



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Sistemas de Bombagem de Água utilizando Energia Solar Fotovoltaica

MÁRCIA JOANA CARVALHO CORREIA
Licenciada em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Dezembro de 2015



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Sistemas de Bombagem de Água utilizando Energia Solar Fotovoltaica

MÁRCIA JOANA CARVALHO CORREIA
Licenciada em Engenharia Mecânica

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques

Dezembro de 2015

*Não tens de ser grande para começar,
mas tens de começar para ser grande.*

Zig Ziglar

Agradecimentos

A Tese Final de Mestrado é um trabalho individual que leva à conclusão de mais uma etapa académica. A motivação nem sempre esteve presente, por isso quero destacar aqueles que mais me apoiaram em toda esta fase.

Ao Orientador, Professor Nuno Henriques, pela disponibilidade, pelo interesse e pelo apoio;

À Rita Soares, ao Pedro Gaspar e ao Gonçalo Teixeira, sempre presentes e incentivando-me sempre que o foi necessário fazer;

Ao Júlio Figueiredo, à Maria Guiomar e ao André Barros pela motivação e pelo incentivo para ultrapassar as dificuldades e concluir o projeto;

Ao Francisco Macedo pelo apoio técnico no desenvolvimento do projeto;

À Ana Reis pelo apoio legislativo e pela amizade de longa data;

Ao Tiago Oliveira pela colaboração inicial e fundamental para agarrar o tema;

Aos meus pais e ao meu irmão pela paciência e pela compreensão durante toda a jornada no ISEL que continuam a ter, e pelo orgulho que depositam nas minhas capacidades;

A todos que, embora não referenciados, contribuíram na motivação e troca de conhecimento para desenvolver o tema e continuar a acreditar que é possível.

Resumo

A produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis tem sido um tema que cada vez tem mais aderência por parte de utilizadores privados. A descentralização dos grandes centros de produção e as atualizações legislativas contribuíram para o aumento do interesse em sistemas autónomos para autoconsumo.

Neste trabalho foi desenvolvida uma aplicação informática de cálculo de instalações fotovoltaicas para alimentarem uma bomba de furo para elevação de água proveniente de aquíferos.

É também contemplada uma análise financeira do retorno do investimento referente à produção de energia elétrica e à redução da fatura que se teria de pagar.

Palavras-chave

Fotovoltaico; Análise financeira; aplicação informática

Abstract

The production of electricity from renewable sources has been a topic that increasingly has more grip by private users. The decentralization of the great centers of production and legislative updates contributed to the increased interest in autonomous systems for self.

This work developed a computer application for the calculation of a photovoltaic system to feed one hole pump for water use from aquifers.

Also contemplated is a financial analysis of return on investment on production of electricity and reduce the bill we would have to pay.

Keywords

Photovoltaic, Financial analysis; computer application

Glossário

AC/DC – do ponto de vista cronológico: Antes de Cristo/Depois de Cristo; do ponto de vista elétrico: Corrente Alternada (do inglês *Alternating Current*) / Corrente Contínua (do inglês *Direct Current*)

BCE – Banco Central Europeu

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FMI – Fundo Monetário Internacional

O&M – Operação e Manutenção

REN – Redes Energéticas Nacionais

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

RNT – Rede Nacional de Transporte

ROI – Retorno do Investimento

RTIBT – Regras Técnicas de Instalações de Baixa Tensão

SEN – Sistema de Energético Nacional

SRM – Sistema de Registo de Microprodução

SRMini – Sistema de Registo de Miniprodução

Tr – Tempo de Recuperação

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

UPP – Unidade de Pequena Produção

UPAC – Unidade de Produção para Autoconsumo

VAL – Valor Líquido Atualizado

Índice

1.	Introdução	1
2.	Estado da Arte.....	3
2.1.	Energia	3
2.2.	Bombas.....	12
2.3.	Aproveitamento Solar	15
3.	Fundamentação Teórica.....	17
3.1.	Enquadramento legislativo e normativo.....	17
3.2.	Painéis Fotovoltaicos	19
3.2.1.	A energia Solar	19
3.2.2.	Princípio de funcionamento	19
3.2.1.	Constituição de um Sistema Fotovoltaico	22
3.2.2.	Outros componentes do sistema	26
3.3.	Teoria das bombas.....	27
3.3.1.	Bombas submersíveis	29
3.3.2.	Motores	30
3.4.	Fatores a ter em consideração na instalação	31
3.4.1.	A inclinação do módulo fotovoltaico.....	31
3.4.2.	O efeito do Sombreamento	32
3.4.3.	Proteção dos componentes elétricos	33
3.4.4.	Sistema hidráulico.....	34
4.	Aplicação Informática.....	37
4.1.	Metodologia de cálculo	38
4.2.	Modelo de 1 Díodo e 3 parâmetros	40
4.3.	Descrição da Aplicação Informática	43
5.	Caso de Estudo.....	47
5.1.	Análise Financeira.....	54
5.2.	Manutenção do sistema	61
6.	Conclusões	63
	Referências Bibliográficas	67
	Anexos	71
A.	Condições climáticas	72

A-a.	Bragança	72
A-b.	Campo Maior	74
A-c.	Mértola.....	76
A-d.	Mora.....	78
A-e.	Sabugal	80
B.	Especificações Técnicas	82
B-a.	Painéis Solares	82
B-b.	Bombas Submersas.....	83
B-c.	Reguladores de carga.....	83
B-d.	Baterias	83
C.	Constantes	84

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Paineis Solares Térmicos (4).....	4
Figura 2.2 - Esquema unifilar de uma instalação solar térmica (4)	4
Figura 2.3 - Central de Concentração Solar de Sevilha.....	5
Figura 2.4 - Esquema de funcionamento de uma Central de Concentração Solar (6).....	6
Figura 2.5 - Sistema de Seguimento Solar (7)	6
Figura 2.6 - Potencial de eletricidade solar fotovoltaica na Europa (9)	8
Figura 2.7 - Radiação global incidente em Portugal (9)	8
Figura 2.8 - Pedidos de ligação à rede em 2014 (12)	10
Figura 2.9 - Célula de polímero conjugado (13).....	11
Figura 2.10 - Parque de merendas dentro da Central Solar Fotovoltaica da Amareleja. 11	
Figura 2.11 - Motor a vapor de Heron	13
Figura 2.12 - Parafuso de Arquimedes	13
Figura 2.13 - Exemplos de instalações (7).....	16
Figura 2.14 - Projeto solar para arrefecimento na África do Sul (16)	16
Figura 3.1 - Dopagem do Silício [adaptado de (19)]	20
Figura 3.2 - Efeito fotovoltaico [adaptado de (19)]	21
Figura 3.3 - Balanço energético numa célula solar [inspirado em (19) e (18)]	21
Figura 3.4 - Constituição dos geradores fotovoltaicos [adaptado de (19)].....	22
Figura 3.5 - Esquema de um sistema fotovoltaico autónomo (17)	25
Figura 3.6 - Esquema de um sistema fotovoltaico ligado à rede (17)	26
Figura 3.7 - Tipos de Bombas [inspirado em (21)].....	27
Figura 3.8 - Configuração de uma bomba centrífuga (22)	28
Figura 3.9 - Tipos de bombas centrífugas [adaptado de (22)]	28
Figura 3.10 - Bomba multiestágio, vertical e horizontal (22).....	29
Figura 3.11 - Configuração de uma bomba de furo [adaptado de (22)]	30
Figura 3.12 - Posição do Sol ao longo do ano [adaptado de (19)].....	31
Figura 3.13 - Inclinação do painel referente ao Sol [adaptado de (19)]	32
Figura 3.14 - Distância entre painéis instalados no plano horizontal (24)	33
Figura 3.15 - Afetação do sombreamento na corrente elétrica [adaptado de (19)]	33
Figura 3.16 - Posicionamento da bomba relativamente ao tubo [adaptado de (23)]	35

Figura 4.1 - Fluxograma com a caracterização do utilizador do sistema	39
Figura 4.2 - Fluxograma de ajuste do número de módulos fotovoltaicos	39
Figura 4.3 - Aspeto do separador para os dados de entrada	44
Figura 4.4 - Aspeto do separador para os dados de saída – Investimento inicial.....	45
Figura 4.5 - Aspeto do separador para os dados de saída – Rendibilidade do empreendimento	46
Figura 5.1 - Dados de entrada do caso de estudo	48
Figura 5.2 - Dados de saída do caso de estudo - Investimento inicial	49
Figura 5.3 - Evolução da tensão no ponto de máxima potência no módulo [V] ao longo do ano (equação 4.10)	50
Figura 5.4 - Evolução da corrente no ponto de máxima potência no módulo [A] ao longo do ano (equação 4.7)	50
Figura 5.5 - Evolução da potência de saída para a temperatura e irradiância incidente no módulo [W] ao longo do ano (equação 4.8).....	51
Figura 5.6 - Dados de saída do caso de estudo - Rendibilidade do projeto	58
Figura 5.7 - Diagrama de carga da bomba	60

Nota: Figura da Capa (1)

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Potência instalada no mundo[adaptado de (8)].....	7
Tabela 2.2 - Maiores Centrais instaladas em Portugal (10).....	9
Tabela 3.1 - Tipos de células de silício [inspirado em (18)].....	23
Tabela 3.2 - Tipo de ligações entre células e módulos [inspirado em (18) e (17)].....	24
Tabela 3.3 - Descrição de outros componentes do sistema solar [inspirado em (18), (20) e (17)].....	26
Tabela 3.4 - Concentração máxima de areia recomendada [inspirado em (23)]	35
Tabela 4.1 - Principais características dos softwares no mercado [adaptado de (20)] ...	37
Tabela 4.2 - Quadro-resumo dos dados de entrada e de saída do software	43
Tabela 5.1 - Resultados obtidos para $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ e $H = 150 \text{ m}$	47
Tabela 5.2 - Resultados obtidos para $Q = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ e $H = 10 \text{ m}$	48
Tabela 5.3 - Evolução anual da tensão, corrente e potencia no módulo.....	51
Tabela 5.4 - Evolução anual para um módulo SW 250	52
Tabela 5.5 - Evolução anual da tensão e da potência para o gerador fotovoltaico	52
Tabela 5.6 - Energia anual produzida na instalação	59

1. Introdução

Desde a Revolução Industrial que a Humanidade depende da energia elétrica para sobreviver e se desenvolver. A sua produção teve inicialmente como única fonte os combustíveis fósseis, nomeadamente, o petróleo e o carvão. Com o passar dos anos, além da preocupação com a escassez a prazo destas fontes, foram levantadas questões ambientais, tendo sido iniciadas várias investigações de modo a reduzir o impacto da poluição associada à produção de energia elétrica, utilizando-se fontes de energia renovável, como a energia solar, a eólica e a hídrica.

O nosso país tem vindo a participar neste movimento de mudança para um novo paradigma energético com a incorporação das energias renováveis no seu “*mix*” energético. Como Portugal não possui jazidas de combustíveis fósseis, a aposta nas energias renováveis é um modo de diminuir a sua dependência energética exterior, de criar postos de trabalho e de gerir movimento financeiro gerado pelo facto de esta atividade permanecer no país.

Uma das vantajosas aplicações para a energia solar fotovoltaica pode ser a bombagem / elevação de água. Em sistemas que requerem bombagem constante ou durante o período diurno, pode tornar-se o sistema altamente eficiente e com um rápido retorno de investimento. A agricultura e agropecuária, a indústria e até o sector residencial, são áreas onde as bombas desenvolvidas para trabalharem alimentadas por painéis solares fotovoltaicos apresentam uma boa relação de custo-benefício.

Com este trabalho pretende-se:

- Análise da legislação em vigor referente à microprodução de eletricidade;
- Análise e comparação dos sistemas de microgeração de energia elétrica baseados na tecnologia fotovoltaica;
- Análise e comparação dos diversos tipos de bombas a utilizar no sistema. Análise dos tipos e potência dos motores elétricos para acionamento das bombas. Análise energética dos motores elétricos e do conjunto motor/bomba;

- Identificação dos fatores que afetam a eficiência da bombagem de água e a escolha dos módulos fotovoltaicos;
- Elaboração uma aplicação computacional que permita dimensionar o sistema fotovoltaico e a bomba em função do local onde se pretende instalar o sistema de bombagem, na capacidade de água requerida por um dado período, na capacidade de um eventual reservatório, da distância e elevação da bomba até ao reservatório ou local de consumo e da profundidade do local da fonte de água.

Com estes objetivos, foi desenvolvido uma aplicação simples que permite dimensionar, de uma forma geral, um sistema de produção de energia elétrica descentralizado, aplicado a bombas de captação de água, tendo em conta as variáveis hidráulicas mais relevantes para o aproveitamento racional de um aquífero subterrâneo.

Este tema está estruturado tendo em conta a evolução do desenvolvimento dos componentes principais da instalação: painéis fotovoltaicos e bombas de água. Numa primeira fase descreve-se o estado da arte dos estudos relativamente ao fenómeno do efeito fotoelétrico e do desenvolvimento e aperfeiçoamento das bombas desde a antiguidade até aos dias de hoje. Mais em detalhe, apresenta-se a fundamentação teórica associada aos sistemas, enquadrando-se a legislação aplicada a Portugal e os fatores a ter em consideração aquando da instalação dos componentes. Esta fundamentação teórica é tida em conta na metodologia de cálculo do Software e visualizada no caso de estudo escolhido. No fim apresentam-se as conclusões deste estudo e possíveis desenvolvimentos futuros aplicados ao aproveitamento dos recursos renováveis em situações de autoconsumo.

2. Estado da Arte

2.1. Energia

O efeito fotoelétrico foi relatado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel que observou o paramagnetismo do oxigênio líquido quando, enquanto conduzia experiências eletroquímicas, verificou por acaso que a exposição à luz de eletródos de platina ou de prata dava origem ao efeito fotovoltaico. Em 1873, Willoughby Smith, um engenheiro britânico, escreveu uma carta onde descreve a sua descoberta ao ligar barras de selênio hermeticamente isoladas entre placas de vidro e ligadas por um fio de platina, a resistência do material era influenciada pela incidência de luz solar. (2) Em 1921, Albert Einstein recebeu um Prêmio Nobel pelos seus trabalhos conducentes à explicação do efeito fotovoltaico. (3)

Na sequência destas descobertas vários outros físicos e engenheiros continuaram os seus testes para produção de eletricidade. A era moderna da energia solar teve início em 1954 quando Calvin Fuller, um químico norte-americano, desenvolveu o processo de dopagem do silício, obtendo células fotoelétricas que exibiam eficiências de cerca de 6%. A primeira célula solar foi formalmente apresentada na reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. No ano seguinte a célula de silício viu a sua primeira aplicação como fonte de alimentação de uma rede telefónica em Americus, na Geórgia. (2)

Os sistemas fotovoltaicos são atualmente utilizados em várias aplicações como a alimentação de semáforos e de sinais rodoviários, de telefones de emergência em autoestradas, e na eletrificação rural, através do abastecimento elétrico em locais sem rede, bombagem de água e irrigação, substituindo os sistemas convencionais.

A conversão de energia solar associada à radiação solar pode ser efetuada com dois propósitos: obtenção de energia elétrica e obtenção de energia térmica, isto é, calor. No primeiro caso utilizam-se painéis fotovoltaicos, cujo funcionamento é objeto do presente documento, e no segundo caso utilizam-se painéis solares térmicos. Estes são constituídos por coletores solares onde, por efeito de estufa, o fluido térmico (mistura de

água com ou sem anticongelante) é aquecido e transfere calor através de um permutador de calor à água de consumo, geralmente armazenada num depósito. (3)



Figura 2.1 - Painéis Solares Térmicos (4)

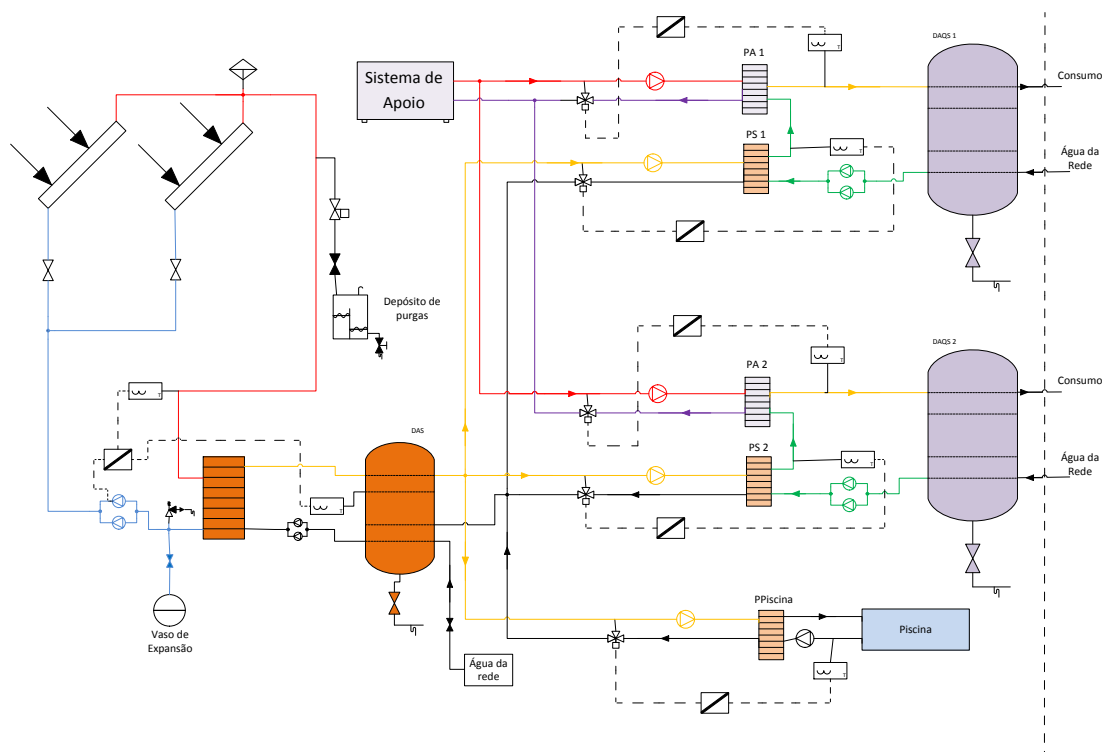


Figura 2.2 - Esquema unifilar de uma instalação solar térmica (4)

Alternativamente à utilização simples destes dois tipos de soluções, a energia solar também pode ser integrada em Centrais de Concentração Solar para produção de energia elétrica. O Campo Solar é composto por coletores solares parabólicos que captam e direcionam a energia da radiação solar para um fluido de transferência de calor. O Módulo de Produção de Energia procede à conversão da energia térmica do

fluido em energia elétrica, sendo fundamentalmente constituído por uma turbina a vapor que aciona um alternador. Atualmente está em curso um estudo de implementação deste sistema em Portugal, tendo como base a central instalada em Sevilha, Espanha. (5) A nível académico, foi feito um estudo de análise da fiabilidade deste tipo de instalações em Portugal, do ponto de vista do mercado energético e não da perspectiva técnica, onde se conclui que, embora o investimento inicial tivesse grande impacto no projeto, a nível ambiental, do potencial industrial e tecnológico e da dependência energética, traria benefícios a Portugal. (6)

O desenvolvimento tecnológico permite que, embora tenham sido descobertos no início século XX, existam sistemas que fazem com que os painéis sigam o movimento do Sol e se adaptem de modo a tirar o máximo partido da luz solar. Estes sistemas designam-se por Sistemas de Seguimento Solar. (3) (7) Devido ao seu elevado custo, este tipo de sistemas só é aplicado em centrais de grande escala ligadas à rede elétrica. Um exemplo deste tipo de central é a instalada na Amareleja, constituída por cerca de 2500 seguidores com 104 módulos cada.

O panorama mundial referente à produção de energia elétrica a partir do recurso solar tem vindo a aumentar. Em Junho de 2014, os vinte países com maior número de centrais e capacidade instalada, representando 97% da potência total instalada no mundo, são os apresentados na Tabela 2.1. (8)



Figura 2.3 - Central de Concentração Solar de Sevilha

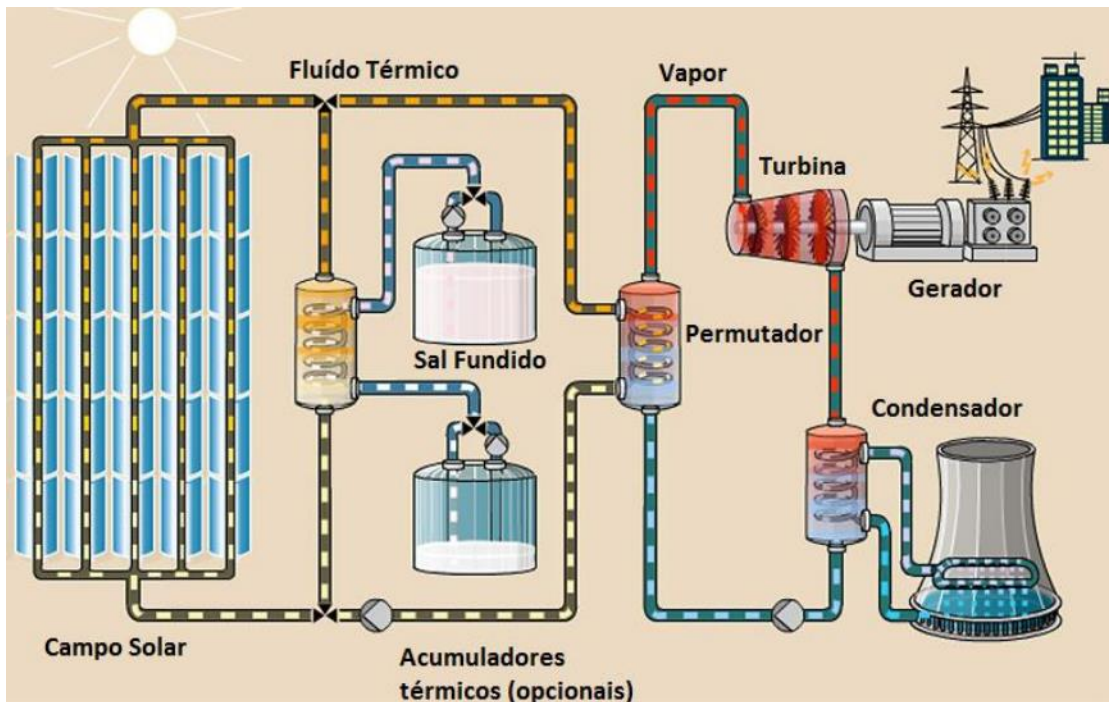


Figura 2.4 - Esquema de funcionamento de uma Central de Concentração Solar (6)



Figura 2.5 - Sistema de Seguimento Solar (7)

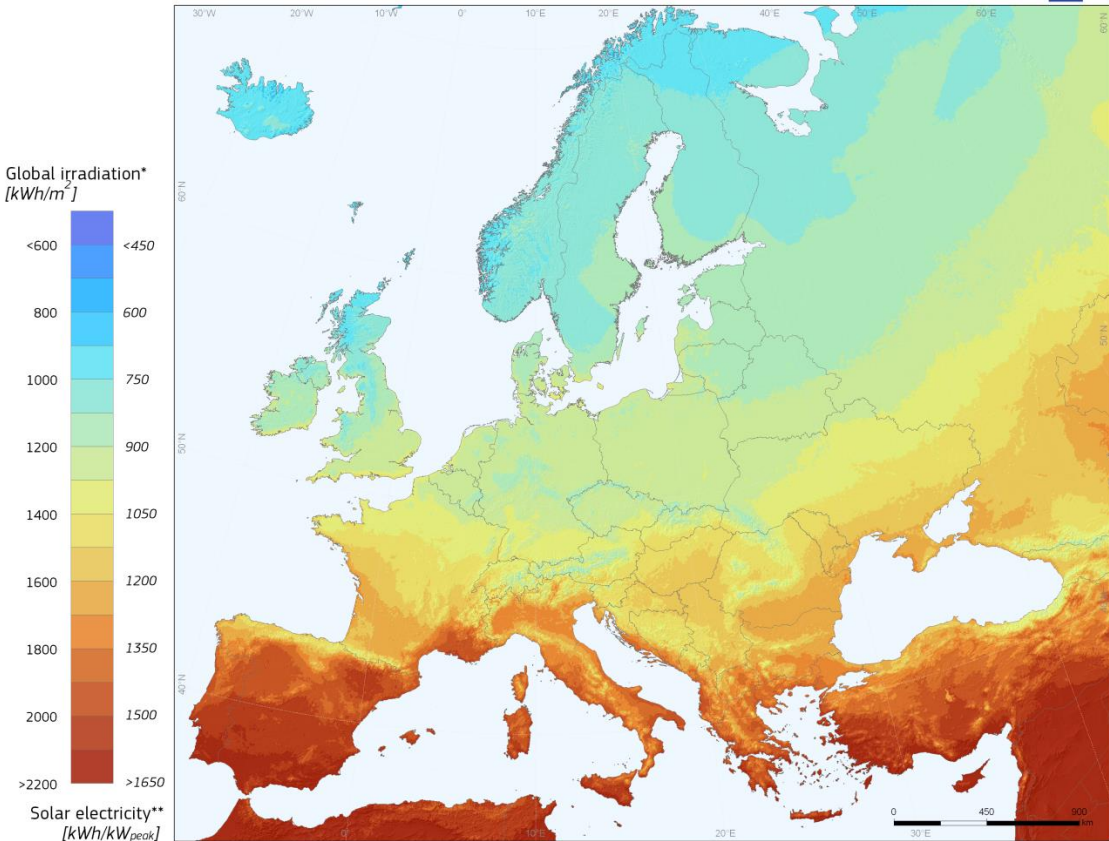
Tabela 2.1 - Potência instalada no mundo[adaptado de (8)]

No.	País	Número de Centrais	Capacidade [MW _{AC}]
1	Estados Unidos da América	349	6.240,2
2	China	219	4.709,8
3	Alemanha	277	3.454,6
4	Índia	184	1.975,1
5	Reino Unido	233	1.791,9
6	Espanha	171	1.680,0
7	Itália	85	898,2
8	França	57	732,2
9	Canadá	56	717,3
10	Tailândia	62	592,6
11	África do Sul	15	503,0
12	Ucrânia	19	490,2
13	Japão	16	308,0
14	Roménia	17	277,6
15	Chile	7	269,4
16	Bulgária	13	225,4
17	República Checa	26	216,8
18	Grécia	12	117,5
19	Portugal	11	110,3
20	Emirados Árabes Unidos	3	103,3

Na União Europeia, depois da Itália e da Espanha, Portugal é o país com maior potencial de aproveitamento de energia solar. Com mais de 2300 h/ano de insolação na Região Norte, e 3000 h/ano no Algarve, o nosso país dispõe de uma situação privilegiada para o aproveitamento deste tipo de energia. No entanto, a Alemanha é o país europeu com mais potência instalada, sendo duas vezes superior a Espanha. Hoje em dia em Portugal já foram aprovados mais de 154 MW. Na Tabela 2.2 apresentam-se as maiores centrais a nível nacional, ordenadas cronologicamente. A partir desta tabela, consegue-se observar que em 2014 o número de instalações representava mais de metade da capacidade total instalada, correspondendo a 87 MW.

