

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Valorização do Autoconsumo no âmbito das PME

Luís Manuel Soares Madureira Monteiro

VERSÃO FINAL

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

Orientador: Professor António Machado e Moura

Co-orientador: Engenheiro Sotero Feijó

Setembro de 2015

A Dissertação intitulada

“Valorização do Auto-Consumo no Âmbito das PME”

foi aprovada em provas realizadas em 21-10-2015

o júri



Presidente **Professor Doutor Artur Manuel de Figueiredo Fernandes e Costa**
 Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
 da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rita Manuela Monteiro Pereira

Professora Doutora Rita Manuela Monteiro Pereira
 Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto
 Superior de Engenharia de Coimbra

António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
 Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
 Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.

Luis Manuel Soares Madureira Monteiro

Autor - Luís Manuel Soares Madureira Monteiro

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Os sistemas fotovoltaicos têm vindo a ganhar cada vez mais importância no setor energético. No entanto, em Portugal, sempre houve uma lacuna relativamente ao autoconsumo. Com a legislação que entrou recentemente em vigor relativamente ao autoconsumo, as empresas e os particulares têm a oportunidade de produzir a própria energia que as suas instalações irão consumir

Um sistema de autoconsumo pretende, acima de tudo, minorar as faturas energéticas, uma vez que, com estes sistemas, poderemos conseguir que grande parte da energia consumida por uma determinada instalação, seja produzida no local.

Assim, e com a entrada em vigor da lei que supervisiona o autoconsumo, neste trabalho faz-se uma análise técnico económica do tema e implementou-se um programa de cálculo para avaliar se um sistema de autoconsumo seria ou não a melhor opção para uma determinada instalação.

Sabe-se, à partida, que o autoconsumo permitirá, praticamente sempre, reduzir nas faturas energéticas, no entanto, cabe ao cliente decidir se essa redução compensa com o investimento que terá de ser feito na instalação do sistema.

Palavras-chave: autoconsumo, faturas, fotovoltaico, investimento, legislação, programa de cálculo

Página em branco

Abstract

The photovoltaic systems are getting much more important in the energetic sector. However, in Portugal, self-consumption always had a breach. With the legislation that recently came out, not only enterprise, but also particular customers have the opportunity to produce the energy that their facilities will consume.

A self-consumption system as the main goal, above all, of reducing the energetic bill, once that, by using these systems, we might accomplish the goal that, most of the energy that is consumed in a specific installation, might be produced there.

Thereby, and with the recent legislation that supervises the self-consumption, in this work, a spreadsheet was made, in order to evaluate if a self-consumption system would be the best option for a certain installation.

It is already known that the self-consumption will allow, almost all of the time, reduce the energetic bills, however, the final decision comes down to the client, to verify if that reduction compensates with the investment that has to be made in the installation of the system.

Key words: bills, investment, legislation, photovoltaic, self-consumption, spreadsheet

Página em branco

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura por toda a disponibilidade, paciência, e por ter apoiado a criação desta dissertação desde o seu início.

Aos meus pais e ao meu irmão agradeço por nunca terem deixado de acreditar em mim durante este percurso, e por me apoiarem sempre, mesmo nos momentos mais difíceis sabiam sempre qual a melhor coisa a dizer.

Aos meus amigos de sempre, agradeço por terem estado sempre por perto, e agradeço por todos os bons e belos momentos de companheirismo, de partilha, de amizade, mas especialmente, agradeço pela presença nos maus momentos.

Agradeço também a todos os meus colegas da faculdade, que fizeram com que este percurso fosse mais brilhante, e com quem partilhei bons momentos durante estes anos.

Página em branco

Índice

Resumo.....	iii
Abstract.....	vi
Agradecimentos.....	viii
Índice.....	x
Lista de figuras.....	xii
Lista de tabelas.....	xiv
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1.....	16
Introdução	16
1.1- Enquadramento e Motivação	16
1.2- Objetivos	19
1.3- Estrutura da Dissertação	19
Capítulo 2.....	20
Fundamentos teóricos da Energia Solar	20
2.1- Energia Solar	20
2.1.1- Métodos Diretos.....	21
2.1.2- Métodos Indiretos	22
Capítulo 3.....	24
Sistemas Fotovoltaicos: Aspetos tecnológicos.....	24
3.1 Efeito fotovoltaico.....	24
3.2 - Tipos de sistemas fotovoltaicos	25
3.2.1 - Sistemas isolados	25
3.2.2 - Sistemas ligados à rede elétrica	27
3.3 - Descrição dos possíveis constituintes de um sistema fotovoltaico.....	27
3.3.1 - PAINÉIS SOLARES	28
3.3.1.1 - Células fotovoltaicas.....	29
3.3.1.1.1 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino	29
3.3.1.1.2 - Célula fotovoltaica de silício policristalino	31
3.3.1.1.3- Célula fotovoltaica de silício amorfo.....	35
3.3.1.1.4 - Célula fotovoltaica de CdTe (Telurieto de Cádmio).....	35
3.3.1.1.5 - Célula fotovoltaica de CIS (Diseleniuto de Cobre e Índio)	36

3.3.1.1.6- Célula fotovoltaica de Arsenieto de Gálio	36
3.3.1.1.7 Células de 3ª Geração.....	36
3.3.2 - Inversores.....	37
3.3.3 - Baterias	38
3.3.3.1 - Baterias de Chumbo-Ácido.....	39
3.3.3.2 - Baterias de gel (VRLA)	39
3.3.3.3 - Baterias de Níquel-Cádmio.....	41
3.3.3.4 - Baterias Níquel-Hidreto Metálico.....	41
3.3.3.5 - Baterias de íons de Lítio	42
3.3.4 Reguladores de Carga	43
3.3.5 Interligação e proteção dos módulos fotovoltaicos	44
Capítulo 4.....	46
O Autoconsumo e as UPP	46
4.1 Unidade de Pequena Produção.....	46
4.2 Autoconsumo	47
Capítulo 5.....	50
Criação do Programa de cálculo	50
5.1 Programa de cálculo (Usando as faturas energéticas do cliente)	50
5.2 - Programa de cálculo (Usando o software Owlintuition).....	59
5.3 - Programa de cálculo (Visual Basic).....	61
Capítulo 6.....	63
Conclusões	63
Referências	65

Lista de figuras

Figura 1.1 - Mapa das horas de sol recebidas por região, em Portugal [10]	17
Figura 1.2 - Contribuição, por região, da produção fotovoltaica, desde 2006 até 2015 [11].....	18
Figura 2.1 - A dispersão da energia solar [12]	20
Figura 2.2 - Esquema exemplificativo do "método direto" [13]	21
Figura 3.1 - Esquema exemplificativo do efeito fotovoltaico [14]	24
Figura 3.2- Esquema representativo de um sistema isolado [15].....	26
Figura 3.3 - Esquema exemplificativo de um sistema híbrido [16]	26
Figura 3.4- Exemplo de um sistema ligado à rede elétrica [17].....	27
Figura 3.5- Painel Solar, neste caso, policristalino	28
Figura 3.6- Célula fotovoltaica de silício monocristalino [18]	29
Figura 3.7 - Célula fotovoltaica de silício policristalino [18]	31
Figura 3.8 - Células POWER com diferentes camadas de anti-reflexão [9].....	32
Figura 3.9 - Célula de silício policristalino (Criada através do processo EFG) [19]	33
Figura 3.10 - Célula fotovoltaica de silício amorfo [20].....	35
Figura 3.11 - Módulo de Telurieto de Cádmio [1]	34
Figura 3.12 - Módulo de CIS (Diselenieto de Cobre e Índio) [2]	35
Figura 3.13 - Avião movido a energia solar [21]	37
Figura 3.14- Exemplo de um inversor utilizado em Sistemas fotovoltaicos, neste caso o Inversor SMA Sunny Boy 1.5 [22].....	38
Figura 3.15 - Exemplo de uma bateria de Chumbo-Ácido [23].....	39
Figura 3.16 - Exemplo de uma bateria VRLA [24].....	40
Figura 3.17 - Exemplo de uma bateria Níquel-Cádmio [25].....	41
Figura 3.18 - Exemplo de uma bateria de Níquel-Hidreto metálico	42
Figura 3.19 - Exemplo de uma bateria de íões de lítio [26]	42
Figura 3.20 - Exemplo de um regulador de carga utilizado nos sistemas fotovoltaicos [27].....	44

Figura 4.1 - Esquema representativo de uma instalação com sistema de autoconsumo [3].....	46
Figura 4.2 - Diagrama exemplificativo de um sistema de autoconsumo [3].....	47
Figura 5.1 - Folha de introdução de dados do programa de cálculo	49
Figura 5.2 - Folha de introdução de dados do programa de cálculo (Média diária dos consumos para cada mês)	50
Figura 5.3 - Folha "Autoconsumo" do programa de cálculo (Média diária dos vários parâmetros para cada mês)	52
Figura 5.4 - Tabela da estimativa de produção fotovoltaica	53
Figura 5.5 - Gráfico mensais "Consumo vs Produção"	54
Figura 5.6 - Gráfico dos consumos para os diferentes períodos (Vazio, Super Vazio, Ponta e Cheia) para todos os meses.....	54
Figura 5.7 - Tabela com os totais para cada mês de alguns parâmetros estudados.....	56
Figura 5.8 - Gráfico de barras "Custo mensal com FV vs Custo mensal sem FV"	56
Figura 5.9 - Mapa de compras para instalação do sistema FV	57
Figura 5.10 - Pagamentos a funcionários para instalação do sistema FV	57
Figura 5.11 - Gráfico do consumo diário de uma instalação em estudo	60
Figura 5.12 - Gráfico do consumo semanal de uma instalação em estudo	60
Figura 5.13 - Caixa de introdução de dados, criada com Visual Basic.....	62

Lista de tabelas

Tabela 1- As vantagens e desvantagens do silício monocristalino	31
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do silício policristalino	32

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

C – Cheia

ca – Corrente alternada

cc – Corrente Contínua

CFBE – Consumo Final Bruto de Energia

CIEG – Custos de Interesse Económico e Geral

FER – Fontes de Energia Renovável

FV – Fotovoltaico

P – Ponta

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

SEN – Sistema Elétrico Nacional

SV – Super Vazio

UPP – Unidades de Pequena Produção

V – Vazio

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MIEEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, sob a orientação do Professor António Machado e Moura.

Neste primeiro capítulo será feita uma contextualização do tema desta Dissertação, apresentando quais os principais objetivos que levaram à realização deste trabalho, e quais os principais objetivos a que este mesmo se propõe.

1.1- Enquadramento e Motivação

Hoje em dia, não só em Portugal, mas no Mundo em geral, vive-se numa constante procura de alternativas para diminuir a utilização de combustíveis fósseis. Assim o investimento nas chamadas fontes de energia limpa, tem vindo a sofrer um enorme crescimento, e tem também vindo a renovar-se tecnologicamente de forma a que estas fontes de energia (conhecidas como fontes de energia renovável) possam estar acessíveis a toda a gente, e que possam também ser, a cada dia que passa, mais eficientes do ponto de vista energético. Estas fontes de energia renovável têm vindo então a contribuir para um desenvolvimento que assenta em três grandes frentes (Ambiental, Social, Económico).

As fontes de energia renovável contribuía, em 2013, (segundo a Direção Geral de Energia e Geologia) com sensivelmente 5220 ktep (10³ Tonelada Equivalente de Petróleo) para o consumo de energia primária, que corresponde a cerca de 24% do total da energia primária consumida. Esta contribuição de 24% reflete-se não só pela maior quantidade energia renovável que é utilizada, mas também pela diminuição da utilização de outras fontes de energia primária, de que são exemplo, o carvão, o petróleo (há algumas oscilações, em que em alguns anos estas fontes aumentam o seu consumo, mas em geral, tem vindo a diminuir), o que faz com que todo o

consumo de energia primária tenha vindo a diminuir. Ainda segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, este consumo de energia primária passou de 27807 ktep no ano de 2005, para 21075 no ano de 2013. No que diz respeito ao CFBE, e à contribuição das FER para o mesmo, este contributo tem vindo a aumentar, sendo que era de 19,5% (3792 ktep) no ano de 2005, sendo de 25,7% (4198 ktep) no ano de 2013. Como se pode verificar pelos números acima apresentados, o CFBE tem vindo a diminuir nos últimos anos.

Atualmente, é possível instalar um sistema fotovoltaico (sistema FV) e produzir energia para consumo próprio (Autoconsumo) ou para vender à rede (UPP). Aquilo a que atualmente se chama de UPP estava anteriormente dividido em microprodução e miniprodução. A microprodução é a geração de energia pelo próprio consumidor utilizando equipamentos de pequena escala, como painéis solares ou microturbinas. Esta energia pode apenas ser utilizada em benefício da própria instalação se a sua utilização se destinar a aquecer águas sanitárias, sendo que toda a energia que não for utilizada para este propósito, será vendida à rede de distribuição. Segundo um dossier publicado pela Direção Geral de Energia e Geologia, datado de Abril de 2015, a microprodução em 2014 foi responsável pela produção de sensivelmente 149GWh (148994 MWh mais especificamente), um número praticamente igual ao de 2013, onde a microprodução foi responsável pela produção de 148775MWh. A microprodução teve um enorme crescimento entre os anos de 2008 e de 2012 (muito devido ao Decreto-Lei 363/2007 de 2 de Novembro, o qual enquadrou a produção e comercialização de energia elétrica em regime de microprodução), sendo que no ano de 2008 a microprodução foi responsável apenas pela produção de 7120MWh, e em 2012 pela produção de 131674MWh.

Na figura 1.1 podemos ver alguns dos dados no que à produção de energia fotovoltaica diz respeito. Neste caso, podemos ver os números da produção fotovoltaica por região. Ao analisarmos estes dados verificamos que em todas as regiões a produção fotovoltaica tem vindo a sofrer um enorme crescimento, sendo que nos últimos 8 anos a produção fotovoltaica cresceu cerca de 700 GWh. A região que mais contribui para a produção fotovoltaica no nosso país é a região do Alentejo. Este facto não é de estranhar, pois na figura 1.2 podemos ver que a região do Alentejo e do Algarve são as zonas que mais horas de sol recebem por ano, tornando assim natural que sejam as zonas que mais contribuam para a produção fotovoltaica em Portugal.

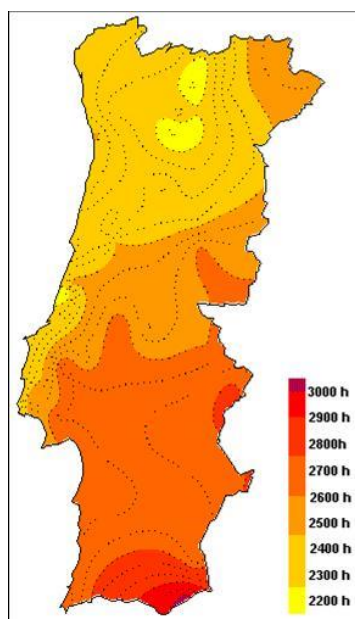


Figura 1.1 - Mapa das horas de sol recebidas por região, em Portugal [10]

Produção por Região (GWh)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015 maio ¹
Portugal	5	24	41	160	215	282	393	479	633	718
Continente	0	20	36	156	207	261	355	439	582	672
Norte	0	0	0	6	11	20	40	55	67	72
Centro	0	0	0	9	16	30	51	68	99	110
Lisboa	0	0	0	5	14	19	29	43	106	141
Alentejo	0	20	36	133	162	185	206	219	241	272
Algarve	0	0	0	2	4	7	29	53	70	77
R.A. Açores	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
R.A. Madeira	0	0	0	0	4	17	34	37	39	39
Não especificado	5	4	4	4	4	4	3	3	11	7

¹ Ano-móvel: junho de 2014 a maio de 2015.

