Assim, o mesmo Decreto-Lei apresenta os trâmites legais para a venda do excedente à rede, a preço de mercado. O preço de venda à rede, caso não se subdimensione a instalação, não é de todo vantajoso para o produtor não só por à partida ser vendido apenas a 90% do valor do mercado, como também o preço da “pool” ser muito inferior ao LCOE [5].

Quando se está perante uma situação em que o produtor opta por vender o excedente produzido à rede torna-se obrigatória a telecontagem da eletricidade total produzida pela UPAC através de um contador direcional.

Se o produtor assim o entender, poderá solicitar junto da Entidade Emissora de Garantias de Origem (EEO) a sua própria emissão de Garantias de Origem (GO) face à eletricidade produzida na UPAC e autoconsumida, desde que a mesma seja proveniente de fontes renováveis.

A título de explicativo do enquadramento legislativo acima exposto, apresentam-se dois exemplos ilustrativos sugeridos pelo Governo de Portugal em parceria com o Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia [6]. Estes exemplos foram retirados de uma apresentação pública, em formato digital, de esclarecimento acerca do Novo Regime de Produção Distribuída, realizada em Setembro de 2014.

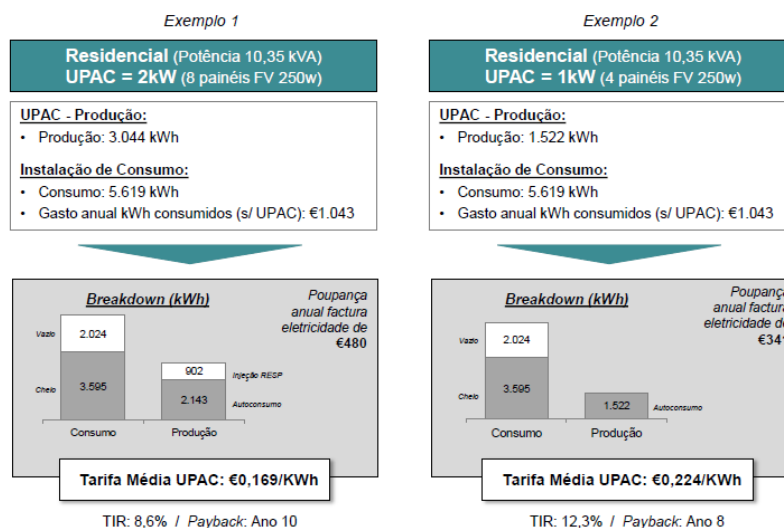


Figura 1- Exemplos de uma UPAC [GPR,2014].

Assume-se que a habitação do Exemplo 1 e 2 é a mesma, dado que o consumo anual da habitação e o gasto anual em eletricidade (sem UPAC) em ambos os exemplos é o mesmo, 5619 kWh e 1043 €, respetivamente. A diferença nos exemplos reside na potência instalada da UPAC.

No Exemplo 1, com uma UPAC de 2 kW de potência instalada e um investimento (com IVA) de 5144€, a UPAC produz anualmente 3044 kWh, sendo que somente 70% desta produção é utilizada em autoconsumo, dado que os restantes 30% (902 kWh) vão vendidos à RESP.

Este exemplo permite ao produtor uma poupança anual de 480 € na fatura da eletricidade e tem um tempo de retorno do investimento no 10º ano em que a UPAC estiver em utilização. É de destacar que com a instalação da UPAC, o produtor por cada kWh produzido e autoconsumido evita um gasto médio de 0.169 €/kWh. No entanto, ao vender o excedente de produção à rede irá estar a comprometer o tempo de retorno do seu investimento, na medida em que irá vender o kWh de energia produzido a um preço sensivelmente quatro vezes menor que o preço que lhe custou produzir esse mesmo kWh [7], partindo do princípio que este exemplo é associado a uma instalação na região de Lisboa.

Assim sendo, há luz deste Decreto-Lei, conclui-se que o mais favorável é optar por uma potência instalada que garanta que tudo o que é produzido é autoconsumido de forma a evitar o excesso (tal como o próprio sugere). Neste sentido, recai-se sobre o Exemplo 2.

No Exemplo 2, a UPAC tem uma potência instalada de 1 kW que se traduz num investimento (com IVA) de 2575 €. Neste caso, a UPAC tem uma produção anual de 1552 kWh, sendo que 100% desta produção é utilizada para autoconsumo. Assim, permite ao produtor poupar 341 € na sua fatura anual de eletricidade e tem um tempo de retorno do investimento no 8º ano em que a UPAC estiver em utilização. Neste caso, por cada kWh produzido e autoconsumido, o produtor evita um gasto médio 0.224€/kWh.

Como se pode concluir pelo Exemplo 2, o gasto médio evitado pelo produtor é bastante superior ao do Exemplo 1, como também o tempo de retorno do investimento é inferior em 2 anos. Tal deve-se ao facto de no Exemplo 2 não haver excedente de produção.

Analisando os exemplos acima expostos, de acordo com a nova legislação, conclui-se que se o consumo de uma habitação não fosse variável, a produção através de uma UPAC seria totalmente vantajosa para o produtor. No entanto, sabe-se que uma habitação tem muitas variações de consumo de energia, sendo que quando mais curta for a resolução temporal dos dados de consumo, mais perceptível é essa variação (Figura 2).

A Figura 2 apresenta os dados de consumo para um dado dia do ano referente a uma resolução temporal de 15 minutos.

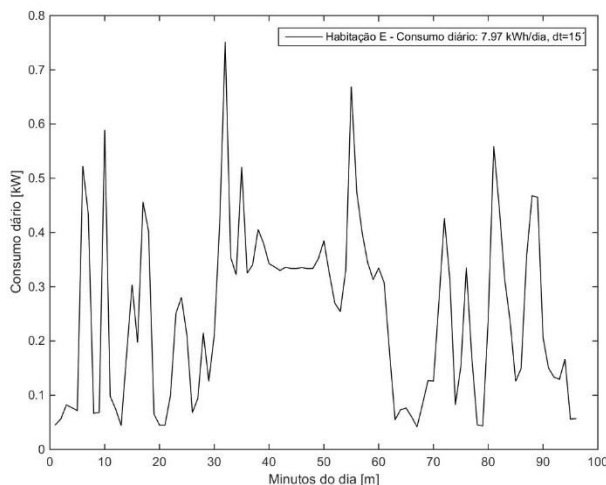


Figura 2 - Consumo diário de um dia arbitrário para uma resolução temporal de 15 minutos.

Isto quer dizer, que se uma família quiser instalar uma UPAC e não quiser ter um prejuízo por produção excessiva, terá que dimensionar a sua UPAC com uma potência bastante inferior àquela que precisaria para suprir todas ou somente algumas das suas principais atividades elétricas. O Exemplo 1 é um caso que evidencia esta afirmação: O consumo anual é de 5619 kWh/ano e a produção através da instalação da UPAC é de 3044 kWh/ano. Se o consumo fosse constante o excedente de produção não seria tão elevado, podendo mesmo vir a ser nulo. Como o consumo não é constante, tem-se um autoconsumo de 2143/ano kWh (70% da energia gerada pela UPAC) e vende-se 902 kWh/ano (30% da energia gerada pela UPAC) à rede a um preço desvantajoso para o produtor,

dado que o preço de venda do excedente produzido é inferior ao custo de produção, isto é, ao Levelized Cost of Energy (LCOE).

## 1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo estudar o autoconsumo doméstico fotovoltaico à luz do Decreto-Lei n.153/2014 de 20 de outubro de 2014.

Procura-se analisar uma amostra de habitações e identificar os seus pontos fracos de modo a apresentar-se soluções para os ultrapassar. Em particular, serão estudadas duas soluções distintas, nomeadamente a agregação de todas as habitações constituintes do bairro a um só sistema fotovoltaico e o acoplamento de uma bateria ao sistema fotovoltaico de uma habitação.

Quer-se averiguar que a partir da agregação de habitações a um mesmo sistema fotovoltaico tem-se muito menos percentagem de geração fotovoltaica perdida em excesso para cada uma das habitações agregadas em comparação à hipótese de cada uma das habitações ter o seu próprio sistema fotovoltaico. Quer-se também averiguar que o acoplamento da bateria ao sistema fotovoltaico irá permitir que mais energia produzida seja autoconsumida.

Em suma, esta dissertação poderá responder às seguintes questões de investigação:

- Qual a potência instalada do módulo fotovoltaico adequada para as necessidades de consumo de uma dada habitação?
- Qual a percentagem anual de energia gerada perdida em excesso nesta situação?
- Qual a agregação ótima que suaviza o diagrama de carga, minimizando a geração em excesso?
- Qual a percentagem anual de energia gerada perdida em excesso após o acoplamento de uma bateria ao sistema fotovoltaico de uma habitação?

## 1.3. Estrutura da Tese

Este documento está estruturado do seguinte modo:

No Capítulo 2 é descrita a metodologia utilizada para os casos de estudo presentes neste trabalho.

No Capítulo 3 é feita a caracterização da amostra utilizada para este trabalho.

No Capítulo 4 é apresentado os resultados face a cada um dos casos de estudo, bem como a discussão dos mesmos.

No Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões face ao trabalho desenvolvido, bem como as limitações da abordagem utilizada e por último sugere-se tópicos para desenvolvimento futuro.

## Capítulo 2 – Metodologia

A metodologia abaixo apresentada que está na base do capítulo seguinte deste trabalho, foi implementada em *software Matlab e Excel*.

Primeiramente, a caracterização da amostra de dados trabalhada, através do ponto 2.1 e 2.2. Seguidamente expõem-se todos os parâmetros calculados e analisados transversais aos casos de estudo a analisar, a partir do ponto 2.3 ao ponto 2.8. No ponto 2.9 apresenta-se a metodologia para o Produção em Autoconsumo Agregado e no ponto 2.10 a metodologia para a Produção em Autoconsumo Individual com apoio de bateria.

### 2.1. Definição da Amostra

A amostra de dados reais é composta por dados de consumo elétrico de 69 habitações, fornecidos pela empresa Intelligent Sensing Anywhere (ISA). A ISA é comercializadora de contadores inteligentes para a monitorização de consumo de eletricidade para habitações. Estes dados de consumo apresentam uma resolução temporal de 15 minutos para todos os dias do ano. No entanto, no cálculo de certos parâmetros, apresentam-se duas resoluções temporais, uma com 15 minutos e outra com uma hora. Este procedimento tem o intuito de demonstrar que a resolução temporal de uma hora que resulta da média dos quatro intervalos de 15 minutos de cada hora assume resultados diferentes da resolução de 15 minutos.

A amostra é referente a 69 casas da região de Lisboa. O ano em que a monitorização foi feita varia entre as habitações da amostra entre os anos de 2011 e 2013.

No entanto, em certos ficheiros, alguns dias do ano vêm omitidos, por falta de registo de dados. Deste modo, apurou-se a fração dos dados de consumo em falta de cada habitação. O período de dados em falta para cada habitação é arbitrário e não tem um padrão.

Dado que a percentagem de dados omissos varia entre todas as habitações, em paralelo com o facto de os dias sem registo de consumo não serem coincidentes entre as mesmas, seguiu-se a seguinte metodologia:

- i. Ordenar as datas dos registos de consumo cronologicamente;
- ii. Criar um vetor temporal de *NaN*'s<sup>a</sup> com todas as datas do ano com resolução temporal de 15 minutos (35040) ordenadas cronologicamente;
- iii. Criar um ciclo onde os *NaN*'s do vetor temporal são substituídos por dados de consumo, caso a data deste vetor conste no vetor dos dados de consumo. Caso não conste, o vetor assume que as datas inexistentes no ficheiro de dados de consumo tomam o valor *NaN*.

Os registos omissos (*NaN*'s) foram interpolados determinando a média entre os registos imediatamente anterior e posterior. Deste modo, o vetor de consumo está completo com 35040 registos, sendo o passo seguinte o cálculo dos demais parâmetros.

Habitacões cuja percentagem de dados em falta seja superior a 20% não foram contabilizadas, por motivos apresentados adiante no subcapítulo 3.1 Produção em Autoconsumo Individual.

---

<sup>a</sup> Por vetor *NaN* entende-se um vetor com uma dimensão arbitrária cujas posições são ocupadas por um valor numérico não definido, tomando a designação *NAN*, que significa *Not-a-Number*.

## 2.2. Classes de Consumo

De acordo com a informação do Instituto Nacional de Estatística (INE) face ao consumo de energia elétrica doméstico e dimensão média dos agregados domésticos privados, em paralelo com o facto não serem conhecidas mais características dos dados de consumo disponibilizados, à exceção do facto de serem da região de Lisboa, considerou-se seis classes de consumo (Tabela 1). As classes de consumo foram definidas em intervalos de 500 W (Tabela 1).

