

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**“Remote Rural Electrification. Innovative Systems
Based on Renewable Energy Sources”**

António Luís Passos de Sousa Vieira

VERSÃO DE TRABALHO FINAL

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

Orientador: Prof. Dr. António Machado e Moura
Coorientador: Eng. Luís Andrade

<19 Julho 2012>

Resumo

A precariedade que existe nos países Africanos, como Moçambique, é uma realidade que tem que ser combatida. Com este propósito, o governo Moçambicano, criou o Fundo Nacional de Energia (FUNAE), sendo para este, a eletrificação do País uma prioridade. Para aldeias isoladas, com distâncias que ascendam às centenas de quilómetros dos grandes centros urbanos possuindo um reduzido número de habitantes (5 a 25 habitantes), não existe viabilidade económica para a realização de ligações das aldeias à rede elétrica. Com isto é necessário desenvolver soluções remotas sustentáveis ao mais baixo custo para eletrificação rural destas aldeias.

A crise económica global é uma realidade cada vez mais profunda, nos últimos anos assiste-se a uma recessão económica na grande maioria dos países europeus e um pouco por todo o mundo. A necessidade emergente de fontes de energia renováveis e sustentáveis tem sido alvo de fortes incentivos governamentais um pouco por todo o globo. O crescimento exponencial da tecnologia de fabrico de células fotovoltaicas será parte importante de um futuro sustentável.

Este trabalho pretende desenvolver soluções economicamente viáveis e sustentáveis para eletrificar este tipo de aldeias. O recurso à energia solar será a única alternativa sustentável para eletrificar estas pequenas populações, trazendo valor acrescentado para o país e uma qualidade de vida bastante superior à vivida até então.

Na presente dissertação é feita uma descrição e análise dos componentes constituintes de um sistema fotovoltaico autónomo, metodologia de dimensionamento e apresentação das várias soluções desenvolvidas.

Abstract

The insecurity that exists in African countries such as Mozambique, is a reality to be tackled. For this purpose, the Mozambican government established the National Energy Fund (FUNAE) and electrifying the all country is currently a priority. Isolated villages, with distances that will amount to hundreds of kilometers from urban areas and have a small population size (5 to 25 inhabitants), there is no economic viability for connections to the electrical grid. With the need to develop sustainable solution at the lowest cost for those village is mandatory.

Global economic crisis is a reality more profound, in the past few years we are witnessing an economic recession in most European countries and a spare around the world. The emerging need for renewable energy and sustainable has been subject to strong government incentives across the globe. The exponential growth of manufacture solar technology for is an important part of a sustainable future.

This work aims to develop sustainable and economically viable solutions to this kind of remote villages. The use of solar energy will be the only sustainable alternative to electrify these small populations, bringing added value to the country and a much higher quality of life experienced so far.

In this dissertation is made a description and analysis of the constituent components of an autonomous photovoltaic system, sizing methodology and presentation of the various solutions developed.

Agradecimentos

Ao meu Orientador, Professor Doutor António Machado e Moura, por ter sido um exemplo de profissionalismo, humildade, simpatia e um grande amigo ao longo de todo o meu percurso académico na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Pela sua disponibilidade na escolha do estágio e em toda a burocracia que o processo exigiu.

Ao meu Orientador e Coorientador na empresa Eurico Ferreira S.A, Eng. Luís Andrade e Eng. Pedro Ferreira, respetivamente. Por todo o seu empenho, dedicação, conhecimento, amizade, motivação e confiança que tiveram para comigo ao longo de todo estágio.

Ao Eng. Paulo Sousa, à Olga Ferreira, à Áurea Ferreira e ao Paulo João, membros do conselho de administração da Eurico Ferreira S.A., por toda a simpatia, disponibilidade e confiança que depositaram em mim.

À Carla Alves, à Simone Oliveira e ao Eng. João Fernandes por todo o incentivo, companhia, disponibilidade que tiveram comigo durante todo o período de estágio.

À minha família que me acompanhou, encorajou e me apoiou durante todo o período académico, porque sem o apoio deles nunca teria chegado aqui. À minha Mãe, ao meu Pai, à minha irmã, ao meu irmão e aos meus avós que sempre me deram tudo e proporcionaram todas as condições possíveis e impossíveis para uma juventude completa, feliz e invejável a todos os níveis. Obrigado por me ajudarem a ser o que sou hoje.

Aos meus amigos que foram sempre um apoio incondicional em todas as fases da minha vida, que estiveram sempre ao meu lado nos bons e maus momentos.

A todos os que aqui estão descritos e a todos os que de alguma forma ajudaram e contribuíram para a minha dissertação, queria expressar o meu sincero agradecimento e um carinho muito especial por todos.

Muito Obrigado!

António Luís Passos de Sousa Vieira

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de figuras.....	xi
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos.....	xvii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Objetivos.....	2
1.3 - Motivação	2
1.4 - Estrutura da Dissertação	3
Capítulo 2	5
Sistemas Fotovoltaicos	5
2.1 - Informação Elementar	5
2.2 - Tipos de Células Fotovoltaicas	7
2.3 - Comparação de Rendimentos.....	9
2.4 - Constituição dos Módulos Fotovoltaicos	9
2.5 - Características dos Módulos Fotovoltaicos	11
2.6 - Configurações	12
2.7 - Ligação à Terra	14
2.8 - Diodos de Fileira.....	15
2.9 - Efeito do Sombreamento dos Módulos Fotovoltaicos	16
2.10 - Análise Teórica	17
Capítulo 3	25
Baterias Solares.....	25
3.1 - Constituição e Princípio de Funcionamento	25
3.2 - Tipos.....	26
3.3 - Características das Baterias de Acumuladores.....	28
3.4 - Reguladores de Carga.....	34

Capítulo 4	37
Inversores DC/AC.....	37
4.1 - Princípio de Funcionamento.....	38
4.2 - Eficiência de Conversão	40
4.3 - Configurações dos Inversores.....	40
4.4 - Modularidade dos Inversores	42
4.5 - Local de Instalação	42
Capítulo 5	43
Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.....	43
5.1 - Sistemas Isolados.....	43
5.2 - Características a levantar do local de instalação	45
5.3 - Dimensionamento	46
5.4 - Algoritmo para o Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos.....	51
5.5 - Programas de Simulação e Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos	52
Capítulo 6	53
Solução	53
6.1 - Necessidades Moçambicanas	53
6.2 - Dimensionamento	55
6.3 - Conclusão.....	80
Capítulo 7	85
Cálculo Económico	85
7.1 - Kit África 1 - Escola	85
7.2 - Kit África 2 - Habitação	86
7.3 - Kit África 3 - Centro de Saúde	87
7.4 - Conclusão.....	87
Capítulo 8	89
Conclusões	89
8.1 - Conclusão.....	89
8.2 - Trabalhos Futuros	90
Referências	91
Anexos	95
Diagrama de cargas - Escola.	95
Diagrama de Cargas - Habitação	96
Diagrama de Cargas - Centro de Saúde.....	97
Datasheet - Módulos Fotovoltaicos - 140Wp	98
Datasheet - Módulos Fotovoltaicos - 230 Wp e 240 Wp.	99
Datasheet - Baterias 400Ah.	100
Datasheet - Baterias 500Ah	102
Output Simulação - Escola.....	103
Output Simulação - Habitação	105
Output Simulação - Centro de Saúde	108
Datasheet - Inversor Sunny Island 2224.	110
Datasheet - Sunny Island Charger 50	112
Datasheet - Frigorífico - Centro de Saúde	114