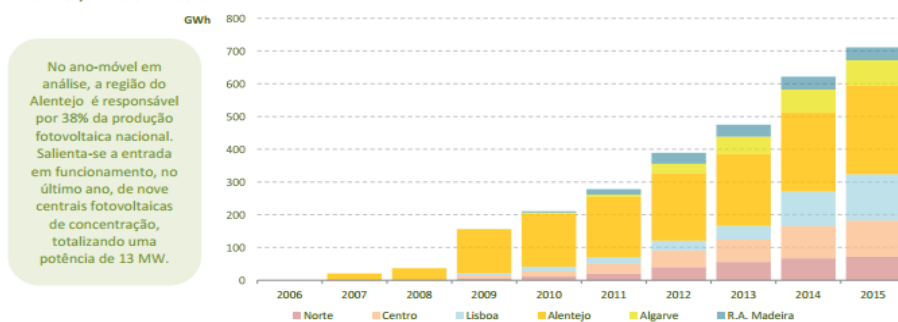


Figura 1.2 - Contribuição, por região, da produção fotovoltaica, desde 2006 até 2015 [11]

O autoconsumo pode ser definido como a produção autónoma de energia e que se destina ao consumo da própria instalação (seja particular ou empresa). As UPAC (Unidades de Produção para Autoconsumo) injetam a energia produzida na instalação de consumo. No caso de a energia produzida ser superior às necessidades de consumo da instalação em questão, o excedente pode ser vendido à RESP (Rede Elétrica de Serviço Público). O Autoconsumo pode ser de vários tipos, sendo que nesta dissertação iremos aprofundar o Autoconsumo Fotovoltaico, ou seja, o Autoconsumo cuja energia é produzida através de sistemas fotovoltaicos. Com a mais recente legislação acerca do Autoconsumo, este tornar-se-á, cada vez mais, uma opção bastante interessante, pois, permite-nos reduzir os custos com a nossa fatura energética, permitindo-nos ainda vender energia à rede, e para além disso, é fruto de uma “energia limpa”, pelo que é uma boa opção não só a nível económico, mas também a nível ambiental.

Assim, com esta dissertação pretende-se nomeadamente a implementação de um programa de cálculo, que cruzando os valores de produção e de consumos de uma determinada instalação, nos permita verificar se o autoconsumo consegue preencher os requisitos que o cliente pretende.

1.2- Objetivos

Este trabalho tem como objetivo implementar um programa de cálculo em parceria com a empresa A. Nogueira, na qual foi realizado o estágio. Esse programa de cálculo incluirá não só os valores da energia consumida pelo cliente (que se pode retirar através das faturas energéticas, ou do software Owlintuition), como também a previsível produção que se obteria instalando um sistema fotovoltaico no local definido. Através do cruzamento destes valores, com mais alguns dados e fórmulas que se incluíram no programa, e que se poderão verificar mais à frente, o cliente poderá analisar as poupanças que obterá com o autoconsumo, e decidir, considerando o investimento que terá que ser feito, se é ou não uma boa opção.

1.3- Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação é composta por 6 capítulos (sendo que um deles, é o presente capítulo, o capítulo 1). No capítulo 1 faz-se uma introdução ao tema, fazendo-se posteriormente um enquadramento da situação atual do sistema energético em Portugal, especificamente dos sistemas de autoconsumo e das UPP. De seguida apresentam-se os objetivos a que este trabalho se propõe.

O Capítulo 2 fala sobre a Energia Solar e sobre os seus fundamentos teóricos, sobre os métodos de captação desta, e sobre a quantidade que atinge a terra e a quantidade que é absorvida pelas nuvens, e pelos oceanos.

O Capítulo 3 fala sobre os sistemas fotovoltaicos, aprofundando tudo o que estes envolvem, falando sobre os seus constituintes, explicando as funções de cada um deles, e falando sobre as variações que cada um desses constituintes pode ter.

No Capítulo 4 o tema é o Autoconsumo vs UPP. Neste Capítulo, fala-se sobre as UPP, e sobre o Autoconsumo, e de que forma, a nova legislação veio alterar os panoramas em que ambas se encontravam.

O Capítulo 5 é onde se fala sobre o programa de cálculo que foi implementado ao longo do estágio que decorreu na empresa A Nogueira, e que é o ponto fulcral deste trabalho. Fala-se sobre tudo o que compõe o programa de cálculo e sobre os prós e os contras de cada forma utilizada para introduzir dados no mesmo.

No capítulo 6 fazem-se as conclusões finais do trabalho, falando-se também um pouco sobre os trabalhos futuros a realizar.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos da Energia Solar

2.1- Energia Solar

Antes de se falar nos sistemas fotovoltaicos é necessário abordar os fundamentos do tema energia solar.

Energia solar é a energia que provém do Sol e que nos chega sob a forma de radiação eletromagnética que designamos correntemente por luz e calor solares. Esta energia pode ser convertida através de painéis térmicos (convertem diretamente a energia solar em energia térmica, para vários usos, como por exemplo o aquecimento de águas), ou através de painéis fotovoltaicos (que convertem a energia solar diretamente em energia elétrica).

Como é sabido, nem toda a radiação solar atinge o nosso planeta, sendo que da radiação que é possível encontrar na camada exterior da atmosfera cerca de 30% é refletida para o espaço, sendo que o restante é absorvido pelas nuvens, pela atmosfera e pela superfície terrestre (figura 2.1). Essa radiação que é absorvida, pela atmosfera, pelas nuvens e pela superfície terrestre, faz com que haja, naturalmente, um aumento da temperatura total da energia solar.

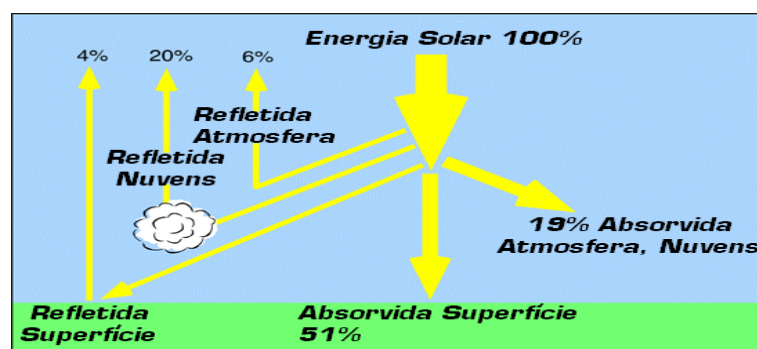


Figura 2.1 - A dispersão da energia solar [12]

O total de energia solar absorvida pelas nuvens, oceanos e pela massa terrestre é de aproximadamente 3850000 EJ/ano. ([4])

De acordo com um estudo publicado pelo Conselho Mundial de Energia (WEC – World Energy Council) em 2007, no ano 2100 cerca de 70% de toda a energia consumida terá origem solar.

As tecnologias solares podem ser caracterizadas como ativas ou passivas, variando esta caracterização, com a diferente forma de captura, conversão e distribuição da energia solar. Quando falamos de técnicas solares ativas falamos por exemplo do uso de painéis fotovoltaicos, de concentradores solares térmicos ou aquecedores solares. No caso de técnicas solares passivas temos alguns exemplos, como a orientação dos edifícios relativamente ao Sol, a seleção de materiais com massa térmica favorável, entre outros.

Podemos também caracterizar os métodos de captura da energia solar em métodos diretos e métodos indiretos.

2.1.1- Métodos Diretos

Quando nos referimos aos métodos diretos referimo-nos aos métodos nos quais apenas ocorre uma transformação para que a energia solar se transforme em energia que possa ser utilizada pelo ser humano, ou seja, por exemplo quando a energia solar atinge uma célula fotovoltaica criando eletricidade (este caso é um caso em que apesar de ser considerado como método de captura direta, a energia solar precisa de ser convertida em energia elétrica, e posteriormente há necessidade de uma nova conversão em energia luminosa ou energia mecânica, para que, aí sim, esta possa ser utilizada, de uma forma útil, pelo ser humano). Outro exemplo de captura direta é por exemplo quando a energia solar é utilizada para aquecer água, neste caso, a energia solar atinge uma superfície escura onde é transformada em calor, permitindo assim aquecer uma determinada quantidade de água.

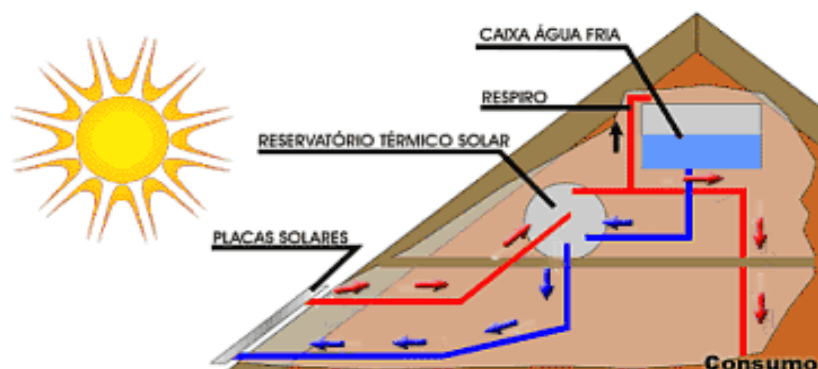


Figura 2.2- Esquema exemplificativo do "método direto" [13]

2.1.2- Métodos Indiretos

Os métodos indiretos são caracterizados por necessitarem de mais do que uma transformação antes de termos energia que possa ser utilizada pelo ser humano. Temos por exemplo o caso usado nas centrais heliotérmicas, em que a energia solar é concentrada através de coletores solares que irá criar energia térmica no recetor, e posteriormente, energia elétrica através de um ciclo termodinâmico convencional.

Naturalmente, este tipo de tecnologia (energia solar) acarreta vantagens e desvantagens consigo, como sempre se verifica. Assim, temos de seguida algumas das vantagens e das desvantagens que este tipo de tecnologia acarreta. ([4])

Vantagens:

- Durante o processo de geração de energia, a energia solar é não poluente, e a poluição que decorre durante os processos de fabrico dos painéis solares é, utilizando as formas de controlo utilizadas hoje em dia, completamente controlada;
- Os painéis são, a cada dia que passa, mais potentes, e o seu custo tem vindo a decair ao longo dos anos, como seria de esperar;
- As centrais necessitam de muito pouca manutenção;
- Devido ao facto de não necessitar de grandes investimentos em linhas de transmissão, é uma excelente opção para locais com acesso difícil;
- A radiação solar não tem custos e é perfeitamente abundante.

Desvantagens:

- Há uma quantidade enorme de energia que é consumida no processo de fabrico de um painel solar. Esta energia consumida é de tal ordem, que pode ser superior à energia que virá a ser gerada pelo painel;
- É ainda muito cara a aquisição e instalação de um painel solar, quando comparada com outros meios de energia;
- Depende muito das condições atmosféricas a sua produção, para além do que, durante a noite nunca há produção, o que leva a que, quando não se encontra ligado à rede, sejam necessários equipamentos de armazenamento da energia;
- Para que haja um fornecimento constante, é necessário um sistema de armazenamento bastante eficiente.

Capítulo 3

Sistemas Fotovoltaicos: Aspectos tecnológicos

3.1 Efeito fotovoltaico

Como o próprio nome indica, os sistemas fotovoltaicos têm por base, o efeito fotovoltaico. Efeito fotovoltaico pode ser definido como a criação de uma tensão elétrica num determinado material, após este ser exposto à luz. No efeito fotovoltaico os elétrons são transferidos entre diferentes bandas (das bandas de valência para as bandas de condução), dentro do próprio material sobre o qual a luz incide, o que resulta no aparecimento da tensão elétrica.

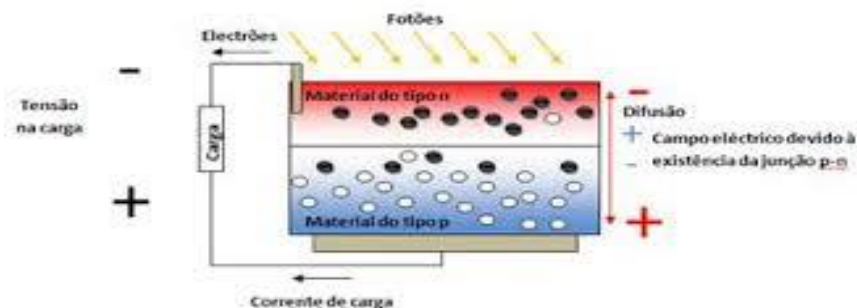


Figura 3.1 - Esquema exemplificativo do efeito fotovoltaico [14]

Os sistemas fotovoltaicos utilizam os painéis solares para converter a energia solar em energia elétrica. Os painéis solares são constituídos por várias células solares (visto serem estas que captam a luz do sol), sendo que muitas vezes, estas são vulgarmente chamadas de células fotovoltaicas.

As células solares são utilizadas em conjuntos usualmente de 36 ou 72 células ligadas em série que formam os módulos fotovoltaicos. Os módulos ligam-se depois entre si (em série ou em paralelo) dando origem a um conjunto que constitui um gerador fotovoltaico (ou array).

3.2 - Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos, dependendo das suas características, e dos locais onde se encontram inseridos, podem ser de dois tipos:

- Isolados
- Ligados à rede elétrica

3.2.1 - Sistemas isolados

Os sistemas isolados (stand alone systems) são sistemas em que a eletricidade produzida não vai para a rede pública, sendo utilizada para consumo próprio. Nos locais remotos e sem rede elétrica é a alternativa ideal, visto ser ecológica, e não necessitar de grande manutenção. Naturalmente, num sistema isolado, não se pode, continuamente, consumir mais energia do que a que está a ser produzida pelos painéis. Nos sistemas isolados é necessária a utilização de baterias de modo a ser possível armazenar a energia excedentária que é produzida, pois nem em todos os momentos, o consumo de energia é igual à energia que está a ser produzida. As capacidades das baterias variam conforme as necessidades do possuidor destes sistemas, ou seja, no caso de a energia ser maioritariamente necessária durante o dia, a capacidade das baterias poderá ser reduzida, visto que a bateria será carregada pelos painéis, ou seja, ao invés de ser carregada pelos painéis, os painéis fornecem logo a energia necessária ao sistema. No caso de a energia ser maioritariamente necessária no período noturno, a capacidade das baterias já terá de ser mais elevada. Estes sistemas podem ser utilizados para as mais variadas situações, como por exemplo:

- Eletrificação Rural
- Telecomunicações
- Aplicações Agrárias

- Iluminação Pública

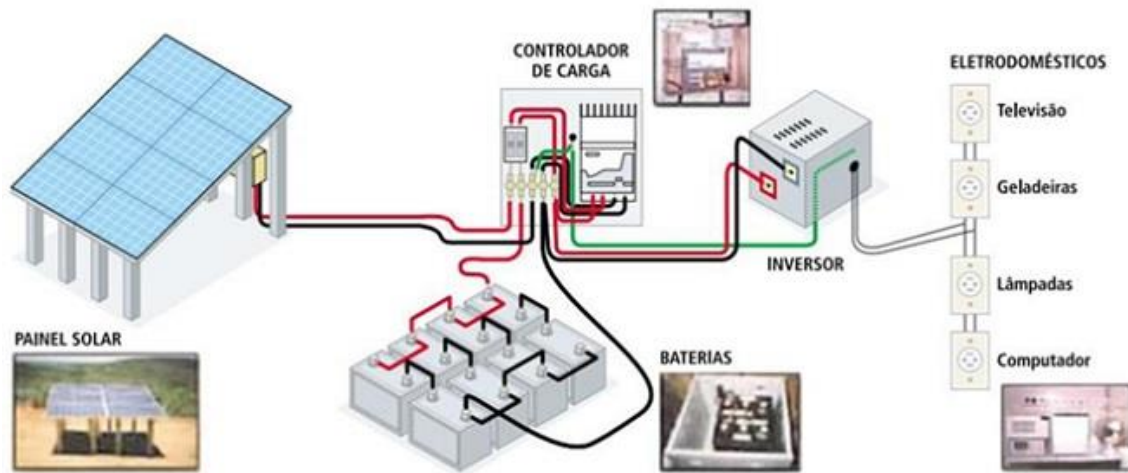


Figura 3.2- Esquema representativo de um sistema isolado [15]

Dentro dos sistemas isolados podemos ainda considerar os sistemas híbridos, visto que estes podem ser independentes da rede elétrica e a grande diferença para os sistemas isolados “simples”, é que estes combinam um gerador fotovoltaico com um gerador a combustível ou com um aerogerador. Os sistemas híbridos podem ser isolados ou ligados à rede elétrica, pelo que há quem os separe num terceiro tipo de sistemas fotovoltaicos. No entanto, há também quem considere apenas os dois grupos, e dependendo das características dos sistemas híbrido, o englobe ou nos sistemas isolados ou nos sistemas ligados à rede elétrica.