Tabela 1- Classes de consumo da amostra.

Classe	Intervalo de Potência [kW]
1	[500,1000[
2	[1000,1500[
3	[1500,2000[
4	[2000,2500[
5	[2500,3000[
6	[3000,3500]

As estatísticas mais recentes indicam que no ano 2013 o consumo de energia elétrica doméstico médio *per capita* foi de 1177 kWh/ano [8] e no ano 2014 a dimensão média dos agregados domésticos privados foi de 2.6 habitantes [9].

Assim, cada um dos consumos anuais das habitações está associado a uma dimensão média dos agregados domésticos privados, dada pela Equação 1.

$$N_p = \frac{C}{C_{ine}} \quad (1)$$

onde:

$N_p$  = Dimensão média dos agregados domésticos privados;

$C$  = Consumo anual da habitação [kWh/ano];

$C_{ine}$  = Consumo Anual médio *per capita* disponibilizado pelo INE [kWh/ano].

Seguidamente, seleccionou-se quatro habitações (Habitação A, B, C e D) cuja dimensão média dos agregados domésticos privados fosse: menos que um habitante, um habitante, dois habitantes e três habitantes, respetivamente. Procedeu-se desta forma de modo a caracterizar o consumo entre as diferentes dimensões de agregados domésticos. Esta caracterização, para cada uma das habitações, foi feita utilizando um histograma anual de consumo e através de uma representação semanal do consumo (para uma semana de inverno e outra semana de verão).

O histograma tem por fim calcular o número de ocorrências presentes em intervalos de consumo de 200 W de potência, e a quantas horas do ano essas ocorrências correspondem. Já a análise semanal tem por fim averiguar se apesar das dimensões dos agregados serem diferentes, a variabilidade horária do consumo entre eles também o é.

### 2.3. Geração do Sistema Fotovoltaico

Definiu-se que o caso de estudo do sistema fotovoltaico de autoconsumo em causa seria num bairro na região de Lisboa. Posto isto, definiu-se a potência instalada do módulo a utilizar. Neste caso concreto, adotou-se um intervalo de potência instalada, sendo a potência variável em 0.1 kW no intervalo de 0 kW a 3 kW, tendo as potências instaladas neste intervalo procedimentos legais diferentes de acordo com o acima exposto no subcapítulo 1.1 Enquadramento e Motivação. A configuração do sistema fotovoltaico é dada pela Figura 3.

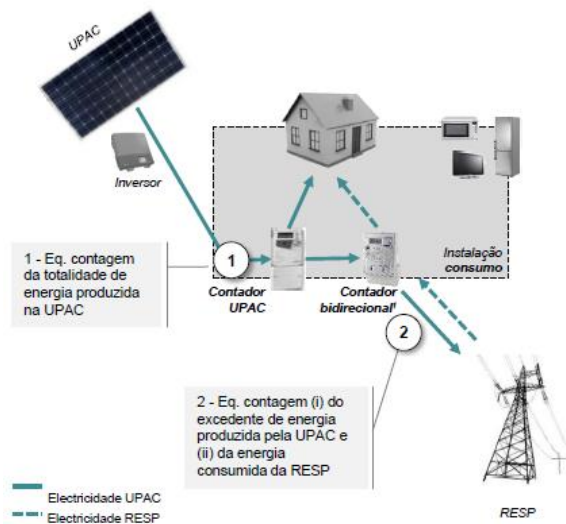


Figura 3 – Configuração do sistema fotovoltaico [GRP,2014].

Posteriormente, apresentam-se os dados de radiação global horários para todos os dias do ano. Os mesmos são séries temporais sintéticas representativas do ano meteorológico típico para a região climática de Lisboa disponibilizados pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (*LNEG*) [10]. Seguidamente, os dados foram interpolados para que a sua resolução temporal passasse a ser de 15 minutos e não de 1 hora, e que desta forma possam estar coerentes com os dados de consumo. É conveniente que a resolução temporal seja a mais curta possível de forma a ter-se maior precisão do consumo num dado intervalo de tempo, nesse sentido interpolou-se a radiação e não o consumo.

A geração de energia elétrica pelo módulo é dada pela equação abaixo apresentada.

$$G = R(t) \times P_{\text{inst}} \times 0.75 \quad (2)$$

onde:

$G$  = Geração Fotovoltaica [kW];

$R(t)$  = Radiação Global para cada instante de tempo [kW];

$P_{\text{inst}}$  = Potência instalada do módulo fotovoltaico [kW];

0.75 = Performance Ratio considerando as perdas nos inversores, cabos, efeito de variação da temperatura no módulo fotovoltaico [11].

## 2.4. Excedente Produzido

O excedente produzido ocorre quando o autoconsumo da habitação para um dado instante é inferior à energia gerada pelo painel para o mesmo instante. Tal traduz-se na seguinte equação:

$$E = C,(t) - G,(t) < 0 \quad (3)$$

onde:

$E$  = Excedente produzido [kW];

$C,(t)$  = Consumo para cada instante [kW];

$G,(t)$  = Geração Fotovoltaica para cada instante [kW];

$t$  = instante de tempo.

Quando se está perante a situação de excesso de geração, pode-se optar por vender o excedente à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) ou armazená-lo numa bateria. Ambas as situações serão exploradas mais à frente.

### 2.4.1. Indicador do Excedente Produzido Anualmente

O Indicador de Excedente Produzido do Sistema é uma medida da energia produzida em excesso (i.e. não consumida) em função da geração anual total, utiliza-se o indicador de excesso do sistema para uma dada potência instalada. Este é calculado pela seguinte equação:

$$I_{,E} = \frac{\Sigma E}{\Sigma G} \times 100 \quad (4)$$

onde:

$I_{,E}$  = Indicador de Excedente Produzido Anualmente [%];

$\Sigma E$  = Excedente Produzido Anualmente [kWh/ano];

$\Sigma G$  = Geração Fotovoltaica Anual [kWh/ano].

## 2.5. Eletricidade Autoconsumida

A energia elétrica autoconsumida é calculada com base nas seguintes condições, ilustradas na Figura 4:

1. Quando a energia gerada é superior ou igual à energia consumida (zona 1), a energia fotovoltaica autoconsumida pela habitação assume o valor do diagrama de carga em cada instante (linha laranja).  
Neste caso, o excesso calcula-se a partir da diferença entre a eletricidade gerada e a eletricidade consumida em cada instante;
2. Quando a energia gerada é inferior à energia consumida (zona 2), a energia fotovoltaica consumida pela habitação assume o valor da geração em cada instante (linha tracejada a azul), sendo o excesso igual a zero.

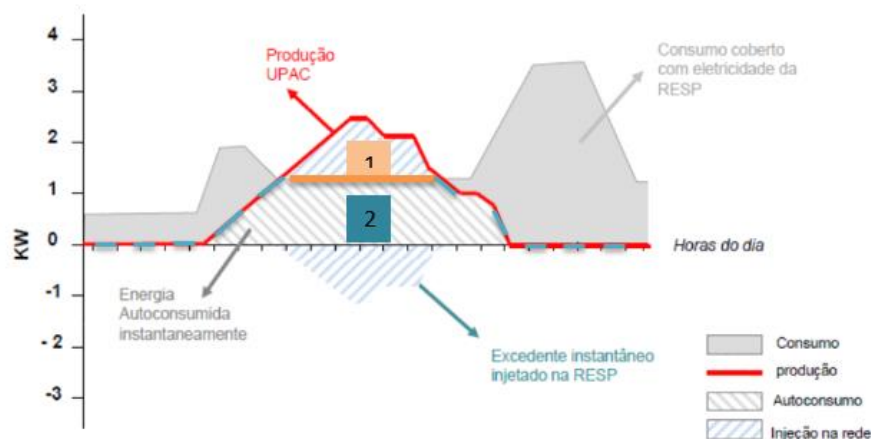


Figura 4 - Exemplo de um diagrama de carga [GRP,2014].

Ou seja, a energia autoconsumida em cada instante, vai ser sempre igual ao parâmetro (consumo ou geração) que para esse instante apresenta o valor mais baixo, isto é, que de ambos os valores seja o mínimo.

### 2.5.1. Indicador de Energia Autoconsumida Anualmente

O Indicador de Energia Autoconsumida do Sistema é uma medida da energia autoconsumida em função da geração anual total, utiliza-se o indicador de autoconsumo do sistema para uma dada potência instalada. Este é calculado pela seguinte equação:

$$I_{Eac} = \frac{\Sigma Eac}{\Sigma C} \times 100 \quad (5)$$

onde:

$I_{Eac}$  = Indicador de Energia Autoconsumida [%];

$\Sigma Eac$  = Energia Autoconsumida Anualmente [kWh/ano];

$\Sigma C$  = Consumo Anual [kWh/ano].

### 2.6. Valorização da Eletricidade Produzida

Quando a eletricidade gerada não é totalmente autoconsumida, uma das opções para evitar o seu desperdício é a venda do excedente de produção à Rede Elétrica de Serviço Público. Este excedente será remunerado de acordo com as tarifas estabelecidas pelo Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) [12] para Portugal de acordo com o mês em causa.

No cálculo da receita estão envolvidas duas considerações importantes. A primeira assenta na fórmula da remuneração da energia proveniente das unidades de produção de autoconsumo apresentada no Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro [13], isto é, a remuneração da energia elétrica produzida em excesso (Equação 9):

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0.9 \quad (6)$$

onde:

$R_{UPAC,m}$  = Remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês “m” [€];

$E_{fornecida,m}$  = Energia fornecida no mês “m” [kWh];

$OMIE_m$  = Valor proveniente da média aritmética simples dos preços de fecho do OMIE para Portugal (mercado diário), relativos ao mês “m” [€/kWh];

0.9 = 10% do valor  $OMIE_m$  é para cobrir os custos de injeção;

m = Mês a que se refere a contagem elétrica fornecida à RESP.

A segunda consideração assenta na poupança ao autoconsumir-se a energia elétrica gerada pelo módulo ao invés de se consumir energia elétrica da rede. Para esta consideração, selecionou-se três produtores de energia elétrica no mercado liberalizado em Portugal continental através da consulta do relatório da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) de 5 de Fevereiro de 2015 [14]. O critério de seleção baseou-se na tarifa Bi-Horária mais barata de energia para uma potência contratada de 6.9 kVA, sendo esta a potência tipicamente suficiente para satisfazer as necessidades de consumo doméstico portuguesas, na medida em que a potência contratada mais comum é de 3.45 kVA [15]. Os produtores, por ordem crescente de tarifa, são: YLCE, AUDAX e LUZBOA (Tabela 1). De seguida, calculou-se o custo da energia que se evita de comprar para cada um dos produtores e posteriormente fez-se a média deste custo face aos três produtores e calculou-se a receita final anual, de acordo com as equações seguintes:

$$R_{(produtor)} = (El,t \times (ct_{(produtor)} + i) \times (1 + IVA)) \quad (7)$$

onde:

$R_{(produtor)}$  = Custos evitados pelo autoconsumo [€/kWh];

produtor = Produtor em causa;

El = Energia elétrica anualmente consumida

$Ct_{(produtor)}$  = Preço para cada produtor [€/kWh];

i = Imposto especial do consumo de eletricidade [€/kWh];

IVA = 1.23;

$$R_{média} = \Sigma(R, YLCE + R, AUDAX + R, LUZBOA) / 3 \quad (8)$$

onde:

$R_{média}$  = Média da receita dos três produtores selecionados [€/kWh].

Tabela 2- Tarifa Bi-Horário [ERSE, 5 Fevereiro de 2015].

Produtor	Potência [€/dia]	Energia [€/kWh]	
		Fora de Vazio	Vazio
Audax	0.2896	0.1785	0.0946
LuzBoa – Fundadores	0.2666	0.1802	0.0951
Ylce	0.2468	0.1783	0.0932
Média	0.2677	0.1790	0.0943

Assim sendo, a Receita final é dada pela equação seguinte:

$$Receita_{,final} = RUPAC_{,m} + R_{,média} \quad (9)$$

onde:

Receita<sub>,final</sub> = Receita da venda do excedente à RESP em conjunto com os custos evitados pelo autoconsumo [€/kWh].