A Figura 2.6 representa o potencial de eletricidade por via solar fotovoltaica na Europa e a Figura 2.7 apresenta a irradiação global incidente em Portugal. (9)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules
 **Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW_p system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012
 PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
 EC - Joint Research Centre
 In collaboration with: CM SAF, www.cmsaf.eu

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

Figura 2.6 - Potencial de eletricidade solar fotovoltaica na Europa (9)

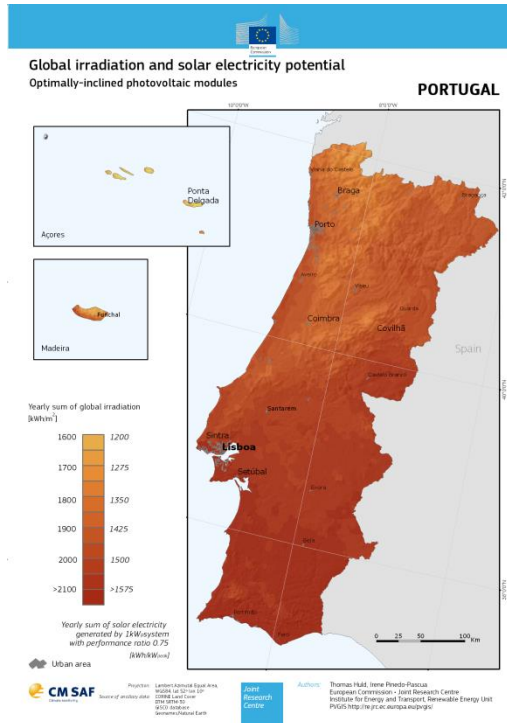


Figura 2.7 - Radiação global incidente em Portugal (9)

Tabela 2.2 - Maiores Centrais instaladas em Portugal (10)

Nome	Distrito/Região Autónoma	Potência Instalada [MW]	Ano de entrada em funcionamento
Valadas	Santarém	0,40	2006
Corte de Pão e Água	Beja	0,60	2007
Serpa	Beja	11,00	2007
Amareleja	Beja	45,80	2008
Interior Alentejano	Beja	2,20	2008
Olva	Beja	2,20	2008
Ferreira do Alentejo	Beja	10,00	2009
Ferreira do Alentejo	Beja	12,00	2009
MARL Energia	Lisboa	6,00	2009
Monte da Chaminé	Beja	1,40	2009
Monte da Vinha	Beja	0,40	2009
Canical	R.A. Madeira	6,60	2010
Castanhos	Beja	1,30	2010
Malhada Velha	Beja	1,00	2010
Porteirinhos	Beja	6,00	2010
Porto Santo	R.A. Madeira	2,00	2010
Palmela	Setúbal	1,60	2011
Avalades	Faro	14,00	2012
Ferreiras	Faro	6,00	2012
Malhada Velha 2	Beja	9,00	2012
Quinta do Louseiro	Évora	1,10	2012
Alto dos Fetais I	Lisboa	0,10	2013
Alto dos Fetais II	Lisboa	0,10	2013
Barbarrala	Évora	1,30	2014
Cabrela	Évora	12,00	2014
Canha	Setúbal	12,00	2014
Casal dos Cabeços	Santarém	2,30	2014
Coruche 1A	Santarém	2,00	2014
Coruche 1B	Santarém	2,00	2014
Coruche 1C	Santarém	2,00	2014
Coruche 2	Santarém	2,00	2014
Coruche 3	Santarém	8,00	2014
Estarreja	Aveiro	2,48	2014
Fanhões	Lisboa	2,00	2014
Marinha	Aveiro	2,20	2014
Martim Longo	Faro	1,00	2014
Sacavém	Lisboa	2,00	2014
Salgueirinha	Setúbal	4,00	2014
Santo Varão	Coimbra	2,00	2014
Seixal 1	Setúbal	2,00	2014
Seixal 2	Setúbal	8,00	2014
Seixal 3	Setúbal	8,00	2014
Sol Cativante 5	Faro	6,00	2014
Sol Cativante 7	Faro	4,00	2014

A empresa Hanwha Q CELLS, responsável pela instalação de cerca de 51000 módulos ligados à rede, em Maio de 2014, no Seixal, refere que desde 2009 tem focado os seus esforços na redução do tempo da instalação dos sistemas. Em cinco anos conseguiu reduzir o tempo de instalação de 1 MWp de 3,9 dias para menos de 1 dia. (11)

A título de curiosidade, em 2014 a Redes Energéticas Nacionais registou 1662 MW ligados à Rede Nacional de Transporte, conforme gráfico da Figura 2.8. Os pedidos de ligação referem-se à legislação da microprodução e da miniprodução.

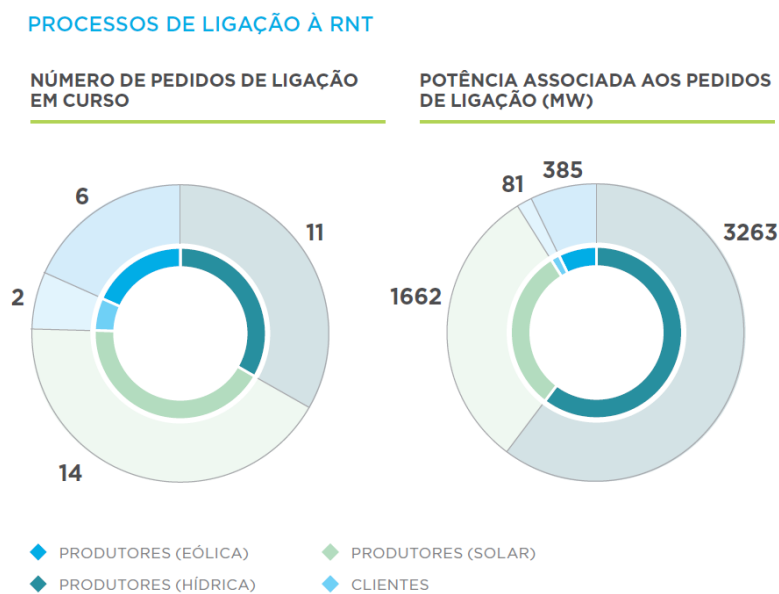


Figura 2.8 - Pedidos de ligação à rede em 2014 (12)

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos materiais e tecnologias alternativas que, embora possam ainda não competir para a produção elétrica em grande escala, como é o caso das centrais fotovoltaicas, disputam nichos de mercado onde prometem tornar-se dominantes.

Os polímeros são materiais essencialmente conhecidos como estruturais. Contudo, em particular nas últimas décadas, um processo impressionante tem sido observado na aplicação destes materiais como materiais funcionais, explorando as suas propriedades óticas, elétricas e mesmo magnéticas. Os polímeros conjugados, quando comparados com o silício, possuem uma maior absorvidade, utilizando espessuras menores (aproximadamente 350 nm), consumindo uma menor quantidade de material. Por outro lado, a mobilidade das cargas (eletrões e lacunas) é muito inferior à observada no

silício, pelo que a utilização de filmes muito finos permite, pelo menos para aplicações em células solares, limitar o seu efeito, reduzindo a eficiência. (13)



Figura 2.9 - Célula de polímero conjugado (13)

A nível ambiental, a instalação de centrais solares fotovoltaicas implica a desmatação de uma vasta área, influenciando o habitat natural de animais e plantas. Para colmatar este tipo de efeitos são normalmente criadas medidas de compensação ambientais de modo a que aquilo que foi destruído possa ser repostado gradualmente após a entrada em funcionamento da central. Um exemplo disso é a criação de espaços verdes, com arbustos e árvores de pequeno porte, para que não haja sombreamento nos painéis, e a introdução de rebanhos de ovelhas para controlar o seu crescimento.



Figura 2.10 - Parque de merendas dentro da Central Solar Fotovoltaica da Amareleja

2.2. Bombas

A evolução dos sistemas hidráulicos modernos proporcionou o desenvolvimento e aperfeiçoamento de quatro elementos interdependentes:

- 1) bombas para gerar energia hidráulica;
- 2) motores e atuadores para canalizar essa potência para o uso desejado;
- 3) linhas de transmissão e válvulas para distribuir e controlar a sua aplicação e;
- 4) o desenvolvimento da engenharia para orientar a eficiência e a produtividade que complementa os sistemas de energia.

O progresso em cada uma destas quatro direções paralelas tem acontecido de forma intermitente e de forma desigual por muitos séculos, muitas vezes em campos totalmente alheios. Foi apenas em tempos relativamente modernos que estes quatro elementos foram reunidos para produzir sistemas capazes de operar com eficiência em níveis de alta potência com resposta rápida e precisão absoluta de controle (14).

A história da energia hidráulica é longa, datando de esforços pré-históricos do homem para aproveitar a energia no mundo que o rodeava. As únicas fontes disponíveis no imediato eram a água e o vento - duas fontes renováveis e em movimento.

Muitos moinhos estiveram em funcionamento até o final do século XIX, quando começaram a ser progressivamente substituídos por máquinas a vapor como fonte de energia. A transmissão da energia gerada pelas rodas de água era realizada através de veios e engrenagens ou polias.

No entanto a transmissão de potência hidrostática para um ponto distante começou muito antes disso. Heron de Alexandria, no século I DC, construiu um dispositivo no qual uma chama sobre o altar do templo expandiu ar num recipiente fechado. A pressão do ar forçou a água a percorrer um tubo até às portas do templo, onde, depositada num recipiente, forneceu força através de cordas e polias para “magicamente” abrir as portas.

Heron também produziu um tipo de motor a vapor. O seu movimento dependia das forças de reação de jatos de vapor, mas foi pouco compreendido, não passando de uma curiosidade interessante. (14)



Figura 2.11 - Motor a vapor de Heron

A invenção de formas precoces de bombas hidráulicas tem igualmente uma origem antiga. As primeiras bombas não foram utilizadas para desenvolver energia hidráulica, mas sim apenas para a transferência de água para irrigação ou para removê-la de minas.

Arquimedes aplicou o princípio do parafuso às máquinas hidráulicas no século III AC. As suas bombas de parafuso foram utilizadas para elevar a água para irrigação, ou para o nível de aquedutos. Acredita-se que a bomba de pistão, o primeiro dispositivo mecânico capaz de gerar pressão numa coluna de líquido, tenha tido origem no Egito na mesma época. Tal como a bomba de parafuso, esta foi usada apenas como um meio de movimentação de água e não como um meio para geração de energia hidráulica. (14)

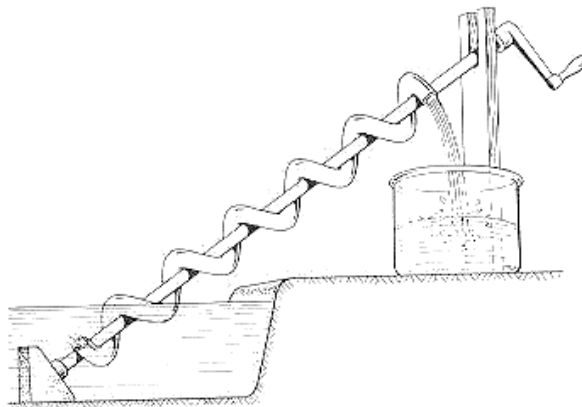


Figura 2.12 - Parafuso de Arquimedes

A teoria necessária para controlar a aplicação de energia hidráulica demorou a ser desenvolvida. Quando Arquimedes descobriu que o peso de um objeto dentro de água é reduzido pela ação no valor do peso da água deslocada, na verdade descobriu o efeito da impulsão hidráulica. A teoria que explicou este fenómeno só foi desenvolvida mais de 1800 anos depois. Por volta do ano de 1600, Stevinus mostrou que a pressão hidrostática varia com a profundidade do fluido e é independente da forma do recipiente (14).

Os séculos XVII e XVIII foram um período produtivo no desenvolvimento da teoria hidráulica, lançando as bases para o desenvolvimento de sistemas de energia hidráulica que se seguiram.

Toricelli estudou o escoamento de fluidos no início do século XVII. Mais tarde no mesmo século, Sir Isaac Newton realizou estudos sobre a viscosidade e a resistência de corpos submersos num fluido em movimento (14).

As principais descobertas ocorreram em meados do século XVIII, quando Daniel Bernoulli desenvolveu a teoria da transmissão de energia em caudais de fluidos, e Blaise Pascal, mais ou menos ao mesmo tempo, estabeleceu o princípio de que a pressão é transmitida de forma igual e não decrescente em todas as direções num fluido fechado. A utilização deste princípio para criar a força multiplicando o efeito da pressão sobre grandes áreas foi utilizado pela primeira vez em grandes prensas no final do século XVIII.

Os fundamentos da teoria dos fluidos foram estabelecidos pelos trabalhos acima referidos, e aos quais Navier adicionou refinamentos derivando a matemática do escoamento em líquidos incluindo nas equações para o escoamento de fluido com o atrito, no início do século XIX. Navier foi seguido por Stokes, que descobriu independentemente as mesmas equações e ampliou ainda mais o trabalho de Navier (14).

Uma contribuição importante foi adicionada por Osborne Reynolds, no final do século XIX, através de seus estudos fundamentais de resistência ao escoamento e os fenómenos de escoamentos laminar e turbulento.

Todas estas teorias foram a base das formas matemáticas desenvolvidas por Descartes, Newton, Euler e Laplace.

Algumas contribuições individuais importantes foram feitas por H. Lamb, um aluno de Stokes. A sua obra definitiva, "Hidrodinâmica", foi publicada em 1879 como "Uma Dissertação sobre o Escoamento de Fluidos", tratando-se de um trabalho exaustivo sobre o assunto, recolhendo o seu próprio trabalho, e de outras contribuições do seu tempo. (14)

2.3.Aproveitamento Solar

A designação “Bombas Solares” traduz-se na aplicação de painéis fotovoltaicos na alimentação elétrica das bombas, que funcionam durante o tempo em que o sol incide nos painéis. (15)

Este tipo de aplicação é algo relativamente recente, tendo sido adotada, na maioria dos casos em meios rurais e distantes de linhas de rede elétrica, em alternativa aos sistemas de bombagem com motores térmicos.

Hoje em dia conseguem-se encontrar no mercado várias soluções “chave na mão” destes sistemas, graças ao desenvolvimento tecnológico e às atualizações legislativas.

Na Península Ibérica, existem já muitas instalações distribuídas por: Andaluzia, Aragão, Estremadura, Algarve, Alentejo, Minho e arquipélagos. (7) Na Figura 2.13 apresentam-se dois exemplos de sistemas de bombagem alimentados por painéis fotovoltaicos.

Na África do Sul, o facto de existir uma maior exposição solar permitiu em Julho de 2014a instalação de uma central solar de refrigeração. O sistema consiste numa instalação solar térmica num edifício em Johannesburg ligada a um Chiller de absorção de duplo efeito com a capacidade de arrefecimento de 330 kW. (16)

Este projeto demonstra que a evolução no desenvolvimento da tecnologia renovável é cada vez mais apetecível do ponto de vista económico (devido a incentivos

governamentais) e ecológico, pois as emissões gasosas são reduzidas e reduz-se o consumo de combustíveis fósseis.



Localização: Guimarães
Altura manométrica: 78 m
Caudal: 18 m³/dia
Aplicação: Abastecimento de água de consumo
Gerador Solar: 1.1 kWp
Instalação: Outubro 2011



Localização: Badajoz, Higuera la Real
Altura manométrica: 37 m
Caudal: 10 m³/dia
Aplicação: Abastecimento de água de consumo
Gerador Solar: 375 Wp
Instalação: Julho 2014

Figura 2.13 - Exemplos de instalações (7)



Figura 2.14 - Projeto solar para arrefecimento na África do Sul (16)

3. Fundamentação Teórica

3.1. Enquadramento legislativo e normativo

Desde os anos de 1980 que a União Europeia decidiu investir na produção independente de energia elétrica. Com a adesão de Portugal à Comunidade Europeia em 1986, começaram no nosso país a aplicar-se os regulamentos europeus, surgindo o Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio com o objetivo de regular a produção independente de energia, mediante a utilização de combustíveis fósseis, recursos renováveis ou resíduos industriais e agrícolas ou urbanos. Surgiu assim a necessidade de desenvolver tecnologias que incentivassem a microgeração, incluindo um sistema remuneratório para os produtores.

A evolução dos diplomas desenvolvidos no âmbito da produção de energia descentralizada foi motivada devido à alteração do panorama económico nacional, de modo a criar incentivos para investir na utilização de energias renováveis em menores escalas, isto é, para consumo próprio da instalação a que estão associadas. A microgeração começou a ser regulada pelo Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março, no qual a energia elétrica excedente poderia ser entregue à rede pública para potências até 150 kW, estabelecendo as bases gerais de organização e funcionamento do Sistema Elétrico Nacional (SEN). No entanto, cerca de cinco anos depois verificava-se que o número de sistemas de microgeração de eletricidade licenciados e a funcionar ao abrigo deste diploma não tinha atingido uma expressão significativa, sendo necessário criar um novo diploma que fosse simplificar o processo. O Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro, veio introduzir o Sistema de Registo de Microprodução (SRM), uma plataforma eletrónica onde os produtores de energia elétrica poderiam interagir com a Administração. A aplicação deste sistema teve resultados positivos, criando-se mecanismos de incentivo às entidades que prestem serviços de carácter social, nomeadamente estabelecimentos na área da saúde, educação, solidariedade e proteção social, bem como na área da defesa e segurança e outros serviços do Estado ou das autarquias locais, através do Decreto-Lei n.º 118-A/2010, de 25 de Outubro, onde é feita uma republicação do diploma anterior.

Com o intuito de afirmar Portugal na liderança global na fileira industrial das energias renováveis, apostando na produção descentralizada de energia elétrica, foi criado o conceito de miniprodução no Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de Março, como sendo a atividade de pequena escala de produção descentralizada de eletricidade recorrendo a recursos renováveis numa única tecnologia, podendo ser ligada à rede para potências até 250 kW.

Tendo em conta a influência do FMI e do BCE no nosso país, foram publicadas anualmente portarias com os valores das taxas de referência a aplicar e com as percentagens de redução de custos das tarifas para a produção de eletricidade a partir de fonte solar com utilização de tecnologia fotovoltaica.

A experiência adquirida com a aplicação dos diplomas anteriores revelou dificuldades práticas e operacionais a nível de enquadramento ao mercado de ambos os regimes, geral e bonificado, iniciando-se um processo de revisão no Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de Fevereiro, que altera os regimes jurídicos da microprodução e da miniprodução, independentemente do regime remuneratório aplicável.

A última alteração legislativa prende-se com a introdução do conceito de produção em autoconsumo, passando a pequena produção elétrica a beneficiar de um regime jurídico único e descrito no Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de Outubro. A energia elétrica produzida em autoconsumo destina-se predominantemente a consumo na instalação associada à unidade de produção, com possibilidade de ligação à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), para venda a preço de mercado da eletricidade não autoconsumida, revelando-se fundamental para efeitos de monitorização do cumprimento dos objetivos assumidos pelo Governo no que diz respeito à utilização de fontes primárias de energia renovável.

Este diploma vem substituir os conceitos de microprodução e de miniprodução por unidades de pequena produção (UPP) e por unidades de produção para autoconsumo (UPAC). Como consequência, o SRM e o SRMini deixaram de receber novos registos, passando estes a serem feitos no Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP). A Portaria n.º 14/2015, de 23 de Janeiro define o procedimento de registo e a Portaria n.º 15/2015, de 23 de Janeiro atualiza o valor das taxas a aplicar às unidades de produção.

3.2. Painéis Fotovoltaicos

3.2.1. A energia Solar

A energia emitida pelo Sol chega à Terra em forma de ondas eletromagnéticas que se podem propagar no ar, água, vidro ou outros materiais transparentes e vazio. Este efeito é denominado por radiação solar. A intensidade com que a radiação solar atinge a Terra é designada por irradiância. Enquanto a unidade padrão associada à radiação é o watt [W], na irradiância é o watt por metro quadrado [W/m^2]. A irradiância global anual é obtida pela radiação solar que incide na superfície terrestre durante um ano, e é medida em watt-hora por metro quadrado [Wh/m^2]. O valor da irradiância solar diurna e anual depende da distância entre o Sol e a Terra, de parâmetros geográficos e das condições atmosféricas. Analisando na perspectiva de um módulo fotovoltaico, a irradiância que nele incide em qualquer momento é afetada pela sua localização geográfica, a sua posição em relação ao Sol (orientação e inclinação), a época do ano e pelas condições atmosféricas. Durante o decorrer do ano a distância entre o Sol e a Terra varia e, por consequência, também a irradiância varia entre $1325 W/m^2$ e $1412 W/m^2$, sendo o valor médio, designado por constante solar (E_0), de $1367 W/m^2$. Contudo só uma parte da quantidade total da irradiância solar atinge a superfície terrestre, devido à sua reflexão, absorção e dispersão pela passagem na atmosfera. Ao meio-dia, em boas condições climáticas, independentemente da localização, a irradiância é cerca de $1000 W/m^2$. (17)

3.2.2. Princípio de funcionamento

O Efeito Fotovoltaico significa a transformação direta da luz em energia elétrica, recorrendo-se a células solares. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, o telureto de cádmio ou o disseleneto de cobre e índio. Um material semicondutor possui uma banda de valência totalmente preenchida de eletrões e uma banda de condução sem existência destes (*gap* de $1eV$). A célula de silício cristalina é a mais comum. (18) O efeito fotovoltaico consiste no movimento dos

eletrões de valência quando a radiação solar incide num semiconductor. No caso das células fotovoltaicas, este processo é melhorado quando há dopagem do silício, ou seja, a introdução de elementos estranhos com o objetivo de alterar as suas propriedades elétricas, através da criação de duas camadas na célula fotovoltaica: a camada tipo *p* e a camada tipo *n*, que possuem, respetivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro.