Figura 3.3 - Esquema exemplificativo de um sistema híbrido [16]

3.2.2 - Sistemas ligados à rede elétrica

Os sistemas ligados à rede elétrica são sistemas fotovoltaicos semelhantes em tudo aos sistemas fotovoltaicos isolados, mas não usam bateria, pois têm a possibilidade de consumir energia que venha da rede, quando assim seja necessário. (figura 3.4) Assim, estes sistemas, são sistemas nos quais quando a produção dos painéis é superior ao consumo no momento, toda a energia utilizada provém do sistema fotovoltaico, no entanto, quando o consumo é superior à produção dos painéis, a energia “em falta” vai-se buscar à rede elétrica, sendo que o excedente pode ser vendido à rede. Estes sistemas são usualmente de 2 tipos:

- Centrais fotovoltaicas;
- Edifícios habitacionais com produção anexa

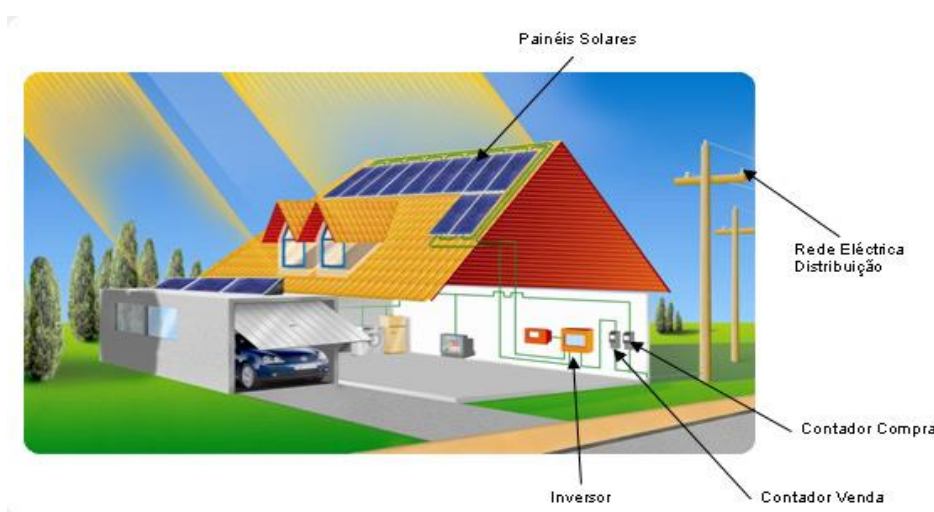


Figura 3.4- Exemplo de um sistema ligado à rede elétrica
[17]

3.3 - Descrição dos possíveis constituintes de um sistema fotovoltaico

Na constituição dos sistemas fotovoltaicos, podemos encontrar como componentes essenciais:

- Painéis solares;
- Reguladores de Carga;
- Inversores;
- Bateria;
- Contador de consumo;
- Contador de produção.

Nem todos estes dispositivos se encontram em todos os sistemas fotovoltaicos. As baterias, por exemplo, são principalmente utilizadas para sistemas isolados, em que seja necessário armazenar a energia para ser consumida por exemplo à noite, ou em dias em que a radiação solar seja menor, como se verá de seguida.

3.3.1 - PAINÉIS SOLARES

Os painéis solares são aparelhos que são utilizados para converter a energia da luz solar em energia elétrica. Os painéis solares são constituídos por células solares. As células solares, também chamadas de células fotovoltaicas, criam uma diferença de potencial elétrico por ação da luz. A utilização de painéis solares tende a vir a crescer exponencialmente, por várias razões. Para além do facto de os combustíveis fósseis estarem a encarecer, é necessário perceber também que apesar de os painéis solares ainda terem um elevado custo associado, estes vão ficando mais baratos com o passar do tempo, visto que as técnicas de fabrico vão evoluindo, e vão ficando não só mais baratas, mas também mais eficientes. Quanto maior for a eficiência dos painéis, mais watts por metro quadrado (W/m^2) irá o painel gerar, e também, para a mesma produção de energia, o painel é tanto menor quanto maior for a sua eficiência.

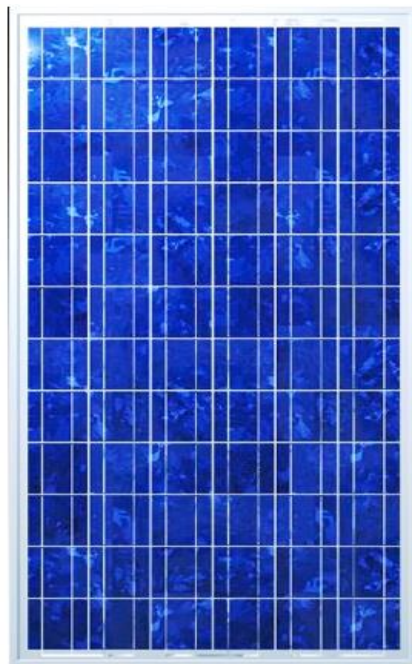


Figura 3.5- Painel Solar, neste caso, policristalino

3.3.1.1 - Células fotovoltaicas

Na construção das células fotovoltaicas temos 3 grandes “famílias”, que são elas:

- As células fotovoltaicas de 1ª geração;
- As células fotovoltaicas de 2ª geração;
- As células fotovoltaicas de 3ª geração;

Dentro das tecnologias de 1ª geração podemos encontrar:

- Células de Silício Monocristalino;
- Células de Silício Policristalino;

3.3.1.1.1 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino

A célula de Silício Cristalino (Monocristalino ou Policristalino) é a mais comum de todas as células fotovoltaicas no mundo, representando atualmente cerca de 90% de todas as células fotovoltaicas no mundo. Uma das vantagens do silício é que apresenta uma disponibilidade quase ilimitada. O material utilizado nas células fotovoltaicas deve ser, da maior pureza possível. Visto que usualmente o material nunca se encontra no seu estado mais puro (o silício encontra-se associado à areia de sílica), para se obter o material no seu estado mais puro procedem-se a sucessivas etapas da produção envolvendo processos químicos. [5]

As células de Silício Monocristalino representam a mais antiga tecnologia usada na produção de células fotovoltaicas, sendo no entanto ainda umas das mais eficientes que se encontra no mercado, estando constantemente a desenvolver novos produtos. Como o próprio nome indica baseia-se em células de um único cristal, as quais podem ser criadas através de vários processos.

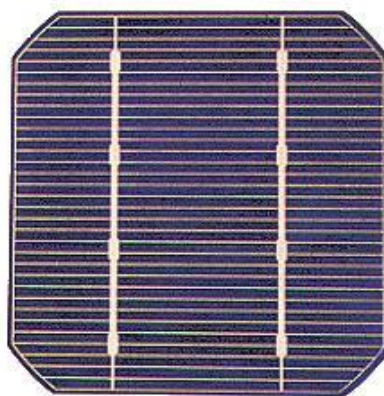


Figura 3.6- Célula fotovoltaica de silício monocristalino
[18]

O principal método de produção de silício monocristalino é o Processo de Czochralski. Para a produção do silício monocristalino imerge-se num banho de silício fundido o núcleo do cristal com uma orientação definida, e vai-se depois retirando do banho ao mesmo tempo em que se vai rodando lentamente, para que assim possam ser produzidos os cristais únicos. Estes cristais são únicos e redondos, e as suas dimensões são 30cm de diâmetro e vários metros de comprimento. Após serem completamente retirados do banho e serem obtidos estes cristais únicos e redondos, estes são estriados em barras semiquadradas e cortados nas chamadas pastilhas (lâminas espessas de 0,3mm). Posteriormente, e tendo então as pastilhas com impurezas positivas, é necessário produzir-se (com difusão de fósforo) a fina camada com impurezas negativas. Para obtermos a célula solar final falta apenas equipar as pastilhas com a pista elétrica, e de seguida com uma camada anti-reflexão. As células solares de silício monocristalino têm uma eficiência que varia sensivelmente entre os 15% e os 18%. [5]

Um outro processo através do qual se produz silício monocristalino, é o processo de zona flutuante, processo esse que é utilizada no fabrico de células solares mais puras e que têm em média mais 1% - 2% de eficiência quando comparadas com as células solares produzidas pelo Processo de Czochralski. No entanto, e apesar de serem mais eficientes, o material bruto que é necessário para obter esta pureza é um material muito dispendioso, pelo que este processo não é, naturalmente, tão utilizada como o Processo de Czochralski.

Na próxima página podemos ver uma tabela que nos apresenta as principais vantagens e desvantagens que as células solares monocristalinas (e consequentemente os painéis solares por estas constituídos) apresentam relativamente às células solares policristalinas. ([6])

Tabela 3.1- As vantagens e desvantagens do silício monocristalino

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • As células solares monocristalinas são, atualmente as células mais eficientes no mercado, fazendo com que os painéis solares constituídos por estas células sejam também mais eficientes. • Ocupam menos espaço, uma vez que cada painel consegue produzir mais watts por hora, sendo assim necessários menos painéis para produzir a mesma quantidade de energia, quando comparado com o silício policristalino. • Em condições de pouca luz tendem a funcionar melhor do que os painéis policristalinos. • Têm uma vida útil superior a 30 anos, tendo, usualmente garantia de 25 anos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os painéis solares monocristalinos, são mais dispendiosos. Financeiramente, os painéis solares policristalinos são uma melhor escolha para quem se preocupa apenas com os custos. • Durante o processo de corte das células monocristalinas, uma quantidade bastante significativa do silício não é aproveitada, precisando de ser reciclado.

3.3.1.1.2 - Célula fotovoltaica de silício policristalino

As células de silício policristalino podem ser obtidas através de vários processos. O principal processo para a obtenção destas é o da fundição de lingotes. Este processo inicia-se com o aquecimento, no vácuo, do silício em estado bruto a uma temperatura de 1500°C, sendo posteriormente arrefecido na direção da base do cadinho a uma temperatura de 800°C, dando-se assim origem aos blocos de silício com as dimensões de 40x40cm² e com uma altura de 30cm. Durante o processo de fundição, dá-se a formação de vários cristais com diferentes orientações. Os blocos são inicialmente serrados em barras e posteriormente cortados em pastilhas com uma espessura de 0,3mm

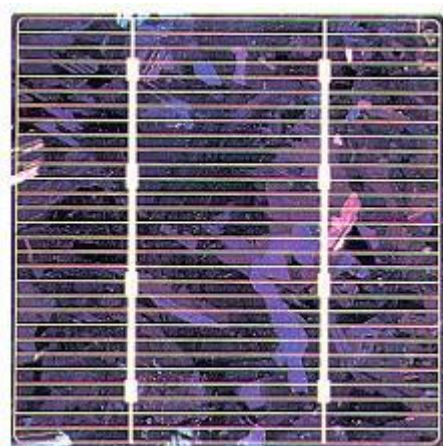


Figura 3.7 - Célula fotovoltaica de silício policristalino [18]

(à semelhança do que acontece com o silício monocristalino). Depois, tal como acontecia na formação do silício monocristalino, a camada posterior de contacto é unida à pastilha, sendo, por fim, os contactos elétricos e a camada anti-reflexão fixadas no lado frontal da pastilha. Neste

processo, as células solares ficam com uma eficiência entre os 13%-15%, quando dotadas de camada de anti-reflexão. [5]

A próxima tabela apresenta as principais vantagens e desvantagens do silício policristalino, relativamente ao silício monocristalino. ([6])

Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens do silício policristalino

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • A quantidade de silício residual que resulta do corte das células solares é menor, quando comparado com o silício monocristalino. • Os painéis solares policristalinos são, em geral, mais baratos do que os painéis solares monocristalinos. • Têm, usualmente, uma vida útil superior a 30 anos, e vêm, normalmente, com garantia de 25 anos. 	<ul style="list-style-type: none"> • As células solares policristalinas possuem uma menor eficiência quando comparadas com as células solares monocristalinas, pelo que os painéis solares policristalinos serão também menos eficientes do que os painéis solares monocristalinos. • Dada a sua menor eficiência, estes painéis produzirão menos watts por hora, pelo que, para produzir a mesma quantidade de energia, necessitarão de ocupar mais espaço, pois necessitarão de mais painéis.

Também através da fundição de lingotes, podemos obter as células POWER. Apesar de, à semelhança, das células anteriores, serem obtidas através da fundição de lingotes, o resto do processo é diferente. Neste caso, são polidos sulcos em ambos os lados da pastilha de silício (tanto no anterior como no posterior), sendo criados orifício bastante pequenos na interseção dos sulcos, local onde a célula é transparente (a transparência pode variar entre 0% - 30%). Para uma transparência de 10%, este tipo de células apresenta uma eficiência na ordem dos 10%, e as suas dimensões são: 10x10cm² com uma espessura de 0,3mm. [5]

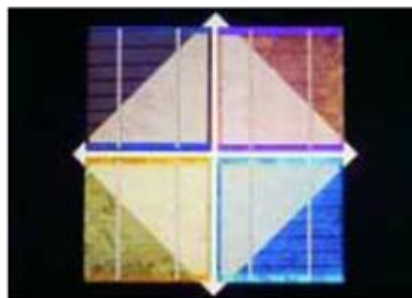


Figura 3.8 - Células POWER com diferentes camadas de anti-reflexão [9]

As células de silício policristalino podem também ser obtidas por laminagem de faixas. Este processo consome menos energia e material, e o potencial de redução de custos é superior, quando comparado com a produção de pastilhas através da fundição de lingotes. Através da laminagem de faixas há actualmente 4 tecnologias que se destacam, que referimos a seguir: [5]

1- Pastilhas obtidas através dos processos EFG (Edge-Fed Growth):

Neste processo imerge-se um corpo de grafite octogonal numa banho de silício, sendo de seguida retirado. Daí resultam tubos octogonais com cerca de 5,5m de comprimento, 10 cm de largura e uma espessura de cerca de 0,3mm. As pastilhas que estão prontas a ser usadas são obtidas cortando dos oito lados que compõem o tubo. Após a contaminação com fósforo, e depois de unida a camada de contacto posterior, equipam-se as pastilhas com os contactos no lado frontal, e como a camada de anti-reflexão. Apesar de o silício obtido por EFG ser policristalino, as suas células, no que diz respeito a aparência e a qualidade elétrica, são mais semelhantes às células monocristalinas.

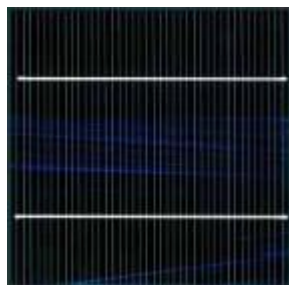


Figura 3.9 - Célula de silício policristalino (Criada através do processo EFG) [19]

2- Faixa de filamentos

Neste processo extrai-se de um cadinho liso com silício fundido, lâminas de quartzo ou de carbono aquecidos a altas temperaturas. O silício cristaliza em faixas de lâminas de 8cm de largura. A eficiência destas células ronda os 12%, tendo dimensões de 8x15cm². A sua estrutura é em tudo semelhante com as células obtidas através dos processos EFG, e têm uma espessura de 0,3mm.