## 2.7. Tempo de Retorno do Investimento

Com base no cálculo da Receita<sub>,final</sub> foi possível calcular o tempo de retorno do investimento com base na seguinte equação. Fez-se uma pesquisa entre várias empresas do sector e selecionou-se uma empresa em Lisboa, a CCBS Energia, onde se obteve o custo de um Kit de Autoconsumo de acordo com a potência instalada do mesmo. O custo de um Kit Autoconsumo de 1000 W é de 1661.63 € [16]. Se se optar pelo transporte e instalação do mesmo o custo é de 2153.63 €, pois acresce de 400 € mais IVA. De acordo com a fórmula abaixo apresentada, assume-se que o custo da instalação é linear com a potência instalada. Esta consideração foi assumida com base nos preços consultados face a diferentes potências instaladas, em várias empresas [17,18,19].

$$Payback\ time = \frac{Kit \left[ \frac{€}{kW} \right] * P_{inst} [kW]}{Receita_{,final} \left[ \frac{€}{kW} \right] * P_{inst} [kW]} \quad (10)$$

onde:

Payback Time = Tempo de retorno do investimento [ano];

Kit = Custo do Kit de autoconsumo que poderá contemplar ou não a montagem e o transporte [€];

P<sub>inst</sub> = Potência instalada do módulo fotovoltaico que varia em 0.1 kW no intervalo entre 0 kW e 3 kW;

Receita<sub>,final</sub> = Receita dos custos anuais evitados em eletricidade a partir do autoconsumo;

## 2.8. Custo Anual da Energia Elétrica de uma habitação

Por último, o cálculo do custo anual da energia elétrica à luz da tarifa Bi-Horária [20] traduz-se na equação seguinte:

$$T = (C * (T_{,FV} * t_{,FV} + T_{,V} * t_{,V}) + P_c * n) * IVA \quad (10)$$

onde:

T = Tarifa elétrica anual [€/ano];

C = Consumo anual [kWh/ano];

T<sub>,FV</sub> = Tarifa do período fora de vazio [€/kWh];

T<sub>,V</sub> = Tarifa do período de vazio [€/kWh];

$t_{FV}$  = Período temporal fora de vazio (0h – 7h) [h/h];

$t_V$  = Período temporal de vazio (7h – 24h) [h/h];

$P_c$  = Tarifa da potência contratada [€/dia];

$n$  = número de dias;

IVA = 1.23.

## 2.9. Agregação de Habitações

A agregação das habitações foi elaborada com base num modelo de aleatoriedade. Este resulta da média de 10 séries aleatórias de agregação. Traçou-se 10 séries aleatórias de agregação, agregando-se aleatoriamente todas as habitações para cada uma delas, sendo todas as séries diferentes entre si. Posteriormente, por cada agregação de habitações, fez-se a média das 10 séries, obtendo-se a série final a ser utilizada.

Para que a análise da agregação das habitações seja mais objetiva, representam-se todos os parâmetros acima mencionados (e.g. excedente produzido, indicador de excedente produzido, receita e tempo de retorno do investimento) em função do número de casas agregadas.

É de destacar que cada parâmetro será analisado à luz de três cenários:

1. A potência instalada do módulo toma o valor mínimo definido para 0.2 kW para a primeira agregação (onde consta somente uma habitação) e vai sendo ajustada proporcionalmente ao número de habitações agregadas. Por exemplo, para uma habitação instala-se 0.2 kW, para duas habitações agregadas instala-se 0.4 kW, e assim sucessivamente até se agregar todas as habitações;
2. A potência instalada do módulo assume o valor médio aritmético entre o cenário anterior e o seguinte;
3. A potência instalada do módulo assume o valor máximo de consumo anual registado em cada agregação.

Definiu-se 0.2 kW como cenário mínimo porque é a *baseload* das classes de consumo presentes na amostra. O cenário máximo foi definido desta forma, pois pretende-se instalar tanto quanto se necessita consumir, de forma a potenciar o autoconsumo, evitando a compra à de energia à rede.

É de destacar que para o dimensionamento deste capítulo para o cenário 3, não foram considerados os picos de consumo das habitações, caso existissem, como valor máximo, pois são ocorrências isoladas e desta forma, não representativas. Por exemplo, se num dado ficheiro de consumo de uma habitação se se encontrar os valores mais elevados de consumo entre 1.4 kW e 1.6 kW e em simultâneo se verificarem 10 ocorrências que variem entre 4 kW e 7 kW, o valor de 7 kW não será tido em consideração como valor máximo. Assumir-se-á como máximo, o valor máximo no intervalo entre 1.4 kW e 1.6 kW.

Por último, o cálculo do erro face ao desvio padrão foi calculado usando a seguinte metodologia:

- i. Calculou-se o desvio padrão do consumo, a partir da média anual das dez séries de consumo para cada agregação;
- ii. Calculou-se o erro associado ao desvio padrão;

## 2.10. Sistemas de autoconsumo com apoio de bateria

O princípio aqui em voga assenta na produção em autoconsumo individual, porém com uma bateria associada ao sistema fotovoltaico.

Selecionou-se a bateria Tesla Powerwall. A mesma contempla dois modelos. Um com uma capacidade de armazenamento de 7 kWh/dia, para o armazenamento do excedente diário e posterior consumo; o outro com uma capacidade de armazenamento de 10 kWh/dia, para situações de *backup*, i.e., falhas de rede. Ambos os modelos têm as seguintes características: eficiência da bateria de 92%, a do inversor na ordem dos 90% e a capacidade de descarga da bateria ronda os 50%. O primeiro tem um custo de 2699 € e o segundo de 3149 € [21,22].

Associado ao modelo de armazenamento de 7 kWh/dia têm-se uma potência instalada para uma dada habitação de 1 kW. Associado ao modelo de armazenamento 10 kWh/dia tem-se uma potência instalada de 1.5 kW, para a mesma habitação.

A configuração do sistema é apresentada na Figura AC abaixo exposta.

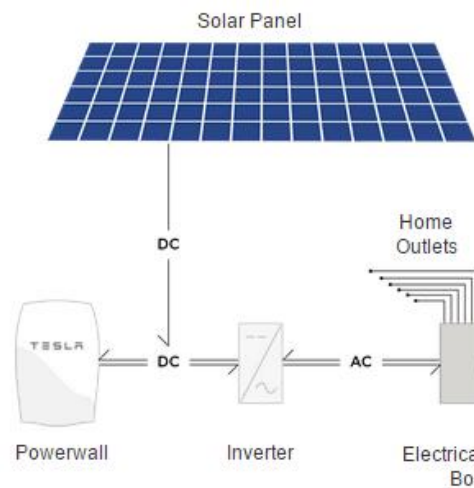


Figura 5 - Configuração do sistema fotovoltaico com apoio de bateria [Tesla,2015].

A metodologia abaixo descrita foi utilizada para ambos os modelos da bateria:

- i. Considerou-se que a bateria no dia 1 de Janeiro está totalmente carregada e a profundidade de descarga da bateria é de 50%;
- ii. Assumiu-se que todo o excedente diário produzido durante o dia aquando da geração do módulo fotovoltaico foi armazenado na bateria, dependendo do modelo, até 6.44 kWh/dia ou 9.2 kWh/dia (considerando a eficiência da bateria para cada um dos modelos). O que não foi armazenado, por falta de capacidade, foi vendido à RESP;
- iii. Apurou-se se o excedente armazenado era suficiente para suprir as necessidades de consumo quando a geração não era suficiente para as suprir. Quando o é, obtém-se um resultado igual a zero, quando o resultado é positivo, significa que tem que se comprar essa energia à rede, quando o resultado é negativo significa a bateria ainda vai armazenar o excesso do dia corrente para o dia seguinte.

Recalcula-se a Energia Autoconsumida, Receita Final e Payback Time.

## Capítulo 3 – Caracterização da amostra

Este capítulo debruça-se sobre o tratamento da amostra de dados, antes de se proceder a um caso de estudo em concreto.

Os objetivos associados a este capítulo prendem-se com uma caracterização das características da amostra.

### 3.1. Definição da amostra

É de destacar que nos ficheiros cedidos somente constam os dados de consumo, não havendo informação acerca da localização exata da habitação, classe social da família, tipo de habitação (apartamento ou moradia) ou o número de habitantes que nela residem.

Sabe-se, de acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatística, que o consumo anual médio doméstico *per capita* foi de 1303 kWh/ano, 1227 kWh/ano e 1177 kWh/ano para o ano de 2011, 2012 e 2013, respetivamente. Sabe-se também, de acordo com o mesmo Instituto, que a temperatura média anual do ar para Lisboa foi de 17.5°, 17.3° e 17.6° para o ano de 2011, 2012 e 2013 [23], respetivamente. De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) [24], o clima nesta região ao longo destes anos, não apresentou um comportamento atípico, isto é, um inverno muito frio ou um verão muito quente, que pudesse aumentar o consumo elétrico devido ao uso de aquecedores ou ar condicionado para valores fora do expectável face à região em causa.

De acordo com estas informações verifica-se que as variações interanuais não são significativas ao ponto de inviabilizar que se trabalhe com dados de consumo de anos civis diferentes.

Após a análise da amostra com 70 habitações, a mesma apresentava 0.7% e 97% de dados em falta relativamente a um ano completo, isto é, 35040 ocorrências. Cinco destas 70 habitações apresentavam dados correspondentes a cerca de dois anos, em vez de um. Nesse caso, considerou-se que cada ano correspondia a uma habitação diferente, voltando-se a calcular a percentagem de dados em falta face a cada ano. Desta forma, em vez de 70 habitações consideram-se 75. Das 75 habitações apenas se selecionaram 27. A seleção foi feita com base em dois critérios:

1. Percentagem de dados em falta não superior a 20% das ocorrências anuais;
2. Consumo anual não inferior a 800 kWh/ano.

Esta etapa tem por objetivo filtrar os ficheiros a trabalhar. Tal deve-se ao facto de que ficheiros de dados de consumo com percentagem de dados omissos superiores a 20%, nos capítulos seguintes, podem tornar os resultados menos precisos para os objetivos estipulados. Nesse sentido, optou-se por somente trabalhar com 20% de dados em falta, o que corresponde a 73 dias do ano em falta, cerca de dois meses e meio. Caso se trabalhe com uma percentagem elevada de dados omissos, o dimensionamento da agregação de habitações é feito com base em estimativas de dados de consumo (de acordo com a interpolação de *Nan*'s apresentada no capítulo anterior), que quando utilizadas em demasia, conduzem a um resultado final influenciado e desta forma, menos rigoroso. Posto isto, optou-se por trabalhar com menos habitações da amostra, mas garantir que não se utilizava demasiadas estimativas. Segundo este critério excluíram-se 40 habitações (Figura 6).

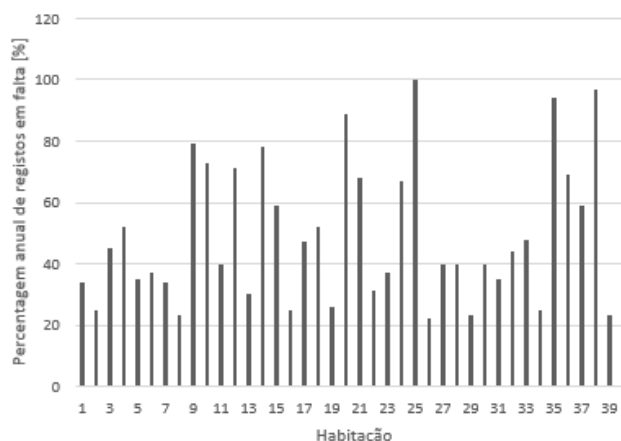


Figure 6- Habitações não selecionadas por percentagem de dados omissos superior a 20%.

Dado que, segundo o INE, o consumo médio anual por pessoa é 1177 kWh/ano dá-se uma margem inferior de 377 kWh/ano, ou seja, 800 kW de consumo anual por pessoa. Abaixo deste valor, considera-se que a habitação não tem uma ocupação permanente, como por exemplo, uma casa de férias. Segundo este critério excluíram-se 8 habitações (Figura 7).

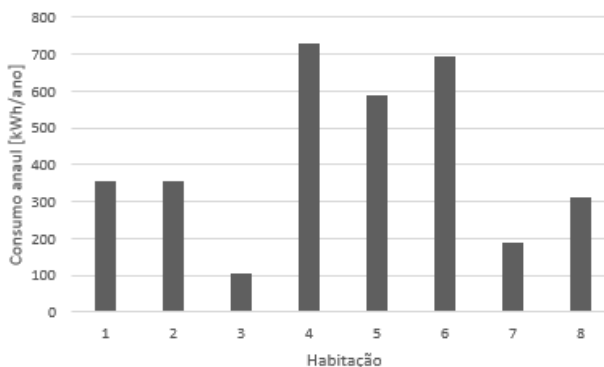


Figura 7 - Habitações não selecionadas por consumo anual inferior a 800 kWh/ano.

Desta forma, selecionaram-se 27 habitações. A Figura 8 apresenta a percentagem de dados em falta para cada uma delas.