Lista de figuras

Figura 2.1 - Célula, Módulo e Pannel.....	5
Figura 2.2 - Fabrico de Silício[4]	6
Figura 2.3 - Associação típica de células fotovoltaicas[2]	10
Figura 2.4 - Composição de um módulo fotovoltaico.[1].....	10
Figura 2.5 - Associação de módulos fotovoltaicos em série.[2]	13
Figura 2.6 - Associação de módulos em paralelo.[2].....	14
Figura 2.7 - Utilização de díodos de fileira.[1]	16
Figura 2.8 - Efeito de sombreamento sem díodo by-pass.[1]	16
Figura 2.9 - Efeito Sombreamento com díodo by-pass.[1]	17
Figura 2.10 - Espectro Solar[23].	18
Figura 2.11 - Tipos de radiação.[1].....	18
Figura 2.12 - Aproveitamento da energia solar.[1]	19
Figura 2.13 - Modelo real de uma célula fotovoltaica.[24]	19
Figura 2.14 - Curva característica I-V	22
Figura 2.15 - Curvas características W-V, para vários patamares e potência irradiada.[1] ...	22
Figura 2.16 - Curva I-V em função da temperatura.[1].....	23
Figura 3.1 - Exemplo de um acumulador Acumulador.[1].....	25
Figura 3.2 - Bateria de Gel Estanque.[25]	28
Figura 3.3 - Associação Paralelo de 4 Baterias Acumuladoras.[1]	29
Figura 3.4 - Associação Série de 6 Baterias Acumuladoras.[1]	29
Figura 3.5 - Variação da Capacidade da Bateria em função do tempo de descarga.[2]	30
Figura 3.6 - Capacidade da Bateria em função do número de Ciclos.[28].....	32

Figura 3.7 - Variação da Capacidade da Bateria em Função da temperatura.[3]	33
Figura 3.8 - Regulador de Carga em Série.[1]	34
Figura 3.9 - Regulador de Carga em Paralelo.[1]	35
Figura 3.10 - Reguladores MPP.[1]	36
Figura 4.1 - Inversor Sunny Boy [36].....	37
Figura 4.2 - Inversor de Onda Quadrada.[1]	39
Figura 4.3 - Inversor Autocontrolado.[1]	40
Figura 4.4 - Esquema Master-Slave.	41
Figura 5.1 - Aldeia Moçambicana, módulos fotovoltaicos que alimentam um centro de saúde	44
Figura 5.2 - Sistema Fotovoltaico Isolado.[31]	45
Figura 5.3 - Fluxograma de Dimensionamento.[5]	51
Figura 6.1 - Aldeia em Cabo Delgado, Moçambique	54
Figura 6.2 - Painel Fotovoltaico e Edifício da instalação.	56
Figura 6.3 - Edifício da Instalação.	56
Figura 6.4 - Vista em Perspetiva da Instalação.	57
Figura 6.5 Regulador de Carga Sunny Island Charger 50.[36]	59
Figura 6.6 - Inversor Sunny Island 2224.[36]	59
Figura 6.7 -Baterias Acumuladoras 2V, 500Ah @ C10.[37]	61
Figura 6.8 - PVGIS, introdução dos dados.[9]	63
Figura 6.9 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]	64
Figura 6.10 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9].....	64
Figura 6.11 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9].....	65
Figura 6.12 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9].....	66
Figura 6.13 -Bateria Acumuladora 2V, 400Ah @ C10.[25].....	70
Figura 6.14 - PVGIS, introdução dos dados.[9]	71
Figura 6.15 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9].....	72
Figura 6.16 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9].....	72
Figura 6.17 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9].....	73
Figura 6.18 - PVGIS, introdução dos dados.[9]	79

Figura 6.19 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]	79
Figura 6.20 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9]	80
Figura 6.21 - Potência vs Carga	81

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Síntese de Rendimentos	9
Tabela 2.2 – Chapa de Características Típicas.....	11
Tabela 2.3 – Áreas dos módulos Fotovoltaicos	12
Tabela 3.1 – Capacidade em função do tempo de descarga[1]	31
Tabela 3.2 – Profundidade de Descarga[1]	31
Tabela 6.1 – Cargas	55
Tabela 6.2 – Chapa de Características do Módulo Fotovoltaico	58
Tabela 6.3 – Características Paineis Fotovoltaicos	58
Tabela 6.4 – Cálculo Capacidade	60
Tabela 6.5 – Comprimento dos Condutores[10].....	61
Tabela 6.6 – Secção de Cabo[40]	62
Tabela 6.7 – Síntese do Sistema.....	62
Tabela 6.8 – Cargas Habitação	67
Tabela 6.9 – Chapa de Características	68
Tabela 6.10 – Características Paineis Fotovoltaicos.....	68
Tabela 6.11 – Cálculo Capacidade	69
Tabela 6.12 – Comprimento dos Condutores[10]	70
Tabela 6.13 – Secção de Cabo[40]	70
Tabela 6.14 – Síntese do Sistema	71
Tabela 6.15 – Cargas Centro Saúde	74

Tabela 6.16 – Chapa de Características	75
Tabela 6.17 – Características Painei Fotovoltaico	76
Tabela 6.18 – Cálculo Capacidade	77
Tabela 6.19 – Comprimento dos Condutores[10]	78
Tabela 6.20 – Secção de Cabo[40]	78
Tabela 6.21 – Síntese do Sistema	78
Tabela 6.22 – Módulos Fotovoltaicos	81
Tabela 6.23 – Regulador de Carga Sunny Island Charger 50	82
Tabela 6.24 – Inversor Sunny Island 2224.....	83
Tabela 6.25 – Baterias Acumuladoras	83
Tabela 6.26 – Baterias Acumuladoras	84
Tabela 7.1 – Kit África 1 - Edifício Escolar	85
Tabela 7.2 – Kit África 2 - Habitação.....	86
Tabela 7.3 – Kit África 3 - Centro de Saúde.....	87
Tabela 7.4 – Síntese de Custos dos Kits África.....	87

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas:

AC (Alternate Current)	Corrente alternada
CdTe (Telúrio de Cádmio)	Material alternativo ao silício
DC (Direct Current)	Corrente contínua
MPP (Maximum Power Point)	Ponto potência máxima
MPPT (Maximum Power Point Tracking)	Procura do ponto potência máxima
PV	Módulo Fotovoltaico
Si-a	Silício amorfo
Si-c	Silício cristalino
Si-pc	Silício policristalino
STC (Standard Test Conditions)	Condições teste (1000W/m ² , 25oC)

Lista de símbolos:

P	Potência
I	Corrente
U	Tensão
Wp	Watt-Pico
G	Radiação solar incidente
T	Temperatura
η	Rendimento
R _s	Resistência série
R _{sh}	Resistência shunt
V _{oc}	Tensão circuito aberto
I _{sc}	Corrente curto-circuito

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo visa a apresentação da temática abordada, definir os principais objetivos da dissertação e apresentar a motivação inerente à sua realização. Na parte final deste capítulo apresenta-se, também, uma breve descrição sobre a estrutura deste documento.

1.1 - Enquadramento

Nas zonas rurais de Países em vias de desenvolvimento, o paradigma de necessidades versus existências é efetivamente novo, pois as distancias envolvidas, a precariedade para pagamentos dos créditos de consumo e a inexistência de rede elétrica, são fatores que se sobrepõem a tudo o que para nós é atualmente, normalidade.

A eletrificação rural visa criar condições de melhoria na qualidade de vida das populações, a baixo custo e com a certeza de que não haverá retorno a curto nem a médio prazo, mas que essas condições farão toda a diferença no desenvolvimento das Populações.

O que este projeto pretende criar é um conjunto de modelos agregados de várias soluções avulso, de forma a que a solução final seja efetivamente inovadora, acrescente valor e resolva estas pequenas situações das Populações, pois por pouco que seja é para estes muito o seu significado na melhoria da sua qualidade de vida.