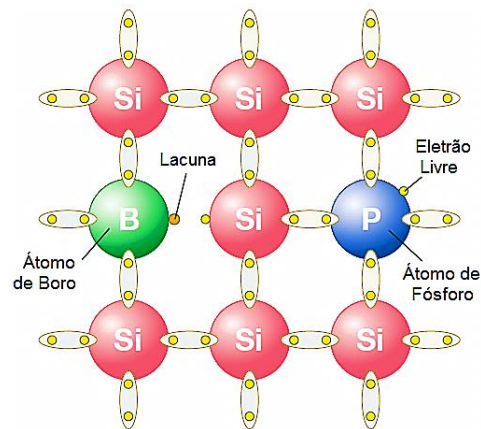


Figura 3.1 - Dopagem do Silício [adaptado de (19)]

O boro é o dopante normalmente usado para criar a região tipo *p*. Um átomo de boro forma quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos de silício, mas como só possui três eletrões na banda de valência, existe uma ligação apenas com um eletrão, enquanto as restantes três ligações possuem dois eletrões. A ausência deste eletrão é designada por lacuna, a qual se comporta como uma carga positiva que viaja através do material, pois de cada vez que um eletrão vizinho a preenche, outra lacuna é criada. O fósforo é o material usado para criar a região *n*. Um átomo de fosforo tem cinco eletrões na sua banda de valência, pelo que cria quatro ligações covalentes com os átomos de silício e deixa um eletrão livre, que viaja através do material.

Ao juntar as camadas *n* e *p* dos semicondutores impuros forma-se uma região de transição denominada junção *p-n*, na qual é criado um campo elétrico que separa os portadores de carga que a atingem. Quando uma célula solar é exposta à luz os fotões são absorvidos pelos eletrões. Assim, quando o fotão contém energia suficiente a ligação entre os eletrões é quebrada e estes movem-se para a banda de condução e são conduzidos através do campo elétrico para a camada *n*. As lacunas criadas seguem para a camada *p*.

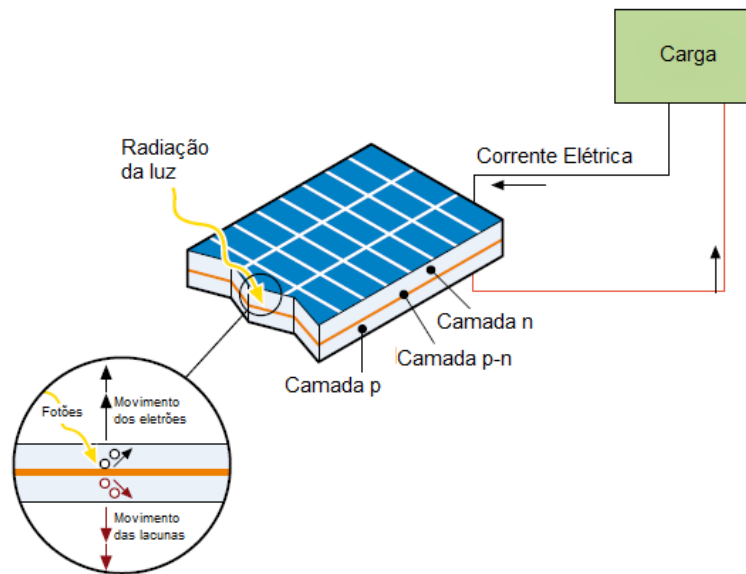


Figura 3.2 - Efeito fotovoltaico [adaptado de (19)]

Quando se ligam os terminais da célula a um circuito exterior que se fecha através de uma carga, irá circular corrente elétrica. Se a célula não estiver ligada a nenhuma carga, é obtida uma tensão da célula solar em circuito aberto. (20)

O efeito fotovoltaico aproveita cerca de 13% da energia elétrica resultante da luz solar incidente nas células de silício, havendo perdas associadas a diversos fatores, como se mostra na Figura 3.3.

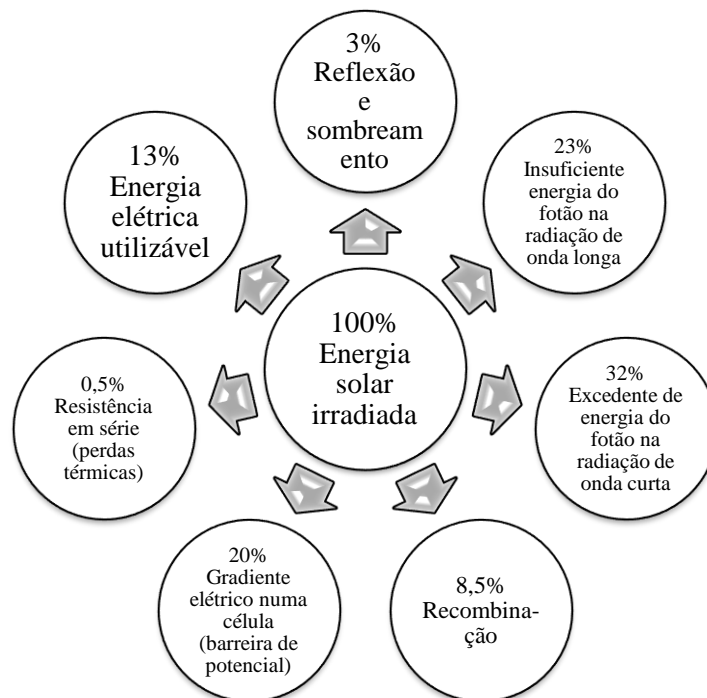


Figura 3.3 - Balanço energético numa célula solar [inspirado em (19) e (18)]

3.2.1. Constituição de um Sistema Fotovoltaico

Os painéis são constituídos por conjuntos de placas fotovoltaicas, ou seja, vários módulos ligados entre si, que por sua vez são constituídos por células fotovoltaicas. A Figura 3.4 mostra o agrupamento dos elementos que constituem os painéis solares.

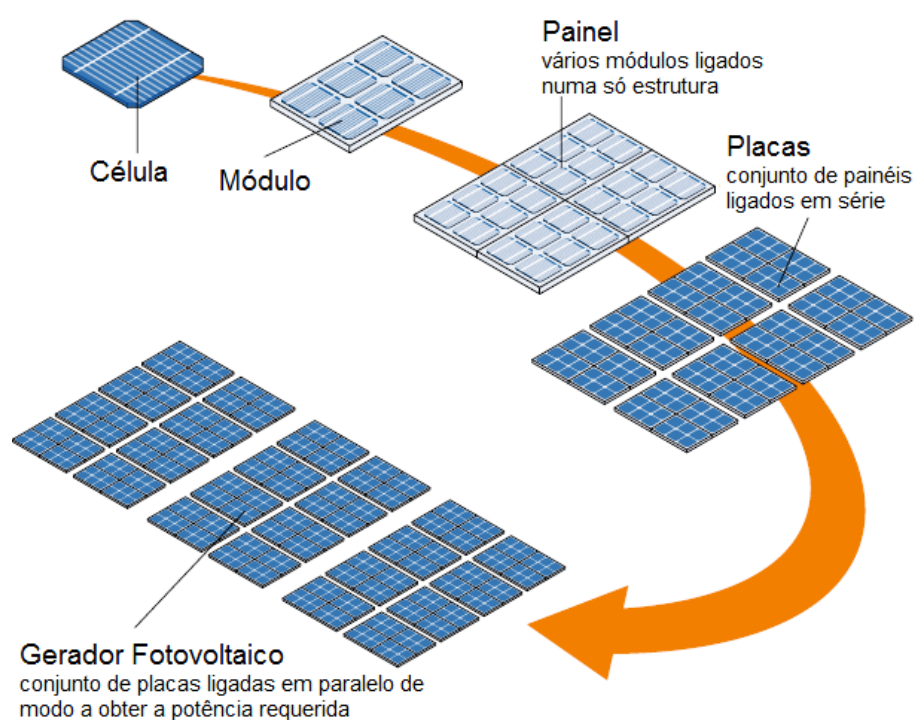


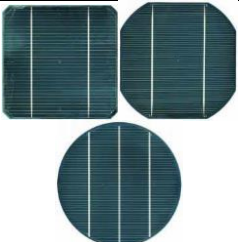
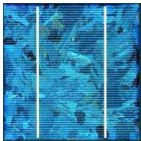
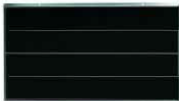
Figura 3.4 - Constituição dos geradores fotovoltaicos [adaptado de (19)]

3.2.1.1. Tipos de células fotovoltaicas

Essencialmente, o material mais utilizado, devido ao seu baixo custo e às suas características de absorção, é o silício cristalino, existindo em três tipos de configurações: monocristalino, policristalino e de filme amorfo. Na Tabela 3.1 apresenta-se um quadro comparativo relativamente às suas características.

A tecnologia de filme fino, onde se insere o silício amorfo, o telureto de cádmio e o disseleneto de cobre-índio-gálio, é mais barata e mais absorvedora de luz, podendo reduzir a espessura de semicondutor na ordem das poucas unidades de micron, sendo possível serem maleáveis e flexíveis. (3)

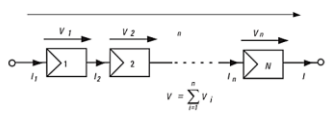
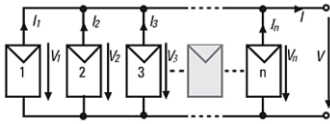
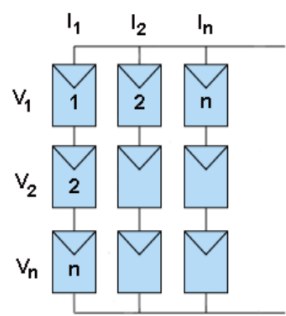
Tabela 3.1 - Tipos de células de silício [inspirado em (18)]

Tipo de Célula de Silício	Monocristalinas	Policristalinas	Filme amorfo
Produção	Processo de Czocharalski	Fundição de lingotes	Vaporização química (DVC) num reator plasmático
Eficiência	15 – 18 %	13 – 15 % (com Anti-reflexão)	5 – 8 % do módulo (em condições estáveis)
Forma	Redondas, semi-quadradas ou quadradas, dependendo da quantidade que é estriada do cristal único	Quadrada	Escolha livre
Tamanho	10x10 cm ² ou 12,5x12,5 cm ² , diâmetro 10, 12,5 ou 15 cm	10x10 cm ² , 12,5x12,5 cm ² e 15x15 cm ²	Módulo standard máx. 0,77 x 2,44 m ² Módulo especial máx. 2 x 3 m ²
Espessura	0,3 mm	0,3 mm	1 – 3 mm para o substrato (plástico, metal ou vidro não solidificado), com um revestimento de silício amorfo de aprox. 0,001 mm
Estrutura	Homogénea	Semelhante a cristais de gelo, durante a fundição formam-se cristais com várias orientações	Homogénea
Cor	Gama de azul-escuro para preto (com Anti-reflexão), cinza (sem Anti-Reflexão)	Azul (com Anti-reflexão), cinza prateada (sem Anti-reflexão)	Castanho avermelhado a preto
Aspetto			

3.2.1.2. Tipos de ligações

Como se pode observar na Figura 3.4, os módulos são constituídos associando várias células entre si. Este tipo de ligações, independentemente da escala (célula ou módulo), são feitas em série e/ou em paralelo. A Tabela 3.2 mostra como a ligação influencia a produção de eletricidade.

Tabela 3.2 - Tipo de ligações entre células e módulos [inspirado em (18) e (17)]

Tipo de Ligação	Série	Paralelo	Mista
Configuração			
Corrente	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Tensão	$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$	$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$	$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas ligados à rede (*on-grid*) e em sistemas autónomos (*off-grid*). No último caso o aproveitamento da energia solar precisa de ser ajustado à procura energética. Uma vez que a energia produzida não corresponde (na maior parte das vezes) à procura pontual de energia de um consumidor concreto, torna-se obrigatório considerar um sistema de armazenamento (baterias) e meios de apoio complementares de produção de energia (sistemas híbridos).

A aplicação de sistemas autónomos aplica-se onde o fornecimento de energia através da rede pública de distribuição de energia elétrica não se verifica, quer por razões técnicas quer por questões económicas, e está associada a países em desenvolvimento (ou regiões remotas relativamente às grandes cidades). Na prática os sistemas autónomos precisam de acumular energia, para compensar as diferenças de tempo existentes entre a produção de energia e a sua procura. As baterias recarregáveis são consideradas apropriadas como acumuladores de energia. Em geral a utilização de acumuladores obriga a que se torne indispensável a utilização de um regulador de carga adequado que

faça a gestão do processo de carga, por forma a proteger e garantir uma elevada fiabilidade e um maior tempo de vida útil dos acumuladores. Assim sendo, um sistema autónomo típico consta dos seguintes componentes: Gerador fotovoltaico (um ou vários módulos fotovoltaicos, maioritariamente dispostos em paralelo); Regulador de carga; Acumulador; e o Consumidor. (18) A Figura 3.5 mostra a configuração típica de um sistema autónomo.

Os sistemas ligados à rede são normalmente compostos pelos seguintes componentes: Gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem); Caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal DC); Cabos AC-DC; Inversor; e Mecanismo de proteção e aparelho de medida. (18) A Figura 3.6 mostra a configuração típica de um sistema ligado à rede.

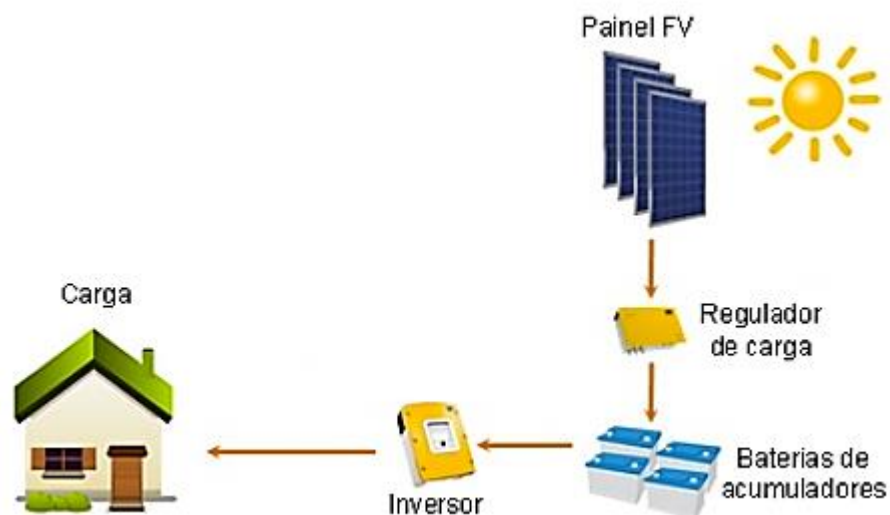


Figura 3.5 - Esquema de um sistema fotovoltaico autónomo (17)

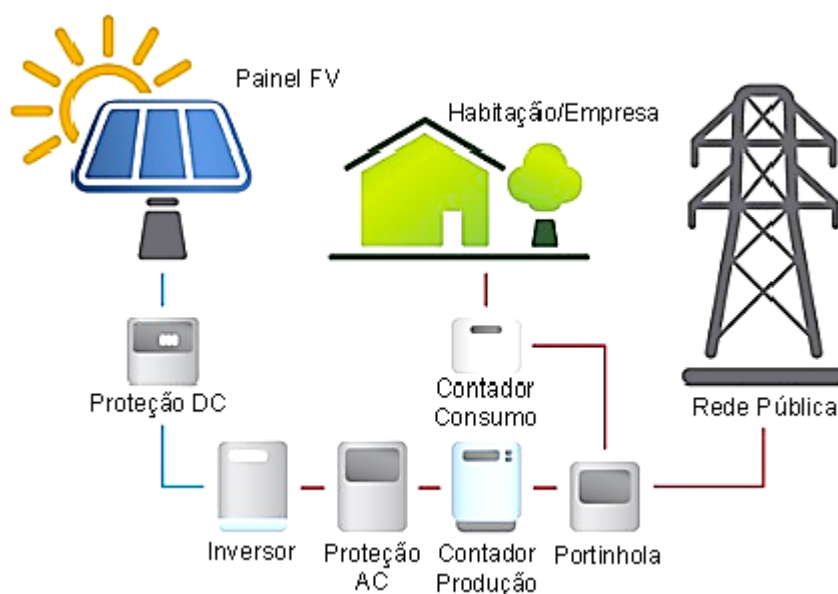


Figura 3.6 - Esquema de um sistema fotovoltaico ligado à rede (17)

3.2.2. Outros componentes do sistema

Um sistema fotovoltaico é constituído por mais equipamentos para além dos módulos fotovoltaicos, como se verifica nas figuras referidas anteriormente. Deste modo, apresenta-se na Tabela 3.3 uma breve descrição dos restantes componentes de uma instalação fotovoltaica.

Tabela 3.3 - Descrição de outros componentes do sistema solar [inspirado em (18), (20) e (17)]

Componente	Descrição
Módulo	Componente que capta a radiação solar e a transforma em eletricidade em DC, com um tempo de vida útil de 20 a 25 anos.
Painel	Conjunto de módulos ligados entre si
Baterias	Equipamento que armazena energia elétrica DC produzida pelos módulos através de processos químicos (apenas aplicadas em sistemas autónomos)
Regulador de carga	Dispositivo eletrónico que regula a tensão das baterias, protegendo-as de sobrecargas e descargas profundas. Assim, a sua tensão tem de ser superior à da bateria (12V, 24V ou 48V)
Inversor de corrente	Conversor DC/AC, transforma a corrente DC proveniente dos módulos em corrente AC, ajustando a frequência e a tensão eficaz ao consumo
Outros elementos	Caixas de junção, cabos elétricos, mecanismos de proteção (disjuntores, diferenciais)

3.3. Teoria das bombas

As bombas são classificadas em dois tipos principais: dinâmicas e de deslocamento positivo (ou volumétricas). Esta distinção é caracterizada pela geometria do elemento que adiciona potência ao sistema. Embora também sejam rotativas, as bombas dinâmicas diferem por serem constituídas por um ou mais impulsores com pás, semelhantes a turbinas.

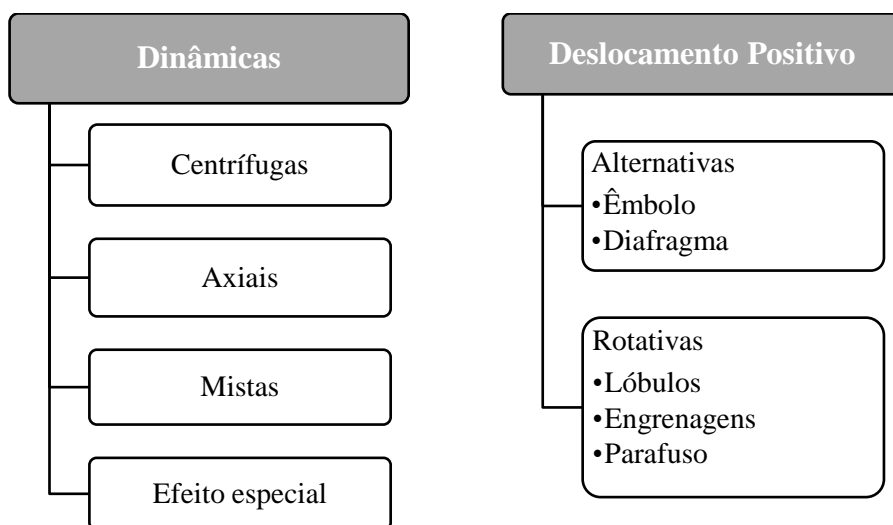


Figura 3.7 - Tipos de Bombas [inspirado em (21)]

Neste documento são abordadas apenas as bombas centrífugas de um modo geral, e submersas mais em detalhe.

Em 1689, o físico Denis Papin inventou a bomba centrífuga e hoje esse tipo de bomba é a mais utilizada em todo o mundo. A bomba centrífuga é construída a partir de um princípio simples: o líquido é conduzido para o cubo do rotor e, por meio da força centrífuga, é arremessado para a periferia dos rotores. A construção é relativamente barata, robusta e simples e sua alta velocidade faz com que seja possível ligar a bomba diretamente a um motor assíncrono. A bomba centrífuga fornece um escoamento constante de líquido, e pode ser facilmente estrangulado, sem causar qualquer dano para a bomba. Esta construção proporciona uma eficiência elevada, e é adequado para manuseamento de líquidos puros.

Se houver diferença de pressão no sistema enquanto a bomba centrífuga não está em funcionamento, o líquido pode devido à sua configuração aberta atravessar a bomba sem colocar em causa o sistema.

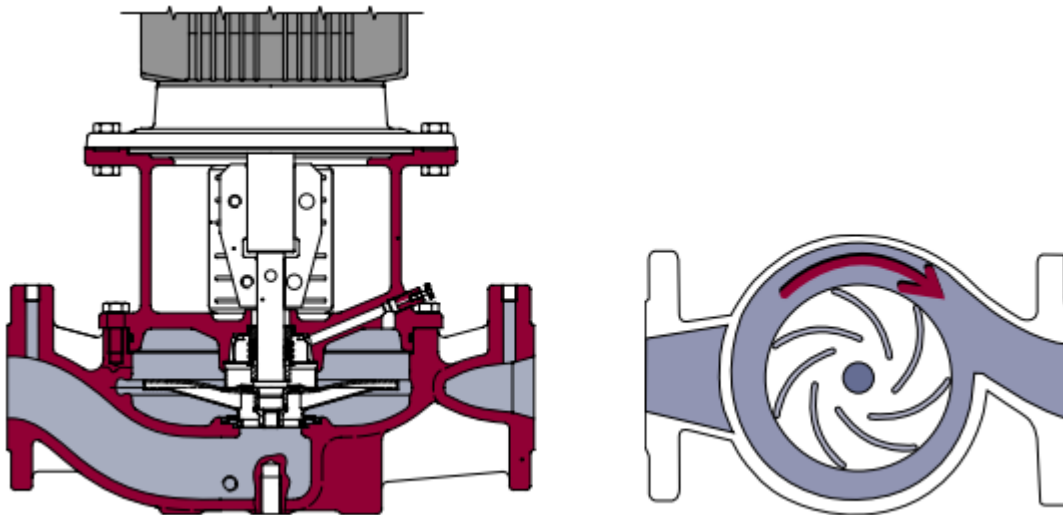
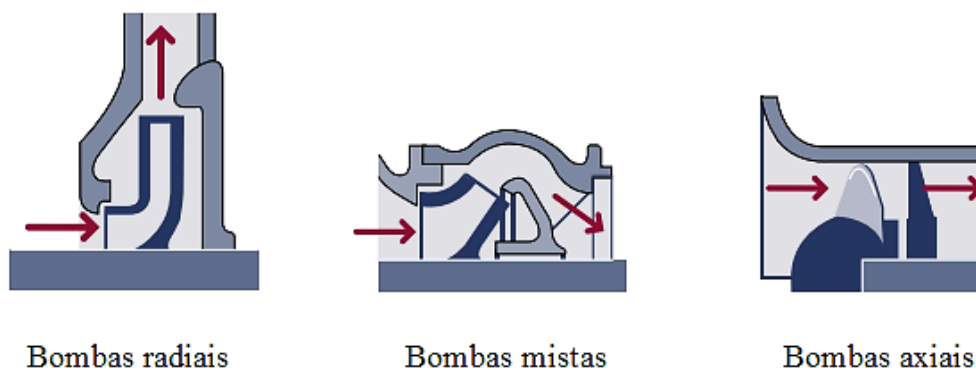


Figura 3.8 - Configuração de uma bomba centrífuga (22)

Uma bomba centrífuga pode ser classificada em diferentes grupos: bombas radiais, bombas axiais e bombas mistas. Os tipos mais utilizados são as radiais e as mistas.