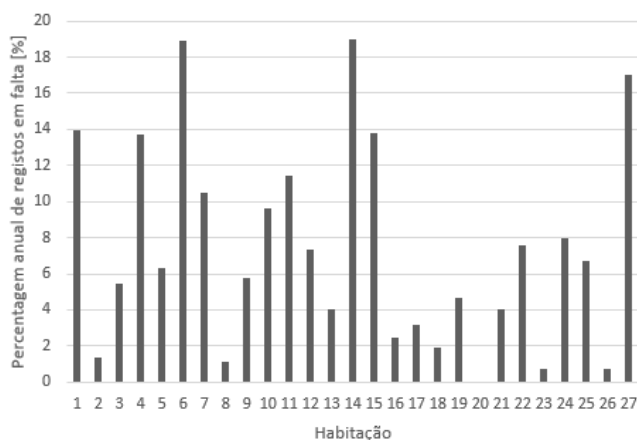


Figura 8 - Percentagem de dados em falta das habitações selecionadas.

### 3.2. Classes de consumo representativas

De acordo com os dados de consumo anual das 27 habitações selecionadas foi possível perceber que se destacavam seis intervalos de consumo, isto é, seis classes. Em baixo encontra-se a relação entre as classes e a dimensão média dos agregados domésticos privados (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes de Consumo da Amostra.

Classe de Consumo	Intervalo de Consumo anual [kWh/ano]	Dimensão média dos agregados [hab]	Nº de habitações
1	[800 – 1000[	≈ [0,7 , 1[	3
2	[1000 – 1500[	≈ [1 , 1,3[	8
3	[1500 – 2000[	≈ [1,3 , 1,7[	9
4	[2000 – 2500[	≈ [1,7 , 2,2[	4
5	[2500 – 3000[	≈ [2,2 , 2,6[	2
6	[3000 – 3500]	≈ [2,6 , 3]	1

Seguidamente, apresentam-se quatro histogramas referentes à Habitação A, Habitação B, Habitação C e Habitação D (Figura 9). Cada uma destas habitações tem uma dimensão média de agregado de menos de um habitante, um habitante, dois habitantes e três habitantes respetivamente.

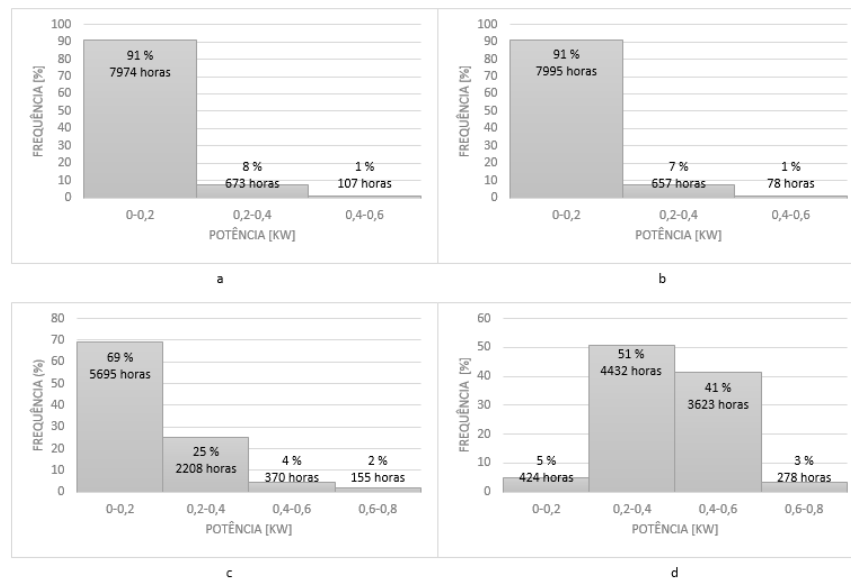


Figura 9 - Análise estatística do consumo: a) Habitação A - 0,7 habitantes, b) Habitação B - 1 habitante, c) Habitação C - 2 habitantes, d) Habitação D - 3 habitantes.

A Habitação A e B são bastante semelhantes. Em 91% do ano, o que corresponde a cerca de 8000 horas anuais, o seu consumo situa-se no intervalo de [0, 0.2] kW (Ilustração a e b).

Na Habitação C já é possível notar um decréscimo das ocorrências anuais no intervalo [0, 0.2] kW em cerca de 20%, o que corresponde a cerca de 5700 horas anuais, e um consequente aumento das ocorrências no intervalo [0.2, 0.4] kW e [0.4, 0.6] de 17% e 3%, respetivamente. Inclusivamente, registou-se uma representatividade de 2% no intervalo [0.6, 0.8] kW.

Na Habitação D verifica-se um decréscimo notório das ocorrências no intervalo [0, 0.2] kW para 5%, o que corresponde a somente 424 horas anuais. O intervalo [0.2, 0.4] kW destaca-se com

51% das ocorrências, correspondente a sensivelmente 4400 horas anuais, sofrendo um aumento de sensivelmente cinco vezes relativamente à Habitação A e B e de sensivelmente duas vezes relativamente à Habitação C. Destaca-se também o intervalo de [0,4, 0,6] kW com uma percentagem de 41%. O intervalo [0,6, 0,8] kW teve somente um aumento de 2%.

O consumo anual aumenta cerca de 1000 kWh/ano por habitação à medida que se aumenta o número de habitantes em um indivíduo. A diferença de consumo anual entre Habitação B e a Habitação C é de 945 kWh/ano e a diferença entre a Habitação C a Habitação D é de 1152 kWh/ano.

Por último, para se tomar maior perceção das necessidades de consumo de cada habitação, apresenta-se para cada uma, o consumo elétrico semanal numa semana de inverno e numa semana de verão, com uma resolução temporal de 15 minutos.

A semana de verão abrange o período de 1 a 7 de Junho (Figura 10) e a semana de inverno abrange o período de 1 a 7 de Dezembro (Figura 11).

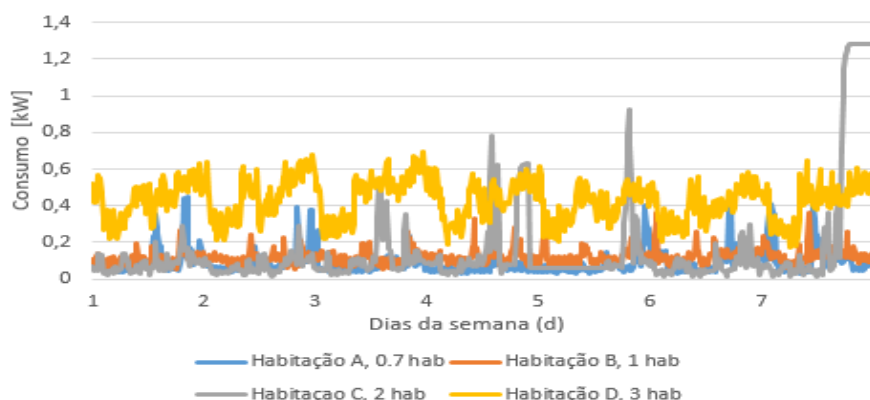


Figura 10 - Representação de cada uma das Habitações A, B, C e D para uma semana de inverno.

A análise é feita através da Tabela 4.

Tabela 4 - Variação diária de consumo numa semana de inverno.

Semana de inverno			
Habitação	Base Load [kW]	Consumo no período 7h/9h [kW]	Consumo no período 19h/24h [kW]
A	0.03	0.1	0.4
B	0.05	0.1	0.3
C	0.01	0.05-0.1	0.3-0.6/1.2
D	0.2	0.4	0.6

A Habitação C apresenta um consumo semanal cuja *base load* é na ordem dos 0.01 kW. O aumento do consumo no período da manhã toma o valor entre 0.05 kW e 1 kW, sendo que o aumento do consumo no período da noite ronda o valor entre 0.3 kW, podendo atingir valores entre os 0.6 kW e 1.2 kW. A *base load* nesta habitação é inferior mesmo às das habitações com número de habitantes e consumo inferior. Tal poderá dever-se a uma diferença entre o número de eletrodomésticos e a sua utilização entre as habitações.

Para a semana de verão apresenta-se abaixo a Figura 11.

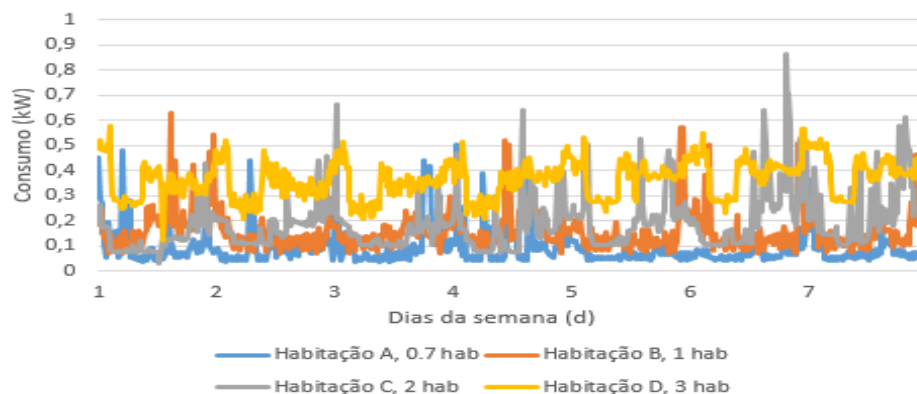


Figura 11 - Representação de cada uma das Habitações A, B, C e D para uma semana de verão.

A análise é feita através da Tabela 5.

Tabela 5 – Variação diária de consumo numa semana de verão.

Semana de verão			
Habitação	Base Load [kW]	Consumo no período 7h/9h [kW]	Consumo no período 19h/24h [kW]
A	0.05	0.3-0.45	0.25-0.4/0.5
B	0.07	0.15-0.3	0.5
C	0.1	0.1	0.7-0.9
D	0.2	0.3	0.5-0.6

Como se pode observar há um aumento de consumo transversal a todas as habitações entre a semana de verão e de inverno. Esse aumento poderá dever-se ao facto de os habitantes necessitarem de mais energia para arrefecerem as habitações do que para as aquecer. No entanto, os picos mais elevados de consumo registam-se no inverno.

## Capítulo 4 – Resultados

### 4.1. Produção em Autoconsumo Individual

Este subcapítulo apresenta dados reais de consumo diário anual de uma habitação (Habitação E). Pretende-se dimensionar o caso de estudo para uma potência instalada de acordo com as necessidades efetivas de consumo da habitação, correndo o risco de se obter um excedente significativo, e não subdimensionar o sistema.

De acordo com o exposto no subcapítulo 1.1 Enquadramento e Motivação está-se perante um problema de otimização. Ou se subdimensiona o sistema e se evita o excedente produzido, sendo a percentagem de energia autoconsumida pouco significativa face às necessidades de consumo; ou se dimensiona o sistema de acordo com o sugerido no parágrafo anterior.

Os objetivos associados prendem-se com o estudo pormenorizado do consumo elétrico de uma habitação, de forma a analisar o comportamento das necessidades elétricas no contexto de autoconsumo. As conclusões desta análise têm como fim a exploração de potenciais soluções que permitam a instalação de uma potência adequada evitando o excedente produzido através do conceito de *autoconsumo agregado*, como também o apoio de uma bateria ao *Kit de autoconsumo*. Para tal, recorre-se ao cálculo e posterior análise, dos parâmetros acima mencionados.

Apresenta-se uma análise individual pormenorizada da Habitação E cujo consumo anual corresponde à sensivelmente à dimensão média do número de agregados domésticos privados, isto é, 2.5 e 2.6 habitantes, respetivamente, de acordo com os dados do INE. Não obstante, a variação horária do consumo pode não corresponder ao comportamento de uma família típica portuguesa com 2.6 habitantes, derivado ao facto de se estar a trabalhar com uma amostra que não se tem informação detalhada sobre a mesma.

O consumo diário anual é dado pela Figura 12.

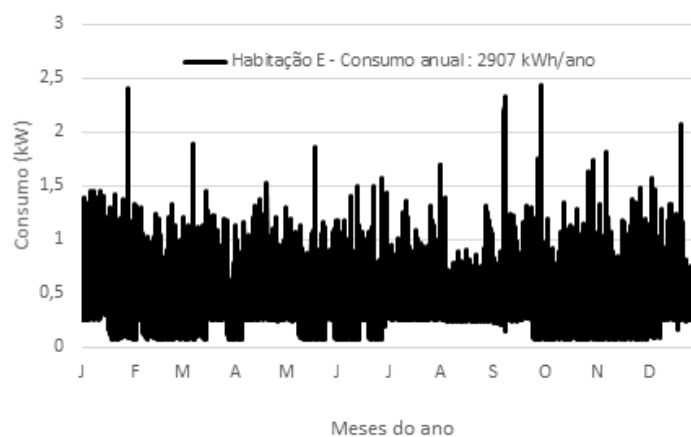


Figura 12 - Consumo diário anual.