O que se pretende é que, conhecendo as necessidades, conhecendo o que o mercado faculta em termos técnicos, desenhar soluções concretas enquadráveis nas expectativas das Populações e que cumpram os requisitos de baixo custo de aquisição e operação (reduzida manutenção dos sistemas), mas que funcionem e melhorem realmente a vida das Populações.

Resumindo, ser inovador, saber ler os produtos e equipamentos existentes de forma avulsa e as suas capacidades, desenhar soluções integradas que visem um “Produto” de valor acrescido resolvendo os problemas desta Ruralidade cumprindo claramente os objetivos da Dissertação.

1.2 - Objetivos

Sistema tecnicamente equilibrado que garanta:

- Custo reduzido;
- Eficiência;
- Longevidade;
- Baixa Manutenção.

Os focos para intervenção e colocação destes sistemas são, evidentemente, os espaços mais importantes e centrais para estas Populações Rurais, basicamente as Escolas, os Centros de Saúde e as Habitações, que de seguida se explica de forma mais concisa quais os objetivos de base.

1.2.1 - Eletrificação de Escolas

O Sistema contempla a eletrificação de 3 salas de aula, 1 bloco administrativo com TV/DVD e a interligação entre dois edifícios, sendo que a carga média de consumo diário espectável é de 2.360 Wh/dia em corrente alternada AC a 230V.

O sistema será também capaz de fornecer energia para 1 computador, carregamento de telemóveis dos funcionários e alimentar uma TV/DVD numa das salas de aula.

1.2.2 - Eletrificação de Habitações

O Sistema contempla a eletrificação de residências de funcionários sendo que a carga média de consumo diário espectável é de 2.000 Wh/dia em corrente alternada AC a 230V.

O sistema será também capaz de fornecer energia para pequenos equipamentos domésticos e carregamento de telemóveis dos funcionários.

1.2.3 - Eletrificação de centros de saúde

O Sistema contempla a eletrificação de um centro de saúde e a interligação entre dois edifícios até 30m, sendo que a carga média de consumo diário espectável é de 2.200 Wh/dia em corrente alternada AC a 230V.

O sistema será também capaz de fornecer energia para pequenos equipamentos médicos, carregamento de telemóveis dos funcionários e para o rádio de alta frequência (HF)

1.3 - Motivação

Nos últimos anos é notório o crescimento exponencial do papel das energias renováveis na produção de energia elétrica, a evolução expressiva do sector fotovoltaico permite por si só uma motivação para a abordagem do mundo da energia verde e amiga do ambiente. Os incentivos governamentais que têm aparecido ao longo dos últimos anos um pouco por todo o

mundo, aceleraram o desenvolvimento da indústria, com o intuito de reduzir as emissões de carbono para a atmosfera.

A paixão pessoal pelo continente Africano e as condições precárias que se assiste em muitos países por esse continente fora, despertaram a motivação de produzir algo eficaz, robusto, capaz de trazer valor acrescido para as populações que vivem sem energia elétrica. Atualmente Moçambique tem em concurso projetos de eletrificação remota de centenas de aldeias que vivem sem energia elétrica. O governo Moçambicano propõe que se desenvolva soluções de baixo custo, com recurso a energia solar, capazes de melhorar a qualidade de vida dos seus povos.[10]

Em busca deste desafio, a empresa Eurico Ferreira S.A detida a 100% pelo Grupo PROEF S.G.P.S., aceitou a minha proposta de trabalhar em conjunto com os seus colaboradores, por forma a desenvolver soluções viáveis tendo em conta os requisitos exigidos pelo governo Moçambicano.

1.4 - Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é constituída, para além deste Capítulo Introdução, por mais 7 Capítulos. No segundo Capítulo são abordadas questões relevantes para uma compreensão clara da tecnologia fotovoltaica, como a radiação solar, construção de células fotovoltaicas e material empregue, bem como as associações possíveis de realizar entre os módulos e o modelo real de uma célula fotovoltaica. No terceiro Capítulo são apresentadas as baterias solares e os reguladores de carga, destacando aspetos relevantes, como a sua constituição e características principais. No quarto capítulo são apresentados os inversores DC/AC, destacando o seu princípio de funcionamento e a sua importância num sistema fotovoltaico. O quinto capítulo ilustra como se dimensiona um sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica passo a passo. O sexto capítulo, mais extenso desta dissertação, apresenta a solução desenvolvida para cada edifício acompanhada de um dimensionamento justificado passo a passo. Finalmente o sétimo capítulo apresenta as conclusões referentes à elaboração desta dissertação.

Capítulo 2

Sistemas Fotovoltaicos

No presente capítulo é realizada uma descrição ao nível da estrutura e materiais que constituem as células fotovoltaicas disponíveis no mercado, o seu princípio de funcionamento e configurações possíveis. Embora extenso, é de extrema importância para uma boa compreensão dos capítulos seguintes.

2.1 - Informação Elementar

2.1.1 - Composição

É de extrema relevância compreender as diferenças entre as várias configurações abordadas ao longo deste capítulo.

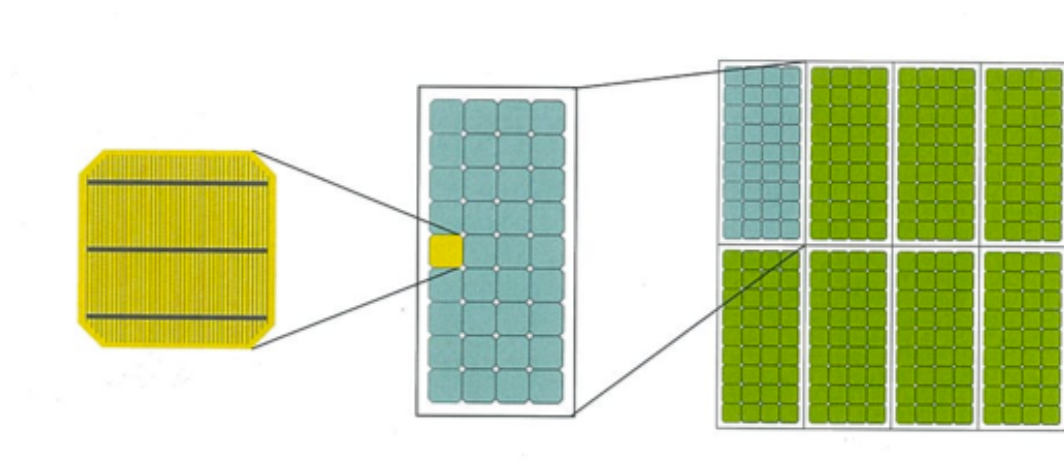


Figura 2.1 - Hierarquia Fotovoltaica.

A figura 2.1 ilustra as várias nomenclaturas, ilustrando a célula fotovoltaica, o módulo fotovoltaico e por fim um painel. É nas células que ocorre o efeito fotovoltaico e compreende-se por módulo um conjunto de células ligadas em série ou paralelo. Os painéis fotovoltaicos reúne dois ou mais módulos fotovoltaicos com ligações em série ou paralelo. Por fim, um sistema de painéis entende-se pela ligação em série ou paralelo de vários painéis, em série ou paralelo, a um inversor de sinal.

2.1.2 - Silício

No mercado fotovoltaico a matéria-prima mais utilizada no fabrico de painéis fotovoltaicos é o silício. Note-se que é o segundo elemento mais abundante na terra. Por isto, é de extrema importância compreender o processo de fabrico, desde a matéria-prima ao produto final.