Bombas radiais

Bombas mistas

Bombas axiais

Figura 3.9 - Tipos de bombas centrífugas [adaptado de (22)]

Os diferentes estudos sobre o desempenho da bomba centrífuga, especialmente em relação à altura manométrica, caudal e tipo de instalação, bem como as exigências de ao nível económico, são apenas algumas das razões para que existam tantos tipos de bomba.

O desempenho de uma bomba centrífuga é ilustrado por um conjunto de curvas características que relacionam a altura manométrica, a potência consumida, e o rendimento em função do caudal debitado.

O número de estágios da bomba, ou seja o número de impulsores da bomba, também é uma característica que a define como sendo de estágio simples ou de multiestágio. De um modo geral, as bombas de estágio simples são usadas em aplicações que não necessitem de uma altura manométrica total superior a 150 m, enquanto as bombas de multiestágio são utilizadas para alturas elevadas, sendo a pressão à saída igual ao somatório das pressões intermédias. A posição do eixo da bomba também é um fator característico, sendo possíveis as configurações vertical ou horizontal (22), tal como ilustrado na Figura 3.10.

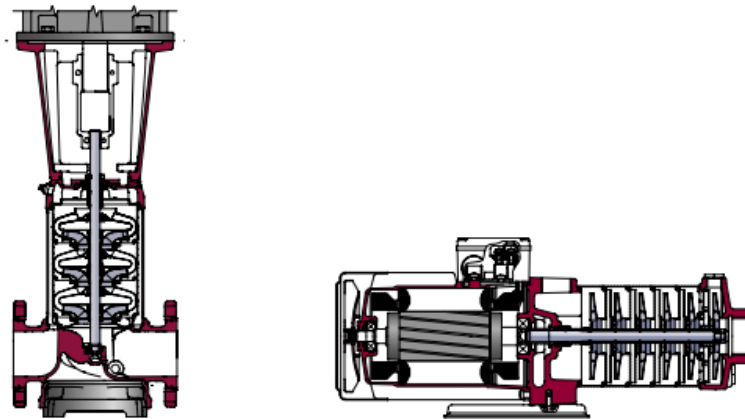


Figura 3.10 - Bomba multiestágio, vertical e horizontal (22)

3.3.1. Bombas submersíveis

Uma bomba submersível é um tipo de bomba em que a parte da bomba está imersa no líquido a bombear. Normalmente, são montadas em cima ou na parede de tanques ou depósitos. O motor poderá ser acoplado com um eixo longo, mantendo-se seco, ou com um eixo curto, ficando também submerso.

Dentro deste tipo de bombas, existem as bombas de furo, cujo motor também é imerso no líquido, sendo geralmente utilizadas para a captação de águas subterrâneas através de poços ou furos profundos e estreitos. Por este motivo a sua configuração é igualmente

estreita, incluindo-se no conjunto de bombas multiestágio, estando o motor inserido no corpo da bomba.

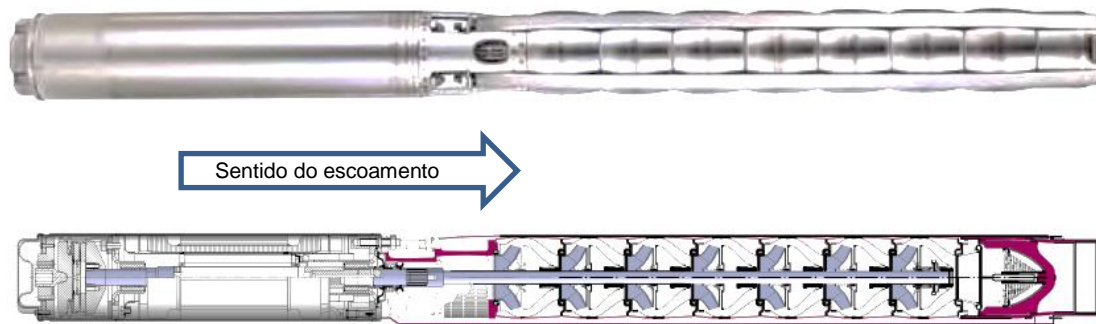


Figura 3.11 - Configuração de uma bomba de furo [adaptado de (22)]

3.3.2. Motores

Os motores submersíveis são especiais porque são projetados para funcionar debaixo de água. No entanto, o seu princípio de funcionamento é o mesmo de todos os outros motores elétricos.

Um motor submersível consiste no corpo do motor e num cabo de alimentação. O cabo é destacável com um sistema de encaixe, sendo dimensionado de modo a minimizar a exigência dimensional da bomba.

Num motor hermético os enrolamentos são de arame de esmalte (como nos motores padrão de superfície), sendo vedados relativamente ao ambiente e preenchidos com material de incorporação com o fim de reter os enrolamentos e ao mesmo tempo aumentar a transferência de calor. Estes motores têm um sistema de rolamentos de rolos, que consiste em rolamentos radiais superiores e inferiores, bem como rolamentos axiais. Estes rolamentos funcionam hidrodinamicamente no líquido do motor, que é constituído principalmente por água limpa. (23)

3.4. Fatores a ter em consideração na instalação

Cada instalação é única, mesmo que os equipamentos sejam os mesmos. O desempenho dos sistemas será sempre diferente, dependendo da utilização e das características do local onde está instalado. Neste capítulo apresentam-se alguns fatores importantes a ter em consideração em instalações de bombagem alimentadas por painéis fotovoltaicos.

3.4.1. A inclinação do módulo fotovoltaico

Conhecer o ângulo de incidência dos raios solares é crucial para quantificar a energia proveniente do Sol. Para tal é necessário conhecer os fatores geográficos do local, como a latitude, o ângulo horário, declinação solar, ângulo de superfície em relação ao plano horizontal e a direção para a qual se vão colocar os elementos conversores de energia. (18)

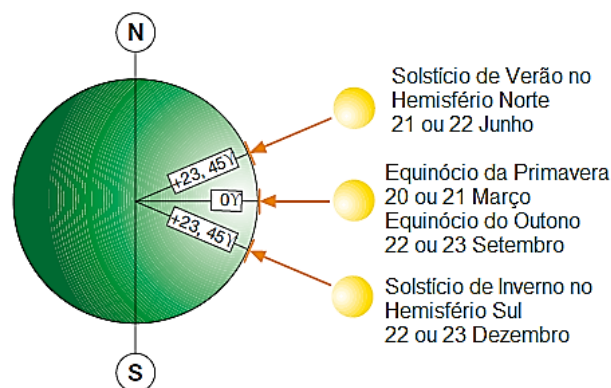


Figura 3.12 - Posição do Sol ao longo do ano [adaptado de (19)]

Em Portugal Continental, o ângulo de inclinação ideal do painel é de 35° (ângulo β da Figura 3.13), estando este direcionado a Sul.

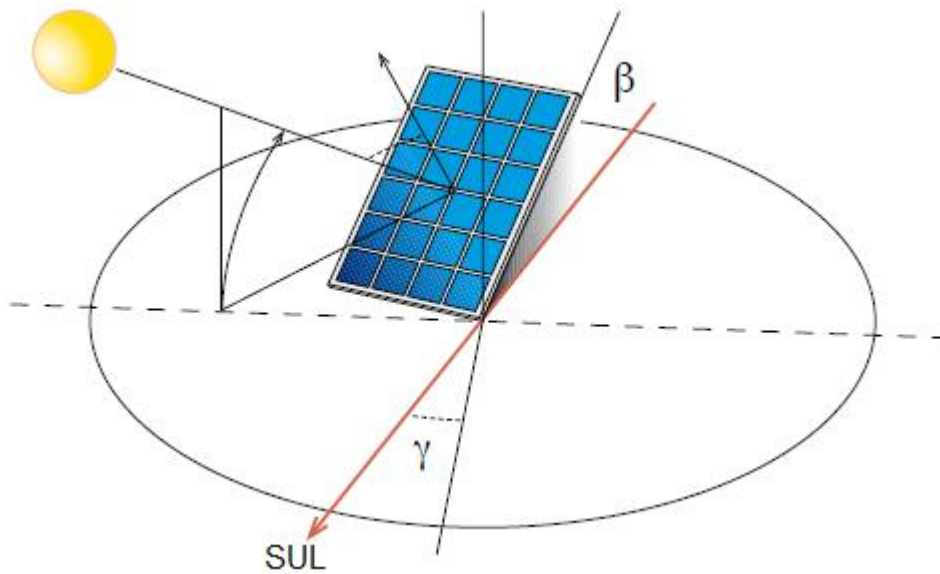


Figura 3.13 - Inclinação do painel referente ao Sol [adaptado de (19)]

3.4.2. O efeito do Sombreamento

Sob certas condições operacionais, uma célula solar sombreada pode aquecer a tal extremo que o material celular fique danificado, resultando no que é designado por um ponto quente. Isto pode acontecer por exemplo quando flui uma corrente inversa relativamente elevada através da célula solar.

Se um módulo estiver situado na sombra de um objeto próximo (chaminé, antena), a curva do módulo $I-V^1$ será modificada pelo díodo de derivação. Sem o díodo de derivação, a corrente total do módulo estaria determinada pela célula sombreada.

A distância entre painéis, quando instalados em mais do que uma fila, é igualmente importante para não criar sombreamento às células.

¹ Curva $I-V$ é a curva característica de cada módulo, onde se relaciona a corrente I com a tensão V

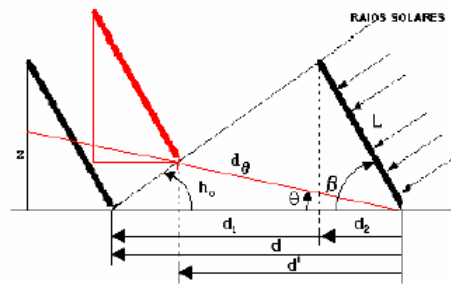


Figura 3.14 - Distância entre painéis instalados no plano horizontal (24)

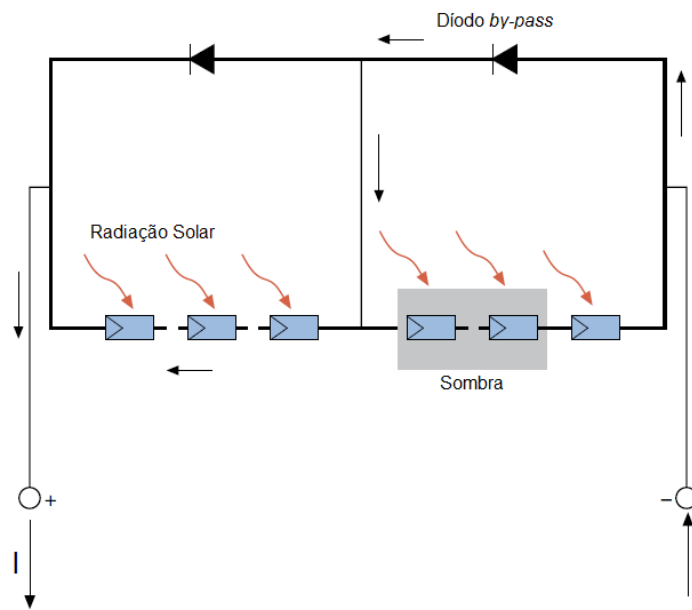


Figura 3.15 - Afetação do sombreamento na corrente elétrica [adaptado de (19)]

3.4.3. Proteção dos componentes elétricos

As características dos equipamentos devem ser adequadas às influências externas a que ficam submetidos, garantindo o seu correto funcionamento e segurança. Deste modo o código IP do equipamento deve ser selecionado em conformidade. Para determinar o IP mínimo, existem 3 tipos de influências externas determinantes:

- i. Presença de água (chuva – IPX3);
- ii. Presença de corpos sólidos (poeiras – IP5X ou IP6X);
- iii. Competência das pessoas;

Relativamente ao impacto de corpos sólidos, existe também um valor IK associado relacionado com a intensidade do impacto sofrido (energia) pelos equipamentos.

A cablagem deve estar protegida mecanicamente através de canalização (25).

3.4.4. Sistema hidráulico

A quantidade de água existente no nosso planeta é constante – pode mudar de localização, qualidade, estado físico, mas é constante. Cerca de 97,5% da água é salgada, existente nos mares e oceanos, e os restantes 2,5% correspondem a água doce, existente em rios, lagos e glaciares.

Quanto às águas submersas, existem requisitos importantes para o seu aproveitamento sustentável – o volume disponível e o consumo de pico diário. Sobredimensionar o sistema resultará uma redução acentuada do volume de água disponível.

Um poço é um orifício que se estende desde a superfície da Terra até o aquífero subterrâneo onde a água se encontra. A profundidade do poço pode variar de alguns metros a algumas centenas de metros. No interior do furo é normalmente instalado um invólucro (tubo), o qual impede o poço de colapsar em torno da bomba.

Por baixo deste invólucro, e em linha com o aquífero, é instalado outro tubo com ranhuras finas, permitindo que a água do poço entre e retendo a areia e partículas maiores que doutro modo iriam ser aspiradas pela bomba.

As recomendações sobre teor de areia variam de país para país. A *National Ground Water Association* nos EUA recomenda os limites de areia no poço de água apresentados na Tabela 3.4.

Se a concentração de areia for superior a 15 mg / l, a quantidade de material removido a partir do poço poderá fazer com que as camadas acima do aquífero entrem em colapso, reduzindo a vida útil do poço.

Tabela 3.4 - Concentração máxima de areia recomendada [inspirado em (23)]

Concentração	Aplicação
1,10 mg/l	água utilizada na indústria alimentar e de bebidas
2,50 mg/l	água para casas particulares, instituições e indústrias
3,10 mg/l	água para irrigação por aspersão, sistemas de <i>Sprinklers</i> ² e outras aplicações onde um teor moderado de sólidos não é particularmente prejudicial
4,15 mg/l	água para irrigação por inundação

Antes do poço poder ser colocado em operação, este tem de ser desenvolvido, isto é, um poço novo removerá sempre alguma quantidade de areia no início. Este desenvolvimento inicial tem como objetivo colocar o sistema de bombagem em funcionamento. Através da bombagem de um caudal muito elevado atraem-se as partículas finas do aquífero para o filtro do poço. Isto torna lentamente o filtro mais eficaz. Depois de aproximadamente um dia de bombagem, a água é normalmente bombeada limpa, e o sistema está pronto para a operação normal.

Outro fator importante é o posicionamento da bomba relativamente ao tubo. Se o motor for posicionado excentricamente à parede do poço, com um lado contra o invólucro, a entrada da água para a bomba será efetuada apenas por um único lado, criando turbulências que vão afetar o desempenho da bomba. A turbulência e as perdas por atrito vão originar um mau desempenho da bomba, o que, em algumas situações pode ser extremo. (23)

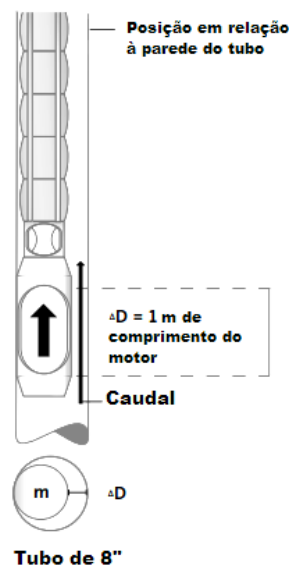


Figura 3.16 - Posicionamento da bomba relativamente ao tubo [adaptado de (23)]

² Expressores utilizados nos sistemas de combate a incêndios em edifícios e unidades industriais

4. Aplicação Informática

A ideia de criar uma aplicação informática para dimensionamento de instalações não é pioneiro pois já existem no mercado várias ofertas disponíveis. Deste modo, o que irá diferenciar este projeto dos restantes será a sua aplicação apenas a um tipo de consumidor específico, isto é, as bombas de furo, tendo em conta as atualizações legislativas referentes às UPAC. A Tabela 4.1 apresenta a comparação entre alguns dos softwares disponíveis no mercado.

Tabela 4.1 - Principais características dos softwares no mercado [adaptado de (20)]

Nome	Simula	Idioma	Base de dados Componentes	Preço
SolTerm	ST	P	G	€ 230
PV F-CHART	SFA	I	G	€ 659
Fdim 1.0	SFA, SPVLR	E	G	s/ inf
FV-Expert	SFA, SPVLR, SPVH	E	G	s/ inf
SolSim	SFA, SPVLR, SPVH	I, A	M, E, A, BM, B, I,	€ 803
Homer	SFA, SPVLR, SPVH	I	B, E, G	Grátis
RETSscreen	SFA, SPVLR, SPVH	I, F	G	Grátis
PVS 2001	SFA, SPVLR, SPVH	I, A	M, G, I, C	€ 481
SIDIM	SFA, SPVLR	I, A	M,G, I, B, C	€ 217
SolEm	SPVLR	A	M, G, I	€ 68
Design Pro 5.0	SFA, SPVLR, SPVH	I, E	M, E, G, B, I, C	€ 164
Sol Pro	SFA, SPVLR, SPVH	I, A, E, F	M, G, B, I, CC, C	€ 615
PVSYST	SFA, SPVLR, SPVH	I, E	M, G, EA, B, I, CC, C	€ 560
SolarPro	SFA	I, J	M, G	€ 3457
Hybrid2	SFA, SPVH	I	s/ inf	€ 878
Inseldi 7.0	ST	I, A, E	M, G, B, I, CC, C, D	€ 617
MODES	SFA, SPVLR, SPVH	A	M, E, A, BM, CS, G, B, I, C, D	€ 184

Legenda:

Idioma: I: Inglês, A: Alemão, E: Espanhol, F: Francês, J: Japonês, P: Português.

Simula: SFA: sistema fotovoltaico autónomo, SPLR: sistema fotovoltaico ligado à rede, SPVH: sistema híbrido, SB: sistemas de bombeamento, ST: sistemas térmicos e Fotovoltaicos em geral.

Base de dados de componentes: M: módulos, G: radiação e temperatura, B: bateria, I: inversor, CC: controlador de carga, C: consumo, E: gerador eólico, D: gerador diesel, CS: coletores solares, BM: biomassa, A: gerador hidráulico, EA: energia auxiliar.

Estes softwares comerciais consideram que o sistema estará ligado à RESP, permitindo fazer o cálculo da componente produtora de energia elétrica, sendo o utilizador um utilizador genérico.

4.1. Metodologia de cálculo

Com base nos fatores a ter em consideração no dimensionamento e instalação do sistema, a metodologia de cálculo centra-se em duas vertentes: a caracterização do utilizador do sistema e a definição do produtor de energia elétrica.

A primeira vertente tem em conta aspetos subjetivos da instalação, como a localização geográfica e a forma como o recurso água irá influenciar o sistema produtor elétrico. Não sendo um software comercial, entende-se que cinco localidades de Portugal Continental serão suficientes para demonstrar a utilidade deste projeto. Com base no mapa da rede nacional de energia elétrica de 2012³, escolheram-se aquelas em que não existem linhas de média tensão na proximidade:

- i) Bragança;
- ii) Campo Maior;
- iii) Mértola;
- iv) Mora;
- v) Sabugal.

A partir da base de dados *Pvig* (9), obtiveram-se os valores mensais horários referentes à radiação direta incidente no plano de seguimento e à temperatura ambiente média para cada uma das localizações.

Segue-se a definição da utilização da água. Os parâmetros relevantes são o caudal e a altura manométrica a considerar para o dimensionamento da bomba. Quanto à utilização da água propriamente dita, só é relevante saber se o utilizador irá usufruir de uma forma direta ou indireta, ou seja, se haverá capacidade para armazenamento em reservatório ou depósito. A nível do cálculo, a utilização da água apenas terá influência no custo do

³ Disponível em (27)

investimento inicial, i.e., na construção ou na aquisição do elemento de armazenamento de água.

Na Figura 4.1 apresenta-se um fluxograma aplicado à primeira vertente do cálculo.

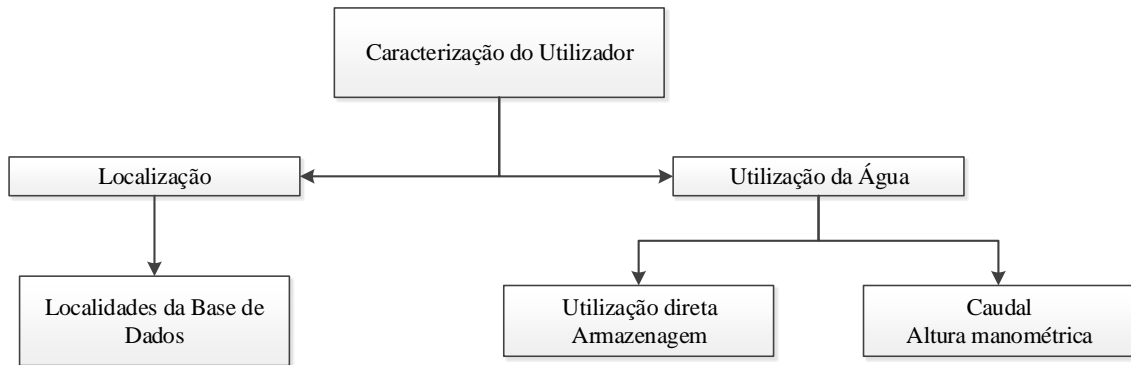


Figura 4.1 - Fluxograma com a caracterização do utilizador do sistema

A segunda vertente do cálculo começa pela escolha do módulo fotovoltaico. Considerando-se apenas uma unidade, calcula-se através do Modelo de 1 Díodo e 3 parâmetros, a tensão e a corrente no ponto de máxima potência, e a potência de saída para a temperatura e irradiância incidente, possíveis de obter em cada mês do ano. Nesta fase, o caudal e a altura manométrica interligam com o sistema ao permitirem escolher a bomba a adotar. Ao contrário do que é expectável, este tipo de bombas define-se pela tensão nominal, uma vez que a corrente obtida nos módulos fotovoltaicos é contínua e constante. Assim, a tensão nominal da bomba definirá o número de módulos que é necessário associar em série para garantir o seu funcionamento nas melhores condições.

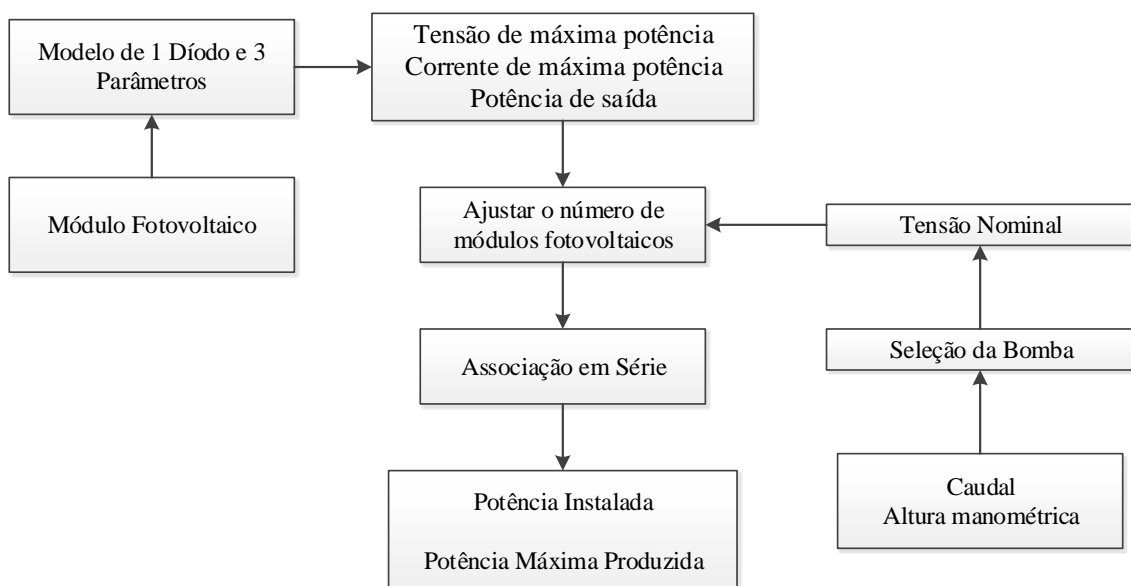


Figura 4.2 - Fluxograma de ajuste do número de módulos fotovoltaicos

Por fim, com o número de módulos do sistema definido, obtém-se a potência a instalar para a produção de energia elétrica e a potência máxima que será possível produzir ao longo do ano.