3- Células de rede dendrítica

Este processo é em parte semelhante ao processo descrito no ponto 2. Neste processo, ao invés de lâminas de quartzo ou de carbono, é imerso um núcleo de cristal de silício. Inicialmente, quando se arrefece o banho para valores inferiores a 0°C, o núcleo de silício estende-se na

superfície em linhas. Posteriormente, ao serem lentamente extraídas do banho, formam-se duas peças verticais de filamentos nos extremos. Estas células possuem algumas capacidades que não se vê em outras células, como o facto de poderem ser dobradas até um raio de curvatura de 15cm, dada a sua espessura bastante reduzida (sensivelmente 0,1mm). Estas células têm uma eficiência de cerca de 13%, com dimensões 3,3x10cm².

4- Células APEX

Estas células são criadas em larga escala, possuindo características muito similares às características das células policristalinas clássicas. Neste processo a pastilha de silício é substituída por um substrato condutivo de cerâmica, posteriormente coberto num processo horizontal e contínuo, com uma fina película de silício policristalino de 0,03mm a 0,1mm, como uma camada foto activa. Apesar de as elevadas temperaturas continuarem a ser necessárias neste processo (900°C – 1000°C), este promete obter proveitos em termos de custos, dada a sua velocidade de produção, e também dado que a necessidade de semicondutores de alta qualidade é reduzida. Estas células têm uma eficiência que ronda os 9,5% e dimensões de 20,8x20,8cm².

Tecnologias de 2ª Geração

As células solares de 2ª geração, são as células que são também chamadas de células de película fina. Os condutores utilizados nestas células são o silício amorfo, o CdTe (Telurieto de Cádmiio), e o CIS (Diselenioto de Cobre e Índio). Tendo em conta que estes materiais têm uma elevada absorção luminosa, uma camada com uma espessura de 0,001mm (ou até inferior), será, teoricamente, suficiente para fazer a conversão da luz solar. Estes materiais levam a menores consumos de materiais, bem como de energia (são materiais mais facilmente contaminados por átomos estranhos, e ao invés de temperaturas na ordem dos 1500°C, como na produção de silício cristalino, estas células de película fina, não necessitam de temperaturas superiores a 500°C, sendo que, usualmente as temperaturas utilizadas nos processos de fabrico destas células variam entre os 200°C – 500°C). Estes materiais, quando comparados com as tecnologias de produção de silício cristalino, oferecem um maior potencial de redução de custos, não só devido às características previamente faladas, mas também porque têm uma maior capacidade de produção em grande escala.

Dentro das tecnologias de 2ª geração podemos então encontrar as células fotovoltaicas de:

- Silício amorfo
- Telurieto de Cádmiio (CdTe)

- Diseleneto de Cobre e Índio
- Arsenieto de Gálio

3.3.1.1.3- Célula fotovoltaica de silício amorfo

É das mais antigas tecnologias, no que às películas finas diz respeito. A produção destas células gasta pouco material e energia durante o seu processo de fabrico, no entanto, estas células têm baixa eficiência, cerca de 6%. O silício amorfo é produzido em vácuo, geralmente por sputtering.



Figura 3.10 - Célula fotovoltaica de silício amorfo [20]

3.3.1.1.4 - Célula fotovoltaica de CdTe (Telurieto de Cádmiio)

Esta tecnologia oferece eficiências um pouco superiores relativamente ao silício amorfo, ainda assim são eficiências não muito altas, na ordem dos 10%, e consegue também apresentar custos mais baixos. No entanto, um dos grandes entraves desta tecnologia é o facto de utilizar o material pesado Cádmiio, quem tem grandes riscos ambientais.



Figura 3.11 - Módulo de Telurieto de Cádmiio [1]

3.3.1.1.5 - Célula fotovoltaica de CIS (Diselenieto de Cobre e Índio)

É uma tecnologia que, ao invés do silício, utiliza condutores como Cobre, Índio, Gálio e Selênio. O processo de fabrico é delicado, sendo que requer uma grande afinação dos processos de deposição, o que faz com que poucos tenham sido os fabricantes a conseguir obter sucesso através desta tecnologia. Em laboratório já se atingiram eficiências a rondar os 20%, sendo que nos produtos realmente em utilização industrial apenas se conseguiram eficiências de 12%.

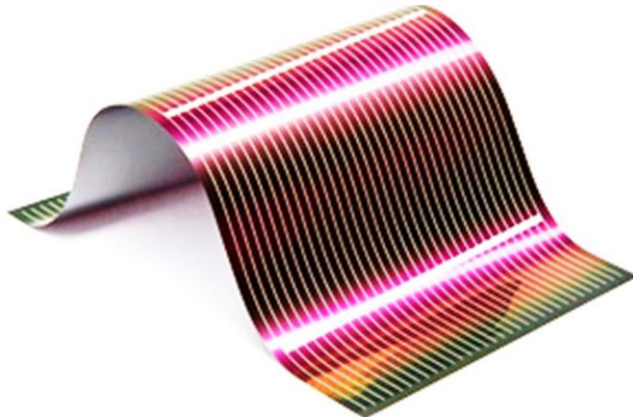


Figura 3.12 - Módulo de CIS (Diselenieto de Cobre e Índio) [2]

3.3.1.1.6- Célula fotovoltaica de Arsenieto de Gálio

O Arsenieto de Gálio é o material que se utiliza para produção de células solares com elevadas eficiências. Este tipo de células solares são utilizadas em aplicações espaciais. Apesar de a sua eficiência ser realmente elevada, chegando a rondar os 30%, o seu custo é demasiado elevado.

3.3.1.1.7 Células de 3ª Geração

Dentro da 3ª Geração podemos encontrar as Células Orgânicas e a tecnologia termofotovoltaica. As células orgânicas são uma das tecnologias de conversão mais promissoras dado o seu baixo custo (inferior a 0,5€/Wp). O objetivo destas células orgânicas é, de certo modo, copiar o processo de fotossíntese que podemos verificar nas plantas. Já se obtiveram eficiências de 5%, sendo, no entanto, expectável que se atinjam em breve valores na casa dos 10%-15%.

A tecnologia termofotovoltaica pretende, ao invés de converter a energia solar em energia elétrica, convertê-la inicialmente em calor, tendo uma célula fotovoltaica que esteja destinada a uma banda estreita de comprimentos de onda térmicos.

Atualmente, as aplicações em que os painéis solares têm mais sucesso, são as aplicações espaciais. Os painéis solares são aplicados em veículos espaciais, incluindo, por exemplo, a grande maioria das naves que orbitam a Terra e Marte. Para planetas mais distantes, fica difícil o uso de painéis solares, visto que estes planetas se encontram mais afastados do sol, e assim, a luz solar que chegaria a estes painéis seria muito fraca para produzir energia suficiente para manter os equipamentos em funcionamento.



Figura 3.13 - Avião movido a energia solar [21]

3.3.2 - Inversores

Os inversores são os equipamentos utilizados nos sistemas fotovoltaicos que nos permitem transformar a corrente contínua (cc) em corrente alternada (ca), para assim alimentar os equipamentos do local onde o sistema se encontra instalado. Os inversores são dos componentes mais importantes num sistema fotovoltaico e podem ser vistos como um adaptador de energia, visto que, além de converter a corrente contínua para corrente alternada, ele também faz variar o valor da tensão. Para se escolher um inversor é necessário saber as necessidades do sistema no qual o inversor irá ser aplicado. Há inversores apropriados para as mais variadas situações. A tensão de entrada do inversor, tem de estar de acordo com o sistema elétrico e o banco de baterias (usam valores, normalmente, de 12V, 24V ou 48V). Os sistemas com maiores tensões tendem a ser vantajosos, visto que, ao terem tensões mais elevadas, irão ter menores correntes, o que torna

o circuito mais barato. Um fator importante, e a ter em conta, na escolha do inversor, é que este consome energia mesmo quando não há carga.

Nos casos em que há a presença de bateria no sistema, alguns inversores, para economizar a carga das baterias, são dotados de um sensor que deteta a ausência de carga, e que desliga a sua saída quando verifica que não existe, no momento, nenhum consumo de energia, ligando novamente quando esse consumo de energia é detetado. Os inversores devem ser dotados de proteções internas contra sobrecargas, ou descargas elétricas por exemplo, e devem ter a capacidade de se desligar no caso de a tensão das baterias atingir valores demasiado baixos, para assim, deste modo, proteger as baterias contra descargas excessivas. [7]



Figura 3.14- Exemplo de um inversor utilizado em Sistemas fotovoltaicos, neste caso o Inversor SMA Sunny Boy 1.5 [22]

3.3.3 - Baterias

As baterias são um componente essencial nos sistemas fotovoltaicos isolados, visto que são estas que permitem armazenar a energia produzida que não é consumida, de modo a poder utilizá-la quando esta for, realmente, necessária.

Existem vários tipos de baterias que são utilizadas em sistemas fotovoltaicos. Os vários tipos de baterias são constituídos por diferentes materiais, os quais lhes conferem, naturalmente, diferentes características, as quais devem ser conhecidas de antemão, para se poder proceder a uma escolha correta das baterias adequadas para o sistemas.

Entre os diferentes tipos de baterias que podemos encontrar em sistemas fotovoltaicos, destacam-se os seguintes:

- Baterias Chumbo-Ácido
- Baterias Níquel-Cádmio
- Baterias Níquel-Hidreto Metálico
- Baterias de íões de Lítio

3.3.3.1 - Baterias de Chumbo-Ácido

As baterias de Chumbo-Ácido são o tipo de baterias mais utilizado em sistemas fotovoltaicos, por serem baterias com um bom desempenho e por apresentarem um custo reduzido. Neste tipo de baterias os elétrodos são constituídos por placas de chumbo imersos, normalmente, em ácido sulfúrico.

As baterias de Chumbo-Ácido têm um elevado tempo de carregamento, pois geralmente estas devem ser carregadas com correntes baixas. As baterias de Chumbo-Ácido são muito sensíveis aos fenómenos de sobrecarga, pelo que é impreterível evitar que este fenómeno ocorra aquando do carregamento das baterias. Neste tipo de baterias deve-se evitar a completa descarga da bateria, uma vez que uma descarga completa pode levar a que a bateria não carregue novamente ou diminuir a capacidade de carga. Estas baterias são muito sensíveis às temperaturas, sendo a sua capacidade e o seu tempo de vida útil afetados por estas. Assim, com temperaturas mais elevadas a capacidade das baterias aumenta, mas diminui por outro lado o seu tempo de vida útil, sendo que com temperaturas mais reduzidas, a capacidade das baterias diminui. [8]



Figura 3.15 - Exemplo de uma bateria de Chumbo-Ácido [23]

3.3.3.2 - Baterias de gel (VRLA)

As baterias de gel são um *upgrade* às comuns baterias de Chumbo-Ácido. A grande diferença é que o ácido sulfúrico é imobilizado recorrendo a aditivos, fazendo com que o ácido sulfúrico apresenta a consistência de um gel. Estas baterias chamam-se baterias de chumbo reguladas por válvulas, pois estas apresentam uma válvula de segurança que permite a libertação de gases que se acumulam durante as sobrecargas. As grandes vantagens que este tipo de baterias apresenta são as seguintes: [9]

- Não apresenta problemas de estratificação e é caracterizada por uma baixa sulfatação do ácido;
- O seu ciclo de vida útil é maior do que as baterias de Chumbo-Ácido normais;
- Não liberta gases, o que faz com que estas baterias possam ser utilizadas em praticamente todos os locais, mesmo nos locais em que se verificam fracas condições de ventilação;
- Uma vez que o invólucro é completamente selado, o que faz com que não haja derrames, permite que estas baterias sejam instaladas em qualquer posição e em qualquer lugar;
- Não tem necessidades de manutenção, visto que o ácido sulfúrico se apresenta como um gel, logo não há necessidade de repor o nível deste durante o seu tempo de vida.
- Estas baterias têm uma válvula de segurança que permite que os gases acumulados durante as sobrecargas, sejam libertados.



Figura 3.16 - Exemplo de uma bateria VRLA [24]

3.3.3.3 - Baterias de Níquel-Cádmio

As baterias de Níquel-Cádmio são constituídas basicamente por um ânodo de hidróxido de níquel, um cátodo de cádmio e um eletrólito alcalino, que é, usualmente, hidróxido de potássio.

Estas baterias apresentam um preço inicial elevado, quando comparadas com as baterias de chumbo-ácido, mas, no entanto, são também mais resistentes a variações de temperatura e a condições de sobrecarga. Uma grande vantagem destas baterias é que a podem ser carregadas com correntes elevadas, o que leva a que o seu tempo de carga seja mais reduzido, ao invés do que se verificava nas baterias de chumbo-ácido. Estas baterias possuem o chamado “efeito de memória”, efeito este que se dá quando resíduos de carga na pilha induzem a formação de pequenos blocos de cádmio. Para evitar este efeito de memória, o que se deve fazer é evitar a carga da bateria quando esta estiver parcialmente descarregada, sendo melhor esperar que esta se encontre totalmente descarregada para a carregar novamente, e assim evitar que se a criação dos pequenos blocos de cádmio. Estas baterias não necessitam de regulador, e têm uma tensão estável. São baterias robustas e que necessitam de pouca manutenção.



Figura 3.17 - Exemplo de uma bateria Níquel-Cádmio [25]

3.3.3.4 - Baterias Níquel-Hidreto Metálico

Estas baterias são em tudo semelhantes às baterias de níquel-cádmio. A grande diferença entre as baterias níquel-hidreto metálico e as baterias níquel-cádmio consiste na alteração dos materiais que constituem o cátodo, ou seja, enquanto nas baterias níquel-cádmio o cátodo é um cátodo de

cádmio, nestas baterias, o cátodo é uma liga de elementos metálicos. Esta mudança de cátodo é importante, principalmente, para se anular, o tão indesejado “efeito de memória”.



Figura 3.18 - Exemplo de uma bateria de Níquel-Hidreto metálico

3.3.3.5 - Baterias de íões de lítio

As baterias de íões de lítio apresentam na sua constituição um cátodo de lítio, um ânodo de carbono poroso e um eletrólito que é composto por sais de lítio numa solução não aquosa. As baterias de íões de lítio têm a grande vantagem de serem baterias leves e de terem um elevado tempo de vida útil. Estas baterias, tal como as baterias de níquel-cádmio podem ser carregadas com correntes altas, e conseguem funcionar numa amplitude de temperaturas que pode ser considerada vasta. A grande desvantagem destas baterias é a sua eficiência e o seu preço que é, comparativamente com outras baterias, se considera elevado.



Figura 3.19 - Exemplo de uma bateria de íões de lítio [26]

Para cada sistema há baterias mais adequadas do que outras, como em todos os componentes que compõem o sistema. É necessário escolher uma bateria sabendo das necessidades que o sistema terá, e das propriedades do mesmo. As principais características que se devem levar em conta na escolha de uma bateria são:

- Capacidade da bateria
- Tempo de descarga
- Energia específica
- Densidade energética
- Ciclos de vida útil
- Taxa de auto descarga
- Profundidade de descarga

3.3.4 Reguladores de Carga

Os reguladores de carga são maioritariamente utilizados nos sistemas fotovoltaicos isolados, dos quais já falamos anteriormente. São maioritariamente utilizados nestes casos, por ser também nestes casos em que as baterias são principalmente utilizadas, pois uma vez que não se encontra ligado à rede elétrica, é impossível utilizar a energia da rede quando assim for necessário, e quando o sistema fotovoltaico não estiver a produzir.