O esquema seguinte ilustra o processo, de forma sucinta, dos dois tipos de estruturas de silício mais utilizados nesta área, monocristalino e policristalino.

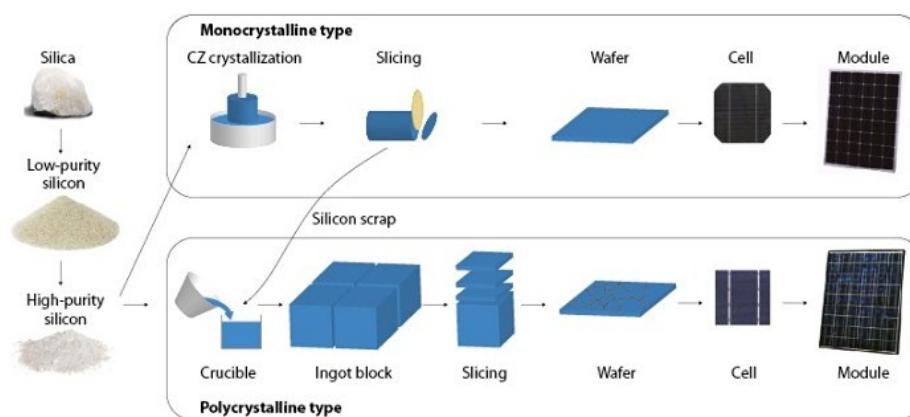


Figura 2.2 - Fabrico de Silício[4]

As células fotovoltaicas de silício são as mais populares no mercado por oferecerem a conversão de energia mais eficiente. No entanto, os rendimentos são considerados baixos, rondando os 16-18% nos substratos monocristalinos e 15-17% nos policristalinos. As células solares são assembladas em módulos através de laminação e soldadura no vidro frontal do painel. A eficiência de conversão de energia é reduzida em cerca de 2% quando comparada com o rendimento individual de cada célula.[18]

O silício, à temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido. Na forma cristalina apresenta a desvantagem de ser muito duro e pouco solúvel, apresentando um brilho metálico que transmite mais de 95% do comprimento de onda das radiações infravermelhas. [18].

O silício na sua forma monocristalina possui uma estrutura cristalina homogénea ao longo de todo o material, ou seja, uma orientação e propriedades elétricas uniformemente distribuídas. Este elemento é altamente dopado com boro ou fósforo, por forma a criar silício do tipo-P ou tipo-N respetivamente. Este tipo de material é produzido na forma de “Wafers” de silício através do processo de crescimento “Czochralski”. O silício policristalino é formado por pequenos grãos que conferem uma orientação cristalográfica variada. O silício policristalino apresenta a vantagem de ser facilmente sintetizado, bastando para tal o arrefecimento numa forma cristalina adequada do silício fundido. Existem, porém, outras técnicas de cristalização do silício, como por exemplo a decomposição química a alta temperatura.[30].

2.2 - Tipos de Células Fotovoltaicas

2.2.1 - Silício Cristalino

O silício, como já referido, é matéria-prima mais utilizada no fabrico de células fotovoltaicas, estes podem ser constituídos por cristais monocristalinos ou policristalinos.

2.2.1.1 - Silício Monocristalino

As células de silício monocristalino constroem-se a partir de barras de silício monocristalino sendo serradas em bolachas (“Wafers”) com espessuras entre 0,4mm e 0,5mm. Estas barras de silício são obtidas através de extração do cristal de dióxido de silício, sendo, posteriormente utilizados fornos especiais para se desoxidar o material. A rede cristalina obtida é de reduzidas imperfeições e impurezas.[1].

O processo de cristalização é complexo e caro. O processo mais utilizado é o “Czochralski”, que consiste em fundir os lingotes de silício policristalinos pelo método de indução eletromagnética, sofrendo posteriormente um arrefecimento lento para conferir uma homogeneização do cristal.[1]

2.2.1.2 - Silício Policristalino

O processo de fabrico deste tipo de células é menos crítico comparando com as células monocristalinos.[2]

As células são produzidas a partir de lingotes de silício obtidos por fusão de bocados de silício puro com moldes especiais, arrefecendo lentamente. Ao longo deste processo, os átomos organizam-se em cristais, formando uma estrutura cristalina com espaços entre os cristais, ou seja, ao contrário do que acontece nas células monocristalinas, formam-se vários cristais em vez de um único cristal. Com isto, o rendimento é afetado, sofrendo uma redução na ordem dos 2% a 3%. Os lingotes são posteriormente cortados em finas bolachas (“Wafers”), para constituírem as células fotovoltaicas. O facto de haver menor controlo e rigor no fabrico

deste tipo de células, além da perda de rendimento, as células fotovoltaicas quando expostas a radiação difusa e elevadas temperaturas, sofrem uma perda abrupta de eficiência.[30]

2.2.2 - Filme Fino

2.2.2.1 - Silício Amorfo

As células de silício amorfo têm um custo de produção ainda mais reduzido que as células policristalinas. Com este tipo de material não é possível obter uma estrutura ordenada de átomos. Um semicondutor de amorfo formado unicamente por átomos de silício possui muitas ligações compensadas que dão origem a centros de recombinação de eletrões, tornando o material inadequado para aplicação em células fotovoltaicas. Contudo, através da adição de átomos de hidrogénio, permite que parte dessas ligações fiquem compensadas dotando o material de propriedades electroópticas mais interessantes, passando a ter uma designação de silício amorfo hidrogenado. A utilização de silício amorfo para uso de células fotovoltaicas tem relevado grandes vantagens tanto em propriedades elétricas como em processo de fabrico. A absorção de radiação solar encontra-se na faixa visível e pode ser fabricado mediante a decomposição de diversos tipos de substratos.[2]

As células obtêm-se pela decomposição de finas capas de plasma de silício microcristalino sobre vidro, plásticos e outros materiais. O silício amorfo oferece um rendimento mais baixo que as células policristalinas, mas em contrapartida, obtêm-se uma estabilidade elevada face à temperatura. Para temperaturas elevadas é o que menos varia a eficiência. Por fim, este tipo de células fotovoltaicas sofre de um processo de degradação, denominado LID (Light Induced Degradation), nos primeiros meses de operação. Este fenómeno ocorre devido às elevadas tensões de operação. [4]

2.2.3 - Células de CdTe

Fruto de investigação e evolução tecnológica, o Telúrio e o Cádmiu foram introduzidos no fabrico de células fotovoltaicas, com resultados promissores na redução de custos quando produzidos em massa.[21]

A eficiência é a ainda reduzida, tendo sido obtidos rendimentos de 16% em laboratório, mas na realidade o valor para células comercializadas em mercado não ultrapassa os 8%. A utilização de células de CdTe têm levantado questões relativas à saúde pública devido à utilização de produtos contaminantes e venenosos no seu fabrico. A estrutura destas células é homogênea, permitindo a alta absorção de luz, funcionando bem com radiação difusa.[1]

2.2.3.1 - Células de CIS (CuInSe₂)

Este tipo de células tem por base o Disseleneto de Cobre-Índio. Atualmente são as células mais eficientes da categoria película fina, onde se encontram as células de silício de amorfo, CdTe e CIGS. São menos susceptíveis à deterioração por indução de luz, em contrapartida quando sujeitas a ambientes húmidos e elevadas temperaturas apresentam alguns problemas. Por forma a evitar problemas de abaixamento de rendimento devido à presença de humidade, os fabricantes aplicam selantes mais eficientes. O rendimento das células de disseleneto de cobre-índio é semelhante com as de silício de amorfo (7%-9%) tendo um custo de fabrico mais reduzido.[1]

2.3 - Comparação de Rendimentos

A tabela 2.1 sintetiza os rendimentos de cada tipo de materiais obtidos em laboratório e nas células de produção industrial.