A família residente na Habitação E perfaz um consumo anual de 2907 kWh/ano.

Optou-se por focar a análise deste capítulo para 1000 W de potência instalada, de modo a maximizar a produção fotovoltaica e consequentemente a energia autoconsumida em relação às necessidades efetivas de consumo.

A Figura 13 e a Figura 14 apresentam, respetivamente, a geração fotovoltaica horária anual e o excedente horário anual produzido, ambas para a potência instalada de 1000 W, alusivo à resolução temporal de 15 minutos.

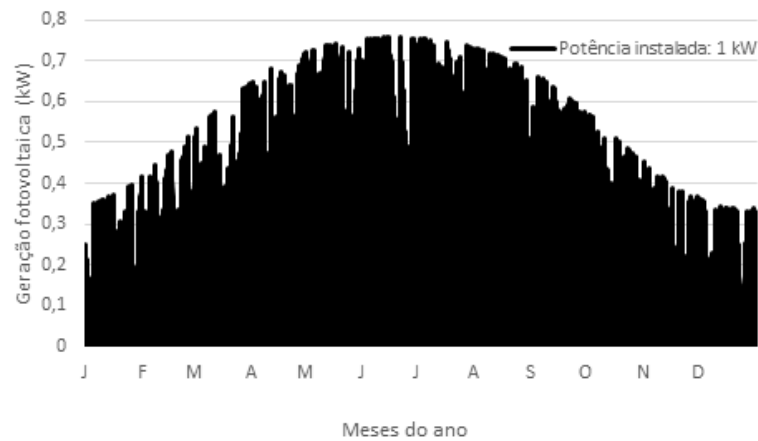


Figura 13 – Geração fotovoltaica horária anual.

A geração fotovoltaica destaca-se nomeadamente entre o início do mês de Abril e até ao final do mês de Setembro, o que corresponde, sensivelmente, ao período entre as 2000 horas e 6500 horas do ano.

A Figura 14 apresenta o excedente fotovoltaico produzido.

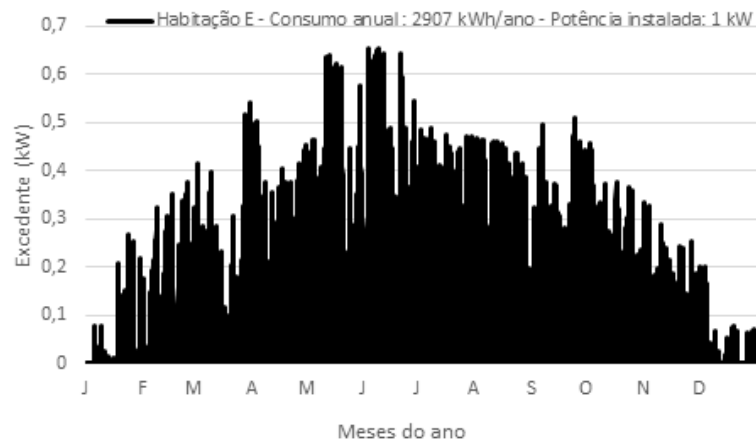


Figura 14 - Excedente fotovoltaico horário anual.

De acordo com a geração fotovoltaica, o excedente produzido é bem mais acentuado, sensivelmente, entre o início do mês de Abril e até ao final do mês de Setembro.

Seguidamente apresenta-se a geração anual da unidade de produção em conjunto com o excedente anual produzido para cada potência instalada do intervalo de potência definido (Figura 15).

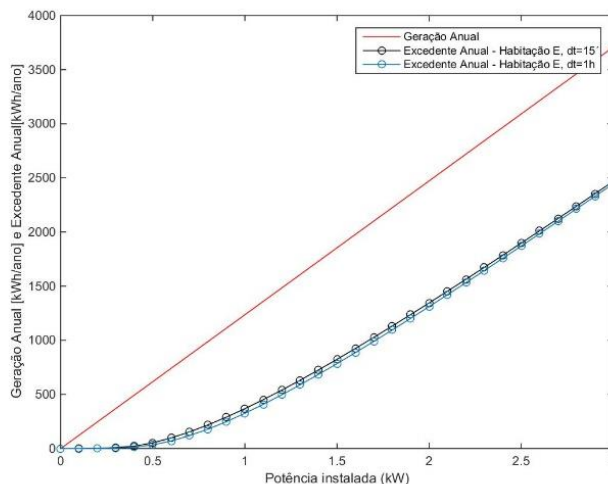


Figura 15 – Geração anual fotovoltaica e excedente anual produzido.

A energia elétrica gerada pelo painel para cada potência instalada é a mesma, quer a resolução temporal seja de 15 minutos ou 1 hora. A geração fotovoltaica tomará sempre o mesmo valor independentemente da habitação ou agregação de habitações associadas à unidade de produção, pois a geração só depende da potência instalada do módulo e da radiação global incidente, e não das necessidades de consumo. Para a potência instalada de 1000 W obtém-se uma geração anual de 1236 kWh/ano e um excedente anual de 369 kWh/ano para uma resolução temporal de 15 minutos. Para a mesma potência instalada obtém-se 326 kWh/ano de excedente anual produzido para a resolução temporal de uma hora. Consta-se uma diferença de 43 kWh/ano entre as resoluções.

A análise dos seguintes parâmetros é feita com base em ambas as resoluções. Quando mais curta for a resolução temporal, mais detalhados são os resultados e consequentemente mais precisa a análise dos mesmos. Caso a resolução temporal fosse ainda mais curta, por exemplo de 1 minuto, em comparação à resolução temporal de uma hora, mais acentuada será essa diferença entre os resultados do que para a resolução temporal de 15 minutos. Tal verifica-se na medida em que na resolução temporal de uma hora, cada hora é a média de 60 intervalos de 1 minuto. Assim, quanto mais curta for a resolução, mais refinados serão os dados e maior diferença haverá entre os resultados face à resolução de uma hora.

Após o cálculo do excedente anual produzido, calcula-se a percentagem do mesmo a partir do indicador de excedente anual (Figura 16).

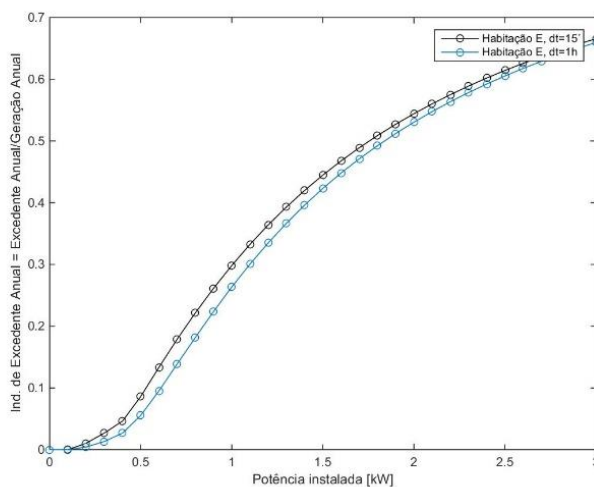


Figura 16 - Indicador de excedente anual produzido.

A percentagem de energia gerada anualmente que não é autoconsumida assume o valor de 30% e de 26%, para a resolução de 15 minutos e de uma hora, respetivamente. Ou seja, a energia autoconsumida ao longo do ano foi de 868 kWh/ano e 910 kWh/ano, respetivamente. Tal representa um indicador de autoconsumo na ordem dos 30% e 33%, ou seja, 30% das necessidades elétricas anuais da Habitação E foram supridas com a instalação fotovoltaica.

Os benefícios do produtor face à instalação do Kit de autoconsumo traduzem-se na Receita Final (Figura 17).

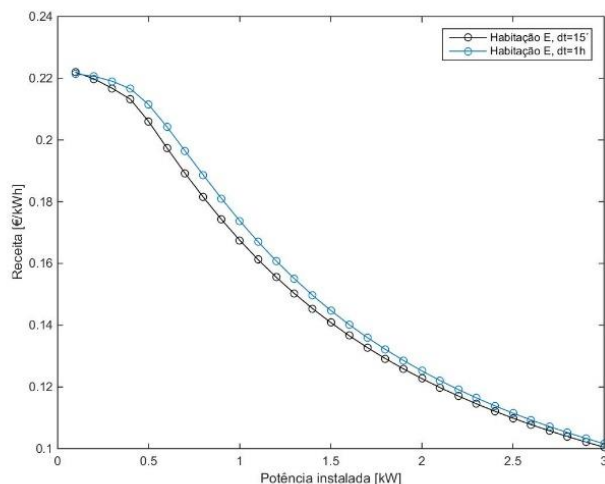


Figura 17 - Receita final.

Por cada kWh que se autoconsome poupa-se 0.1675 €/kWh e 0.1738 €/kWh, para a resolução de 15 minutos e de uma hora, respetivamente. A receita anual da venda do excedente à rede assume o valor de cerca de 15 €/ano para a resolução de 15 minutos, o que significa que cada kWh de excedente vendido custou ao comercializador de energia cerca de 0.041 €/kwh, ou seja, foi vendido a um preço sensivelmente quatro vezes mais barato do que o da tarifa.

A energia autoconsumida de 868 kWh/ano resultou numa receita de 192 €/ano (não contabilizando o custo da potência contratada), ou seja, 16 €/mês. A fatura elétrica da Habitação E sem o Kit de Autoconsumo instalado é de 555 €/ano acrescidos de 98 €/ano (contabilizando o custo da potência contratada de 6.9 kVA), o que significa que ao poupar-se 192 €/ano, paga-se somente 363 €/ano de energia elétrica. Por último, calcula-se o tempo de retorno do investimento (Figura 18).

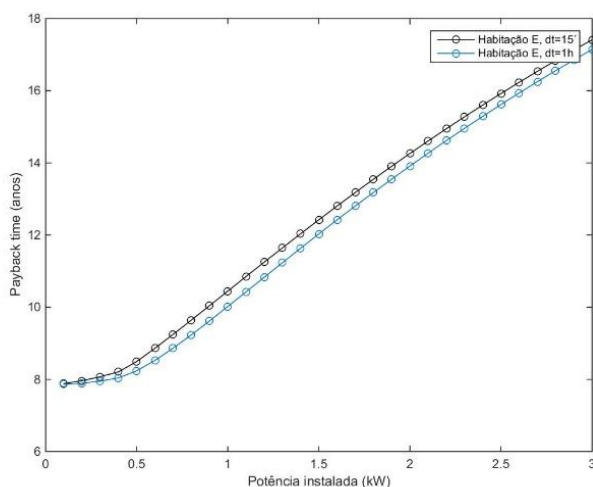


Figura 18 - Tempo de retorno do investimento.

O tempo de retorno do investimento é de 10 anos e sensivelmente 5 meses para a resolução temporal de 15 minutos e de 10 anos para a resolução temporal de uma hora. Como se confirma, existe uma diferença entre as resoluções. De destacar que quanto maior é a potência instalada do sistema, pior é o desempenho económico.

A título de curiosidade, faz-se uma breve análise para a potência instalada de 200 W, dado que até esta potência instalada o sistema fotovoltaico está isento de controlo prévio. Isenção esta que não carece que comunicação prévia de exploração à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) ou quaisquer licenças de produção e/ou exploração. Ou seja, até 200 W não há exigências burocráticas de maior. A análise que se segue é baseada na resolução temporal de 15 minutos.

Um módulo com potência instalada de 200 W gera 247 kWh/ano, apresentando um excedente de produção de 2.58 kWh/ano (Figura 15) e tem um indicador de excedentes de produção na ordem dos 0.01% (Figura 16), o que significa que praticamente toda a energia gerada é autoconsumida. Neste caso concreto, autoconsegue-se 8% das necessidades efetivas de consumo. A energia autoconsumida resulta numa receita de 54 €/ano, o que leva a uma redução na fatura elétrica anual para 501 €. Por cada kWh autoconsumido poupa-se 0.2198 €/ano (Figura 17) e o tempo de retorno do investimento é de sensivelmente 8 anos (Figura 18).

## 4.2. Produção em Autoconsumo Agregado

Neste ponto é apresentada a segunda solução para otimizar o caso de estudo exposto no subcapítulo anterior.

Sugere-se a agregação de várias habitações a um mesmo sistema fotovoltaico, de forma a contornar o facto de o consumo doméstico ao longo do dia ter uma variação quase instantânea (Figura 19). Variação esta que não é contabilizada nos casos de estudos apresentados pelo do Governo na apresentação pública em formato digital mencionada no subcapítulo 1.1 Enquadramento e Motivação, pois os exemplos que constam no mesmo apresentam uma variação horária.