A partir daqui, e sendo um sistema em que as bombas funcionam com corrente contínua, falta escolher o regulador de carga e a quantidade de baterias a considerar, através da corrente e da tensão obtidas no gerador solar fotovoltaico.

4.2. Modelo de 1 Díodo e 3 parâmetros

Antes de mais, (26) considerou este modelo de cálculo o mais indicado porque é aquele que é mais adotado no dimensionamento de sistemas de aproveitamento solar fotovoltaico para produção descentralizada de energia elétrica.

A célula fotovoltaica é simbolizada por um díodo no circuito elétrico que alimenta uma carga. Os três parâmetros são os seguintes:

- Fator de idealidade – m [adimensional];
- Corrente inversa de saturação – I_0 [A];
- Corrente de carga – I_s [A]

De uma forma breve e encadeada, o cálculo da potência de saída para a temperatura e irradiância incidente é o seguinte:

1º Fator de idealidade

$$m = \frac{V_{MP}^r - V_{ca}^r}{V_T^r \cdot \ln \left(1 - \frac{I_{MP}^r}{I_{cc}^r} \right)} \quad (4.1)$$

Em que,

V_{MP}^r – Tensão máxima de pico de referência [V] – Referência do Fabricante

V_{ca}^r – Tensão de circuito aberto de referência [V] – Referência do Fabricante

V_T^r – Potencial térmico de referência [V] – Referência do Fabricante

2º Corrente inversa de saturação de referência

$$I_0^r = \frac{I_{cc}^r}{\frac{V_{ca}^r}{e^{m \cdot V_T^r}} - 1} \quad (4.2)$$

Em que,

I_{cc}^r – Corrente de curto-circuito de referência – Referência do Fabricante

3º Potencial térmico

$$V_T = \frac{K \cdot T}{q} \quad (4.3)$$

Em que,

K – Constante de Boltzman – $K = 1,38 \times 10^{-23} J/K$

T – Temperatura absoluta da célula [K]

q – Carga elétrica do elétron – para o silício, $q_{Si} = 1,6 \times 10^{-19} C$

4º Corrente inversa de saturação

$$I_0 = I_0^r \cdot \left(\frac{T}{T^r}\right)^3 \cdot e^{\frac{N_s \cdot \varepsilon}{m} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T}\right)} \quad (4.4)$$

Em que,

T^r – Temperatura absoluta da célula de referência [K] – Referência do Fabricante

N_s – Número de células ligadas em série – Referência do Fabricante

ε – Hiato (energia do elétron da banda de valência) – para o silício, $\varepsilon_{Si} = 1,12 eV$

5º Corrente de curto-circuito

$$I_{cc} = I_{cc}^r \cdot \frac{G}{G^r} \quad (4.5)$$

Em que,

G – Radiação incidente [W/m^2]

G^r – Radiação incidente em condições STC⁴ [W/m^2]

6° Tensão no ponto de potência máxima

$$V_{MP} = m \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{\frac{I_{CC}}{I_0} + 1}{\frac{V_{MP}}{m \cdot V_T} + 1} \right) \quad (4.6)$$

7° Corrente no ponto de potência máxima

$$I_{MP} = I_{CC} - \left[I_0 \cdot \left(e^{\frac{V_{MP}}{m \cdot V_T}} - 1 \right) \right] \quad (4.7)$$

8° Potência de saída para a temperatura e irradiância incidente

$$P_{DC} = V_{MP} \cdot I_{MP} \quad (4.8)$$

A equação não-linear (4.6) pode ser resolvida por um método iterativo simples (3), baseado em resultados experimentais e de simulação que mostram que a corrente de curto-circuito depende fundamentalmente da irradiância de uma forma aproximadamente linear, podendo-se escrever o seguinte:

$$I_{MP} = \frac{G}{G^r} \cdot I_{MP}^r \quad (4.9)$$

definindo-se a corrente de máxima potência. Assim,

⁴ *Standard Temperature Conditions*, ou seja, radiação incidente de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ e temperatura de célula de 25°C

$$V_{MP} = m \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{cc} - I_{MP}}{I_0} \right) \quad (4.10)$$

Esta simplificação adiciona um erro inferior a 2% nos resultados, não sendo significativo, podendo-se considerar a equação (4.10) nos cálculos a efetuar.

4.3. Descrição da Aplicação Informática

A Aplicação Informática foi desenvolvida em MS Excel®. Conforme indicado nas secções anteriores, é necessário definir dados de entrada para que se possam aplicar os modelos de cálculo e obter um resultado associado ao propósito da aplicação. A Tabela 4.2 resume os dados a solicitar ao utilizador da aplicação informática e os dados de saída a obter.

Tabela 4.2 - Quadro-resumo dos dados de entrada e de saída do software

	Designação	Símbolo	[Un]	Restrições
Dados de Entrada	Localização	Não tem	Não tem	Base de dados
	Aplicação	Não tem	Não tem	Utilização da água
	Caudal	Q	m ³ /h	0 < Q ≤ Q _{máx} das bombas da base de dados
	Altura manométrica	H	m	0 < H ≤ H _{máx} das bombas da base de dados
	Módulo fotovoltaico	Não tem	Não tem	Base de dados
	Vida útil do empreendimento	N	ano	15 ≤ N ≤ 25
	Taxa de atualização	a	%	0 ≤ a ≤ 100
Dados de Saída	Mapa de quantidades descritivo do investimento inicial da instalação	I ₀	Euro (€)	Base de dados / Catálogos comerciais
	Resultado do estudo financeiro	Não tem	Não tem	Não tem

Para a seleção dos equipamentos, é feita uma comparação entre os valores requeridos e os valores da base de dados, de modo a que o equipamento escolhido seja aquele cujo valor se encontra entre o valor máximo de um modelo e o valor máximo da gama anterior.

Como dado de saída, também é apresentado o estudo financeiro, cujo método de cálculo é explicado no capítulo seguinte, aplicado ao caso de estudo.

A base de dados foi criada com base em catálogos comerciais com preços, disponíveis *online*, sendo essa a justificação para a aplicação de componentes de determinadas marcas. No Anexo B podem ser consultadas as especificações técnicas dos componentes mais relevantes do sistema.

Ao utilizador desta ferramenta de cálculo, apenas deverão estar visíveis os separadores associados aos dados de entrada, aos dados de saída (investimento e rendibilidade). Em oculto deverão estar todos os separadores onde foram efetuados os cálculos, bem como a informação da base de dados.

DADOS DE ENTRADA	
Utilizador	
Localização	
Aplicação	
Tipo de Bomba Submersível	
Caudal	m ³ /h
Profundidade	m
Produtor	
Seleção Módulo Fotovoltaico	
Vida útil do empreendimento	anos !! Considerar um valor entre 15 e 25 anos
Taxa de atualização	

Figura 4.3 - Aspeto do separador para os dados de entrada

DADOS DE SAÍDA - INVESTIMENTO

Descrição / Componente		Marca/Modelo ou equivalente	QTD	[un]	Valor unitário	Valor Global
1.	Sistema Solar					
1.1	Módulo Fotovoltaico		0	un	0,00 €	0,00 €
1.2	Regulador de Carga		0	un	0,00 €	0,00 €
1.3	Bateria		0	un	0,00 €	0,00 €
1.4	Equipamentos Medição&Proteção		1	vg	0,00 €	0,00 €
Total Parcial - Sistema Solar (a)						0,00 €
2.	Sistema Hidráulico					
2.1	Bomba		1	un	0,00 €	0,00 €
2.2	Armazenamento		1	un	0,00 €	0,00 €
2.3	Acessórios e Tubagem		1	vg	0,00 €	0,00 €
Total Parcial - Sistema Hidráulico (b)						0,00 €
3.	Outros Custos					
3.1	Taxa de inscrição UPAC	Portaria n.º 14/2015	1	un	0,00 €	0,00 €
3.2	Taxa de reinspeção	Portaria n.º 14/2015	1	un	0,00 €	0,00 €
3.3	Taxa de inspeção periódica	Portaria n.º 14/2015	1	un	0,00 €	0,00 €
Total Parcial - Outros custos (c)						0,00 €
Total (a+b+c) s/ IVA						0,00 €
c/ IVA (23%)						0,00 €

Figura 4.4 - Aspeto do separador para os dados de saída – Investimento inicial

DADOS DE SAIDA - RENDIBILIDADE		
Número de Módulos		un
Potência Instalada		W
Energia Produzida (Anual)		kWh
Cenário A: Bomba + Fotovoltaico		
Investimento inicial (s/IVA)		€
Valor Atual Líquido		€
Taxa Interna de Rendibilidade		
Tempo de Retorno Bruto		anos
Período de Recuperação		anos
Retorno do investimento		
Cenário B: Fotovoltaico		
Investimento inicial (s/IVA)		€
Valor Atual Líquido		€
Taxa Interna de Rendibilidade		
Tempo de Retorno Bruto		anos
Período de Recuperação		anos
Retorno do investimento		

Figura 4.5 - Aspeto do separador para os dados de saída – Rendibilidade do empreendimento

Através desta última figura, é possível visualizar o retorno do investimento considerando o sistema por completo (bomba e painéis) ou apenas os painéis, assumindo que já existe uma bomba.

5. Caso de Estudo

Devido à abrangência da metodologia de cálculo, é necessário particularizar-se o projeto através de um caso de estudo, para que se possam obter resultados numéricos e analisar o seu significado prático. A aplicação informática foi calibrada ao longo da sua elaboração através de cálculos baseados nos exemplos de (3).

Efetua-se o estudo para as cinco localidades definidas, mantendo as restantes condições, ou seja, com uma aplicação direta da água para um caudal de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma altura manométrica de 150 m. O módulo fotovoltaico foi o SW 250 e o projeto terá 25 anos de vida útil do empreendimento. Escolheram-se estas condições por serem as mais próximas dos valores máximos inseridos na base de dados, prevendo-se obter os resultados do investimento inicial mais elevados.

Na Tabela 5.1 apresentam-se os resultados obtidos para cada localização.

Tabela 5.1 - Resultados obtidos para $Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}$ e $H = 150 \text{ m}$

Localidade	Número de módulos	Potência instalada [W]	Energia produzida anual [Wh]	Investimento inicial (s/ IVA) €
Bragança	7	1.750	3.190.895	12.709,45 €
Campo Maior	7	1.750	3.436.422	12.709,45 €
Mértola	7	1.750	3.624.312	12.725,45 €
Mora	7	1.750	3.418.684	12.709,45 €
Sabugal	7	1.750	3.352.117	12.725,45 €

Analisando a tabela, verificou-se que o número de módulos ajustado é o mesmo para cada localização, logo a potência instalada será a mesma, bem como o investimento inicial visto que os equipamentos selecionados são também os mesmos. A diferença para os valores de Mértola e Sabugal está relacionada com o regulador de carga devido à corrente gerada ser superior à das outras localidades. No entanto traduz-se em 16,00 €, não sendo relevante. Poderão existir outras eventuais diferenças relacionadas com os custos de transporte dos equipamentos até à localidade da instalação.

O módulo fotovoltaico selecionado, com 250 W, é aquele que foi introduzido na base de dados com a potência mais elevada. Para as mesmas condições hidráulicas, as restantes opções levariam à instalação de mais módulos, tornando o investimento inicial mais elevado.

Alterando as condições hidráulicas para metade do valor máximo da bomba mais baixa, i.e., caudal de 2 m³/h e altura manométrica de 10 m, e mantendo o mesmo painel, os resultados são os seguintes:

Tabela 5.2 - Resultados obtidos para Q = 2 m³/h e H =10 m

Localidade	Número de módulos	Potência instalada [W]	Energia produzida anual [Wh]	Investimento inicial (s/ IVA)
Bragança	1	250	455.841	5.853,19 €
Campo Maior	1	250	490.917	5.853,19 €
Mértola	1	250	517.759	5.869,19 €
Mora	1	250	488.382	5.853,19 €
Sabugal	1	250	478.875	5.869,19 €

Com este segundo estudo verificam-se as mesmas observações que no estudo anterior. Pode então concluir-se que a influência da localidade onde o sistema está instalado é sentida na quantidade de energia elétrica produzida e que as condições hidráulicas são relevantes na definição da quantidade de componentes do sistema, que por sua vez irá influenciar diretamente o valor do investimento inicial da instalação.

A sensibilidade do utilizador da aplicação informática à análise dos valores obtidos também é importante pois permite otimizar o investimento inicial com o ajuste do tipo de painel escolhido.

Posto isto, utilizando como condições iniciais as apresentadas na Figura 5.1, desenvolveu-se o cálculo, obtendo-se os resultados da Figura 5.2.

DADOS DE ENTRADA

Utilizador		
Localização	Bragança	
Aplicação	Utilização direta	
Tipo de Bomba	Submersível	
Caudal	70,000	m ³ /h
Profundidade	100,000	m
Produtor		
Seleção Módulo Fotovoltaico	SW 200	P _{max un} = 200 W
Vida útil do empreendimento	25	anos
Taxa de atualização	7	%

Figura 5.1 - Dados de entrada do caso de estudo

DADOS DE SAIDA - INVESTIMENTO						
Descrição / Componente		Marca/Modelo ou equivalente	QTD	[un]	Valor unitário	Valor Global
1.	Sistema Solar					
1.1	Módulo Fotovoltaico	SW 200	9	un	200,00 €	1.800,00 €
1.2	Regulador de Carga	Steca 1010	1	un	82,00 €	82,00 €
1.3	Bateria	SolarBloc 90	15	un	215,65 €	3.234,75 €
1.4	Equipamentos Medição&Proteção		1	vg	2.000,00 €	2.000,00 €
Total Parcial - Sistema Solar (a)						7.116,75 €
2.	Sistema Hidráulico					
2.1	Bomba	PS4000 C	1	un	3.677,70 €	3.677,70 €
2.2	Armazenamento	Não Aplicável	1	un	0,00 €	0,00 €
2.3	Acessórios e Tubagem		1	vg	2.000,00 €	2.000,00 €
Total Parcial - Sistema Hidráulico (b)						5.677,70 €
3.	Outros Custos					
3.1	Taxa de inscrição UPAC	Portaria n.º 14/2015	1	un	70,00 €	70,00 €
3.2	Taxa de reinspeção	Portaria n.º 14/2015	1	un	21,00 €	21,00 €
3.3	Taxa de inspeção periódica	Portaria n.º 14/2015	1	un	14,00 €	14,00 €
Total Parcial - Outros custos (c)						105,00 €
Total (a+b+c) s/ IVA						12.899,45 €
c/ IVA (23%)						15.866,32 €

Figura 5.2 - Dados de saída do caso de estudo - Investimento inicial

Os cálculos intermédios associados, tendo como base a metodologia já referenciada, tiveram estes resultados, pela mesma sequência de cálculo:

1º Cálculo elétrico do módulo fotovoltaico – Modelo de 1 Díodo e 3 parâmetros

Considerando as condições climáticas de Bragança (ver Anexo A-a), aplicou-se o modelo hora a hora de cada mês do ano, obtendo-se a tensão e a corrente no ponto de potência máxima e conseqüente potência de saída para a temperatura e irradiância incidente.

As Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram graficamente a evolução destes parâmetros ao longo do ano, e em resumo, a Tabela 5.3 apresenta os valores totais e máximos de cada parâmetro.

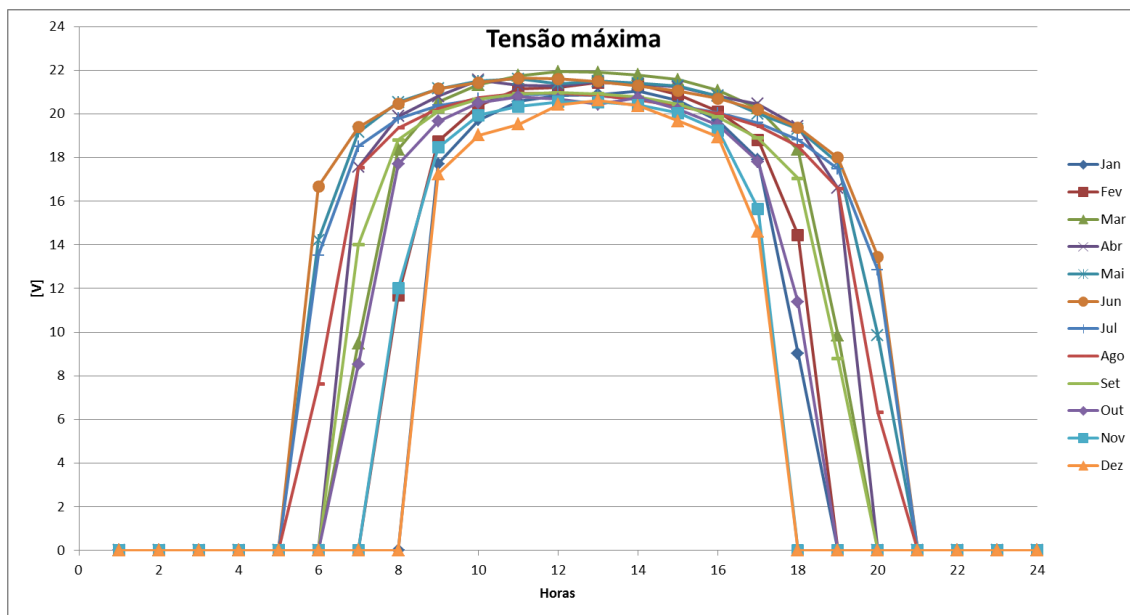


Figura 5.3 - Evolução da tensão no ponto de máxima potência no módulo [V] ao longo do ano (equação 4.10)

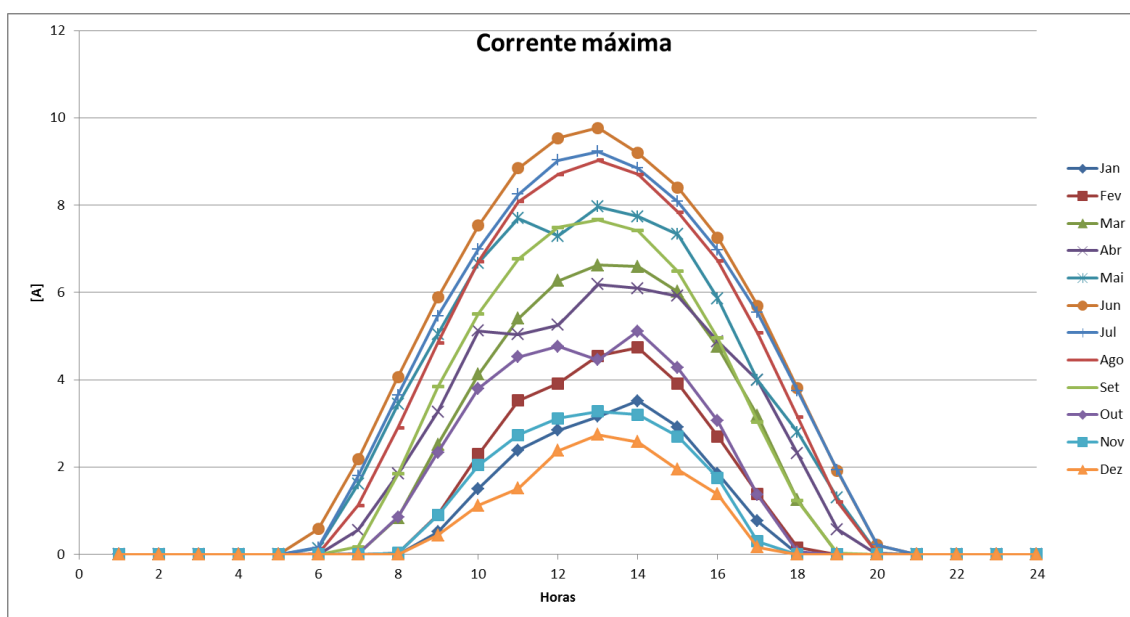


Figura 5.4 - Evolução da corrente no ponto de máxima potência no módulo [A] ao longo do ano (equação 4.7)

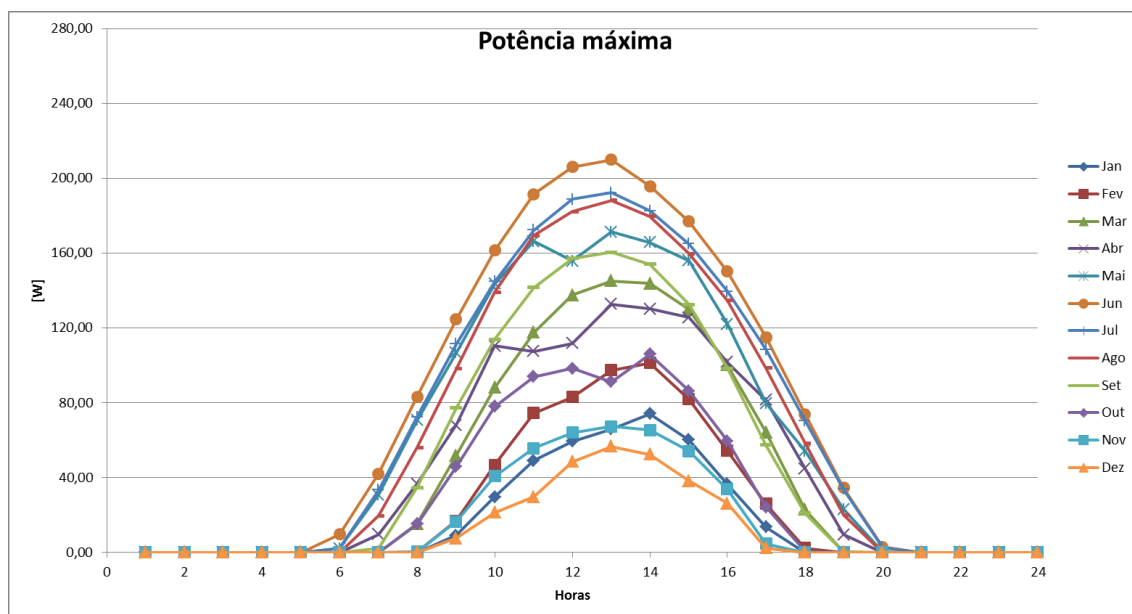


Figura 5.5 - Evolução da potência de saída para a temperatura e irradiância incidente no módulo [W] ao longo do ano (equação 4.8)

Tabela 5.3 - Evolução anual da tensão, corrente e potencia no módulo

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tensão [V]												
Total	188,03	210,16	248,27	263,75	291,51	297,89	285,31	270,10	242,18	217,88	187,15	170,42
Máx	21,05	21,43	21,94	21,55	21,60	21,64	20,90	20,95	20,98	20,78	20,55	20,63
Corrente [A]												
Total	19,49	28,14	47,62	51,05	68,95	84,91	79,92	74,11	56,46	34,62	20,08	14,27
Máx	3,52	4,74	6,63	6,18	7,97	9,77	9,23	9,03	7,67	5,11	3,28	2,74
Potência [W]												
Total	397,96	585,27	1016,94	1070,54	1448,96	1777,84	1619,89	1504,02	1151,22	699,73	402,98	283,08
Máx	74,05	101,31	145,16	132,78	171,42	209,88	192,20	188,27	160,43	106,01	67,34	56,59

2º Ajuste do número de módulos

Tendo em conta o caudal e a altura manométrica requeridas nos dados de entrada, é selecionada a bomba PS4000C. Como foi referido, a característica elétrica que permite ajustar o número de módulos é a tensão nominal da bomba. Neste caso concreto, sabendo os valores máximo e mínimo dados pelo fabricante (ver Anexo B-b), utilizou-se o valor médio, e, calculando para cada mês do ano através da equação (5.1), teve-se como resultado a necessidade de instalar 9 módulos SW 200 para alimentar esta bomba.

$$N^{\circ} \text{ módulos} = \text{Máximo} \left(\frac{\text{Tensão média bomba}}{\text{Tensão obtida módulo}} \right) \quad (5.1)$$

Nesta fase, podem ocorrer dois cenários: o utilizador da aplicação apercebe-se deste número na Figura 5.2 e altera o módulo para o SW 250 de modo a reduzir o número de equipamentos, ou mantém o modelo SW 200, caso o valor do investimento se mantenha o mais baixo.