Tabela 2.1 – Síntese de Rendimentos

Material Utilizado	Laboratório	Produção Industrial
Silício Monocristalino	25 %	13-14 %
Silício Policristalino	21 %	11-14 %
Silício Amorfo	15 %	7 %
Telureto de Cádmio (CdTe)	18 %	7 %
Disseleneto de Cobre-Índio	16 %	7 %

2.4 - Constituição dos Módulos Fotovoltaicos

As células fotovoltaicas raramente são utilizadas individualmente. Células com características semelhantes são ligadas entre si, criando então, módulos fotovoltaicos.[2]

A tensão máxima obtida por uma única célula é cerca de 600mV, por isso, através da associação em série é possível atingir valores desejados. Normalmente são utilizadas séries de 36 células para se obter uma tensão nominal de alimentação de 12V.[2]

Durante o pico solar ($100\text{mW}/\text{cm}^2$), a corrente máxima obtida é aproximadamente $30\text{mA}/\text{cm}^2$. Por forma a obter uma corrente maior, são realizadas associações em paralelo.

A figura 2.3 ilustra uma ligação típica de células fotovoltaicas.[2]

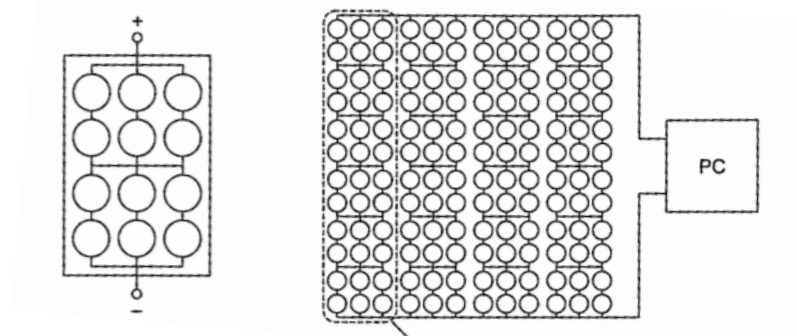


Figura 2.3 - Associação típica de células fotovoltaicas[2]

A utilização de painéis solares é fortemente aplicada em ambientes hostis e remotos, onde o fornecimento de energia através de uma rede elétrica ou geradores dependentes de combustíveis não é viável. Tal facto deve-se ao elevado tempo de vida, cerca de 25 anos, que os painéis solares oferecem aliado uma manutenção reduzida. O empacotamento é o fator que mais afeta o tempo de vida de um módulo solar. [2] A figura 2.4 ilustra a estrutura típica de um módulo fotovoltaico.

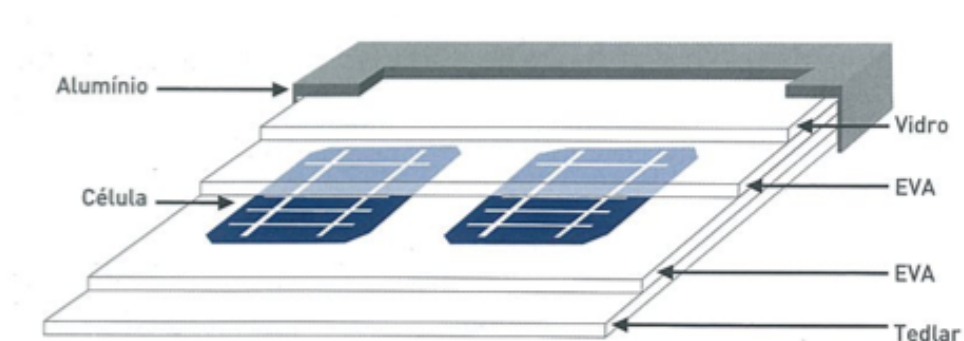


Figura 2.4 - Composição de um módulo fotovoltaico.[1]

A célula fotovoltaica é constituída por uma junção P-N, sendo esta a parte mais importante de uma célula. Esta consiste na junção de duas camadas, uma camada N de silício dopado com Fósforo, onde existe um excesso de eletrões periféricos, com uma camada P de silício dopado com Boro, onde existe um défice de eletrões. Com isto, ocorre uma diferença de potencial entre estas duas camadas, ou seja, os eletrões da camada N ao receberem energia dos fotões da luz saltam a barreira de potencial, criando assim uma corrente contínua. São captados através de contactos existentes no topo do módulo, denominado emissor, circulando até se recombinar na parte inferior, denominado por base, por contactos aí colocados. Este fenómeno é caracterizado por “efeito fotovoltaico”, sendo a base de todo o processo.[38]

Na construção dos módulos, estes devem ser dotados de meios que lhe permitam resistir às condições ambientais adversas em que irão ser instalados. Como pode ser observado na figura 2.4 existem outros componentes importantes para a proteção do equipamento contra elevadas temperaturas, humidade, raios UV e intempéries. Estas proteções são asseguradas pela instalação de um vidro temperado de alta transparência, pelo encapsulante da célula (EVA) e pela camada colocada na base. Para ajudar na reflexão de luz é utilizada uma camada de cor branca que é instalada através de laminação. A introdução deste tipo de componentes são essencialmente para aumentar a eficiência e durabilidade do material.[1]

2.5 - Características dos Módulos Fotovoltaicos

Os fabricantes de painéis fotovoltaicos fornecem uma ficha técnica dos variados tipos de equipamento que comercializam, a tabela 2.2 resume as características elétricas mais importantes para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 2.2 – Chapa de Características Típicas

Parâmetros Eléctricos	Símbolo	Unidades
Potência Nominal	P_n	W_p
Tolerância de Potência	ΔP	%
Potência Mínima	P_{min}	W_p
Corrente Nominal	I_{MPP}	A
Tensão Nominal	U_{MPP}	V
Corrente Curto-Circuito	I_{cc}	A
Tensão Circuito-Aberto	U_{OC}	V
Tensão max. Admissível	M_{max}	V
Rendimento	η	%

Um dos fatores decisivos na escolha do tipo de painéis fotovoltaicos é a eficiência energética, no entanto terá que se ter em conta a área necessária por kWp. A tabela 2.3 ilustra a área necessária para cada tipo de painel para o mesmo patamar de potência.

Tabela 2.3 — Áreas dos módulos Fotovoltaicos

Tipos de Células	Área m^2/kWp
Silício Mono Cristalino	7-9 m^2
Silício Policristalino	8-11 m^2
Disseleneto de Cobre-Índio	11-13 m^2
Telureto de Cádmio (CdTe)	14-18 m^2
Silício Amorfo	16-20 m^2

Note-se que, por exemplo, as células de silício de amorfo têm um custo de aquisição bastante reduzido face às restantes células, mas como contrapartida necessitam de uma área bastante superior para o mesmo nível de potência, o que implica um custo maior com fundições, ou seja, as empresas do ramo apostam em soluções de células mais caras obtendo um custo final de obra mais barato justamente devido ao custo das fundições.

2.6 - Configurações

Os módulos fotovoltaicos, como já referido, podem ser associados em série e paralelo, com isto consegue-se manipular a tensão e intensidade de corrente de saída do painel.