Os reguladores de carga desempenham um papel essencial nos sistemas fotovoltaicos que possuem baterias, uma vez que são estes os responsáveis pela duração da vida útil do banco de baterias (que é um dos componentes mais dispendiosos do sistema).

Os reguladores (ou controladores como também são chamados) de carga têm a função de evitar que as baterias sejam sobrecarregadas, ou então que sejam profundamente descarregadas. Assim, a função dos reguladores de carga, é garantir que toda a energia produzida pelo painel é armazenada, com a maior eficácia, nas baterias.

Os reguladores de carga possuem a funcionalidade de alertar o utilizador sobre o estado de carga do sistema, para que este possa adaptar a instalação às suas necessidades particulares, sendo que assim, o tempo de vida útil das baterias aumentará, visto que apenas serão utilizadas quando for, de facto, necessário.

Naturalmente, para escolha do regulador de carga é necessário ter em conta as características do sistema fotovoltaico em questão, principalmente as características da tensão e da corrente desse mesmo sistema.

O regulador de carga é definido pela maior corrente de carga e pela tensão do sistema. O regulador deve superar a corrente dos painéis ou a corrente de consumo (a que for maior das duas).



Figura 3.20 - Exemplo de um regulador de carga utilizado nos sistemas fotovoltaicos [27]

3.3.5 Interligação e proteção dos módulos fotovoltaicos

Uma vez que as células solares têm uma potência reduzida, é usual ligar-se várias células quando se fabricam os módulos fotovoltaicos, o chamado encadeamento de células.

Para se proteger as células por exemplo das tensões mecânicas, e dos agentes atmosféricos, é usual as células serem embebidas num material transparente, que para além de proteger as células relativamente ao que foi anteriormente referido, consegue ainda garantir o isolamento elétrico. Geralmente, o material usado é o vidro, mas é também possível utilizarem-se outros materiais para este efeito, como o plástico acrílico ou folheados de plástico.

As células solares podem ficar assentes na parte frontal, na parte posterior, ou entre o material de substrato. Naturalmente, e sendo que estas células solares utilizam a radiação solar, é exigível que a cobertura, no lado da célula que é sensível à luz, seja feita de um material que permita que praticamente toda a radiação solar que atinge este material, consiga “passar” para a célula. Assim, o vidro com baixo teor em ferro é geralmente usado como o substrato frontal, uma vez que este permite que cerca de 91% de penetração da radiação solar.

Os módulos fotovoltaicos são combinados entre si utilizando ligações em série e em paralelo, para assim criar uma maior unidade não só do ponto de vista elétrico, mas também do ponto de vista mecânico. Os módulos ligados em série constituem as fileiras, sendo que apenas deverão ser utilizados módulos do mesmo tipo, por forma a reduzir as perdas de potência no sistema. O número de módulos ligados em série indica-nos a tensão do sistema, que determina, por sua vez, a tensão do inversor.

Capítulo 4

O Autoconsumo e as UPP

4.1 Unidade de Pequena Produção

Atualmente já não se fala em miniprodução e microprodução. A distinção entre estas acabou, passando ambas a ser chamadas de Unidades de Pequena Produção (UPP). ([www.http://futursolutions.pt/energia/microproducao](http://futursolutions.pt/energia/microproducao) em Agosto de 2015) As UPP podem ser definidas como sistemas de geração de energia pelo próprio consumidor, seja ele um consumidor particular (na sua casa, por exemplo), ou uma empresa, utilizando equipamentos de pequena escala, que podem ser de vários tipos de tecnologias, como por exemplo microturbinas, microeólicas, ou também a tecnologia que é abordada durante toda esta Dissertação e sobre a qual iremos continuar a desenvolver a mesma, os painéis fotovoltaicos.

Com estes pequenos equipamentos, pode-se gerar energia que poderá ser utilizada no aquecimento de águas (usando bombas de água), ou no carregamento de veículos elétricos, sendo que, no caso de a produção de energia não ser destinada a um destes 2 fins, ela terá de ser vendida à rede, residindo aí a principal diferença entre as UPP (antigas miniprodução e microprodução) e os sistemas de autoconsumo.

É necessário o registo no SERUP (Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção), sendo que este admite 3 categorias, que são:

- Categoria I: Nesta categoria inserem-se os produtores que pretende apenas proceder à instalação da UPP
- Categoria II: Nesta categoria inserem-se os produtores que além da instalação da UPP, pretendem instalar no local de consumo associado à UPP, uma tomada elétrica para o carregamento de veículos elétricos

- Categoria III: Nesta categoria inserem-se os produtores que além da instalação da UPP, pretendem instalar no local de consumo associado à UPP, coletores solares térmicos com um mínimo de 2m² de área útil de coletor ou de caldeira a biomassa com uma produção anual de energia térmica equivalente

4.2 Autoconsumo

O Autoconsumo é uma atividade que é regulada pelo Decreto-Lei nº153/2014 de 20 de Outubro, e pelas portarias nº 14/2015 e nº 15/2015 de 23 de Janeiro. O Autoconsumo representa um novo modelo de produção de energia descentralizada, através de energias renováveis. Nesta dissertação, como é notório, focamo-nos no Autoconsumo fotovoltaico.

Anteriormente, a legislação focava-se principalmente na mini e na microprodução de energia, nas quais, toda a energia produzida era vendida à rede, com tarifas bonificadas. A microprodução e a miniprodução, como já vimos, deixaram de existir, passando agora a ser UPP (Unidades de Pequena Produção).

Com a nova legislação, o Autoconsumo, tal como o próprio nome indica, tem como finalidade produzir energia que será consumida no local onde o sistema se encontra instalado, mas, é também possível, injetar a energia remanescente na rede de distribuição. Neste caso, quando a produção de energia num determinado período, é superior às necessidades de consumo da instalação nesse mesmo período, é possível vender o excedente da energia produzida à rede. Na figura 4.1 temos um esquema que explica de que forma funciona um sistema de autoconsumo.

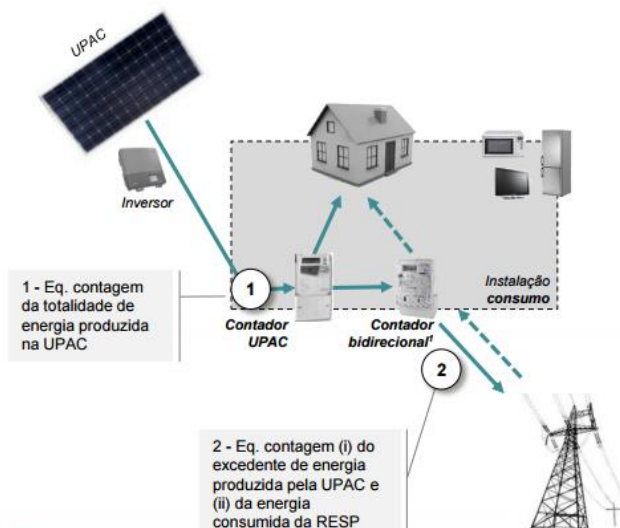


Figura 4.1 - Esquema representativo de uma instalação com sistema de autoconsumo [3]

No entanto, o excedente de produção que ultrapasse o valor total anual de consumo, não é remunerado, sendo assim importante avaliar se a injeção do excedente na RESP é proveitosa ou não, uma vez, que no caso de se decidir injetar o excedente na RESP é necessário o pagamento de uma taxa de registo de instalação, tal como a instalação dos sistemas de contagem da energia produzida e injetada. Com esta nova legislação, o excedente de energia que é injetado na rede é vendido a um preço inferior ao preço de mercado, o que faz com que os clientes sejam “incentivados” a dimensionar o sistema de autoconsumo para as verdadeiras necessidades da instalação, ao invés de sobredimensionarem o sistema com o intuito de vender energia à rede. Ao instalar um sistema de autoconsumo é necessário também ter em atenção que a potência de ligação do sistema deve ser inferior ao total da potência contratada na instalação de consumo.

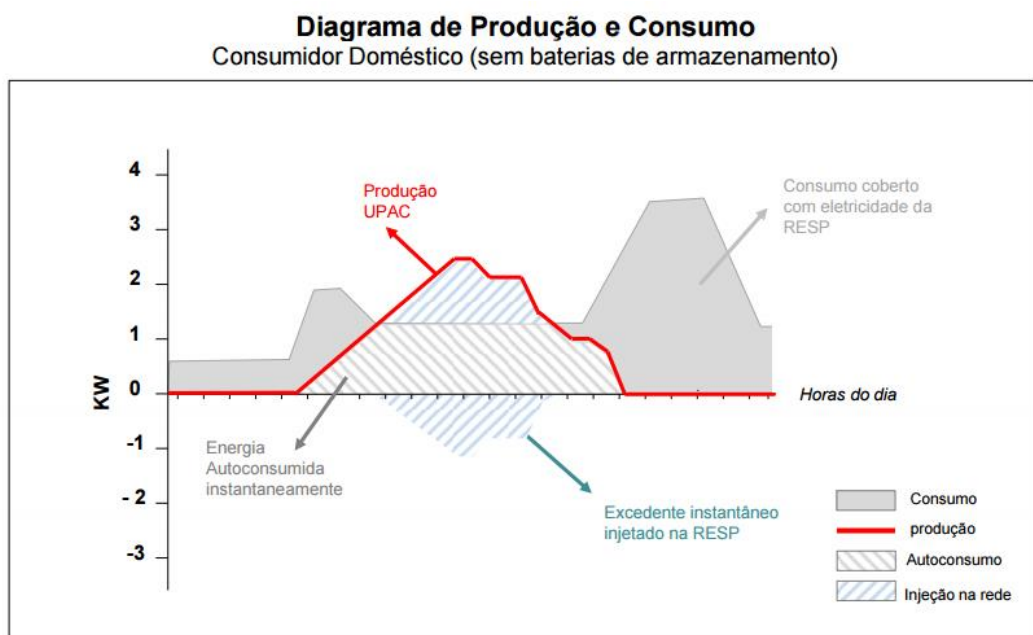


Figura 4.2 - Diagrama exemplificativo de um sistema de autoconsumo [3]

Na figura 4.2 temos um gráfico exemplificativo das produções e dos consumos numa instalação, mostrando também quando é que se pode injetar energia na RESP, e quando é necessário ir buscar energia à RESP para cobrir os consumos da instalação, quando o sistema de autoconsumo não é suficiente para suprir as necessidades de consumo.

As UPAC têm de pagar as compensações ao sistema, e neste sentido, estes pagamentos assentam nos seguintes moldes: [3]

- UPAC com potência superior a 1,5 kW, e nas quais a instalação de consumo esteja ligada à RESP, têm de pagar uma compensação que permita recuperar uma parcela dos CIEG na tarifa de uso global do sistema

- Esta compensação a ser paga, apenas se torna efetiva quando a representatividade das UPAC exceda 1% do total de potência instalada no SEN.
- Após atingir 1% de representatividade, a compensação passa a ser devida pelas novas UPAC instaladas, nos seguintes termos:
 - 30% dos CIEG: enquanto a potência acumulada de UPAC instaladas for inferior a 3% de toda a potência instalada no SEN.
 - 50% dos CIEG: quando a potência acumulada das UPAC instaladas for superior a 3% do total da potência instalada no SEN.
- A compensação mensal a pagar é fixa e incide sobre a potência da UPAC. Esta compensação mensal é fixada quando se inicia a exploração da UPAC e fica em vigor por um período de 10 anos

Todas estas compensações e estes valores a ser pagos entram nas contas que os clientes terão de fazer para analisarem e verificarem se o sistema de autoconsumo é ou não uma opção viável para a instalação.

Capítulo 5

Criação do Programa de cálculo

5.1 Programa de cálculo (Usando as faturas energéticas do cliente)

Na execução desta Dissertação, e em trabalho conjunto com os elementos da empresa A. Nogueira, onde efetuei o meu estágio, e de acordo com o inicialmente previsto, foi criado um programa de cálculo, que permite avaliar se o autoconsumo é ou não rentável para uma determinada instalação.

Para se elaborar este programa de cálculo recorreu-se ao software Excel, uma vez que este inclui todas as funcionalidades que eram necessárias para este programa.

Este programa de cálculo está dividido em várias folhas de Excel. Inicialmente temos a folha de introdução de dados, na qual, o utilizador, recorrendo às faturas relativas aos vários meses do ano, introduz os valores dos consumos nas horas de vazio, nas horas de ponta, nas horas de cheia e nas horas de super vazio.

Row	Month	Consumption Type	Value	Total	Other	Other
17	Janeiro	VN	9870	3 798,51 €	13,27	3,64
18		SV	971			
19		P	3983			
20		C	10140			
21			24384			
22	Fevereiro	VN	2888	3 783,06 €	4,30	3,27
23		SV	1656			
24		P	3297			
25		C	12317			
26			22057			
27	Março	VN	3003	3 944,52 €	4,04	4,04
28		SV	2129			
29		P	4743			
30		C	13867			
31			23742			
32	Abril	VN	6768	4 282,77 €	9,40	4,71
33		SV	2400			
34		P	3614			
35		C	15171			
36			27953			
37	Maio	VN	4702	4 509,40 €	6,32	4,44
38		SV	2342			
39		P	4818			
40		C	17088			
41			28342			
42	Junho	VN	12000	4 741,87 €	16,67	6,30
43		SV	3213			
44		P	4440			
45		C	18123			
46			27776			

Figura 5.1 - Folha de introdução de dados do programa de cálculo

Ao introduzir esses valores nessa folha, e através das fórmulas que foram introduzidas, poderemos ver logo o valor gasto total por mês, e ver se está em conformidade com o que aparece na fatura, para evitar erros ao introduzir os valores, e também, ao introduzir os valores taxados, estes alterarão automaticamente as médias mensais para os vários períodos (Vazio – V, Super Vazio – SV, Ponta – P, Cheia – C). Todos os meses aparecem representados em 24h, ou seja, as 24h são divididas em períodos de 15 minutos, e posteriormente, e sabendo-se de antemão a que período corresponde (consultando por exemplo o site da EDP que nos dá informação de quais são as horas de vazio, as horas de ponta, as horas de cheia e as horas de supervazio), através de uma simples divisão, conseguimos obter a média dos valores da energia consumida para um dia (dividido em períodos de 15 minutos) de um determinado mês.

		J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
		Meia Dia JAN	Meia Dia FEV	Meia Dia MAR	Meia Dia ABR	Meia Dia MAI	Meia Dia JUN	Meia Dia JUL	Meia Dia AGO	Meia Dia SET	Meia Dia OUT	Meia Dia NOV	Meia Dia DEZ				
5	Hora																
6	00:00	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
7	00:15	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
8	00:30	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
9	00:45	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
10	01:00	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
11	01:15	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
12	01:30	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
13	01:45	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			329,00
14	02:00	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
15	02:15	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
16	02:30	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
17	02:45	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
18	03:00	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
19	03:15	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
20	03:30	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
21	03:45	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
22	04:00	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
23	04:15	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
24	04:30	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
25	04:45	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
26	05:00	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
27	05:15	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
28	05:30	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
29	05:45	0,0775	1,96	3,47	4,29	5,00	4,72	6,69	4,75	2,12	4,08	3,94	4,08	3,94			
30	06:00	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
31	06:15	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			
32	06:30	0,0883	26,53	8,60	8,07	18,80	12,64	33,33	10,94	5,58	11,26	10,90	11,26	10,90			

Figura 5.2 - Folha de introdução de dados do programa de cálculo

Estes dados (os introduzidos e os que automaticamente se alteram), irão ser utilizados nas restantes folhas que compõem o programa de cálculo.