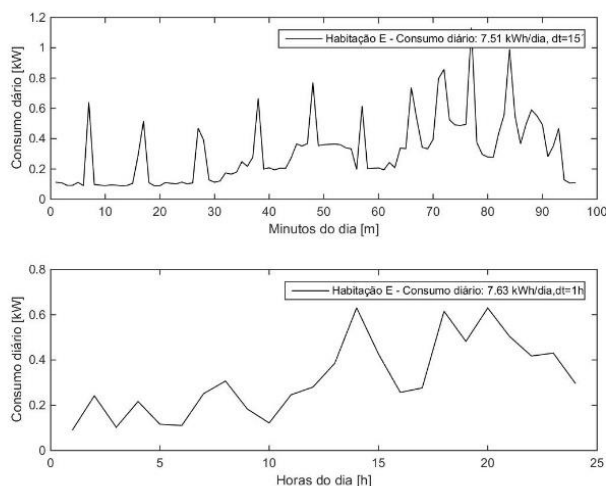


Figure 19 - Variabilidade do consumo para um dia arbitrário para a resolução temporal de 15 minutos e de 1 hora.

Como se observa, para a resolução temporal de 15 minutos, a variabilidade de consumo é mais pautada do que a de 1 hora. O facto de o consumo não ser contante e ser variável ao longo do dia conduz a que, em média, uma família portuguesa cujo consumo anual ronde os 3000 kWh/ano, que instale um Kit de Autoconsumo de 1000 W perca 30% da geração anual em excesso. Assim, a agregação das 27 habitações assenta na ideia de quanto mais habitações estiverem agregadas à mesma

instalação fotovoltaica, maior será a probabilidade de haver autoconsumo em cada intervalo de tempo. Deste modo, evita-se tanto excedente produzido, como também possibilita a instalação de uma potência mais adequada às necessidades de consumo, não havendo necessidade de subdimensionar a instalação de forma a evitar um excedente produzido tão acentuado.

De acordo com o acima exposto, tal permitirá que mais energia elétrica gerada pelo painel seja autoconsumida e não perdida em excesso. Esta perda traduz-se na venda do excedente de produção à rede, o que é um comportamento a evitar, dado que a nível económico, de acordo com o Decreto de Lei em foco, não se torna vantajoso para o produtor. Aqui as 27 habitações foram agregadas de acordo com a média de 10 conjuntos de agregações aleatórias. Procedeu-se desta forma com o intuito de homogeneizar a variabilidade das possíveis combinações aleatórias de agregar as 27 habitações da amostra.

Primeiramente, analisa-se o gráfico de consumo médio por cada casa constituinte de cada agregação (Figura 20).

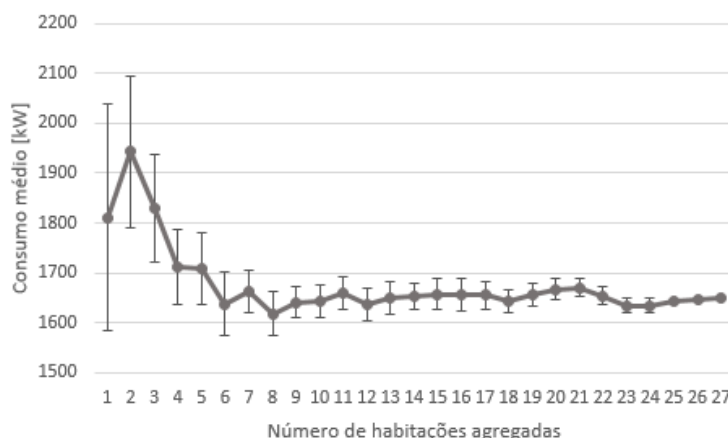


Figure 20 - Consumo médio por habitação de cada agregação.

As barras de erro servem para indicar o quão dispares são os resultados de cada um dos 10 modelos de simulação aleatória em relação à média de cada agregação. Como se pode observar, as primeiras agregações apresentam alguma variação em relação à média. No entanto, essa variação atenua-se a partir da 9ª agregação, sendo que a partir da agregação 23 o erro se torna insignificante. O consumo médio da amostra é cerca de 1700 kWh/ano.

Seguidamente, expõem-se o gráfico do excedente médio produzido anualmente por habitação agregada para cada agregação (Figura 21).

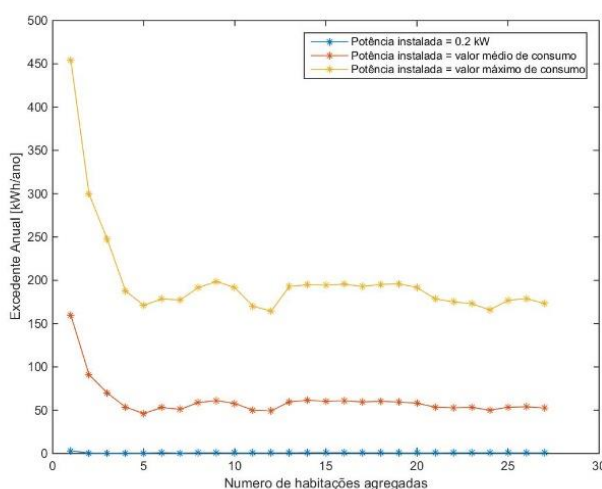


Figura 21 - Excedente anual médio produzido por habitação de cada agregação.

Como se pode observar, aquando das 5, 12 e 24 habitações agregadas, destacam-se os valores mínimos de excedente face ao segundo e terceiro cenários que regista o valor de 46 kWh/ano, 49 kWh/ano e 50 kWh/ano para o segundo cenário e 171 kWh/ano, 164 kWh/ano e 176 kWh/ano para o terceiro cenário. No primeiro cenário, o valor mínimo é atingido na 3ª agregação, registando um valor de 0.279 kWh/ano.

Das três agregações acima destacadas, dado a semelhança de resultados entre as mesmas, seleciona-se 5ª agregação para se fazer a restante análise deste caso de estudo. A mesma apresenta um consumo anual médio por habitação de 1709 kWh/ano e uma potência instalada de 2.85 kW. É de destacar que o excedente aumenta e posteriormente volta a diminuir a partir da 5ª agregação. Tal acontece porque o incremento de uma nova habitação a cada agregação da amostra e posterior divisão pelo número de casas agregadas por agregação, nem sempre é proporcional entre elas.

Naturalmente a energia autoconsumida por habitação é maior tanto quanto maior for a potência instalada. Quanto maior a potência instalada face aos três cenários apresentados, maior a quantidade de energia autoconsumida (Figura 22).

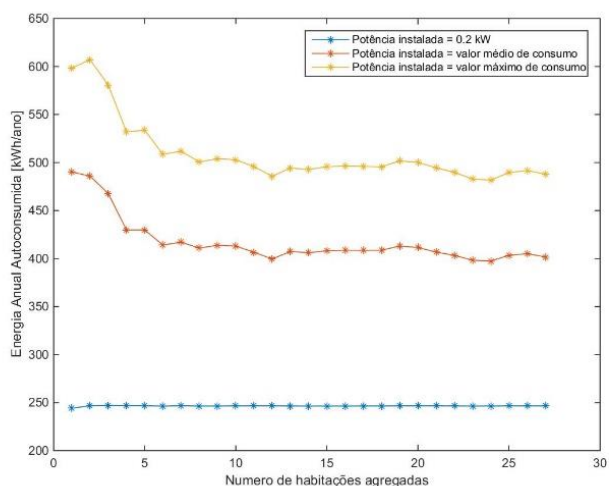


Figura 22 - Energia média anual autoconsumida por habitação de cada agregação.

Como antecipado, face a qualquer agregação, a medida que a potência instalada aumenta entre os cenários, a energia autoconsumida aumenta também. Desta forma, vai somente considerar-se o segundo e o terceiro cenário, dado que o primeiro não se torna vantajoso. Os resultados para a 5ª agregação é de 430 kWh/ano e 533 kWh/ano para o segundo e terceiro cenário, respetivamente.

Seguidamente apresenta-se a percentagem de energia gerada que resultou em excesso (Figura 23).

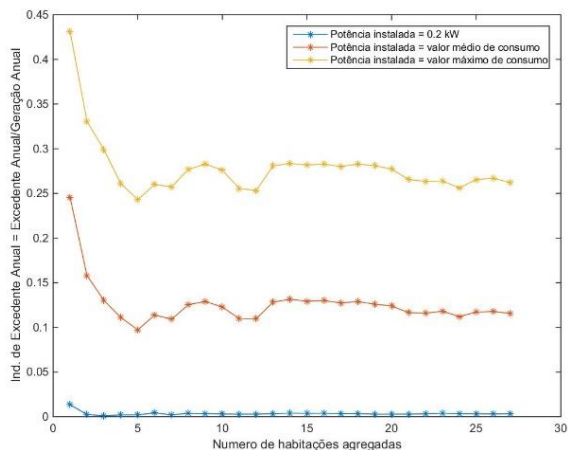


Figura 23 - Indicador de Excedente anual médio por habitação.

A percentagem de excedente face ao segundo e terceiro cenário para a 5ª agregação é de 1% e 20%, respetivamente, conforme na Tabela 6 abaixo indicada. A tabela abaixo apresentada resume os dados acima expostos e tem por objetivo elucidar o porquê de a partir deste ponto só se considerar o cenário máximo.

Tabela 6 - Tabela de resumo do cenário 2 e 3.

Consumo médio [kWh/ano]	Excesso médio [kWh/ano]	Autoconsumo médio [kWh/ano]	Indicador de Excesso médio [%]	Indicador de Autoconsumo médio [%]	Cenário
1709	46	430	1	25	2
	171	533	20	31	3

Como se pode observar, de acordo com o indicador de autoconsumo médio, é preferível escolher o cenário máximo (cenário 3) onde 31% do consumo anual é suprido através do autoconsumo, pois como se constatou antes (Figura 22) a energia autoconsumida é maior. A energia autoconsumida para o cenário 3 resulta em 117 €/ano de poupança, em média, na fatura elétrica de cada uma das habitações constituintes da 5ª agregação.

Posteriormente apresenta-se a receita (Figura 24).

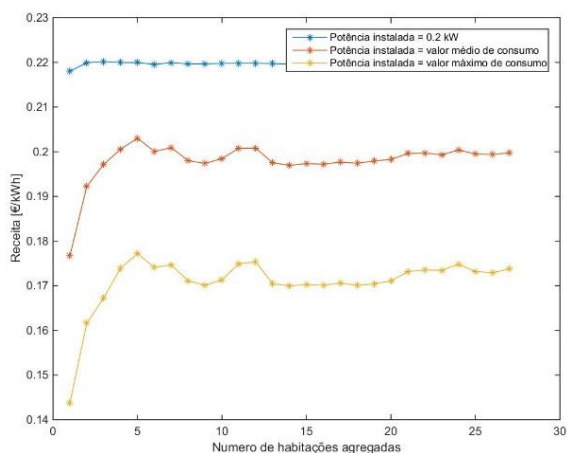


Figura 24 - Receita final média por habitação.

A receita, para a 5ª agregação toma o valor de 0.1772 €/kWh, ou seja, por cada kWh autoconsumido poupa-se 0.1772 €/kWh que é quase o preço a que está cotado o kWh por parte das empresas comercializadoras (Tabela 2 - [ERSE,2015]).

Por último, apresenta-se o tempo de retorno no investimento (Figura 25).

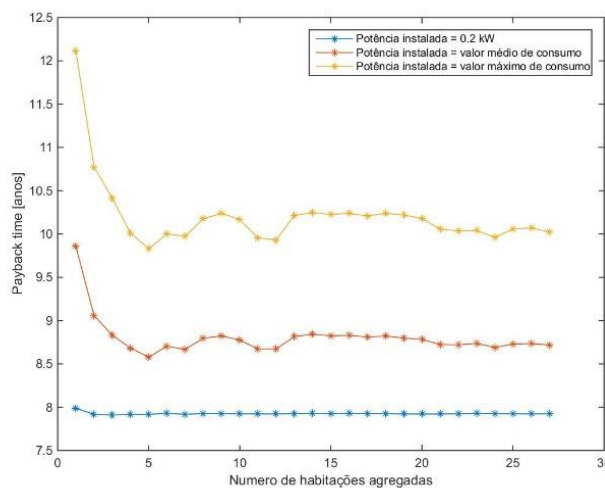


Figura 25 - Tempo de retorno do investimento médio por habitação.

O valor do Payback Time para a 5ª é de 9 anos e 9 meses.