2.6.1 - Associação de módulos fotovoltaicos em série

A associação em série permite obter tensões superiores, mantendo inalterada a corrente estipulada do módulo. A figura 2.5 ilustra a associação em série de n módulos fotovoltaicos.[1]

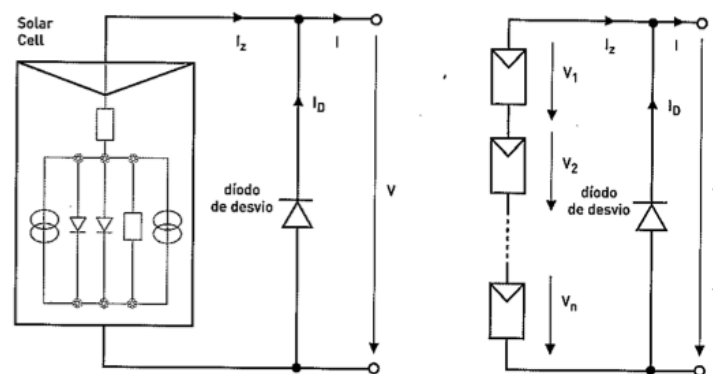


Figura 2.5 - Associação de módulos fotovoltaicos em série.[2]

Como se observa teremos:

$$U_T = U_1 + U_2 \dots + U_n = n * U \quad e \quad I_T = I_1 = I_2 = I_N \quad (2.1)$$

Deve ter-se em conta que não deve ser ultrapassada a tensão máxima de associação que é normalmente indicada pelo fabricante.

Os diodos de desvio (by-pass), são colocados para prever eventuais avarias nos módulos evitando que os sistemas bloqueiem.[22]

2.6.2 - Associação de módulos fotovoltaicos em paralelo

Com a associação em paralelo é possível obter correntes superiores, mantendo a tensão estipulada do módulo. A figura 2.6 ilustra a associação em paralelo de n módulos.

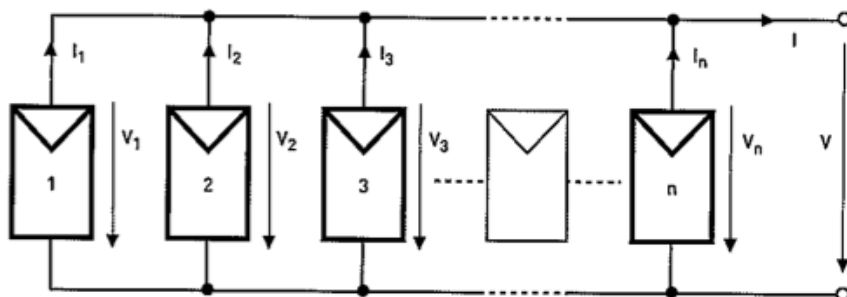


Figura 2.6 - Associação de módulos em paralelo.[2]

Neste caso teremos:

$$U_T = U_1 = U_2 = U_n = U \quad e \quad I_T = I_1 + I_2 + \dots + I_N = n * I \quad (2.2)$$

2.6.3 - Associação mista de módulos fotovoltaicos

Este tipo de associação permite obter características elétricas variadas, dependendo do nº de associações série/paralelo, ou seja, é possível manipular simultaneamente o valor da tensão e corrente, por forma a atingir o patamar de potência desejado. A potência elétrica de um sistema de módulos fotovoltaicos é obtida através da expressão (2.3).

$$P = V * I \text{ (W)} \quad (2.3)$$

2.7 - Ligação à Terra

Os sistemas fotovoltaicos usualmente constituem um sistema do tipo DC IT, o que significa que nenhuns dos polos (positivo/negativo) estão ligados à terra, ou seja, representam um sistema dotado de potencial flutuante. Os inversores estão equipados com medidor de resistência à terra, que monitoriza todo o sistema para baixas resistências de terra causadas pela degradação de isolamento, com isto, garante-se uma segurança aos operadores. Neste contexto, ao ligar um dos polos à terra, altera-se o tipo de sistema passando este a ser considerado terra isolada. [16]

2.7.1 - Ligação do Pólo negativo à terra

Ao ligar o pólo negativo à terra, os cabos DC são interligados através de díodos com a entrada DC do inversor. Este cabo DC é ligado ao ponto de terra através de um fusível de alta resistência e um seccionador DC. Ao ligar um condutor ativo a monitorização de isolamento e de contacto à terra deixa de funcionar de modo normal. Por isto, o sistema passa a ser monitorizado através da corrente entre o pólo negativo e a terra, caso a corrente ultrapasse valores aceitáveis, o seccionador abre. O controlo do seccionador é assegurado pelo inversor, por isso é de extrema importância que a ligação entre os módulos e a terra do inversor seja a melhor. Em condições adversas de aterramento ou elevada humidade, é natural que a resistência de terra seja elevada, por isso a corrente passível de circular terá que tomar valores baixos. Aquando da abertura do seccionador a ligação à terra entre o pólo negativo e a terra é interrompida, sendo a resistência à terra do inversor, considerada a terra de serviço.

2.7.2 - Ligação do Pólo Positivo à terra

Esta topologia é normalmente utilizada em células dotadas de contactos únicos na base. O princípio de funcionamento e considerações a ter são as mesmas descritas no ponto anterior. Note-se, que ao utilizar esta topologia a referência de potencial é positiva, pelo que se irá obter tensões negativas.[16]

2.8 - Díodos de Fileira

Para prevenir possíveis avarias nas associações de módulos fotovoltaicos em série, utilizam-se díodos de desvio (by-pass) em paralelo para o desvio da corrente produzida pelos outros módulos, colocando fora de serviço apenas o módulo defeituoso. Nas caixas de ligações dos módulos, é prática comum por parte dos fabricantes, existirem díodos de passagem.[1]

De forma análoga, nas associações paralelo são utilizados díodos de fileira para evitar curto-circuitos e correntes inversas entre fileiras em caso de avaria ou o aparecimento de potenciais diferentes nas fileiras.[1]

A norma CEI 60364-7-712 i, secção 712.512.1.1, indica que a tensão inversa dos díodos de fileira deve ser o dobro da tensão de circuito aberto em condições de ensaio segundo a norma ($U_{D\ inv.} \geq 2 * U_{OC\ (CTS)}$), na fileira.[41]

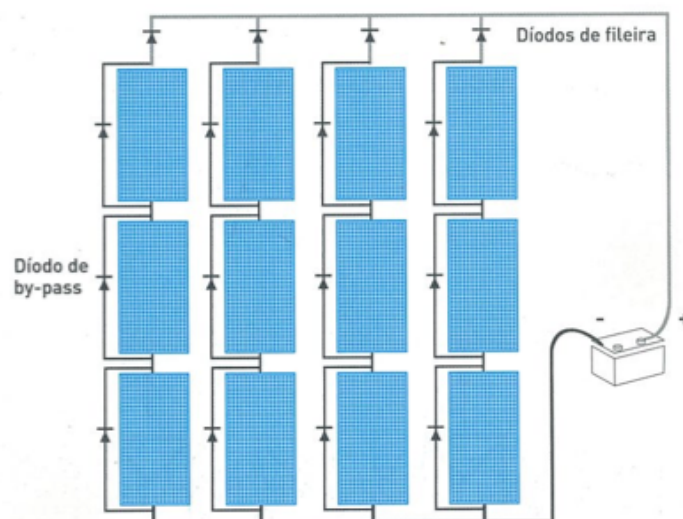


Figura 2.7 - Utilização de diodos de fileira.[1]

Atualmente é usual a não colocação de diodos de fileira quando os módulos são todos do mesmo tipo, sendo colocados fusíveis de proteção nos dois lados da fileira, para proteção contra sobreintensidades. Porém, também estes fusíveis podem ser suprimidos se a corrente admissível nas canalizações for 1,25 vezes superior à corrente de curto-circuito do gerador fotovoltaico ($I_Z \geq 1,25 * I_{CC} (crs)$).

2.9 - Efeito do Sombreamento dos Módulos Fotovoltaicos

O sombreamento nos módulos fotovoltaicos pode ter consequências nefastas quer na eficiência, quer na segurança dos módulos fotovoltaicos.