Substituindo o módulo pelo SW 250, obtém-se uma redução para 7 unidades e um investimento de 12.70945 €, mais baixo do que o apresentado inicialmente.

Este ajuste leva à atualização da Tabela 5.3 para os valores apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Evolução anual para um módulo SW 250

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tensão [V]												
Total	235,25	262,91	310,58	329,85	364,61	372,53	356,84	337,90	302,94	272,59	234,14	213,21
Máx	26,32	26,79	27,43	26,95	27,01	27,05	26,13	26,19	26,23	25,99	25,70	25,79
Corrente [A]												
Total	19,49	28,14	47,62	51,05	68,95	84,91	79,92	74,11	56,46	34,62	20,08	14,27
Máx	3,52	4,74	6,63	6,18	7,97	9,77	9,23	9,03	7,67	5,11	3,28	2,74
Potência [W]												
Total	497,72	731,90	1271,60	1338,64	1811,70	2222,81	2025,41	1880,51	1439,47	875,08	504,02	354,08
Máx	92,60	126,67	181,49	166,01	214,31	262,38	240,28	235,38	200,58	132,56	84,22	70,77

Considerando que a ligação entre módulos é feita em série, a corrente mantém-se, aumentando sete vezes a tensão e a potência do sistema gerador de energia elétrica (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Evolução anual da tensão e da potência para o gerador fotovoltaico

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tensão [V]												
Total	1646,77	1840,40	2174,05	2308,98	2552,25	2607,74	2497,85	2365,28	2120,59	1908,16	1638,97	1492,49
Máx	184,22	187,56	192,02	188,65	189,07	189,37	182,94	183,30	183,58	181,91	179,89	180,56
Potência [W]												
Total	3484,10	5123,31	8901,07	9370,63	12681,99	15559,67	14177,91	13163,77	10076,37	6125,40	3528,16	2478,58
Máx	648,23	886,70	1270,41	1162,10	1500,16	1836,66	1681,98	1647,65	1404,08	927,92	589,54	495,42

3º Escolha do regulador de carga

Para dimensionar o número de reguladores de carga necessários para a instalação, verifica-se a partir das Tabela 5.4 e Tabela 5.5 os valores associados à tensão e à

corrente máximas do sistema. De um modo análogo à escolha da bomba, é identificado qual o modelo que fica dentro destas especificações.

4º Número de baterias necessário

Sendo uma instalação sem ligação à rede, a sua autonomia e não-dependência da RESP terá de ser assegurada por baterias. O seu dimensionamento está relacionado com a tensão necessária para a bomba funcionar. De um modo análogo ao cálculo da quantidade de módulos fotovoltaicos, calculou-se através da equação (5.2):

$$N^{\circ} \text{ baterias} = \frac{\text{Tensão média bomba}}{\text{Tensão bateria}} \quad (5.2)$$

O resultado foi 15 baterias ligadas em série entre si. Este número traduz-se numa parcela importante do investimento inicial da instalação.

5º Taxas aplicáveis

Por fim, o investimento inicial fica concluído com a contabilização das taxas aplicáveis ao registo das UPAC, segundo a Portaria n.º 14/2015, de 23 de Janeiro. Sumariamente, os valores a considerar são os seguintes:

- i. Com potência instalada de 1,5 kW a 5 kW – 70,00 €;
- ii. Com potência instalada de 5 kW a 100 kW – 175,00 €;
- iii. Com potência instalada de 100 kW a 250 kW – 300,00 €;
- iv. Com potência instalada de 250 kW a 1000 kW – 500,00 €.

Caso a potência instalada seja inferior a 1,5 kW, o dono da instalação fica apenas obrigado a comunicar a sua existência.

Para as situações acima, o mesmo diploma define ainda mais duas taxas:

- i. Taxa de reinspeção – 30% da taxa de registo;
- ii. Taxa de inspeção periódica – 20% da taxa de registo.

5.1. Análise Financeira

Os valores obtidos na secção anterior são os dados de entrada desta análise financeira, que consiste na avaliação económica do investimento a longo prazo, e que neste caso foi definido para uma vida útil do empreendimento de 25 anos e com 7% de taxa de atualização.

As despesas de Operação e Manutenção (O&M) de instalações solares fotovoltaicas são relativamente baixas, tratando-se essencialmente de limpeza dos componentes, conforme é descrito na secção 5.2. Quanto ao sistema hidráulico, a partir do momento em que a bomba é instalada no furo, só deverá ser removida para manutenção quando forem detetadas perturbações no seu normal funcionamento, originárias no desgaste dos componentes móveis, na colmatação do filtro ou eventuais defeitos de fabrico. Ou seja, é uma manutenção condicionada.

Nesta área também há uma metodologia de cálculo associada a adotar, baseada em indicadores de avaliação de investimentos para projetos de centrais de produção descentralizada, sendo o Valor Atual Líquido e a Taxa Interna de Rendibilidade os índices mais utilizados. (3)

O modelo de cálculo simplificado tem as seguintes considerações iniciais:

- i. O investimento concentra-se no instante inicial ($t = 0$);
- ii. A utilização anual da potência instalada é constante ao longo do período de análise e igual a h_a [horas];
- iii. Os encargos de O&M são constantes ao longo do período de análise e iguais a d_{om} ;
- iv. Não há encargos com combustível;
- v. Os encargos diversos são nulos ou incluídos nos encargos de O&M.

A utilização anual da potência instalada calcula-se através da equação (5.3):

$$h_a = \frac{E_a}{P_i} \quad (5.3)$$

Em que,

E_a – Energia produzida num ano, ou seja, é o somatório do produto entre a potência produzida num dia de cada mês e o número de dias de cada mês [Wh]

P_i – Potência instalada [W]

O investimento unitário é o quociente entre o valor do investimento inicial e a potência instalada.

$$I_{01} = \frac{I_0}{P_i} \quad (5.4)$$

As despesas de O&M são representadas em percentagem relativa ao investimento inicial:

$$c_{om} = \frac{d_{om}}{I_0} \quad (5.5)$$

Em que,

d_{om} – Despesas anuais de O&M: considera-se 70 €/ano

Para calcular o custo médio atualizado, ou seja, o custo da produção de cada unidade de energia relativamente ao investimento inicial e às despesas consideradas durante a vida útil do empreendimento, é necessário definir dois índices:

- Fator i

$$i = a \frac{(1 + a)^n}{(1 + a)^n - 1} \quad (5.6)$$

Em que,

a – Taxa de atualização definida nos dados de entrada

n – Número de anos de vida útil do empreendimento, definido nos dados de entrada

- Fator k_a

$$k_a = \frac{1}{i} \quad (5.7)$$

$$c_a = \frac{I_{01} \cdot (i + c_{om})}{h_a} \quad (5.8)$$

Em que,

c_a – Custo médio atualizado [€/unidade de energia produzida anualmente]

O **Valor Líquido Atualizado**, ou balanço atualizado, define-se como sendo a diferença entre as entradas e saídas de dinheiro, ou seja, fluxos monetários (*cash-flow*). Se:

VAL > 0	Há viabilidade económica do projeto - os resultados alcançados permitem cobrir o investimento inicial e gerar um excedente financeiro
VAL = 0	Há a completa recuperação do investimento mas não é possível gerar excedente financeiro, sendo um projeto incerto
VAL < 0	Não é um projeto viável

O seu cálculo tem em conta a receita líquida R_L que se obtém para o ano j , a saber:

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} \quad (5.9)$$

Sendo,

$$R_{Lj} = R_j - (c_{omj} \cdot I_j) \quad (5.10)$$

Em que, considerando o modelo simplificado, a receita R_j poderá também traduzir-se por

$$R_j = (\text{Preço/unidade de energia}) \times h_a \times P_i \quad (5.11)$$

Resultando em:

$$VAL = R_L \cdot k_a - I_t \quad (5.12)$$

A **Taxa Interna de Rendibilidade** é a taxa que anula o VAL, ou seja,

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1 + TIR)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1 + TIR)^j} = 0 \quad (5.13)$$

A obtenção de uma TIR superior à taxa de atualização considerada no cálculo do VAL significa que o projeto consegue gerar uma taxa de rendibilidade superior ao custo de oportunidade do capital, pelo que, em princípio, se trata de um projeto economicamente viável. Já o contrário significa que a rendibilidade mínima exigida não é alcançada.

O valor da TIR pode ser obtido por aproximação evitando a resolução de equações não lineares, procedendo-se à linearização do troço da curva em torno do ponto de anulamento. Para isso, calculam-se dois valores do VAL, um positivo (VAL_1) e outro negativo (VAL_2), a que correspondem as taxas de atualização a_1 e a_2 , respetivamente.

$$TIR \approx a_1 - (a_2 - a_1) \frac{VAL_1}{VAL_2 - VAL_1} \quad (5.14)$$

O tempo de retorno bruto (T_{rb}) é vulgarmente conhecido como o *payback* do investimento.

$$T_{rb} = \frac{I_t}{R_1 - d_1} \quad (5.15)$$

Em que,

I_t – Investimento no ano t [€]

R_1 – Receita bruta anual, supostamente constante [€]

d_1 – Despesas anuais de exploração da instalação [€]. Neste caso de estudo são nulas pois trata-se de um sistema autónomo sem ligação à RESP, pelo que não haverão custos associados.

O tempo de recuperação (T_r) é o número de anos necessários à recuperação do investimento, considerando uma receita líquida atualizada média anual constante ao longo da vida útil da instalação. Pelo modelo simplificado,

$$T_r \approx \frac{I_t}{\left(\frac{R_L \cdot k_a}{n}\right)} = \frac{n \cdot I_t}{R_L \cdot k_a} \quad (5.16)$$

O Retorno do Investimento (ROI) é uma medida de rentabilidade efetiva do projeto por unidade de capital investida. Assim, $ROI = 1$ significa que $VAL = 0$.

$$ROI = \frac{R_L \cdot k_a}{I_t} \quad (5.17)$$

Definidas as variáveis e equações financeiras a ter em conta, aplicando-se ao caso de estudo, os resultados finais são os seguintes:

DADOS DE SAÍDA - RENDIBILIDADE		
Número de Módulos	7	un
Potência Instalada	1.750,00	W
Energia Produzida (Anual)	3.190,895	kWh
Cenário A: Bomba + Fotovoltaico		
Investimento inicial (s/IVA)	12.709,45	€
Valor Atual Líquido	-7.623,88	€
Taxa Interna de Rendibilidade	-0,02	
Tempo de Retorno Bruto	29,12	anos
Período de Recuperação	62,48	anos
Retorno do investimento	0,40	
Cenário B: Fotovoltaico		
Investimento inicial (s/IVA)	7.031,75	€
Valor Atual Líquido	-1.946,18	€
Taxa Interna de Rendibilidade	0,05	
Tempo de Retorno Bruto	16,11	anos
Período de Recuperação	34,57	anos
Retorno do investimento	0,72	

Figura 5.6 - Dados de saída do caso de estudo - Rendibilidade do projeto

Os resultados intermédios, resultantes das equações de cálculo expostas acima apresentam-se abaixo, pela mesma ordem.

Tabela 5.6 - Energia anual produzida na instalação

Energia Anual [Wh]												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
P _{un}	3484,10	5123,31	8901,07	9370,63	12681,99	15559,67	14177,91	13163,77	10076,37	6125,40	3528,16	2478,58
E _a	108007,1	143452,7	275933,2	281118,9	393141,7	466790,1	439515,2	408076,9	302291,1	189887,4	105844,8	76835,98

$$E_a = 3.190.895,00 \text{ Wh} = 3,191 \text{ MWh}$$

A utilização anual da potência instalada (5.3):

$$h_a = \frac{E_a}{P_i} = \frac{3.190.895 \text{ Wh}}{1.750 \text{ W}} = 1.823,37 \text{ horas}$$

O investimento unitário (5.4):

$$I_{01} = \frac{I_0}{P_i} = \frac{12.709,45 \text{ €}}{1,750 \text{ kW}} = 7.262,54 \text{ €/kW}$$

As despesas de O&M (5.5):

$$c_{om} = \frac{d_{om}}{I_0} = \frac{70 \text{ €/ano}}{12.709,45 \text{ €}} = 0,006\%$$

Fatores i (5.6) e k_a (5.7):

$$i = a \frac{(1+a)^n}{(1+a)^n - 1} = 7\% \frac{(1+7\%)^{25}}{(1+7\%)^{25} - 1} = 0,0858$$

$$k_a = \frac{1}{i} = 11,65$$

O custo médio atualizado (5.8):

$$c_a = \frac{I_{01} \cdot (i + c_{om})}{h_a} = \frac{(7.262,54) \times (0,0858 + 0,006\%)}{1.823,37} = 0,36 \text{ €/kWh}$$

Para saber qual a receita líquida, é necessário definir o diagrama de carga da bomba, pois considera-se que, sendo um empreendimento de autoconsumo sem ligação à rede, a receita será igual ao valor da fatura da eletricidade associada ao consumo da bomba se a energia fosse fornecida pela RESP.

O diagrama é definido considerando o produto entre a corrente fornecida pelos módulos fotovoltaicos e a tensão nominal média da bomba, obtendo-se o consumo em potência [W] da Figura 5.7.

Consultando a tabela de preços da ERSE atualizada a 17 de Agosto de 2015, o preço da energia mais baixo, para uma potência contratada de 2,3 kVA, é de 0,1587 €/kWh. Assim, ao fim de um ano, a fatura seria de 619,23 €.

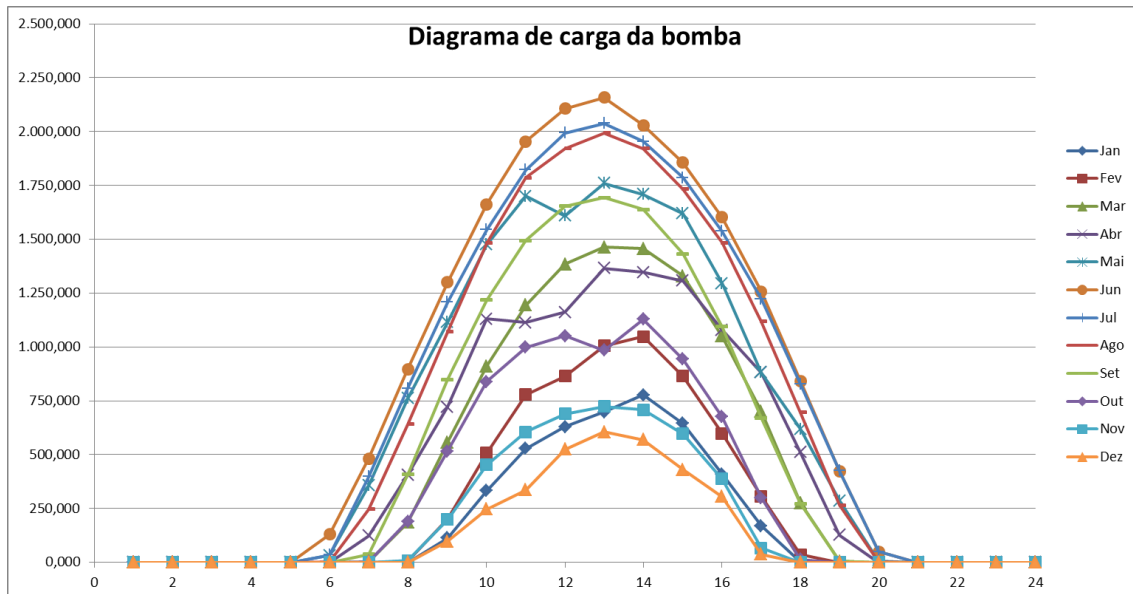


Figura 5.7 - Diagrama de carga da bomba

Reescrevendo a equação (5.12), calcula-se o VAL:

$$VAL = (0,1587 \times h_a \times P_i - d_{om}) \cdot k_a - I_t = -7.623,88 \text{ €}$$

Este valor é negativo, o que significa que o projeto não é viável. Através do valor da TIR, confirma-se pois o valor é negativo: $TIR \approx -0,02$.

Continuando, o tempo de retorno bruto (5.15) é de 29,12 anos e o tempo de recuperação (5.16) é de 62,48 anos.

Repetindo os cálculos mas considerando que a bomba já existe no local onde o sistema fotovoltaico será instalado, obtêm-se os resultados do Cenário B.

5.2. Manutenção do sistema

A manutenção de sistemas fotovoltaicos tem custos reduzidos pois não existem partes móveis nem a necessidade de substituição de componentes que requeiram uma intervenção preventiva regular. Assim, a manutenção apropriada a este tipo de instalações prende-se com a supervisão da condição dos elementos expostos à intempérie. Algumas operações podem ser efetuadas pelo utilizador do sistema, no entanto há outras que terão de ser efetuadas por profissionais legalmente habilitados. (17)

Estando associado um sistema inteligente de supervisão da instalação, sempre que os valores dos parâmetros funcionais sejam diferentes dos espectáveis, é importante verificar *in loco* se há algum elemento que esteja a perturbar o sistema, como o sombreamento, por exemplo. É importante manter toda a instalação com um nível de limpeza apropriado ao correto funcionamento dos componentes, sobretudo na superfície do painel que recebe a radiação solar, para que se possa tirar o máximo partido do sistema.

Quanto a intervenções corretivas, estas estão associadas, essencialmente, à substituição dos componentes que poderão obrigar a instalação a parar. Recomenda-se a existência de um contrato de manutenção com a empresa instaladora, de modo a garantir que durante o tempo de vida útil da instalação, estejam asseguradas as condições de segurança do sistema, e dos intervenientes que o operam.

Do ponto de vista do sistema hidráulico, e como já foi referido, a manutenção estará associada aos elementos móveis da bomba e ao estado de colmatção do filtro. Dependendo do tipo de solo onde se encontra o furo, a retirada da bomba para inspeção visual, limpeza e eventual substituição de componentes, poderá ser anual, bianual ou até trianual.

6. Conclusões

A produção de energia elétrica a partir de energias renováveis é um tema que não é abordado no curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, por isso este trabalho traduz-se numa mais-valia na compreensão das potencialidades do aproveitamento das energias renováveis.

Os objetivos inicialmente propostos foram desenvolvidos ao longo do documento, no entanto, devido à atualização legislativa, o conceito de microprodução deixou de ser aplicável.

As bombas submersas são as mais indicadas para o aproveitamento de água de aquíferos, em que os motores já estão adequados a funcionarem dentro de água sem se danificarem.

Com este estudo conclui-se que para pequenas aplicações o valor do investimento inicial não é muito elevado porque os custos de operação e manutenção são residuais, representando cerca de 1% do investimento, poupando-se na fatura de eletricidade associada ao consumo da bomba. No entanto, com o passar dos anos o desenvolvimento tecnológico leva à descoberta de novos materiais e sistemas eletrónicos que podem levar à redução do preço de custo dos componentes, quer do sistema elétrico quer do sistema hidráulico.

Neste trabalho os resultados obtidos não foram os esperados, uma vez que a introdução da nova legislação revelou-se não ser apelativa do ponto de vista económico do investimento. Assumir que a receita é o valor correspondente à fatura de eletricidade mensal poderá não estar correto uma vez que se considera o valor que se teria de pagar por cada unidade de energia se houvesse energia da RESP a alimentar a bomba. Na anterior legislação havia uma retribuição definida para cada instalação mesmo quando não estava ligada à RESP, o que não se verifica agora. Num país como Portugal, em que se verifica a desertificação das zonas do interior, seria desejável a criação de incentivos verdes por parte do Governo para que haja cada vez mais produção elétrica renovável.

Por outro lado, analisando o preço da cablagem elétrica e dos custos associados aos trabalhos para levar um ramal da RESP até à instalação, verifica-se que o investimento pode ser ainda menos atrativo que o fotovoltaico, pois com o aumento da distância entre o ponto mais próximo e a instalação, verificar-se-iam muitas perdas elétricas que teriam de ser compensadas pela seção do cabo de alimentação. Para o Caso de Estudo apresentado, se for considerada uma distância de 1 km até às RESP, o investimento por parte do utilizador seria de cerca de 21000,00 €. Além disso, o primeiro consumidor a solicitar o pedido à entidade responsável iria pagar o sobredimensionamento do cabo para que possa ter capacidade para futuros consumidores, pagando a totalidade dos encargos associados ao ramal, tornando-se uma solução a descartar. Mais ainda, caso a alimentação elétrica fosse em média tensão, teria de se acrescentar um posto de transformação para baixa tensão. Ou seja, quando mais isolado estiver o sistema, mais dispendiosa seria esta solução.

Sendo uma unidade de produção para autoconsumo, teve de se considerar baterias para utilizar em dias em que não haja Sol incidente nos módulos fotovoltaicos. No entanto, a instalação poderia ser complementada com outros sistemas renováveis, como sejam as turbinas eólicas, transformando-se assim num sistema híbrido, do pronto de vista da produção de energia elétrica. Embora não seja uma hipótese renovável, poderia ser pontualmente utilizado um pequeno gerador, contudo, apenas havendo um perfil de utilização do sistema concreto é possível considerar outras hipóteses para reduzir o número de baterias.

As baterias têm um tempo de vida útil muito inferior ao período de vida útil do empreendimento, pelo que terá de se considerar a sua substituição de 6 em 6 anos, sensivelmente. Este custo encarece ainda mais o projeto.

A aplicação desenvolvida poderia ser melhorada graficamente ou até mesmo utilizando outro tipo de ferramenta de programação. O desenvolvimento da base de dados poderia ser ampliado de modo a abranger, pelo menos, uma localização por distrito do país para que se pudesse fazer uma análise comparativa do ponto de vista geográfico, e incluir-se um estudo geológico para avaliar a sua potencialidade e a vida útil do aquífero.

Não foi contemplado o armazenamento da água em depósito ou reservatório, considerando-se apenas o custo associado à aquisição deste componente. Esse estudo é

algo que poderá ser feito quando se obtiverem dados concretos do perfil do utilizador da água. Não conhecendo o regime de funcionamento, não é possível otimizar o sistema hidráulico. Do mesmo modo, o perfil de utilização da bomba poderia ser um dos dados de entrada, uma vez que foi definido como sendo apenas quando há sol, o que poderá não ser o mais fidedigno para a instalação em questão.

Ainda sobre a metodologia de cálculo, o sistema fotovoltaico foi calculado partindo do princípio que não haverão perdas e que a totalidade da energia elétrica produzida será aproveitada no consumo da bomba. Esta metodologia revelou-se um pouco teórica porque os profissionais especializados na área conseguem obter valores associados à rentabilidade do empreendimento mais atrativos, com tempos de recuperação do investimento inferiores ao período de vida útil do empreendimento.

A nível de orçamento, um melhoramento da aplicação prende-se com a possibilidade de o utilizador poder ajustar o preço dos componentes do sistema, uma vez que a base de dados tem um catálogo comercial e existem descontos associados à fidelização dos clientes com os fornecedores.