A folha seguinte denomina-se de “Autoconsumo”, e nela poder-se-ão encontrar discriminadas para cada mês, mais uma vez, em períodos de 15 minutos, as seguintes parcelas:

- **kW consumido dia:** Representa o valor que foi automaticamente alterado na folha de introdução de dados, representado assim, como já foi dito, a média mensal dos consumos por cada período de 15 minutos;
- **Custo ao cliente com IVA:** Representa o valor que o cliente terá de pagar à rede por cada período, de acordo com a energia que foi consumida, e com a tarifa que se

encontra atribuída a esse período (mais uma vez variando se for Vazio, Super Vazio, Cheia ou Ponta);

- **kW produzido:** Através do software PVGIS, conseguimos obter a produção fotovoltaica que iremos obter num determinado local, para o período definido;
- **Energia Real Produzida:** Que nos indica a energia que estamos a produzir (e aproveitar) no momento, no caso de a energia produzido através do sistema fotovoltaico ser inferior à energia consumida num mesmo período, então, será esse o valor a utilizar nesta coluna, caso contrário, o valor a utilizar, será o valor da energia consumida, pois apenas esse será utilizado na instalação em questão, sendo o restante vendido à rede;
- **Poupança:** Este valor indica-nos o valor monetário que em cada período estamos a poupar com o sistema fotovoltaico, multiplicando o valor da coluna anterior (Energia Real Produzida) pela tarifa do período em questão e posteriormente por 1,23 devido às taxas;
- **Tenho de comprar:** Esta coluna indica-nos a quantidade de energia que teremos de comprar, ou seja, no caso de a produção fotovoltaica ser igual ou superior ao consumo num determinado período, não haverá necessidade de comprar energia à rede, no entanto, quando a produção fotovoltaica é inferior ao consumo num determinado período, é necessário comprar a energia à rede, de modo a conseguir suprir as necessidades da instalação em questão;
- **Custo a comprar:** Esta coluna indica-nos o calor que irá ser gasto a comprar a energia em falta para suprir as necessidades da instalação. Para obtermos este valor teremos de multiplicar o valor da tabela anterior (Tenho de comprar) pelo valor da tarifa para o período em questão;
- **Venda de excedente:** Esta coluna indica-nos a quantidade de energia que foi “produzida a mais” pelo sistema fotovoltaico, sendo que pode ser vendida à rede. Naturalmente, nos períodos em que a energia produzida pelo sistema fotovoltaico for inferior à energia consumida pela instalação, esta coluna terá o valor 0, sendo que, quando a energia produzida pelo sistema fotovoltaico for superior à energia consumida pela instalação, o valor desta coluna será igual à energia consumida, subtraída à energia produzida pelo sistema fotovoltaico;
- **Valor excedente:** Corresponde ao valor da tabela anterior multiplicado pelo valor a receber pelo excedente em cada período, que se cifra em 90% do valor de mercado.

		Janeiro								Fevereiro								
Período	Tarifa Esc.	Kwh consumido DIA	Custo ao cliente e Iva	KWh Produzido	Energia Real Produzida KWh	Poupança	Tenho de Comprar	Custo a comprar	Venda de excedente	Valor excedentes	Kwh consumido DIA	Custo ao cliente	KWh Produzido	Energia Real Produzida KWh	Poupança	Tenho de Comprar	Custo a comprar	Venda de excedente
00:00	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
00:15	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
00:30	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
00:45	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
01:00	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
01:15	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
01:30	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
01:45	0,075393	1,96000	0,18 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,18	0,00	0,00	3,47000	0,32 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,32	0,00
02:00	0,065171	1,96000	0,16 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,16	0,00	0,00	3,47000	0,28 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,28	0,00
02:15	0,065171	1,96000	0,16 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,16	0,00	0,00	3,47000	0,28 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,28	0,00
02:30	0,065171	1,96000	0,16 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,16	0,00	0,00	3,47000	0,28 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,28	0,00
02:45	0,065171	1,96000	0,16 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,16	0,00	0,00	3,47000	0,28 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,28	0,00
03:00	0,065171	1,96000	0,16 €	0,00	0,00	0,00	1,96	0,16	0,00	0,00	3,47000	0,28 €	0,00	0,00	0,00	3,47	0,28	0,00

Figura 5.3 - Folha "Autoconsumo" do programa de cálculo (média diária dos vários parâmetros para cada mês)

Nesta folha, podemos ainda encontrar uma tabela na qual podemos obter uma estimativa da produção fotovoltaica que obteremos para cada período (períodos de 1 hora) de cada mês. Para se obter esta tabela é necessário recorrer ao software PVsyst. Este software é um software pago para quem quiser usufruir dele para sempre, e nas totais capacidades do software. No entanto, para quem queira utilizá-lo apenas por um curto período de tempo, o PVsyst permite que se faça o download do software e que se utilize durante 30 dias. Após este período, o programa começa a correr em DEMO mode, o que significa que se pode correr o programa, no entanto, este não permite que se guardem quaisquer projetos, nem permite que se façam simulações.

Para se obter a estimativa da produção média horária que teremos, é necessário introduzir alguns valores, e informações no programa. Inicialmente temos de “informar o software” se o nosso projeto é de um sistema ligado à rede elétrica, ou se é um sistema isolado. Posteriormente, e após este primeiro ponto, há algumas informações a colocar no software para podermos obter uma estimativa da produção para um determinado local, que são:

- Local da instalação;

- Inclinação e azimute dos painéis;
- Características dos módulos fotovoltaicos;
- Características do inversor;
- É ainda possível inserir alguns dados económicos no software.

Após inseridos estes dados, faz-se a simulação do projeto, e no fim da simulação é possível recolher os dados que nos são dados pela simulação. Há vários dados que podemos retirar deste software, sendo que no entanto, para este trabalho, o que nos interessa será uma estimativa da produção fotovoltaica, que poderá ser retirada na forma de uma folha Excel, diretamente através do PVsyst.

Horas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0,09964	0,14784625	0,06258	0,07768	0,09964	0	0	0
06:15	0	0	0	0	0,09964	0,14784625	0,06258	0,07768	0,09964	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0,09964	0,14784625	0,06258	0,07768	0,09964	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0,09964	0,14784625	0,06258	0,07768	0,09964	0	0	0
07:00	0	0	0,93944	0,3336925	1,20999	1,34573625	0,80578	0,31724	2,20407	1,12094	0	0
07:15	0	0	0,93944	0,3336925	1,20999	1,34573625	0,80578	0,31724	2,20407	1,12094	0	0
07:30	0	0	0,93944	0,3336925	1,20999	1,34573625	0,80578	0,31724	2,20407	1,12094	0	0
07:45	0	0	0,93944	0,3336925	1,20999	1,34573625	0,80578	0,31724	2,20407	1,12094	0	0
08:00	1,04607	0,05161	3,56796	2,67351125	3,99183	4,22173125	3,10192	2,71775	5,21771	3,92718	1,24459	1,3102
08:15	1,04607	0,05161	3,56796	2,67351125	3,99183	4,22173125	3,10192	2,71775	5,21771	3,92718	1,24459	1,3102
08:30	1,04607	0,05161	3,56796	2,67351125	3,99183	4,22173125	3,10192	2,71775	5,21771	3,92718	1,24459	1,3102
08:45	1,04607	0,05161	3,56796	2,67351125	3,99183	4,22173125	3,10192	2,71775	5,21771	3,92718	1,24459	1,3102
09:00	3,88688	0,15446	5,96147	5,46197125	6,11869	7,0321225	5,53816	5,45252	7,74753	6,42788	3,75399	4,4806
09:15	3,88688	0,15446	5,96147	5,46197125	6,11869	7,0321225	5,53816	5,45252	7,74753	6,42788	3,75399	4,4806
09:30	3,88688	0,15446	5,96147	5,46197125	6,11869	7,0321225	5,53816	5,45252	7,74753	6,42788	3,75399	4,4806
09:45	3,88688	0,15446	5,96147	5,46197125	6,11869	7,0321225	5,53816	5,45252	7,74753	6,42788	3,75399	4,4806

Figura 5.4 - Tabela da estimativa de produção fotovoltaica

Para além disso, e após os dados retirados relativamente à produção, automaticamente temos gráficos mensais de energia produzida vs energia consumida. Através destes gráficos já é possível ter uma perceção se o autoconsumo será ou não uma opção, sendo que apenas numa folha seguinte teremos os valores reais e que nos mostrarão se realmente se deve, ou não, optar por esta opção.



Figura 5.5 - Gráficos mensais "Consumo vs Produção"

Após isto, temos uma folha chamada resumo na qual temos um gráfico de barras que nos apresenta por mês os consumos nos vários períodos (V, SV, C, P).

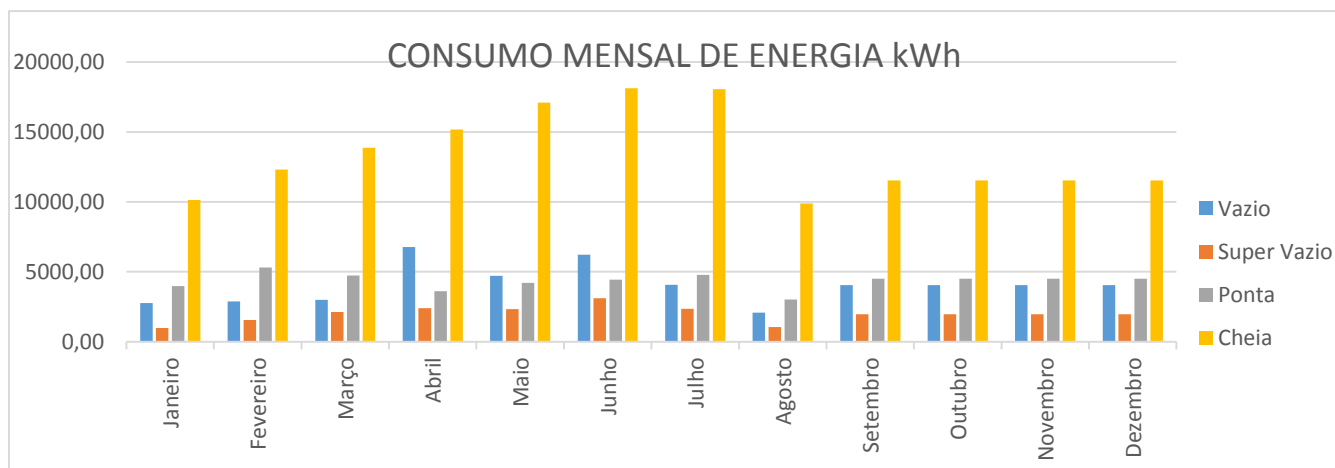


Figura 5.6 - Gráfico dos consumos para os diferentes períodos (Vazio, Super Vazio, Ponta e Cheia) para todos os meses

Tem também uma tabela que nas quais constam vários valores relativos aos consumos de energia, e à poupança que o autoconsumo fotovoltaico introduziria nesta instalação por mês. Esta

tabela utiliza os valores “totais diários” contidos na folha “Autoconsumo” (descrita anteriormente). Assim, as colunas que temos nesta tabela são:

- **Energia consumida por mês (kWh):** Esta coluna indica-nos os consumos médios por mês da instalação. Para obter este valor multiplicamos o valor que tínhamos na folha autoconsumo relativamente à energia média consumida por dia (soma dos vários períodos diários), pelo número de dias do mês em questão;
- **Custo da energia por mês:** Indica o custo que a energia consumida está a representar para o cliente. Para se obter este valor, recorre-se à folha autoconsumo, retira-se o valor coluna “custo ao cliente com IVA” e multiplica-se pelo número de dias do mês em questão;
- **Energia produzida pelo sistema fotovoltaico por mês (kWh):** Indica-nos a energia que o sistema fotovoltaico está a produzir por mês, sendo que, naturalmente, se recorre à folha “Autoconsumo”, para retirar o valor da coluna “kW Produzido” e se multiplica pelo número de dias do mês em questão para se obter os valores desta coluna;
- **Energia produzida pelo sistema fotovoltaico e que foi consumida pela instalação (kWh):** Esta coluna indica-nos o valor real que a instalação consumiu, de toda a energia que foi produzida pelo sistema fotovoltaico. O processo para se obter o valor desta coluna é em tudo idêntico aos anteriores;
- **Poupança introduzida pelo sistema fotovoltaico:** Esta coluna indica-nos o valor que estamos a poupar no imediato com o sistema de autoconsumo fotovoltaico;
- **Energia comprada (kWh):** Esta coluna indica-nos a energia que teremos de comprar à rede. Quando a energia produzida pelo sistema fotovoltaico não satisfaz as necessidades da instalação no imediato, é necessário comprar energia à rede, sendo que este valor reflete isso mesmo;
- **Custo da energia comprada:** Indica-nos o valor que teríamos de gastar com a energia que seria comprada à rede;
- **Energia vendida à rede (kWh):** Indica-nos a quantidade de energia que o sistema vendeu à rede por mês. Quando a energia produzida pelo sistema fotovoltaico ultrapassa as necessidades de consumo da instalação no imediato, o excedente de energia pode ser vendido à rede. O valor total por mês é o que esta coluna nos indica;
- **Valor da energia vendida à rede:** Indica-nos o valor que receberíamos com a energia que fosse vendida à rede;
- **Custo mensal após instalação do sistema de autoconsumo fotovoltaico:** Indica-nos o valor que iríamos pagar por mês já levando em conta a instalação do sistema de autoconsumo fotovoltaico e a poupança que este introduziria, e também já levando em conta o valor que se obteria com a venda do excedente à rede.

Potencia Central a Instalar											50			
											Kw			
	Energ.consumida		Energ.produzida		Energia FV		Energia Comprada		Custo Energia		Energia kWh		Energia €	
	/ Mês KWh	Custo energia / mês	FV KWh	Consumida kWh	Produção FV €	KWh	Comprada €	Vendida à rede	vendida à Rede	Custo Mensal c FV €				
Janeiro	16 649	2 008,53 €	4 255	4 255	538,29 €	12 395	1 470,24 €	-	- €	1 470,24 €				
Fevereiro	22 698	2 705,87 €	5 200	5 857	739,41 €	16 841	1 966,46 €	-	- €	1 966,46 €				
Março	23 400	2 779,53 €	7 100	2 701	339,08 €	20 699	2 440,45 €	-	- €	2 440,45 €				
Abril	27 188	3 210,47 €	7 400	8 021	1 005,26 €	19 167	2 205,21 €	-	- €	2 205,21 €				
Mai	28 826	3 425,21 €	8 700	10 395	1 297,88 €	18 430	2 127,33 €	-	- €	2 127,33 €				
Junho	31 979	3 756,60 €	9 200	6 915	857,29 €	25 064	2 899,31 €	-	- €	2 899,31 €				
Julho	29 828	3 556,10 €	10 570	11 989	1 491,63 €	17 839	2 064,48 €	-	- €	2 064,48 €				
Agosto	16 274	1 951,61 €	9 940	9 871	1 226,47 €	6 403	725,15 €	589	76,65 €	725,15 €				
Setembro	22 100	2 602,54 €	8 410	9 963	1 237,38 €	12 137	1 365,16 €	603	80,86 €	1 365,16 €				
Outubro	22 088	2 613,98 €	6 049	9 294	1 154,83 €	12 794	1 459,15 €	337	45,21 €	1 459,15 €				
Novembro	22 100	2 602,54 €	4 263	7 403	923,76 €	14 697	1 678,78 €	482	64,73 €	1 678,78 €				
Dezembro	22 088	2 613,98 €	3 826	3 826	479,86 €	18 262	2 134,12 €	-	- €	2 134,12 €				
TOTAL / ano	285 217	33 826,98 €	84 912	90 489	11 291,14 €	194 728	22 635,84 €	2 011	267,45 €	22 535,84 €				

Figura 5.7 - Tabela com os totais para cada mês de alguns parâmetros estudados

Nesta folha podemos ainda encontrar um gráfico que vem no seguimento da tabela anterior. Nesse gráfico podemos encontrar, discriminado por mês, os valores de 3 das colunas da tabela anterior, a coluna que nos indica o custo da energia por mês para o cliente, a coluna que nos indica o valor que iríamos poupar com a introdução do sistema de autoconsumo fotovoltaico, e o valor final que teria de ser pago após a introdução do sistema de autoconsumo fotovoltaico, que mais não é do que a subtração das duas parcelas anteriores.