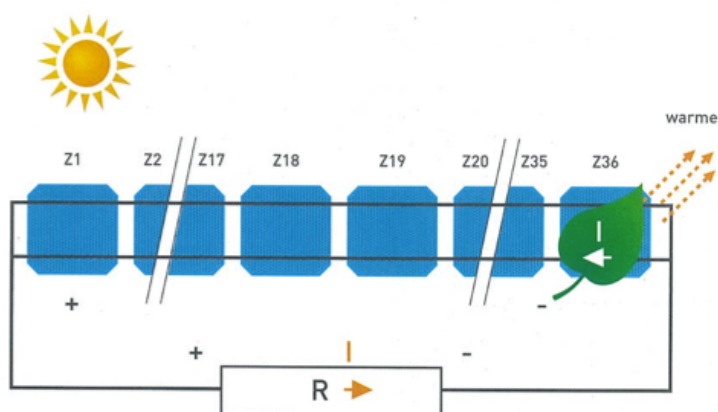


Figura 2.8 - Efeito de sombreamento sem diodo by-pass.[1]

Quando ocorre sombreamento de um módulo, ou mesmo uma célula, a fonte de corrente extingue-se e comporta-se como uma resistência que é atravessada pela corrente produzida pelos outros módulos, ficando sujeito a uma tensão inversa mais ou menos elevada e provocando o aquecimento que eleva a temperatura para valores que nalguns casos destroem o módulo. A introdução de díodos (by-pass) torna-se importante, ou seja, estes vão ser responsáveis por fazer o desvio de correntes, evitando que estas passem pelo módulo sombreado em sentido inverso, mantendo a fileira em produção, embora reduzida. A figura 2.9 ilustra o módulo sombreado com a introdução dos díodos (by-pass).

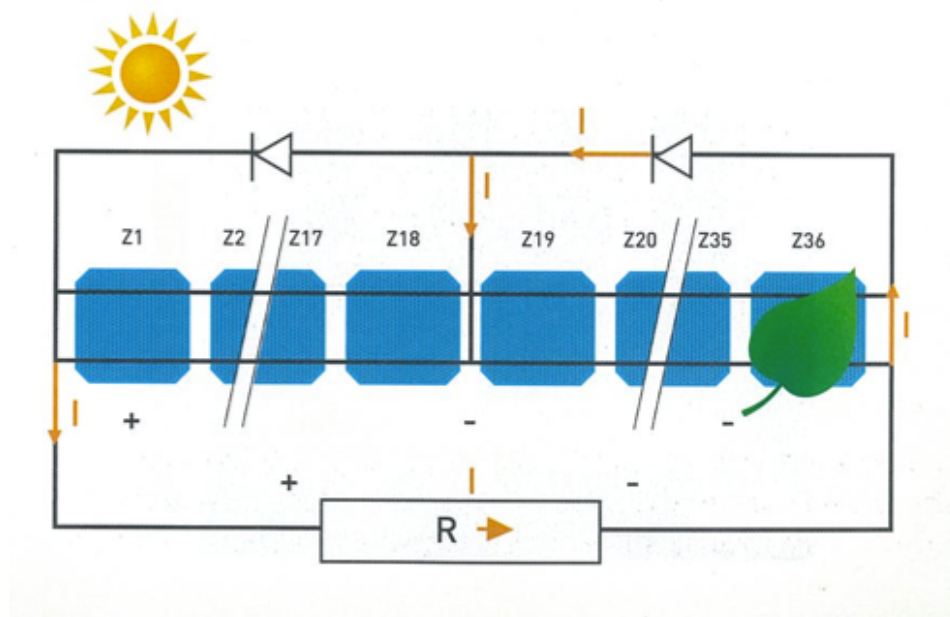


Figura 2.9 - Efeito Sombreamento com diodo by-pass.[1]

2.10 - Análise Teórica

2.10.1 - Espectro Solar

A energia produzida pelo sol transmite-se pelo espaço em forma de onda eletromagnética. Esta radiação é um conjunto contínuo de ondas de diversos comprimentos de onda, dos quais uma pequena parte é visível.[23]

A figura 2.10, ilustra a distribuição da radiação solar terrestre em função do comprimento de onda, da gama de frequências absorvidas de acordo com o material usado nas células e da radiação solar correspondente.

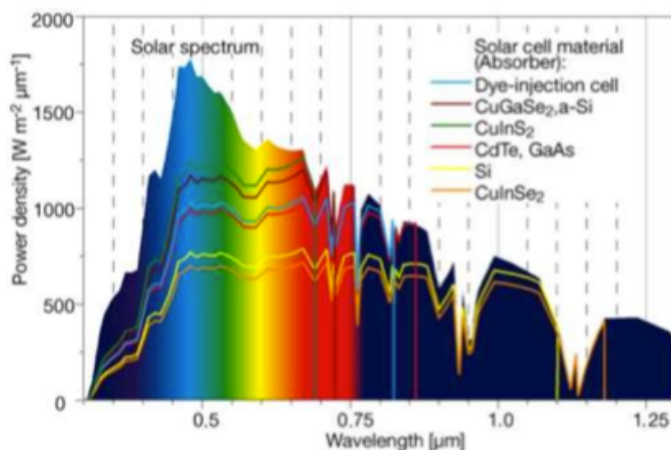


Figura 2.10 - Espectro Solar[23].

Através desta imagem, observa-se a densidade de potência por metro quadrado contida no espectro. A receção solar incidente sobre o recetor pode ser decomposta em três componentes:

- Radiação direta - todos os raios que são rececionados pelo recetor em linha reta com o sol.
- Radiação difusa - luz solar recebida indiretamente, proveniente da ação da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos presentes na atmosfera.
- Radiação albedo - parte da energia recebida sobre a superfície terrestre é reenviada para o espaço sob a forma de energia refletida. As nuvens, as massas de gelo e neve além da própria superfície terrestre são razoáveis refletores, reenviando para o espaço cerca de 30% a 40% da radiação recebida. A razão entre a radiação refletida e a incidente chama-se albedo.

A figura 2.11 ilustra, de forma sintetizada, os vários tipos de radiação solar.

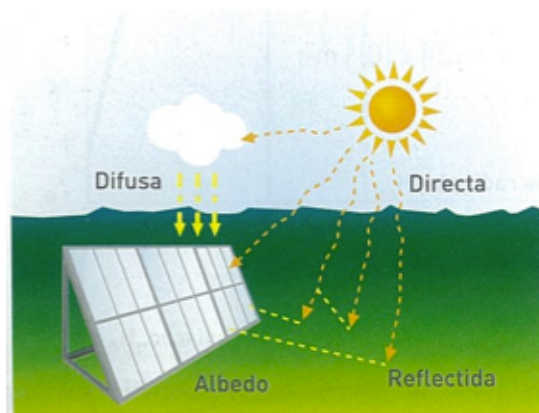


Figura 2.11 - Tipos de radiação.[1]

2.10.2 - Aproveitamento da energia da radiação solar

Muitas formas de energias renováveis dependem da energia emitida pelo sol: a energia hídrica proveniente da água evapora pelo sol e transformada em chuva, os ventos provenientes do aquecimento das massas de ar e da rotação da terra, entre muitas outras.

Existem, portanto, muitas aplicações ou formas de aproveitar a energia da radiação solar. O esquema que se segue ilustra algumas dessas formas.