Por último, relativamente, entre optar pela 5ª, 12ª, 24ª ou 36ª agregação (por exemplo), não há uma opção melhor que a outra, pois tudo depende do contexto da situação. Se se pretender encontrar o número mínimo ótimo de habitações agregadas de entre as 27 habitações do bairro, a 5ª agregação é a apropriada e das três agregações de destaque a que apresenta maior percentagem de energia autoconsumida. Caso se pretenda mais habitações, opta-se pela 12ª, 24ª ou pela 27ª agregação, caso se pretenda agregar a totalidade. É de destacar que estes resultados foram atingidos significativamente antes de metade da totalidade das habitações da amostra estarem agregadas, o que significa é que a amostra continha habitações suficientes para se realizar este estudo. É de destacar também que após esta análise verifica-se que não é necessário um bairro para validar este raciocínio, mas sim um pequeno conjunto de apartamentos (condomínios) ou moradias.

Caso uma habitação com um consumo na ordem dos 1700 kWh/ano instalasse um *Kit de Autoconsumo* sem apoio de bateria com uma potência de 1 kW, ter-se-ia um excedente anual de 710 kWh/ano, um indicador de excedente de 57%, 527 kWh/ano de energia autoconsumida o que iria corresponder a 31 % das necessidades efetivas de consumo. A energia autoconsumida traduz-se em 117 €/ano o que resulta numa redução da fatura de 325 €/ano para 208 €/ano. Por último, uma receita de 0.1168 €/kWh e um tempo de retorno do investimento de 15 anos. Como tal, verifica-se que a produção em autoconsumo agregado é bem mais vantajosa que a produção em autoconsumo individual.

### 4.3. Produção em Autoconsumo Individual com apoio de bateria

No presente capítulo é apresentada a segunda solução para otimizar o caso de estudo exposto no subcapítulo 1.1 – Produção em Autoconsumo Individual.

O objetivo deste subcapítulo é apoiar com uma bateria o sistema de autoconsumo fotovoltaico, de forma a armazenar o excedente produzido ao longo do dia, de modo a que este seja possa ser autoconsumido, posteriormente, quando não há geração de energia, ou seja, quando não há sol ou quando a geração não for suficiente para suprir o consumo.

Consideraram-se dois cenários:

- i. O modelo da bateria instalada é de 7 kWh/dia de armazenamento e a potência instalada do módulo de 1 kW;
- ii. O modelo da bateria instalada é de 10 kWh/dia de armazenamento e a potência instalada do módulo é de 1.5 kW.

#### 4.3.1. Tesla Powerwall: Modelo 7 kWh/dia

Este modelo opera somente no intervalo de armazenamento de sensivelmente [3.5,6.44] kWh/dia, dado que o mesmo modelo apresenta uma eficiência de 92% e uma capacidade de descarga de 50%. Quer isto dizer que pode-se armazenar até 2.94 kWh/dia. No entanto, em muitos dias, não se chega sequer a armazenar esta energia, pois a bateria já está carregada com energia de dias anteriores.

A Figura 26 apresenta a energia diária armazenada autoconsumida e o consumo diário a ser suprido pelo armazenamento para uma potência instalada de 1 kW.

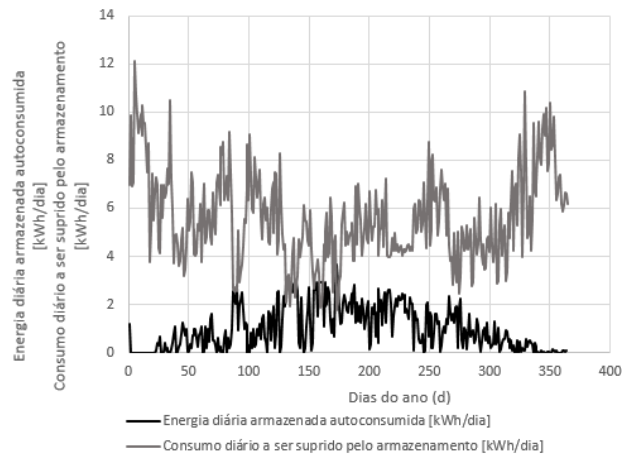


Figura 26 - Energia diária armazenada autoconsumida e Consumo diário a ser suprido.

Após a energia autoconsumida diretamente da geração, 868 kWh/ano, o que corresponde a 30% das necessidades efetivas de consumo, obtém-se um excesso de 369 kWh/ano e um consumo anual a suprir de 2039 kWh/ano (Figura 27).

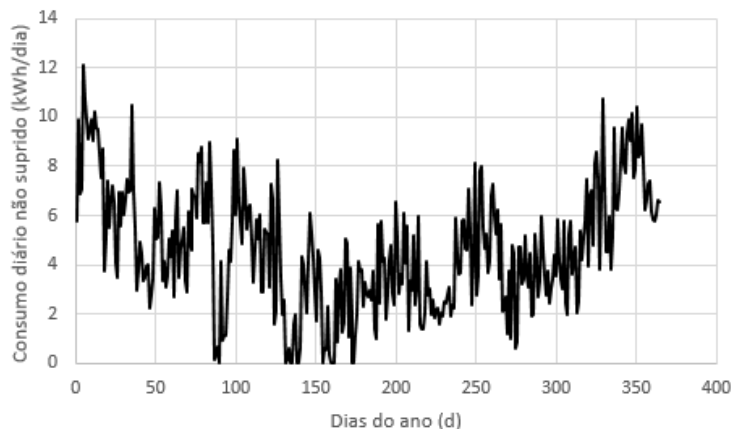


Figura 27 - Consumo diário não suprido.

O excesso que foi armazenado na bateria será autoconsumido posteriormente. Autoconsumiu-se 362 kWh/ano de energia armazenada, o que na totalidade perfaz um total de 1230 kWh/ano. Assim somente é necessário comprar à rede cerca de 1680 kWh/ano e vender cerca 7 kWh/ano (Figura 28). Ao autoconsumir-se 1230 kWh/ano supre-se 42% das necessidades efetivas de consumo da habitação.

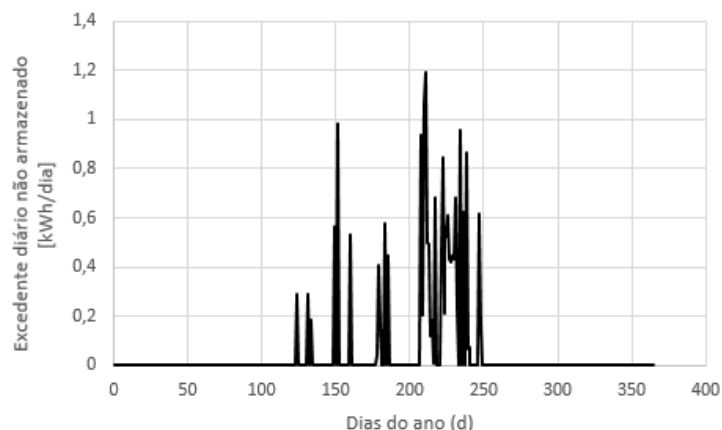


Figura 28 - Excedente médio diário não armazenado.

A energia total autoconsumida toma o valor de 1230 kWh/ano, o que se traduz numa poupança de 272 €/ano na fatura elétrica anual, sendo que em vez de se pagar 363 €/ano (produção em autoconsumo individual) paga-se 283 €/ano. O excedente vendido à rede traduz-se numa receita de 0.2627 €/ano. A receita neste cenário é de 0.2205 €/kWh.

Os custos do investimento são de 5362 €, dado que se considerou um acréscimo de cerca 500 € no preço da bateria devido à instalação da mesma.

Assim sendo, obtém-se um tempo de retorno do investimento de 19 anos e sensivelmente 8 meses. Como se constata este investimento demora, aproximadamente, cerca de mais anos a ser pago que o sistema fotovoltaico em autoconsumo individual e sensivelmente mais 12 anos que o sistema fotovoltaico em produção agregada. Tal deve-se aos diferentes custos de investimento entre os casos de estudo.

Comparando esta solução em relação ao autoconsumo individual sem bateria, verifica-se que neste cenário temos uma redução da fatura elétrica de 363 €/ano para 283 €/ano (não considerando o custo da potência contratada). Considerando que o sistema fotovoltaico dura 25 anos, nos últimos 5 anos do seu ciclo de vida, somente se irá gastar 283 €/ano em energia elétrica, o que ao fim de 25 anos corresponde a 7075 €. Dados os resultados, autoconsome-se sensivelmente 100% da energia elétrica gerada o que corresponde a sensivelmente 42% do consumo anual desta habitação, ao invés de 40% da energia elétrica gerada e 28% do consumo anual, caso o sistema não tivesse uma bateria acoplada.

Caso se dimensionasse este caso de estudo para uma habitação com um consumo inferior a percentagem de energia autoconsumida seria de 100%, ao passo que se se dimensionasse para uma casa muito maior a energia autoconsumida iria ser inferior a 99%. No entanto, se se dimensionasse para uma casa com um consumo anual na mesma ordem de grandeza da Habitação E, ainda que considerando possíveis alterações comportamentais no consumo, bem como o uso outros equipamentos domésticos, a energia autoconsumida não iria sofrer alterações de maior.

### 4.3.2. Tesla Powerwall: Modelo 10 kWh/dia

Este modelo opera com um intervalo de armazenamento de [5,9.2] kWh/dia, que é sensivelmente 42% maior que o do modelo anterior. A capacidade de armazenamento máxima deste modelo é de 4.2 kWh/dia.

Neste subcapítulo mantém-se a Habitação E como caso de estudo. Todavia, analisa-se a potência instalada de 1.5 kW para justificar a instalação de uma bateria cuja capacidade de armazenamento é de 10 kWh/dia. Pois já se comprovou que o modelo anterior é suficiente para que a habitação autoconsuma praticamente 100% da energia que o módulo gera para uma potência instalada de 1 kW.

A Figura 29 representa a energia diária armazenada autoconsumida e o consumo diário a ser suprido pelo armazenamento para uma potência instalada de 1.5 kW.

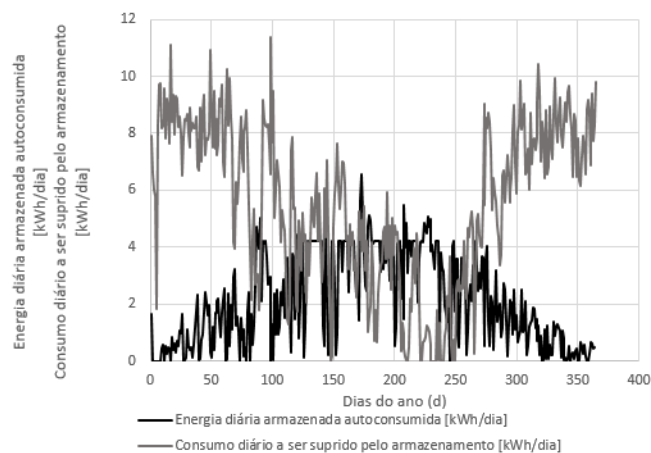


Figura 29 - Energia anual armazenada autoconsumida e consumo diário a ser suprido pelo armazenamento.

Após a energia autoconsumida diretamente da geração, 1030 kWh/ano, obtém-se um excesso de 824 kWh/ano e um consumo anual a suprir de 2029 kWh/ano (Figura 30).

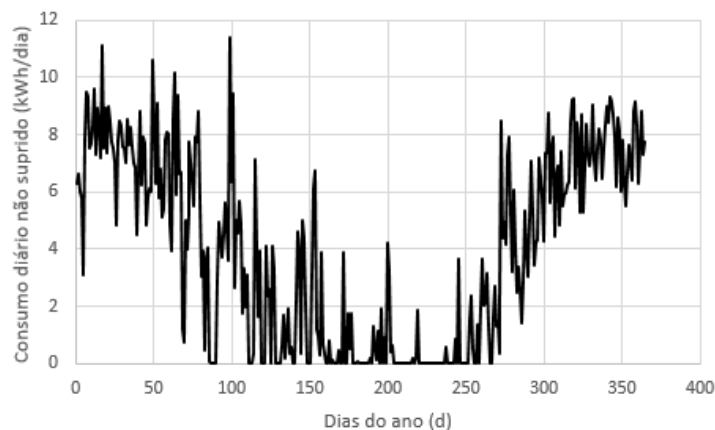


Figura 30 - Consumo diário não suprido.

Excesso este que foi armazenado na bateria, para ser autoconsumido, posteriormente. Autoconsumiu-se 773 kWh/ano de energia armazenada, o que na totalidade perfaz um total de 1803 kWh/ano. Assim somente é necessário comprar à rede 1104 kWh/ano e vender 62 kWh/ano (Figura 31). Ao autoconsumir-se 1803 kWh/ano supre-se 62% das necessidades efetivas de consumo da habitação.