Referências Bibliográficas

1. **SumSol**. A energia solar fotovoltaica. [Online] 2015. [Citação: 8 de Junho de 2015.] <http://www.sumsol.es/pt/tipos-de-energia-solar/energia-fotovoltaica/>.
2. **IST**. Breve história da energia solar. [Online] 2004. [Citação: 20 de Julho de 2015.] <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar>.
3. **Castro, Rui**. *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica*. Lisboa : IST Press, 2012.
4. **Romão, Maria do Rosário e Correia, Márcia**. *Projecto Solar Térmico*. Lisboa : ISEL/ADEM, 2012. Projecto da Unidade Curricular de Aplicações Energéticas Renováveis.
5. **Pousinho, H.M.I., et al., et al**. Análise do Sistema Eletroprodutor Ibérico e a Integração de Centrais de Concentração Solar. *INGENIUM*. 145, Janeiro/Fevereiro de 2015, pp. 78-83.
6. **Pimenta, Manuel**. *Central de Produção de Energia Eléctrica a Partir de Energia Solar Térmica*. Lisboa : ISEL, 2013. Tese de Mestrado.
7. **Lorentz**. References. [Online] 2015. [Citação: 9 de Junho de 2015.] https://www.lorenz.de/en/references/europe__portugal.html.
8. **Renewable Energy World Magazine**. Uk is now fifth largest utility-scale solar market. *Renewable Energy World Magazine*. Setembro/Outubro 2014, p. 10.
9. **Comissão Europeia**. PVGIS. [Online] 2012. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>.
10. **INEGI**. Tecnologia Fotovoltaica. *e2p - Energias endógenas de Portugal*. [Online] 2015. [Citação: 13 de dezembro de 2014.] <https://e2p.inegi.up.pt/>.
11. **Renewable Energy World Magazine**. Hanwha Q CELLS Completes 13.3 MW Solar Power Plant in Portugal. *Renewable Energy World Magazine*. Setembro/Outubro de 2014, p. 11.
12. **REN**. Relatório e Contas 2014. [Online] 2015. [Citação: 7 de Setembro de 2015.] <http://relatorioecontas2014.ren.pt/pt/>.
13. **Morgado, Jorge**. Células fotovoltaicas poliméricas. *INGENIUM*. Maio/Junho de 2015, pp. 62-64.
14. **Lambeck, Raymond P**. *Hydraulic pumps and motors*. Nova York : Marcel Dekker, Inc, 1983. Vols. 1 - Fluid power technology.

15. **FFSolar**. Sistemas de Bombas. [Online] 2015. [Citação: 21 de Julho de 2015.]
<http://www.ffiSolar.com/index.php?lang=PT&page=sistemas-bombas>.
16. **Renewable Energy World Magazine**. South Africa Installs Its First Solar Thermal Cooling Project. *Renewable Energy World Magazine*. Setembro/Outubro 2014, p. 14.
17. **Oliveira, Flávio**. *Dimensionamento de uma central de miniprodução fotovoltaica para uma exploração agrícola direccionada à indústria dos laticínios*. Porto : ISEP, 2013. Dissertação de Mestrado.
18. **Castro, Rui**. *Manual sobre tecnologias, projecto e instalação - Energia Fotovoltaica*. Lisboa : IST, 2004.
19. **ABB**. *Technical Application Papers No. 10*. 2010.
20. **Freitas, Susana**. *Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos*. Bragança : IPB/ESTG, 2008.
21. **Mendonça e Costa, Jorge**. *Bombas hidráulicas*. Lisboa : ISEL/ADEM, 2012. Apoio à Unidade Curricular.
22. **Grundfos**. *Pump Handbook*. Bjerringbro (DK) : www.grundfos.com, 2004.
23. —. *SP Engineering Manual*. Bjerringbro (DK) : www.grundfos.com.
24. **Cardoso, João Antero**. *Aplicações energéticas Renováveis*. Lisboa : ISEL, 2012.
25. **Certiel**. *Fichas Técnicas de Bolso*. Lisboa : Certiel, 2014.
26. **Camus, Cristina**. *Energia Fotovoltaica*. Lisboa : ISEL/ADEEA, 2014. Notas de apoio à disciplina.
27. **REN**. Centro de Informação. [Online] 2015. [Citação: 11 de Maio de 2015.]
<http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/Paginas/MapaRNT.aspx>.

Diário da República:

- Portaria n.º 14/2015, de 23 de janeiro
- Portaria n.º 15/2015, de 23 de janeiro
- Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro
- Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro
- Portaria n.º 430/2012, de 31 de dezembro
- Portaria n.º 431/2012, de 31 de dezembro
- Portaria n.º 284/2011, de 28 de Outubro
- Portaria n.º 285/2011, de 28 de Outubro
- Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de Março

- Portaria n.º 1278/2010, de 16 de Dezembro
- Portaria n.º 1185/2010, de 17 de Novembro
- Decreto-Lei n.º 118-A/2010, de 25 de Outubro
- Portaria n.º 201/2008, de 22 de Fevereiro
- Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro
- Portaria n.º 764/2002, de 1 de Julho
- Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de Março
- Decreto-Lei n.º 189/88, de 25 de Maio

Anexos

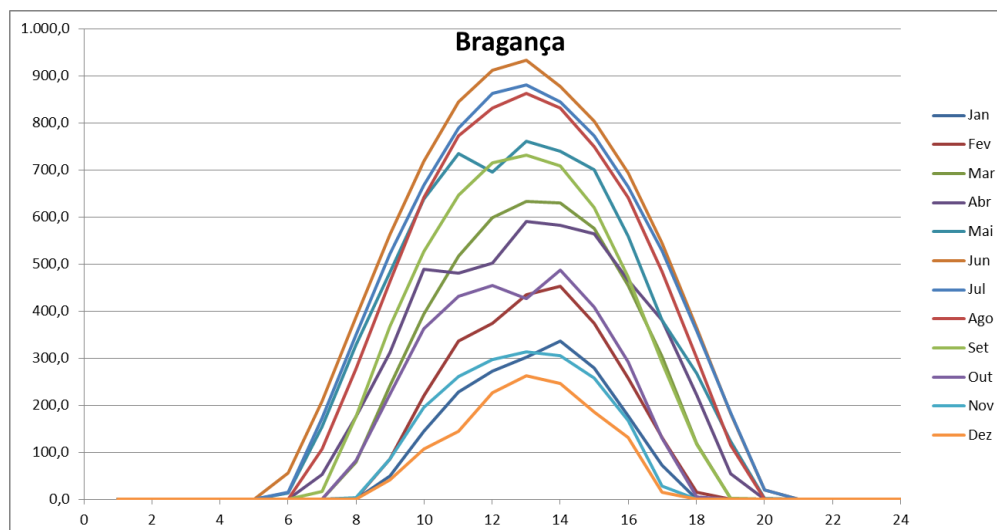
Nesta secção, apresentam-se as características técnicas dos equipamentos utilizados na elaboração deste trabalho, bem como a base de dados dos mais relevantes para o cálculo na aplicação.

A. Condições climáticas

A-a. Bragança

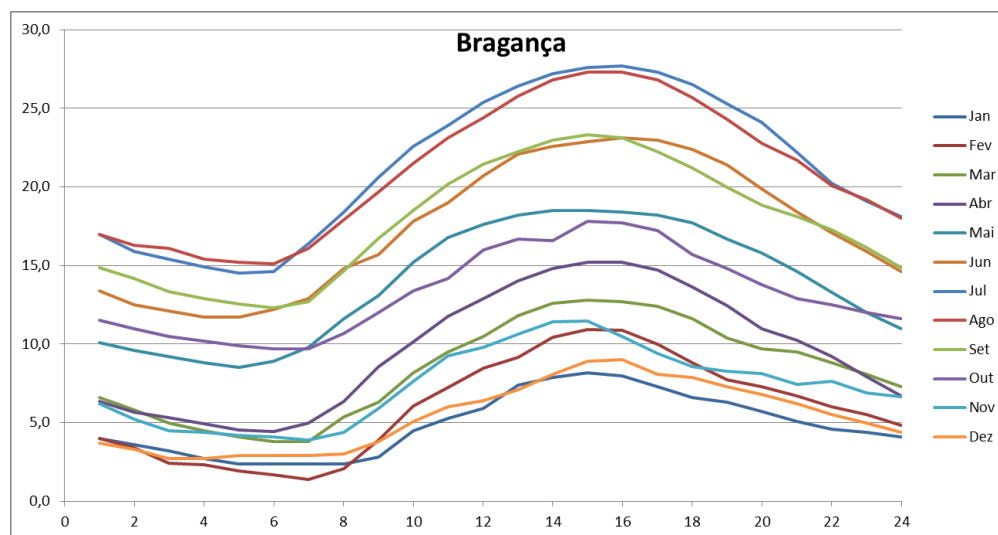
Radiação direta incidente [W/m²]

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	56,0	15,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	1,0	53,0	154,0	208,0	172,0	107,0	16,5	1,0	0,0	0,0
8	0,0	2,5	80,0	176,0	329,0	388,0	349,0	277,0	176,5	82,0	3,5	0,0
9	49,0	86,5	241,0	312,5	482,0	562,0	522,0	463,0	367,0	223,0	86,0	42,0
10	144,0	219,5	394,0	489,0	638,0	719,0	668,0	641,0	526,5	363,0	195,5	107,0
11	228,0	337,0	516,0	481,5	735,0	845,0	788,0	772,0	646,5	432,0	261,5	145,0
12	272,0	374,0	599,0	502,0	696,0	911,0	862,0	831,0	715,5	455,0	298,0	227,0
13	302,0	434,5	633,0	590,5	761,0	933,0	881,0	862,0	732,0	426,0	313,0	262,0
14	336,0	453,0	630,0	582,0	739,0	878,0	845,0	831,0	708,5	488,0	306,0	246,0
15	279,0	374,0	575,0	565,0	700,0	803,0	772,0	749,0	619,5	408,0	258,0	186,0
16	177,0	258,5	454,0	466,5	560,0	693,0	665,0	642,0	473,0	292,0	167,5	132,0
17	73,0	132,5	303,0	381,0	381,0	544,0	529,0	484,0	290,0	130,0	28,5	16,0
18	1,0	15,5	119,0	221,0	268,0	364,0	358,0	301,0	117,5	6,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	2,0	55,0	124,0	183,0	184,0	115,0	2,5	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	21,0	21,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Temperatura seca ambiente média horária [°C]

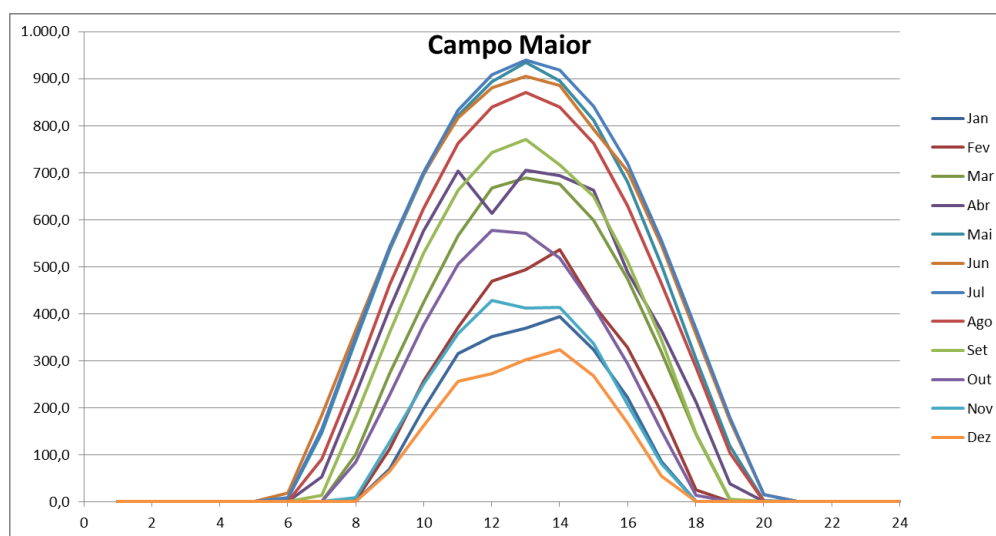
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	4,0	4,0	6,6	6,4	10,1	13,4	17,0	17,0	14,9	11,5	6,2	3,7
2	3,6	3,4	5,8	5,7	9,6	12,5	15,9	16,3	14,2	11,0	5,3	3,3
3	3,2	2,5	5,0	5,4	9,2	12,1	15,4	16,1	13,4	10,5	4,5	2,7
4	2,7	2,4	4,5	5,0	8,8	11,7	14,9	15,4	12,9	10,2	4,4	2,7
5	2,4	2,0	4,1	4,6	8,5	11,7	14,5	15,2	12,6	9,9	4,2	2,9
6	2,4	1,7	3,8	4,5	8,9	12,2	14,6	15,1	12,3	9,7	4,1	2,9
7	2,4	1,4	3,8	5,0	9,8	12,9	16,4	16,1	12,7	9,7	3,9	2,9
8	2,4	2,1	5,4	6,4	11,6	14,8	18,4	17,9	14,7	10,7	4,4	3,0
9	2,8	3,9	6,3	8,6	13,1	15,7	20,6	19,7	16,8	12,0	5,9	3,8
10	4,5	6,1	8,2	10,2	15,2	17,8	22,6	21,5	18,5	13,4	7,7	5,1
11	5,3	7,3	9,5	11,8	16,8	19,0	23,9	23,1	20,2	14,2	9,3	6,0
12	5,9	8,5	10,5	12,9	17,6	20,7	25,4	24,4	21,5	16,0	9,8	6,4
13	7,4	9,2	11,8	14,1	18,2	22,1	26,4	25,8	22,3	16,7	10,7	7,1
14	7,9	10,5	12,6	14,8	18,5	22,6	27,2	26,8	23,0	16,6	11,4	8,1
15	8,2	11,0	12,8	15,2	18,5	22,9	27,6	27,3	23,3	17,8	11,5	8,9
16	8,0	10,9	12,7	15,2	18,4	23,1	27,7	27,3	23,1	17,7	10,5	9,0
17	7,3	10,0	12,4	14,7	18,2	23,0	27,3	26,8	22,3	17,2	9,4	8,1
18	6,6	8,8	11,6	13,7	17,7	22,4	26,5	25,7	21,2	15,7	8,6	7,9
19	6,3	7,8	10,4	12,5	16,7	21,4	25,3	24,3	20,0	14,8	8,3	7,3
20	5,7	7,3	9,7	11,0	15,8	19,9	24,1	22,8	18,9	13,8	8,2	6,8
21	5,1	6,7	9,5	10,3	14,6	18,4	22,2	21,7	18,1	12,9	7,5	6,2
22	4,6	6,0	8,8	9,2	13,3	17,1	20,2	20,1	17,3	12,5	7,7	5,5
23	4,4	5,5	8,1	8,0	12,0	15,9	19,1	19,2	16,2	12,0	6,9	5,0
24	4,1	4,9	7,3	6,7	11,0	14,6	18,1	18,0	14,9	11,6	6,7	4,4



A-b. Campo Maior

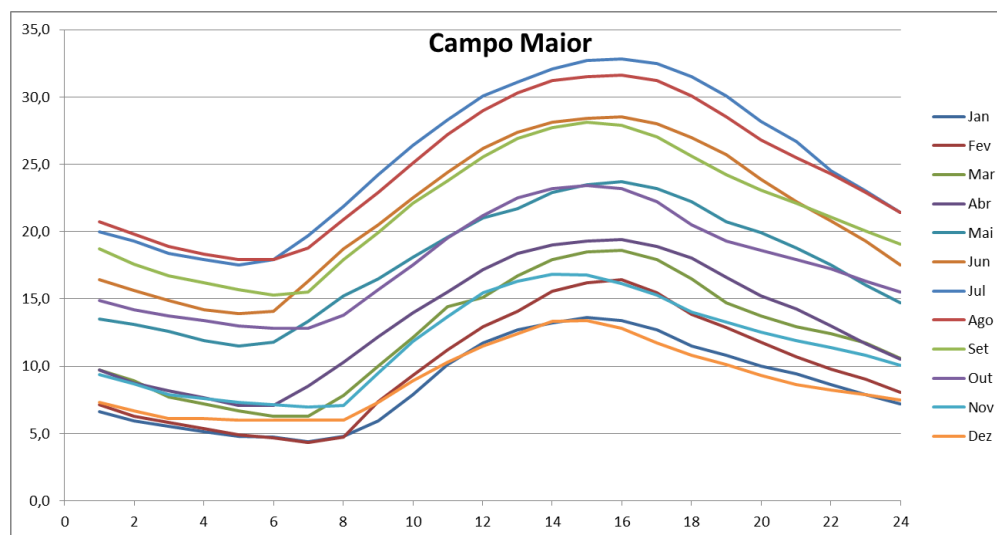
Radiação direta incidente [W/m²]

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	19,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	1,0	53,5	147,0	184,0	154,0	91,0	13,0	1,0	0,0	0,0
8	0,0	3,0	101,0	228,5	343,0	365,0	350,0	268,0	181,0	84,0	8,0	0,0
9	70,0	112,5	272,0	409,5	534,0	540,0	541,0	461,0	360,0	226,0	127,0	64,0
10	198,0	256,0	423,0	575,0	695,0	698,0	700,0	623,0	528,0	376,0	249,5	161,0
11	316,0	370,5	566,0	703,0	821,0	816,0	833,0	762,0	662,5	505,0	357,5	256,0
12	351,0	469,0	667,0	614,0	893,0	880,0	908,0	840,0	742,5	577,0	428,5	273,0
13	369,0	493,5	689,0	706,0	934,0	905,0	940,0	871,0	770,5	571,0	412,0	302,0
14	394,0	536,0	675,0	693,5	895,0	885,0	918,0	840,0	716,5	519,0	413,0	324,0
15	323,0	418,5	599,0	663,0	812,0	792,0	841,0	762,0	649,5	415,0	336,0	268,0
16	222,0	328,5	474,0	488,5	680,0	704,0	720,0	630,0	511,5	294,0	207,5	167,0
17	85,0	190,0	318,0	364,5	503,0	546,0	556,0	465,0	344,0	152,0	81,5	55,0
18	1,0	25,0	143,0	212,0	304,0	356,0	368,0	286,0	145,0	13,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	4,0	38,5	119,0	173,0	179,0	104,0	5,5	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	15,0	15,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Temperatura seca ambiente média horária [°C]

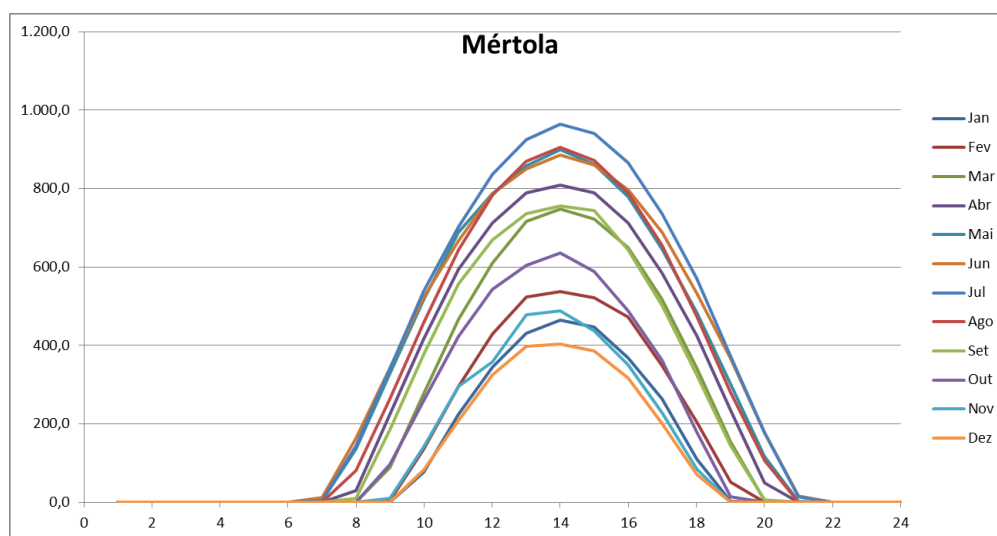
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	6,6	7,2	9,7	9,7	13,5	16,4	20,0	20,7	18,7	14,9	9,4	7,3
2	5,9	6,3	8,9	8,8	13,1	15,6	19,3	19,8	17,6	14,2	8,7	6,7
3	5,5	5,8	7,7	8,2	12,6	14,9	18,4	18,9	16,7	13,7	7,9	6,1
4	5,1	5,4	7,2	7,7	11,9	14,2	17,9	18,3	16,2	13,4	7,6	6,1
5	4,8	4,9	6,7	7,1	11,5	13,9	17,5	17,9	15,7	13,0	7,3	6,0
6	4,7	4,7	6,3	7,1	11,8	14,1	17,9	17,9	15,3	12,8	7,2	6,0
7	4,4	4,3	6,3	8,5	13,3	16,3	19,7	18,8	15,5	12,8	7,0	6,0
8	4,8	4,7	7,8	10,3	15,2	18,7	21,9	20,9	17,9	13,8	7,1	6,0
9	5,9	7,4	10,0	12,2	16,5	20,5	24,2	22,9	19,9	15,7	9,5	7,3
10	7,9	9,3	12,1	14,0	18,1	22,5	26,4	25,1	22,1	17,5	11,9	8,9
11	10,1	11,2	14,4	15,5	19,6	24,4	28,3	27,2	23,8	19,5	13,7	10,3
12	11,7	12,9	15,1	17,2	21,0	26,2	30,1	29,0	25,6	21,2	15,5	11,5
13	12,7	14,1	16,7	18,4	21,7	27,4	31,1	30,3	26,9	22,5	16,3	12,4
14	13,2	15,6	17,9	19,0	22,9	28,1	32,1	31,2	27,8	23,2	16,8	13,3
15	13,6	16,2	18,5	19,3	23,5	28,4	32,7	31,5	28,1	23,4	16,8	13,4
16	13,4	16,4	18,6	19,4	23,7	28,5	32,8	31,6	27,9	23,2	16,2	12,8
17	12,7	15,5	17,9	18,9	23,2	28,0	32,5	31,2	27,1	22,2	15,3	11,7
18	11,5	13,9	16,5	18,1	22,2	27,0	31,5	30,1	25,6	20,5	14,0	10,8
19	10,8	12,9	14,7	16,6	20,7	25,7	30,1	28,5	24,3	19,3	13,3	10,1
20	10,0	11,8	13,7	15,2	19,9	23,9	28,2	26,8	23,1	18,6	12,5	9,3
21	9,4	10,7	12,9	14,3	18,8	22,2	26,7	25,5	22,1	17,9	11,9	8,6
22	8,6	9,8	12,4	13,0	17,5	20,8	24,5	24,3	21,1	17,2	11,4	8,2
23	7,9	9,1	11,7	11,7	16,0	19,3	23,0	22,9	20,1	16,3	10,8	7,9
24	7,2	8,1	10,6	10,5	14,7	17,5	21,4	21,4	19,1	15,5	10,1	7,5



A-c. Mértola

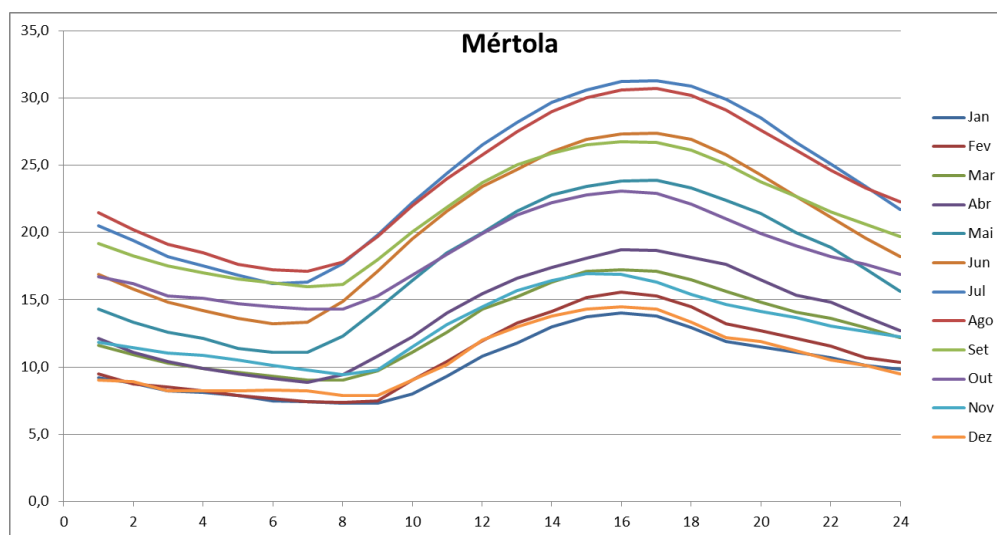
Radiação direta incidente [W/m²]