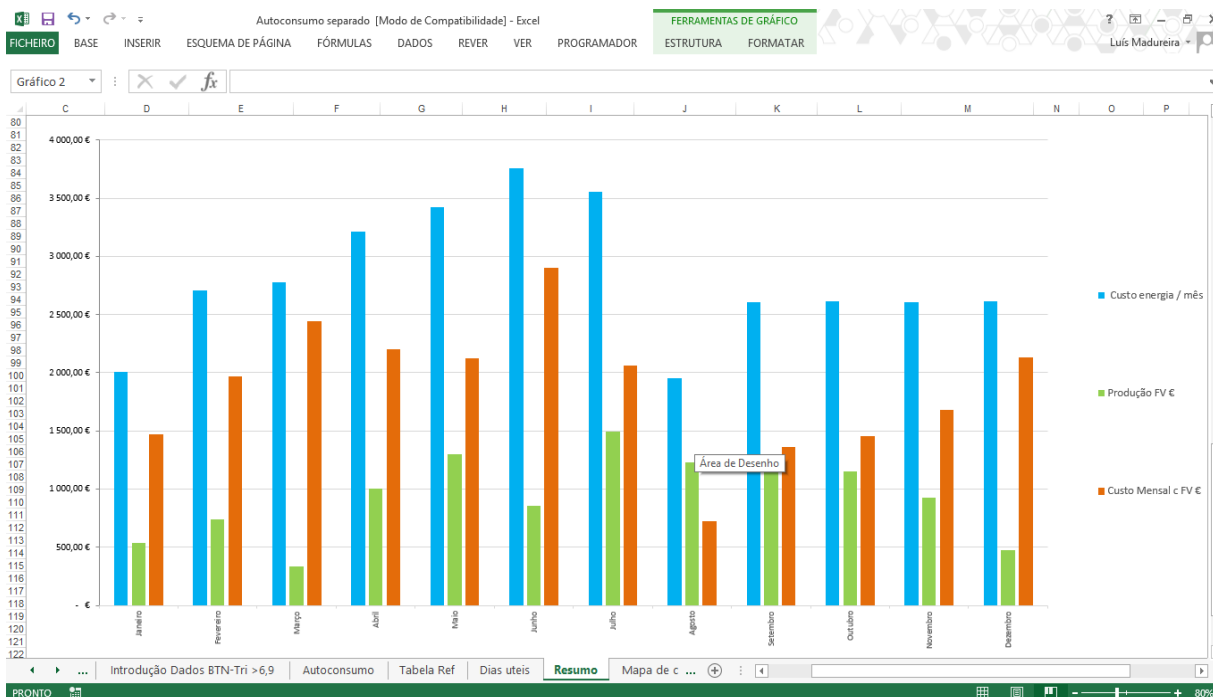


Figura 5.8 - Gráfico de barras "Custo mensal com FV vs Custo mensal sem FV"

Por fim, a última folha tem o nome de “Mapa de compras Autoconsumo”, na qual encontramos detalhadas todas as compras que são necessárias fazer, e o valor das mesmas. Temos também uma tabela onde temos o valor acumulado de “payback” (retorno) ao longo dos anos, que pode ser mais facilmente visto e analisado num gráfico de barras que se encontra ao lado da tabela.

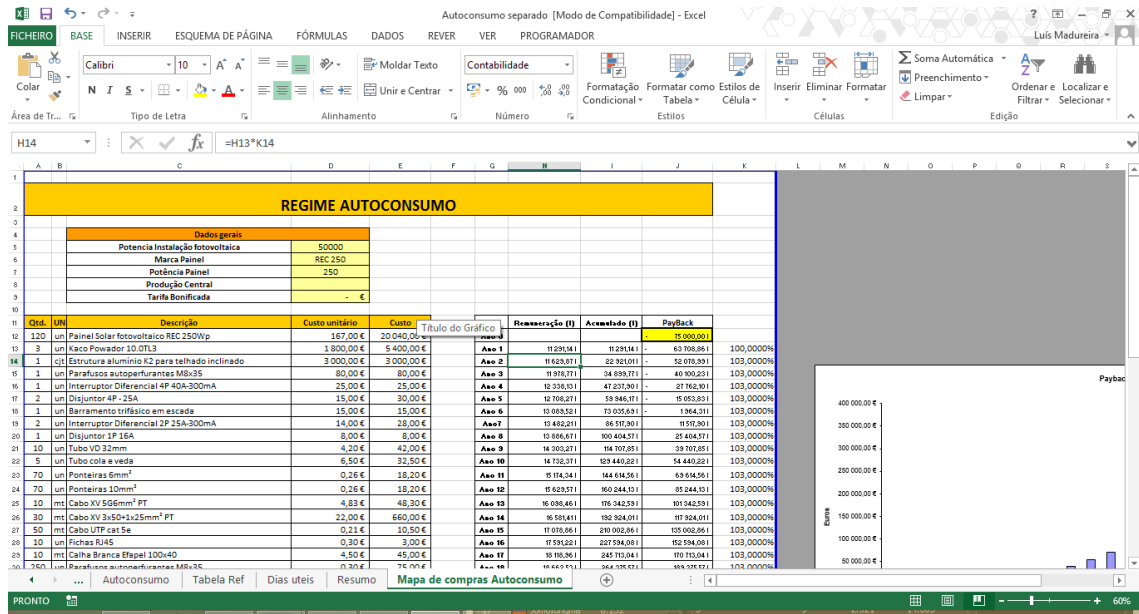


Figura 5.9 - Mapa de compras para instalação do sistema FV

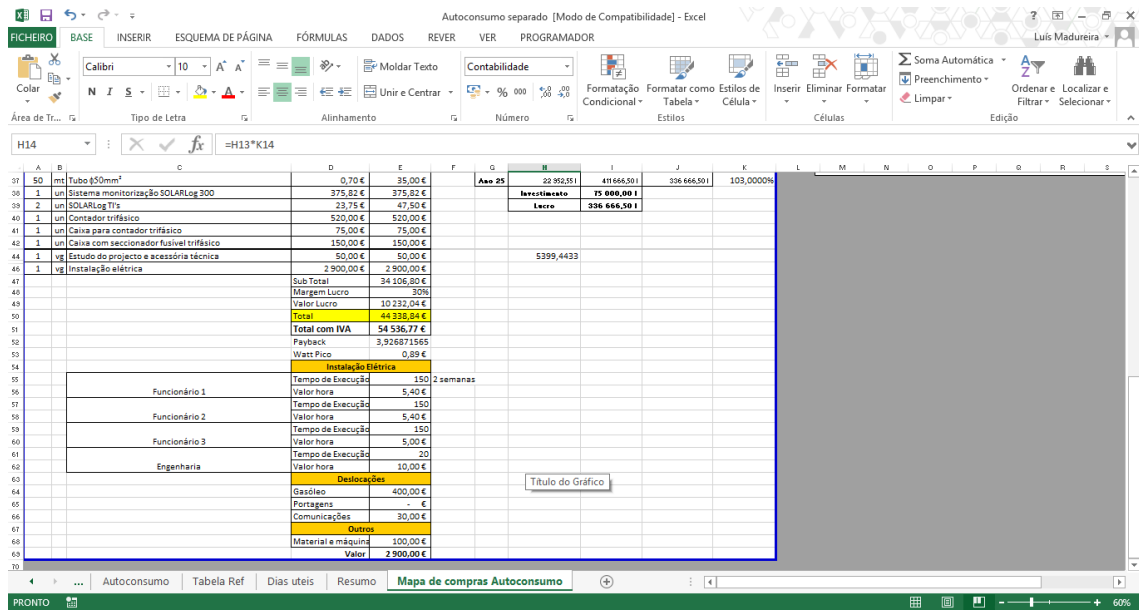


Figura 5.10 - Pagamentos a funcionários para instalação do sistema FV

5.2 - Programa de cálculo (Usando o software Owlintuition)

O software Owlintuition pode ser instalado numa qualquer instalação, e que nos devolve os valores dos consumos dessa mesma instalação. É baseado num sistema sem fios, o que por vezes acarreta alguns problemas na leitura dos consumos das instalações. O facto de ser um software que se baseia num sistema sem fios, faz com que as medições que são devolvidas ao utilizador não tenham um intervalo de tempo constante, isto é, podemos obter por vezes várias medições por minuto, da mesma maneira que podemos por vezes (quando o sinal se encontra demasiado fraco) não receber qualquer medição durante 1 ou 2 horas. Este problema não se reflete nos consumos acumulados, ou seja, o software devolve-nos o valor dos consumos acumulados, e estes não são afetados pelas falhas do sinal. No entanto, este problema faz com que haja algumas horas em que tenhamos qualquer informação, o que dificultará a introdução no programa de cálculo do valor dos consumos em determinados períodos.

Recorrendo ao site relativo ao software, local onde se vai buscar todas as informações, podemos verificar os valores totais dos consumos e do valor que estes representam na fatura energética. Podemos consultar estes valores diretamente para o dia de hoje, para o dia de ontem, para os últimos 7 dias, e para os últimos 30 dias. No entanto, e quando se necessita de uma análise mais detalhada, há a possibilidade de consultar gráficos (como podemos ver nas figuras), e também folhas de cálculo com os valores devolvidos pelo software, para os mesmos períodos que foram enunciados em cima. Nas figuras seguinte temos um exemplo de um gráfico diário, e um exemplo do que poderia ser um gráfico semanal, apesar de ter apenas 3 dias, visto que foi o tempo em que o aparelho esteve instalado na empresa, pelo que um gráfico mensal, não faria qualquer

sentido nesta situação. Ainda assim, e apesar de serem apenas 3 dias, podemos verificar que existe um padrão de consumo, o que é bom para o estudo a realizar.

Para além disso, e para os mesmos períodos referidos anteriormente, podemos ainda verificar, do total da energia consumida, a quantidade de energia trifásica, bifásica e monofásica que é consumida pela instalação. A programa de cálculo é em tudo igual à anterior, sendo que as folhas

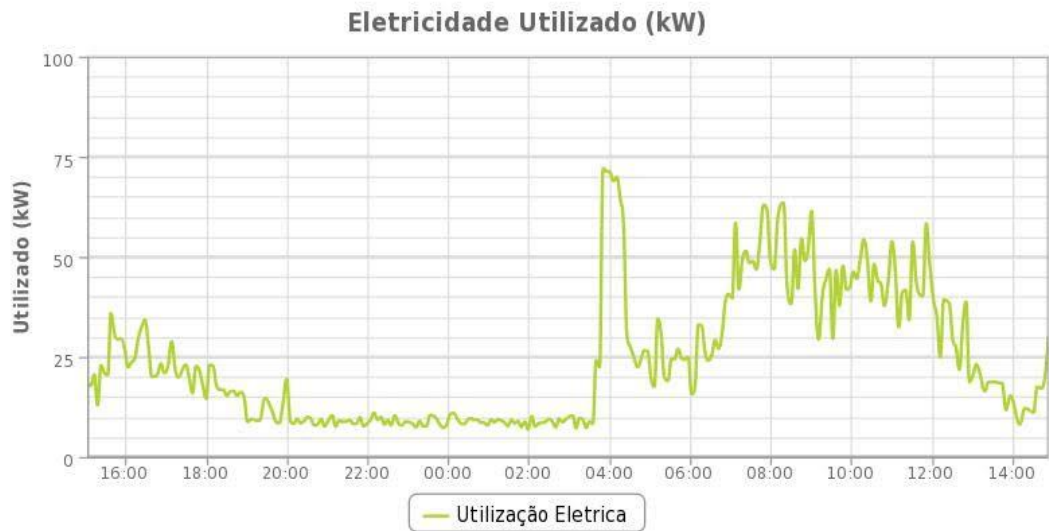


Figura 5.11 - Gráfico do consumo diário de uma instalação em estudo



Figura 5.12 - Gráfico do consumo semanal de uma instalação em estudo

são as mesmas, e as fórmulas contidas nestas também. O que muda são os valores introduzidos na folha “introdução de dados”, que, naturalmente, e como se viu anteriormente, alterarão os valores nas restantes folhas da programa de cálculo. Para uma mesma instalação, quando comparamos os valores finais usando o software “Owlintuition”, e usando as faturas energéticas,

verificamos que há pequenas diferenças, que se justificam com os pequenos problemas que podemos verificar em ambas as situações. No entanto, e como foi dito para o caso das faturas energéticas, apesar de a análise não ser 100% perfeita, dadas as contingências que se verificam, podemos levar as análises como sendo fiáveis, e podemos utilizá-las para verificar se realmente os sistemas de autoconsumo compensam ou não para uma determinada instalação.

5.3 - Programa de cálculo (Visual Basic)

No período final do estágio, e após ter o programa de cálculo em excel concluído (é sempre possível melhorar, mas a empresa pediu para tentar iniciar um Visual Basic), iniciou-se a implementação do programa de cálculo em Visual Basic. Esta funcionalidade que está acessível através do Excel ajuda em muito a tornar o programa de cálculo mais fácil de manusear para o cliente, pois, assim, ao invés de ter de andar a verificar todas as folhas a ver os resultados que tem, com este complemento em Visual Basic, o cliente, ao abrir o excel aparece uma caixa na qual o cliente escolhe a folha (entre as disponíveis) na qual quer introduzir os dados, e posteriormente, vai escolhendo os meses, um a um, e altera os valores dos vários períodos mensais (Vazio, Super Vazio, Ponta, Cheia). Nesta fase, o Visual Basic ainda está muito embrionário, pelo que apenas tem a funcionalidade de introduzir os valores na plataforma, e esta altera automaticamente no Excel. No entanto, para ver os resultados que da introdução desses valores resulta, é necessário fechar a caixa de introdução de dados e procurar nas várias folhas os gráficos e as tabelas que nos permitem avaliar se é ou não rentável introduzir o sistema de autoconsumo. Como já foi referido, a implementação do Visual Basic visa dois pontos essenciais, em primeiro lugar pretende-se que seja mais fácil ao cliente trabalhar com o programa de cálculo criado, e assim, ao ter apenas de introduzir os valores que constam nas faturas energéticas, qualquer cliente conseguiria trabalhar com este programa, e em segundo, é uma forma de melhorar o programa de cálculo e torna-lo mais atrativo para os clientes. O facto de não ter de levar com tanta informação e tantas tabelas, e tantos gráficos (alguns não têm grande interesse para o cliente), faz com que o programa seja mais chamativo. Assim, e com o intuito de tornar o programa de cálculo numa ferramenta que venha cada vez a ser mais usada pela empresa, e que satisfaça as necessidades dos clientes que a irão utilizar, a ideia seria de, após este trabalho inicial, não ter de recorrer às folhas de Excel, ou seja, após serem introduzidos os valores mensais dos consumos nos diferentes períodos já referidos, o programa terá a capacidade de devolver os gráficos “Consumo vs Produção”, bem como a tabela na qual podemos ver os valores mensais não só da poupança que o sistema de autoconsumo fotovoltaico introduziria na instalação, como o valor de energia que seria vendida à rede, e o valor monetário que se ganharia com isso, no fundo, devolver a tabela (já alterada pelos valores introduzidos) que consta na folha “Resumo” do programa de cálculo criado. Estas funcionalidades ainda não estão introduzidas no programa de cálculo atual, uma vez

que o Visual Basic, começou a ser feito na reta final do estágio, não havendo tempo para o acabar enquanto finalizava este trabalho, ficando para trabalho futuro a desenvolver conjuntamente com a empresa.