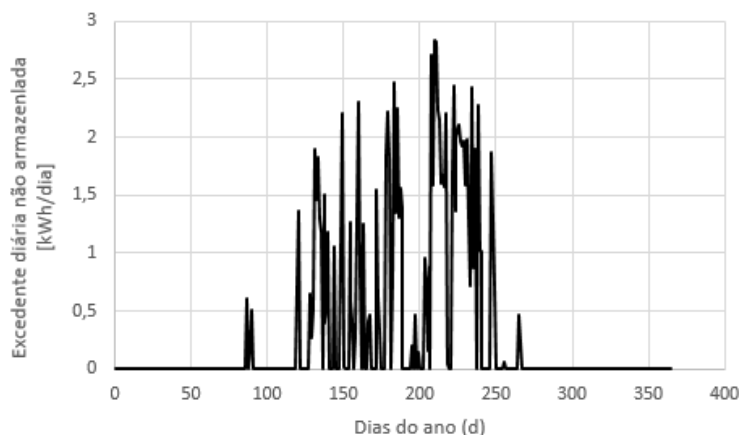


Figura 31 - Excedente médio diário não armazenado.

A energia total autoconsumida toma o valor de 1803 kWh/ano, o que se traduz numa poupança de 400 €. O excedente vendido à rede traduz-se numa receita de 2.3269 €/ano. A receita neste cenário é de 0.2165 €/kWh.

Os custos do investimento é de 6894 €, dado que se considerou um acréscimo de cerca 500 € no preço da bateria devido à instalação da mesma.

Assim sendo, obtém-se um tempo de retorno do investimento de 17 anos.

Comparando esta solução em relação ao autoconsumo individual sem bateria para a mesma potência instalada, verifica-se que neste cenário temos uma redução da fatura elétrica de 327 €/ano para 155 €/ano. Considerando que o sistema fotovoltaico dura 25 anos, nos últimos 7 anos do seu ciclo de vida, só irá ser necessário gastar 155 €/ano em energia elétrica, sendo que ao longo do ciclo de vida do sistema se gasta 3875 €. Dados os resultados, autoconsome-se sensivelmente 97% da energia elétrica gerada e sensivelmente 62% do consumo anual desta habitação, ao invés de 56% e 35%, respetivamente, caso o sistema não tivesse uma bateria acoplada.

#### 4.4. Comparação entre as duas soluções

Comparando as duas soluções apresentadas conclui-se a produção em autoconsumo agregado é a mais vantajosa, a nível económico. Considerando uma habitação com um consumo a rondar os 1700 €/ano (consumo médio da amostra), ao fim de 25 anos irá apresentar um custo total (custo do investimento inicial em conjunto com o custo da fatura elétrica) de 7363 € e um payback de 15 anos para a potência instalada de 1 kW. Para a mesma habitação, no contexto de agregação da amostra utilizada, o custo total será cerca de 4157 € e um payback de 9 anos e 9 meses. Caso se instale uma bateria com capacidade de 7 kWh/dia (para esta ordem de consumo não é necessário instalar o modelo maior) o custo do investimento inicial será de 5362 € e um payback de 19 anos e 7 meses. No contexto de autoconsumo agregado, tem-se um investimento inicial médio por cada casa da agregação muito menor e consequentemente um menor payback. No entanto, em comparação ao cenário de produção em autoconsumo individual com bateria acoplada, não se autoconsome quase, ou mesmo, a totalidade da energia gerada.

De entre os modelos da bateria, a longo prazo, compensa mais instalar o modelo de 10 kWh/dia para uma potência instalada de 1.5 kW, na medida em que armazena mais energia do que o modelo 7 kWh/dia para uma potência instalada de 1 kW. Nesse sentido, mais energia é autoconsumida, logo menor será a fatura elétrica ao longo dos 25 anos e por isso regista-se uma diferença de investimento inicial de 1532 €, que irá permitir poupar 3200 €, ao fim do ciclo de vida, para uma habitação cujo consumo ronde os 3000 kWh/ano.

Como se observa, a solução de produção em autoconsumo individual com apoio de bateria apresenta um payback muito elevado derivado aos elevados custos de investimento. Para que esta solução em termos económicos fosse competitiva, isto é, para que o tempo de retorno não se altere, o modelo de armazenamento de 7 kWh/dia deveria custar 13.5 vezes menos e o modelo de 10 kWh//dia deveria custar 2.6 vezes menos, ou seja, 200 € e 1200 €, respetivamente.

## Capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Com a realização desta dissertação explorou-se o Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro de 2014, através de três casos de estudo diferentes (produção em autoconsumo individual sem subdimensionamento, produção em autoconsumo agregado e produção em autoconsumo individual com apoio de bateria). Tal tem por objetivo perceber quais as diferenças entre eles e as suas vantagens e desvantagens em relação uns aos outros, à luz da atual legislação.

Primeiramente, destaca-se a importância de utilizar resoluções temporais de dados de consumo o mais curtas possível, de forma a ter dados mais refinados e com mais detalhe temporal. Como se constatou a diferença entre as duas resoluções temporais aqui utilizadas foi significativa, induzindo que quanto menor for a resolução, mais refinados serão os dados.

Seguidamente, destaca-se que devido à variabilidade quase instantânea das necessidades de consumo de uma habitação, o atual Decreto-Lei promove a instalação de sistemas com uma potência instalada muito inferior às necessidades efetivas da habitação, de forma a evitar o excedente de produção. Isto traduz-se num problema de otimização entre instalar uma baixa potência ou instalar uma potência que vá de acordo às necessidades da habitação. Ao instalar-se uma baixa potência não se compromete o tempo de retorno do investimento, embora somente uma baixa percentagem de energia é autoconsumida face às necessidades efetivas de consumo. Caso se instale uma potência adequada o tempo de retorno do investimento é mais elevado, porém a energia autoconsumida é superior.

Nesse sentido foram exploradas duas abordagens para ultrapassar esta limitação: a produção em autoconsumo agregado e a produção em autoconsumo individual com apoio de bateria.

A produção em autoconsumo agregado demonstra que com um conjunto de cinco habitações agregadas com um consumo médio de 1700 kWh/ano (e.g. tanto podem cinco apartamentos de um pequeno prédio ou cinco habitações de uma rua agregadas) se consegue reduzir em o excedente de produção para 37% ao invés de 57% caso cada uma das habitações agregadas tivesse um sistema individual. Tal sugere que se deve procurar mecanismos legais para facilitar o alargamento do autoconsumo aos condomínios.

Esta conclusão sugere também que, ao agregarem-se habitações, poder-se-ia aumentar a potência instalada face a cada habitação constituinte da agregação, aumentando o autoconsumo e diminuindo o excedente produzido. Como tal, não é necessário um bairro para tornar este raciocínio viável, dado que se provou que um pequeno conjunto de casas é suficiente.

Relativamente à produção em autoconsumo individual para um consumo anual de cerca de 3000 kWh/ano com apoio de bateria, conclui-se, que a utilização de sistemas de armazenamento com bateria, apesar dos recentes modelos da Tesla, continuam a ser pouco competitivos do ponto de vista do investimento, resultando em tempos de retorno do investimento entre cerca de 17 e 20 anos, face ao modelo de 7 kWh/ano e de 10 kWh/ano para as potências instaladas de 1 kW e 1.5 kW, respetivamente, face à mesma habitação. No entanto, apesar de implicar um aumento do investimento inicial, permite viabilizar o aumento da potência instalada per capita, sendo que para o modelo de 7 kWh/dia se autoconsome praticamente 100% da energia gerada anualmente, o que corresponde a 42% das necessidades efetivas de consumo e para o modelo de 10 kWh/dia autoconsome-se 97%, o que corresponde a 67% das necessidades efetivas de consumo. Caso não se instalasse uma bateria o modelo de armazenamento de 7 kWh autoconsumiria 40% o que corresponde a 28% das necessidades efetivas de consumo e o modelo de armazenamento de 10 kWh/dia autoconsumiria 56% da energia gerada o que corresponde a 35% das necessidades efetivas de consumo.

Por último, como limitação apresenta-se o facto de se utilizar uma resolução temporal de 15 minutos e não de 1 minuto de forma a ter-se dados e conseqüentemente resultados ainda mais refinados.

Como desenvolvimento futuro, acredita-se que o lançamento da Tesla Powerwall vá revolucionar a indústria das baterias, sendo um ponto de viragem na inovação desta tecnologia. Mesmo que os modelos atuais não se ajustem corretamente às necessidades, num futuro próximo é bastante provável que haja mais modelos, inclusivamente de outros tipos e até de outras marcas, bastante mais eficientes e que se adaptem, sem margem para dúvidas, às necessidades domésticas de armazenamento e a um preço bem mais acessível.

## Referências Bibliográficas

- [1] Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro. *Diário da República n.º 209/90 – I Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. pp. 5298.
- [2] Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro. *Diário da República n.º 209/90 – I Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. pp. 5298.
- [3] Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro. *Diário da República n.º 209/90 – I Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. pp. 5299.
- [4] Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro. *Diário da República n.º 209/90 – I Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. pp. 5300.
- [5] Governo da República Portuguesa (2014). *Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída*. pp. 13. Acedido em: 19/Janeiro/2015, em: <http://www.futursolutions.pt/docs/EnquadProdDistri.pdf>
- [6] Governo da República Portuguesa (2014). *Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída*. pp. 19. Acedido a 19 de Janeiro de 2015 em: <http://www.futursolutions.pt/docs/EnquadProdDistri.pdf>
- [7] Operador de Mercado Ibérico de Energia (2015). *Resultados Mercados*. Acedido a 21 de Março de 2015 em: <http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>
- [8] Instituto Nacional de Estatística (2015). Consumo de energia elétrica per capita total e por tipo de consumo. Acedido a 22 de Junho de 2015 em: <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+per+capita+total+e+por+tipo+de+consumo-1230>
- [9] Instituto Nacional de Estatística. *Dimensão média dos agregados domésticos privados*. Acedido a 22 de Junho de 2015 em: <http://www.pordata.pt/Portugal/Dimens%C3%A3o+m%C3%A9dia+dos+agregados+dom%C3%A9sticos+privados+-511>
- [10] Mendes, J. e Carvalho M. (2013). *Solterm*. [CD-ROM]. 5ª ed.
- [11] Brito, Miguel. (2013). *PV SYSTEM Sizing*, p. 7.
- [12] Operador de Mercado Ibérico de Energia (2015). *Resultados Mercados*. Acedido a 21 de Março de 2015 em: <http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>
- [13] Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro. *Diário da República n.º 209/90 – I Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa. pp. 5305.
- [14] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (2015, 5 Fevereiro). *Preços de Referência no Mercado Liberalizado de Energia Elétrica e Gás Natural em Portugal Continental*. pp. 5 – 21.
- [15] DECO PROTESTE (2015). *Novos tarifários Galp On: não valem a pena*. Acedido a 18 de Julho de 2015 em: <http://www.deco.proteste.pt/casa/eletricidade-gas/testes-primeira-impressao/novos-tarifarios-galp-on-nao-valem-a-pena>
- [16] CCBS Energia (2015). *Kits de Autoconsumo*. Acedido a 22 de Junho de 2015 em: <http://www.ccbs-energia.pt/loja/produtos/kits-autoconsumo/kit-com-microinversores/kit-autoconsumo-de-1000w-com-microinversor-info>

- [17] Kingsolar (2015). *Kits de Autoconsumo*. Acedido a 22 de Junho de 2015 em: <http://www.kingsolar.pt/empresa.html>
- [18] Esite Energias (2015). *Kits de Autoconsumo*. Acedido a 22 de Junho de 2015 em: <http://esite.pt/userfiles/Tab-PV-Autoconsumo-Set-14.pdf>
- [19] Solar Waters (2015). *Kits de Autoconsumo*. Acedido a 22 de Junho de 2015 em: <http://www.solarwaters.pt/autoconsumo/autoconsumo-empresas-case-study#a1>
- [20] EDP (2015). *Tarifa Bi- Horária*. Acedido a 18 de Julho de 2015 em: <http://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosBTN.aspx>
- [21] TESLA (2015). *Tesla Powerwall*. Acedido a 15 de Julho de 2015 em: <http://www.teslamotors.com/powerwall>
- [22] Ramez Naam (2015). *Tesla Powerwall*. Acedido a 15 de Julho de 2015 em: <http://rameznaam.com/2015/04/30/tesla-powerwall-battery-economics-almost-there/>
- [23] PORDATA (2015). *Temperatura média do ar*. Acedido a 18 de Julho de 2015 em: [http://www.pordata.pt/Portugal/Temperatura+m%C3%A9dia+do+ar+\(m%C3%A9dia+anual\)-1067](http://www.pordata.pt/Portugal/Temperatura+m%C3%A9dia+do+ar+(m%C3%A9dia+anual)-1067)
- [24] Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2015). *Clima de Portugal Continental*. Acedido a 18 de Julho de 2015 em: <http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>