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	13,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	31,0	136,0	164,0	145,0	82,0	11,0	1,0	0,0	0,0
9	0,0	4,5	90,0	224,0	330,0	342,0	340,0	264,0	185,0	98,0	10,0	1,0
10	78,0	136,0	278,0	418,5	518,0	524,0	540,0	458,0	378,0	260,0	143,0	84,0
11	224,0	296,0	466,0	595,0	689,0	667,0	702,0	644,0	558,0	424,0	295,5	209,0
12	344,0	430,0	611,0	713,5	788,0	788,0	836,0	783,0	670,0	544,0	358,5	325,0
13	432,0	523,5	717,0	789,0	859,0	851,0	924,0	869,0	735,5	604,0	478,5	397,0
14	465,0	538,5	747,0	808,0	900,0	886,0	965,0	905,0	755,0	635,0	488,5	404,0
15	448,0	521,5	722,0	788,5	863,0	861,0	940,0	871,0	743,5	589,0	436,5	387,0
16	368,0	473,5	649,0	713,0	779,0	797,0	866,0	789,0	644,0	489,0	350,0	318,0
17	264,0	349,0	518,0	585,5	646,0	688,0	737,0	656,0	502,0	363,0	229,5	202,0
18	110,0	205,0	342,0	425,0	485,0	533,0	571,0	475,0	326,0	180,0	85,0	71,0
19	2,0	52,5	154,0	235,5	301,0	367,0	373,0	280,0	144,5	14,0	0,5	0,0
20	0,0	0,0	5,0	50,5	116,0	177,0	178,0	106,0	6,5	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	16,0	14,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Temperatura seca ambiente média horária [°C]

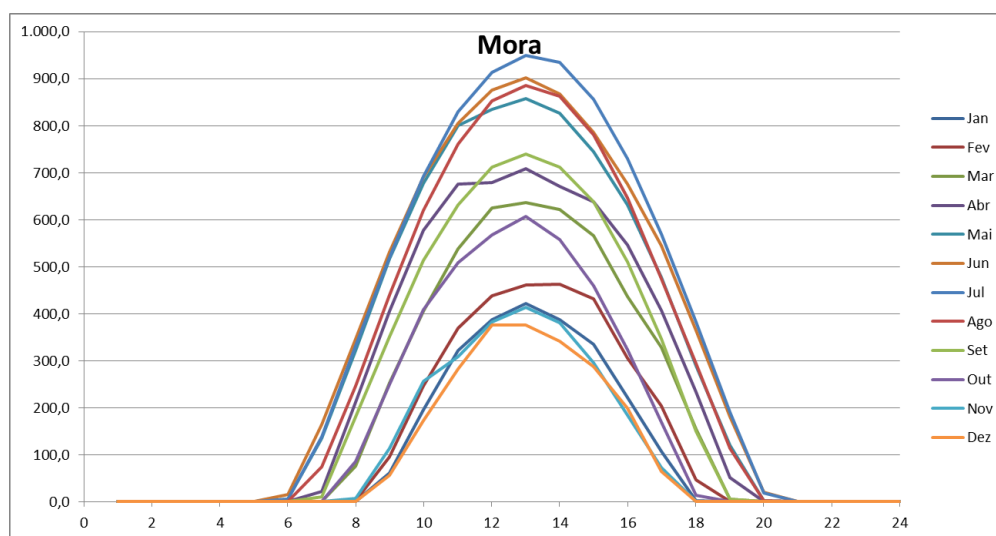
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	9,2	9,5	11,6	12,1	14,3	16,9	20,5	21,5	19,2	16,7	11,9	9,0
2	8,8	8,8	10,9	11,1	13,3	15,8	19,4	20,2	18,3	16,2	11,5	8,9
3	8,2	8,5	10,3	10,4	12,6	14,8	18,2	19,1	17,5	15,3	11,1	8,2
4	8,1	8,2	9,9	9,9	12,1	14,2	17,5	18,5	17,0	15,1	10,9	8,2
5	7,9	7,9	9,6	9,5	11,4	13,6	16,8	17,6	16,6	14,7	10,5	8,2
6	7,5	7,7	9,3	9,2	11,1	13,2	16,2	17,2	16,3	14,5	10,1	8,3
7	7,4	7,4	9,0	8,9	11,1	13,3	16,3	17,1	16,0	14,3	9,8	8,2
8	7,3	7,4	9,0	9,4	12,3	14,9	17,7	17,8	16,2	14,3	9,5	7,9
9	7,3	7,5	9,7	10,8	14,3	17,1	19,8	19,7	18,0	15,3	9,8	7,9
10	8,0	9,0	11,1	12,3	16,4	19,5	22,2	22,0	20,1	16,8	11,5	9,0
11	9,3	10,4	12,6	14,0	18,5	21,6	24,4	24,0	21,9	18,4	13,2	10,2
12	10,8	12,0	14,3	15,5	20,0	23,4	26,5	25,8	23,7	19,9	14,5	12,0
13	11,8	13,3	15,2	16,6	21,6	24,7	28,2	27,5	25,1	21,3	15,7	13,0
14	13,0	14,2	16,3	17,4	22,8	26,0	29,7	29,0	25,9	22,2	16,4	13,8
15	13,7	15,2	17,1	18,1	23,4	26,9	30,6	30,0	26,5	22,8	17,0	14,3
16	14,0	15,6	17,2	18,7	23,8	27,3	31,2	30,6	26,8	23,1	16,9	14,5
17	13,8	15,3	17,1	18,7	23,9	27,4	31,3	30,7	26,7	22,9	16,3	14,3
18	12,9	14,5	16,5	18,2	23,3	26,9	30,9	30,2	26,1	22,1	15,4	13,3
19	11,9	13,2	15,6	17,6	22,4	25,8	29,9	29,1	25,1	21,0	14,7	12,2
20	11,5	12,7	14,8	16,5	21,4	24,3	28,5	27,6	23,8	19,9	14,2	11,9
21	11,1	12,1	14,1	15,4	20,0	22,7	26,7	26,1	22,7	19,0	13,7	11,2
22	10,7	11,6	13,6	14,8	18,9	21,1	25,1	24,6	21,6	18,2	13,1	10,5
23	10,1	10,7	12,9	13,8	17,3	19,6	23,4	23,3	20,6	17,6	12,7	10,1
24	9,8	10,4	12,2	12,7	15,6	18,2	21,7	22,3	19,7	16,9	12,3	9,5



A-d. Mora

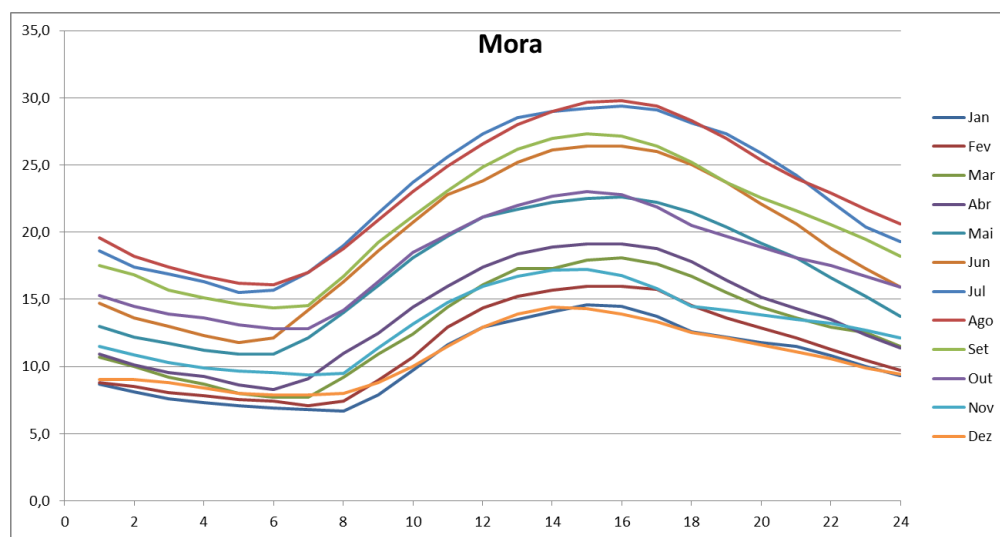
Radiação direta incidente [W/m²]

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	15,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	22,5	135,0	165,0	139,0	74,0	10,5	1,0	0,0	0,0
8	0,0	3,0	76,0	211,5	322,0	346,0	331,0	246,0	180,5	86,0	7,5	0,0
9	61,0	95,0	253,0	405,0	516,0	531,0	520,0	440,0	351,5	250,0	113,0	56,0
10	196,0	246,5	406,0	578,0	677,0	690,0	692,0	620,0	514,0	408,0	255,5	172,0
11	322,0	370,0	538,0	676,0	800,0	806,0	830,0	761,0	631,5	509,0	309,0	283,0
12	387,0	438,5	625,0	679,5	834,0	875,0	913,0	852,0	712,5	567,0	382,0	376,0
13	422,0	461,0	636,0	709,0	857,0	902,0	949,0	885,0	739,0	607,0	414,0	376,0
14	388,0	462,0	621,0	670,5	827,0	868,0	934,0	863,0	712,5	558,0	380,5	341,0
15	335,0	432,0	566,0	638,0	745,0	785,0	856,0	780,0	637,5	459,0	295,5	288,0
16	221,0	305,0	436,0	546,5	631,0	676,0	730,0	646,0	511,0	324,0	184,0	199,0
17	107,0	203,0	328,0	407,5	478,0	544,0	569,0	474,0	346,5	170,0	72,0	64,0
18	2,0	46,5	154,0	232,5	289,0	364,0	383,0	294,0	150,0	13,0	0,5	0,0
19	0,0	0,0	6,0	51,0	120,0	181,0	190,0	113,0	5,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	20,0	18,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Temperatura seca ambiente média horária [°C]

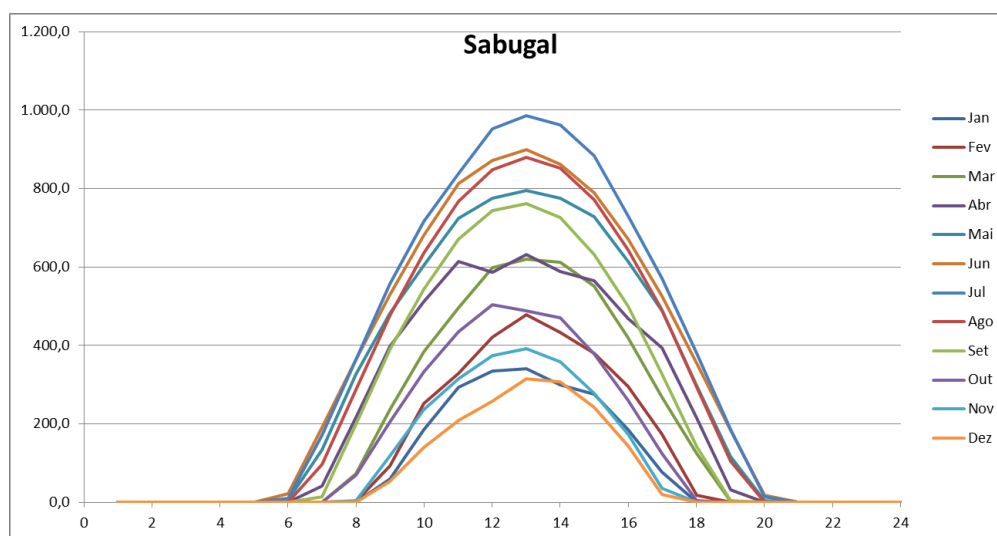
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	8,7	8,8	10,7	10,9	13,0	14,7	18,6	19,6	17,5	15,3	11,5	9,0
2	8,1	8,5	10,0	10,1	12,2	13,6	17,4	18,2	16,9	14,5	10,9	9,0
3	7,6	8,1	9,2	9,6	11,7	13,0	16,9	17,4	15,7	13,9	10,3	8,8
4	7,3	7,8	8,7	9,3	11,2	12,3	16,3	16,7	15,1	13,6	9,9	8,4
5	7,1	7,6	8,0	8,7	10,9	11,8	15,5	16,2	14,7	13,1	9,7	8,0
6	6,9	7,4	7,7	8,3	10,9	12,1	15,7	16,1	14,4	12,8	9,6	7,9
7	6,8	7,1	7,7	9,1	12,1	14,2	17,0	17,0	14,6	12,8	9,4	7,9
8	6,7	7,4	9,2	11,0	14,0	16,3	19,0	18,8	16,7	14,2	9,5	8,0
9	7,9	9,0	10,9	12,5	16,0	18,6	21,4	20,9	19,3	16,3	11,4	8,8
10	9,7	10,7	12,4	14,4	18,1	20,7	23,7	23,0	21,2	18,5	13,2	10,0
11	11,6	12,9	14,4	16,0	19,7	22,8	25,6	24,9	23,1	19,8	14,8	11,5
12	12,9	14,4	16,1	17,4	21,1	23,8	27,3	26,6	24,9	21,1	16,0	12,9
13	13,5	15,2	17,3	18,4	21,7	25,2	28,5	28,0	26,2	22,0	16,7	13,9
14	14,1	15,7	17,3	18,9	22,2	26,1	29,0	29,0	27,0	22,7	17,2	14,4
15	14,6	16,0	17,9	19,1	22,5	26,4	29,2	29,7	27,4	23,0	17,3	14,3
16	14,5	16,0	18,1	19,1	22,6	26,4	29,4	29,8	27,2	22,8	16,8	13,9
17	13,7	15,8	17,6	18,8	22,2	26,0	29,1	29,4	26,4	21,9	15,8	13,3
18	12,6	14,6	16,7	17,8	21,5	25,0	28,1	28,3	25,2	20,5	14,5	12,5
19	12,2	13,6	15,5	16,4	20,4	23,7	27,3	27,0	23,7	19,7	14,2	12,1
20	11,8	12,9	14,4	15,2	19,2	22,1	25,9	25,4	22,6	18,9	13,9	11,6
21	11,5	12,1	13,6	14,3	18,1	20,6	24,2	24,0	21,6	18,1	13,5	11,1
22	10,8	11,3	12,9	13,5	16,6	18,8	22,3	22,9	20,6	17,5	13,2	10,6
23	10,0	10,5	12,5	12,4	15,2	17,3	20,4	21,7	19,5	16,7	12,7	9,9
24	9,3	9,7	11,5	11,4	13,7	15,9	19,3	20,6	18,2	15,9	12,1	9,4



A-e. Sabugal

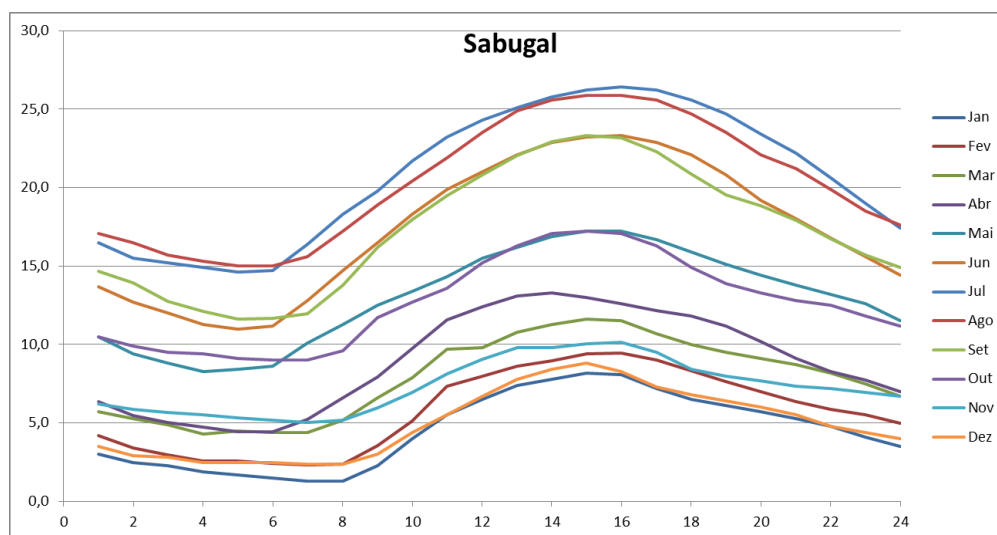
Radiação direta incidente [W/m²]

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	23,0	11,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	1,0	42,5	135,0	192,0	171,0	97,0	15,0	1,0	0,0	0,0
8	0,0	3,0	73,0	217,5	328,0	365,0	365,0	287,0	198,5	70,0	4,0	0,0
9	59,0	93,0	236,0	398,5	482,0	530,0	558,0	476,0	391,0	205,0	118,0	53,0
10	186,0	252,5	384,0	512,5	604,0	681,0	717,0	635,0	542,5	334,0	236,0	140,0
11	293,0	330,0	497,0	614,0	724,0	812,0	839,0	767,0	670,5	436,0	314,5	210,0
12	335,0	421,5	598,0	587,0	776,0	872,0	952,0	849,0	745,0	505,0	374,5	258,0
13	341,0	479,0	620,0	632,5	796,0	900,0	986,0	880,0	762,0	488,0	393,0	316,0
14	300,0	434,0	613,0	589,0	776,0	863,0	962,0	852,0	726,5	470,0	359,5	307,0
15	276,0	380,5	552,0	565,0	728,0	790,0	883,0	771,0	632,0	378,0	277,0	243,0
16	186,0	295,5	420,0	468,0	614,0	671,0	730,0	643,0	501,0	260,0	174,0	145,0
17	78,0	174,0	269,0	394,0	489,0	525,0	570,0	490,0	327,5	125,0	35,5	20,0
18	1,0	18,5	124,0	215,5	297,0	355,0	381,0	294,0	141,5	5,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	3,0	33,0	117,0	184,0	185,0	105,0	4,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	19,0	15,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Temperatura seca ambiente média horária [°C]

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	3,0	4,2	5,7	6,4	10,5	13,7	16,5	17,1	14,7	10,5	6,2	3,5
2	2,5	3,4	5,3	5,5	9,4	12,7	15,5	16,5	14,0	9,9	5,9	2,9
3	2,3	3,0	4,9	5,1	8,8	12,0	15,2	15,7	12,8	9,5	5,7	2,8
4	1,9	2,6	4,3	4,8	8,3	11,3	14,9	15,3	12,1	9,4	5,5	2,5
5	1,7	2,6	4,5	4,5	8,4	11,0	14,6	15,0	11,6	9,1	5,4	2,5
6	1,5	2,5	4,4	4,5	8,6	11,2	14,7	15,0	11,7	9,0	5,2	2,5
7	1,3	2,4	4,4	5,3	10,1	12,8	16,4	15,6	12,0	9,0	5,1	2,4
8	1,3	2,4	5,2	6,6	11,3	14,7	18,3	17,2	13,8	9,6	5,2	2,4
9	2,3	3,6	6,6	8,0	12,5	16,5	19,8	18,9	16,2	11,7	6,0	3,0
10	4,0	5,2	7,9	9,8	13,4	18,3	21,7	20,4	18,0	12,7	7,0	4,4
11	5,5	7,4	9,7	11,6	14,3	19,9	23,2	21,9	19,5	13,6	8,2	5,5
12	6,5	8,0	9,8	12,4	15,5	21,0	24,3	23,5	20,8	15,2	9,1	6,7
13	7,4	8,6	10,8	13,1	16,2	22,1	25,1	24,9	22,1	16,3	9,8	7,8
14	7,8	9,0	11,3	13,3	16,9	22,9	25,8	25,6	23,0	17,1	9,8	8,4
15	8,2	9,4	11,6	13,0	17,2	23,2	26,2	25,9	23,3	17,2	10,1	8,8
16	8,1	9,5	11,5	12,6	17,2	23,3	26,4	25,9	23,2	17,1	10,2	8,3
17	7,2	9,0	10,7	12,2	16,7	22,9	26,2	25,6	22,3	16,3	9,5	7,3
18	6,5	8,4	10,0	11,8	15,9	22,1	25,6	24,7	20,9	14,9	8,4	6,8
19	6,1	7,7	9,5	11,2	15,1	20,8	24,7	23,5	19,6	13,9	8,0	6,4
20	5,7	7,0	9,1	10,2	14,4	19,2	23,4	22,1	18,9	13,3	7,7	6,0
21	5,3	6,4	8,7	9,1	13,8	18,0	22,2	21,2	17,9	12,8	7,4	5,5
22	4,8	5,9	8,2	8,3	13,2	16,8	20,6	19,9	16,8	12,5	7,2	4,8
23	4,1	5,5	7,5	7,8	12,6	15,6	19,0	18,5	15,7	11,8	7,0	4,4
24	3,5	5,0	6,7	7,0	11,5	14,4	17,4	17,6	14,9	11,2	6,7	4,0



B. Especificações Técnicas

Catálogos retirados do *site* do fabricante:

- Painéis solares e bombas submersas: Lorentz;
- Reguladores de carga: Steca;
- Baterias: SolarBloc.

Preços praticados em Portugal, a 15 de Março de 2015 e atualizados a 15 de Julho de 2015 pelo representante FF Solar.

B-a. Painéis Solares

Características \ Modelos	Símbolo	[Un]	SW 285	SW 250	SW 200	SW 150	SW 80
Potência máxima	P max	W	211,10	250,00	200,00	150,00	80,00
Tensão à potência máxima	V max	V	28,40	30,50	24,40	18,30	18,50
Corrente à potência máxima	I max	A	7,43	8,27	8,27	8,27	4,35
Corrente de curto-circuito	I cc	A	7,96	8,81	8,81	8,81	4,66
Tensão em circuito aberto	V ac	V	36,00	37,60	30,10	22,50	22,50
Temperatura normal de funcionamento	NOCT	°C	48,00	46,00	46,00	46,00	46,00
Dimensões - Comprimento	comp	m	1,675	1,675	1,357	1,508	0,806
Dimensões - Largura	larg	m	1,001	1,001	1,001	0,68	0,68
Número de células	NSM	un	60	60	48	36	36
Rendimento (Calculado)	η	%	16,70	14,91	14,72	14,63	14,60
PREÇO - Tabela FF Solar 15 Julho 2015		€	285,00	230,00	200,00	164,00	88,00
Designação Comercial Completa			SW 285 mono black	SW 250 poly	Plus SW 200 Vario poly	SW 150 poly R6A	SW 80 mono RHA

Material: silício.

B-b. Bombas Submersas

Características \ Modelos	Símbolo	[Un]	Designação Comercial Completa			
			PS150 C	PS600 C	PS1800 C	PS4000 C
Nível dinâmico total máx.	TDH	m	20,00	30,00	100,00	160,00
Taxa de fluxo máx.	Q	m ³ /h	4,00	12,00	53,00	79,00
Operação Solar:						
Tensão alimentação máx.	Vmp	VCC	17,00	68,00	102,00	238,00
Tensão em circuito aberto	Voc	VCC	50,00	150,00	200,00	375,00
Tensão nominal		VCC	12 – 24	48 – 72	72 – 96	168 – 192
Funcionamento a bateria:						
Tensão nominal		VCC	12 e 24	48,00	96,00	-
Tipo de Bomba			Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga
PREÇO - Tabela FF Solar 15 Março 2015		€	1.109,89	1.844,66	1.844,66	3.677,70

B-c. Reguladores de carga

Características \ Modelos	[Un]	Designação Comercial Completa			
		Steca 1010	Steca 1515	Steca 2020	Steca 3030
Corrente do módulo	A	10,00	15,00	20,00	30,00
Tensão circuito aberto do módulo	V	47,00	47,00	47,00	47,00
Tensão para as baterias	V	14,40	14,40	14,40	14,40
PREÇO - Tabela FF Solar 15 Julho 2015	€	82,00	98,00	113,00	134,00

B-d. Baterias

Características \ Modelos	[Un]	Designação Comercial Completa						
		SolarBloc 58	SolarBloc 70	SolarBloc 80	SolarBloc 90	SolarBloc 105	SolarBloc 135	SolarBloc 150
Corrente	Ah	58,00	70,00	82,00	93,00	105,00	134,00	152,00
Tensão	V	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Autonomia	h	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
PREÇO - Tabela FF Solar 15 Julho 2015	€	160,98	194,32	201,90	215,65	246,50	278,40	320,91

C. Constantes

Valores Constantes			
Grandeza	Símbolo	Valor	Unidade
STC - Radiação incidente	G _r	1000	W/m ²
STC - Temperatura da célula	T _r	25	°C
NOCT - Radiação incidente normal de funcionamento	G	800	W/m ²
NOCT - Temperatura normal de funcionamento	Teta	20	°C
Constante de Boltzman	K	1,38 x 10 ⁻²³	J/K
Temperatura absoluta (0 °C)	T	273,16	K
Carga do Eletrão	q	1,6 x 10 ⁻¹⁹	C
Hiato do silício	ε	1,12	eV