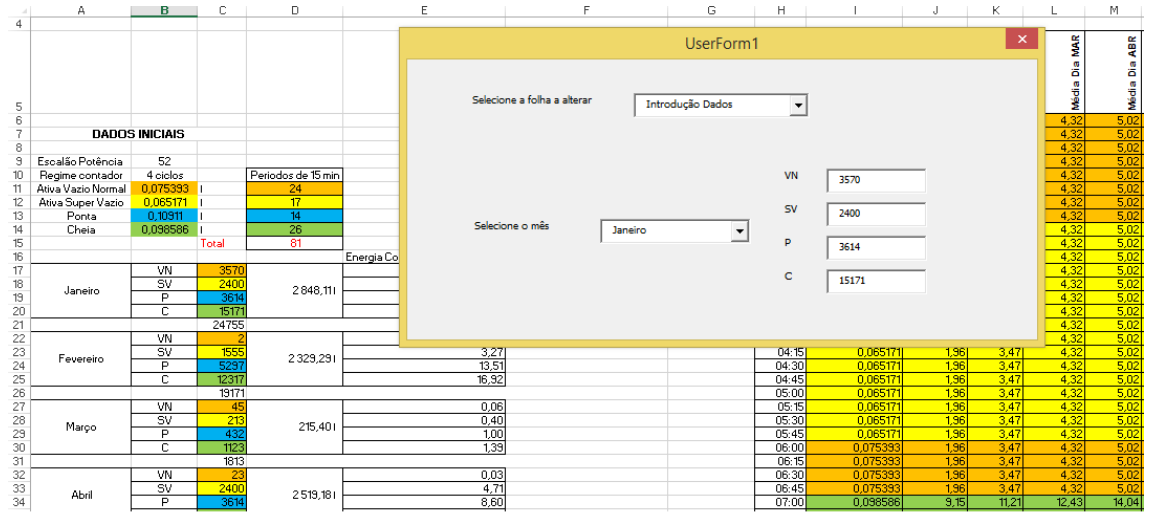


Figura 5.13 - Caixa de introdução de dados, criada com Visual Basic

Capítulo 6

Conclusões

O Autoconsumo fotovoltaico pode ser visto como sendo sempre rentável, uma vez que ele diminui sempre a fatura energética do cliente, a não ser que os consumos de uma determinada instalação sejam 100% noturnos, numa fase do dia em que não há sol, logo não haverá produção de energia que possa ser usada para diminuir a energia que se vai buscar à rede. No entanto, é preciso sempre verificar quais as necessidades do cliente. Se numa fatura energética que ronde os 3000€/mês, conseguirmos uma redução de 100€/mês, talvez não seja assim tão necessário o autoconsumo, uma vez que não podemos cingir-nos apenas à redução na fatura energética que um sistema de autoconsumo traria ao cliente. É sempre necessário ter em conta o investimento inicial que é necessário fazer para a construção de todo o sistema fotovoltaico (encontra-se também presente no programa de cálculo, uma folha com todas essas informações) e é preciso verificar ao fim de quanto tempo o investimento estará pago, e aí assim, poderemos falar em redução dos encargos energéticos. Pois fazendo por exemplo um investimento de 50000€, com uma redução como a falada anteriormente de 100€/mês, seriam necessários 500 meses para começar a ser rentável, e para abater o preço que foi investido. No entanto, estes 500 meses correspondem a mais de 40 anos, número que é superior ao nível de vida médio de um painel fotovoltaico.

Assim, é sempre necessário que o cliente tenha em conta as necessidades que pretende satisfazer, e é necessário que seja sempre alertado para o investimento inicial (a manutenção é reduzida), podendo assim verificar após analisar o excel que lhe é fornecido, se compensa ou não introduzir o sistema de autoconsumo na sua instalação.

No caso da utilização das faturas energéticas do cliente para preencher a programa de cálculo, há um problema “escondido” que limita um pouco a análise aprofundada da situação. Esse problema prende-se com o facto de nas faturas energéticas termos os consumos totais para os diferentes períodos (VN, SV, C, P), sendo que não sabemos se na hora x o consumo foi mais

elevado do que na hora y . Este problema limita um pouco a análise dos consumos pormenorizada, sendo que no entanto, a análise geral de consumos ficará igual. É necessário notar por exemplo numa instalação BTN, que no período de cheia a análise grosseira obriga a que todos os intervalos de tempo tenham o mesmo consumo, mas na verdade, seria interessante, e até importante saber mais ao pormenor quais seriam os consumos reais, pois, no caso do autoconsumo faz diferença saber qual o consumo por exemplo entre as 14h e as 16h, pois nesta altura pode haver sol, o que fará com que o autoconsumo possa atuar nesse período. Já no intervalo das 21h às 22h, não haverá sol, pelo que o autoconsumo não poderá atuar. Assim, e para uma melhor análise de todos os casos seria importante ter esses dados, o que com as faturas energéticas se torna impossível.

Com o software Owlintuition, tudo isso é possível, pois está constantemente a devolver-nos dados sobre os consumos relativamente à instalação onde este se encontra. Temos por vezes a devolução de dados mais do que 1 vez por minuto. No entanto, este sistema é um sistema que funciona por wireless, o que também acarreta os seus problemas, uma vez que, em algumas situações o sinal é fraco, o que faz com que se possa receber vários dados por minuto num determinado intervalo, e posteriormente, poderemos ficar às vezes horas sem receber dado nenhum, o que também não é, de todo, ideal para uma análise mais detalhada.

Apesar de estes pequenos problemas, as análises feitas levam sempre a valores muito próximos da realidade, e permitem, de facto, verificar se o autoconsumo é ou não uma opção a ter em conta numa determinada instalação.

Não podemos generalizar dizendo que com determinados valores de consumo é rentável ou não introduzir um sistema de autoconsumo, pois, essa é sempre uma decisão que pertence ao cliente, uma vez que há clientes que podem querer reduzir a fatura energética para metade por exemplo e obter retorno em 5 ou 6 anos, e em alguns casos isso não é, de todo, possível.

Como trabalho futuro, propõe-se a evolução da programa de cálculo e do visual basic, de modo a tornar estes processos de análise mais ágeis, e acima de tudo torná-los mais cativantes para o cliente, e mais fáceis de manusear para o mesmo.

Referências

Referências Bibliográficas

- [1] F. Solar, “América do Sol,” Agosto 2015. [Online]. Available: <http://www.americadosol.org/telureto-de-cadmio-cdte/>.
- [2] BlueSol, Agosto 2015. [Online]. Available: <http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>.
- [3] G. d. Portugal, “Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída,” 2014.
- [4] Wikipedia, “Energia Solar,” Junho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar.
- [5] P. C. Monteiro, “Apontamentos das aulas de Energia Eólica e Solar, FEUP,” Porto, 2015.
- [6] P. Solar, “Painéis fotovoltaicos,” Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>.
- [7] P. Solar, “O Inversor Solar,” Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.htm>.
- [8] E. L. Garrido, “Baterias de acumuladores,” Julho 2015. [Online]. Available: http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page666.htm.
- [9] ALTENER, Energia Fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação, 2004.
- [10] F. Amaral, Agosto 2015. [Online]. Available: <http://energiabarata.blogspot.pt/2009/08/energia-solar-em-portugal-e-na-europa.html>.
- [11] DGEG, “Direção Geral de Energia e Geologia,” Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>.
- [12] “Energia solar, utilização e rentabilização de sistemas fotovoltaicos,” Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.electronica-pt.com/energia-solar>.

- [13] E. térmica. [Online]. Available: <http://energiatermicafunda.blogspot.pt/>.
- [14] E. L. Garrido, "Tecnologia fotovoltaica," Agosto 2015. [Online]. Available: http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page830.htm.
- [15] T. |. E. Solar, Julho 2015. [Online]. Available: <http://t8menergiasolar.com.br/sistemas-isolados-off-grid/>.
- [16] E. Pura, Julho 2015. [Online]. Available: <https://www.energiapura.com/content/sistema-h%C3%ADbrido-solare%C3%B3lico-air40>.
- [17] S. (. e. E. L. d. Brasil), Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.selb.com.br/br/component/content/category/8-solucoes.html>.
- [18] B. Solar, Agosto 2015. [Online]. Available: http://www.brsolar.com.br/site/index.asp?area=sistemas_fotovoltaicos.
- [19] "Ebah - A rede social para o compartilhamento acadêmico," Agosto 2015. [Online]. Available: http://www.ebah.com.br/content/ABAAE_fgAJ/energia-fotovoltaica?part=7.
- [20] EcoVolts, "EcoVolts - A constituição das células," Agosto 2015. [Online]. Available: <http://ecovolts.webnode.pt/celulas-fotovoltaicas/constitui%C3%A7%C3%A3o/>.
- [21] G. -. Globo, "G1 - O portal de notícias da Globo," Agosto 2015. [Online]. Available: <http://g1.globo.com/mundo/noticia/2010/07/aterrissa-na-suica-aviao-que-fez-o-10-voonoturno-movido-a-energia-solar.html>.
- [22] Krannich-solar, "SMA Solar | Inversores fotovoltaicos," Agosto 2015. [Online]. Available: http://pt.krannich-solar.com/fileadmin/content/data_sheets/inverter/portugal/Sunny_Boy_1.5_1VL-40_INT_KD23666.pdf.
- [23] "Guia do Hardware - Baterias de Chumbo-Ácido," [Online]. Available: <http://www.hardware.com.br/tutoriais/baterias/pagina3.html>.
- [24] Wikipedia, "Wikipedia - Baterias VRLA," Agosto 2015. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_VRLA.
- [25] "Electrónica - Tipos de Baterias," Agosto 2015. [Online]. Available: <http://www.electronica-pt.com/tipos-baterias>.
- [26] VictronEnergy, "Bateria de Lítio," Agosto 2015. [Online]. Available: <http://www.victronenergy.pt/batteries/lithium-battery-24v-180ah>.
- [27] neosolarenergia, "Controlador de Carga," Agosto 2015. [Online]. Available: <http://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-epsolar-landstar-ls0512-5a-12v.html>.
- [28] E. Distribuição, "Microgeração," Julho 2015. [Online]. Available: www.edpdistribuiçao.pt/pt/produtor/microgeracao/Pages/microgeracao.aspx.

Bibliografia Consultada

- [29] Sinersol, "Autoconsumo," Julho 2015. [Online]. Available: www.sinersol.pt/_autoconsumo_3.
- [30] Donauer, "Autoconsumo," Julho 2015. [Online]. Available: www.d-solarsystems.com/#!autoconsumo/c203m.
- [31] E. L. Garrido, "Tecnologia fotovoltaica," Julho 2015. [Online]. Available: http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page830.htm.
- [32] C. Viva, "Célula Fotovoltaica," Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.cienciaviva.pt/docs/celulafotovoltaica.pdf>.
- [33] Wikipedia, "Baterias VRLA," Agosto 2015. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_VRLA.
- [34] Wikipedia, "Baterias Chumbo-Ácido," Julho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_chumbo-%C3%A1cido.
- [35] Wikipedia, "Baterias Níquel-Cádmio," Julho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_de_n%C3%ADquel_c%C3%A1dmio.
- [36] P. Energia, "Dimensionamento do Controlador de Carga para um Sistema Solar," Agosto 2015. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/dimensionamento-do-controlador-de-carga-para-um-sistema-solar/>.
- [37] M. C. Solar, "Baterias," Julho 2015. [Online]. Available: <http://minhacasasolar.com.br/saiba-bateria.php>.
- [38] Wikipedia, "Célula Solar," Julho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_solar.
- [39] Wikipedia, "Painel Solar Fotovoltaico," Junho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Painel_solar_fotovoltaico.
- [40] Wikipedia, "Autoconsumo Fotovoltaico," Julho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Autoconsumo_fotovoltaico.
- [41] Wikipedia, "Energia Solar em Portugal," Junho 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar_em_Portugal#cite_ref-dgge_1-0.
- [42] A. d. Sol, "Sistemas Fotovoltaicos," Agosto 2015. [Online]. Available: http://www.americadosol.org/energia_fotovoltaica/sistemas-fotovoltaicos/.
- [43] K. Solar, "Fotovoltaica Isolada," Julho 2015. [Online]. Available: <http://pt.krannich-solar.com/pt/autoconsumo/fotovoltaica-isolada.html>.
- [44] C. Kinetics, "Sistemas Fotovoltaicos Isolados," Julho 2015. [Online]. Available: <http://critical-kinetics.pt/Sistemas-Fotovoltaicos-Isolados/apresentacao.htm>.

- [45] Donauer, "Sistemas Fotovoltaicos Isolados," Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.d-solarsystems.com/#!sistemas-isolados/chy6>.
- [46] P. Energia, "Regras de Miniprodução de Electricidade Mudam com Publicação de Decreto-Lei," Julho 2015. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/regras-de-miniproducao-de-electricidade-mudam-com-publicacao-de-decreto-lei/>.
- [47] FuturSolution, "Autoconsumo," JULho 2015. [Online]. Available: <http://www.futursolutions.pt/energia/autoconsumo>.
- [48] R. n. Hora, Julho 2015. [Online]. Available: http://www.renovaveisnahaora.pt/c/document_library/get_file?uuid=460313e5-a03d-4ef5-93cd-a0e944f3cb76&groupId=13360.
- [49] G. d. Portugal, "Renováveis na Hora," [Online]. Available: http://www.renovaveisnahaora.pt/c/document_library/get_file?uuid=13adbdc7-621c-4355-9558-5d7489690f37&groupId=1336.
- [50] G. d. Portugal, "Renováveis na Hora," Junho 2015. [Online]. Available: http://www.renovaveisnahaora.pt/c/document_library/get_file?uuid=460313e5-a03d-4ef5-93cd-a0e944f3cb76&groupId=1336.
- [51] G. d. Portugal, "Renováveis na Hora," Junho 2015. [Online]. Available: http://www.renovaveisnahaora.pt/c/document_library/get_file?uuid=05bdb091-4730-44b7-9896-41076ee16611&groupId=13360.
- [52] J. A. M. Monteiro, Julho 2015. [Online]. Available: <repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72835/2/52420.pdf>.
- [53] S. D. M. Costa, Julho 2015. [Online]. Available: <repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/74582/2/99066.pdf>.
- [54] R. A. B. G. Tavares, Julho 2015. [Online]. Available: <run.unl.pt/handle/10362/14422>.
- [55] D. Iberica, "Autoconsumo," Julho 2015. [Online]. Available: www.degeriberica.com/wp/pt-pt/solucoes-de-autoconsumo-energetico/.
- [56] E. Renováveis, Junho 2015. [Online]. Available: www.xn--energiasrenovveis-jpb.com/microproducao/novas-regras-para-autoconsumo-e-venda-de-energias-renovaveis/.
- [57] GreenSavers, "7 Vantagens do Novo Modelo de Autoconsumo," Junho 2015. [Online]. Available: greensavers.sapo.pt/2015/02/20/7-vantagens-do-novo-modelo-de-autoconsumo-de-electricidade-para-as-empresas/.
- [58] D. Proteste, "Produção de Electricidade para Autoconsumo Ganha Folego," Junho 2015. [Online]. Available: www.deco.proteste.pt/casa/electricidade-gas/testes-primeira-impressao/producao-de-eletricidade-para-autoconsumo-ganha-folego.

- [59] A. Solar, "Autoconsumo," Junho 2015. [Online]. Available: <http://www.as-iberica.com/pt/autoconsumopt>.
- [60] K. Solar, "AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO," Junho 2015. [Online]. Available: <http://pt.krannich-solar.com/pt/autoconsumo.html>.
- [61] F. Solar, "Autoconsumo," Junho 2015. [Online]. Available: www.ffi-solar.com/index.php?lang=PT&page=autoconsumo.
- [62] S. Energy, "Autoconsumo," Julho 2015. [Online]. Available: sunenergy.pt/particulares/auto-consumo/.
- [63] Owlintuition, Abril 2015. [Online]. Available: www.owlintuition.com/.