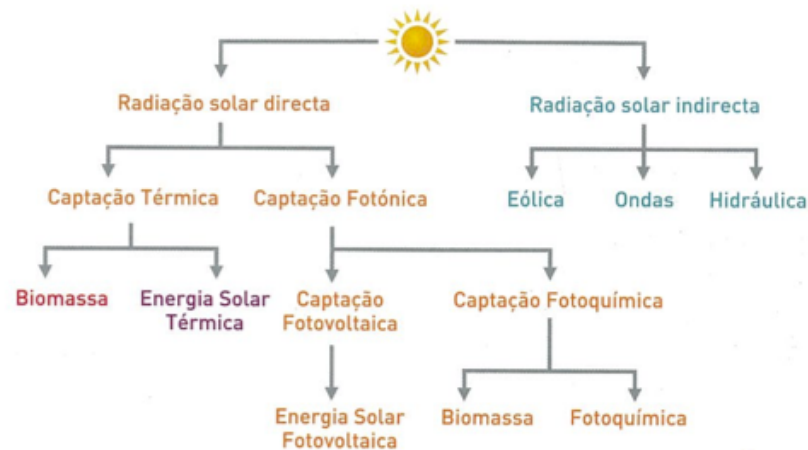


Figura 2.12 - Aproveitamento da energia solar.[1]

Salienta-se o facto de a energia solar pode aproveitar-se sem produzir ruído, poluição e em muitos casos sem partes ou peças em movimento, tornando os sistemas de aproveitamento altamente fiáveis e duradouros.

2.10.3 - Modelo Real de uma célula fotovoltaica

O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica pode ser modelizado através do modelo ilustrado na figura 2.13. As resistências R_s e R_p representam as perdas de tensão e corrente, ocorridas no interior da célula.

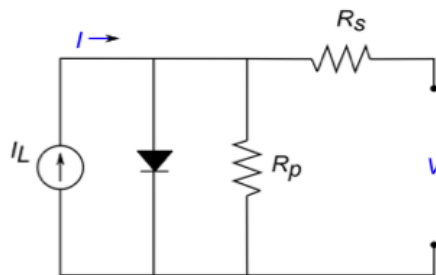


Figura 2.13 - Modelo real de uma célula fotovoltaica.[24]

$$I = I_L - I_d - I_{S_h} \quad (2.5)$$

$$V_J = V + IR_S \quad (2.6)$$

$$I_{SH} = \frac{V_J}{R_{SH}} \quad (2.7)$$

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_S}{R_{SH}} \quad (2.8)$$

onde:

I – Corrente de saída (A);

I_L – Corrente fotovoltaica (A);

I_D – Corrente no díodo (A);

I_{SH} – Corrente no shunt (A);

V_J – Tensão no díodo (V);

V – Tensão de saída (V);

R_S – Resistência série (c);

R_p – Resistência shunt;

q – Carga elementar;

n – Factor de idealidade do díodo (1 para um díodo ideal);

k – Constante de Boltzmann;

T – Temperatura;

Por análise da equação 2.8, conclui-se que a temperatura faz diminuir o crescimento da exponencial, fazendo com que a corrente de saída aumente. Com isto, a corrente fotovoltaica aumenta ligeiramente devido ao aumento energético da temperatura e a tensão em circuito aberto diminui. Contudo, a taxa com que esta tensão varia é altamente dependente do valor inicial da tensão. Para células fotovoltaicas com tensão em circuito aberto elevadas o efeito que a temperatura tem na redução do seu valor é bastante menor, quando comparada com células fotovoltaicas dotadas de tensões em circuito aberto mais baixas.[24]

A resistência em série, R_s , representa a resistência interna da célula, resultante da soma da resistência elétrica da matéria com a resistência dos contactos elétricos. Esta representa as perdas por efeito de Joule. Se a resistência tomar valores elevados, a queda de tensão entre a tensão gerada pela junção P-N e a tensão de saída, vai também tomar valores superiores. No entanto, o valor da corrente de curto-circuito será reduzido, visto que, esta é limitada pelo valor da resistência R_s . Com isto, considera-se que o comportamento de uma célula fotovoltaica assemelha-se ao de uma resistência pura.[4]

A resistência em paralelo (R_p), ou resistência shunt como normalmente é abordada, advém do processo de fabrico e identifica as correntes parasitas que circulam no interior da célula devido a imperfeições do material. Esta resistência tem um papel fundamental no bom funcionamento da célula, visto que se apresentar um valor demasiado baixo, a corrente de saída (I) será fortemente afetado, ocorrendo um abaixamento da tensão em circuito aberto.[4]

2.10.4 - Curva I-V

A curva característica de funcionamento de uma célula fotovoltaica é importante para se definirem as melhores condições de funcionamento dos sistemas de produção fotovoltaica. A potência máxima de um módulo fotovoltaico varia conforme a corrente e tensão aos terminais do módulo e está dependente das condições ambientais. A corrente varia com a variação da radiação solar e a tensão com a temperatura do módulo, ou seja, é naturalmente desejável o funcionamento sempre na máxima potência. Por forma a colocar o módulo fotovoltaico no ponto de operação correspondente à potência máxima, os conversores fotovoltaicos são dotados de um sistema eletrónico designado por potência máxima. Usualmente estes dispositivos são utilizados em sistemas isolados, devido à tensão constante imposta pelas baterias.[34]

O MPP - Maximum Power Point consiste num conversor DC/DC que, de acordo com as condições ambientais de temperatura, radiação e as condições impostas pela bateria (isolado) ou rede, ajusta a tensão de saída do módulo de modo a que o funcionamento se processe no ponto correspondente à potência máxima. A figura 2.14 ilustra a curva característica de um módulo fotovoltaico.[1]

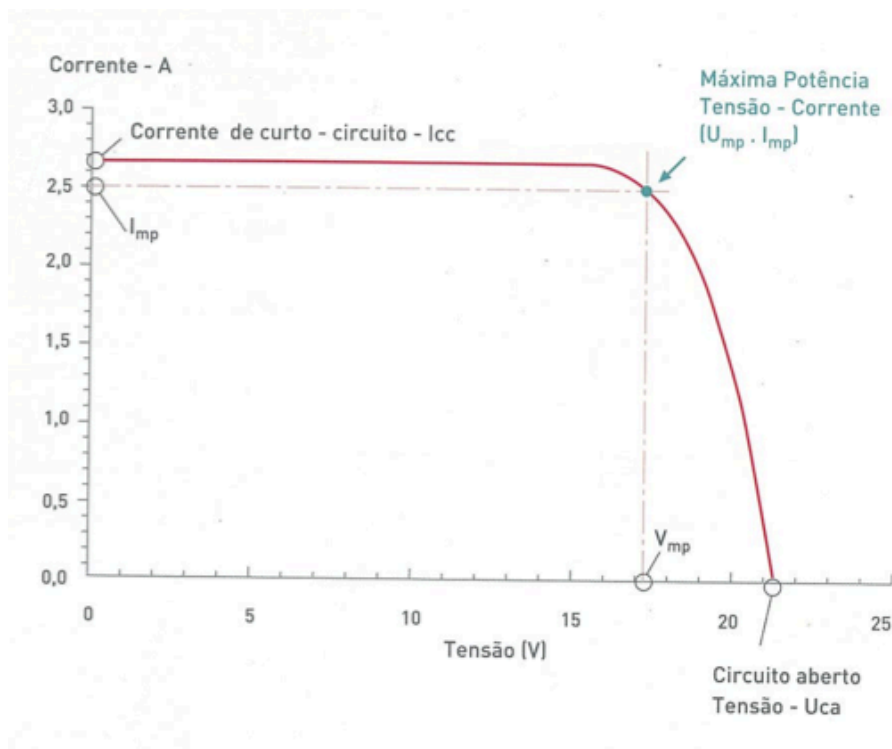


Figura 2.14 - Curva característica I-V

Para uma melhor compreensão a figura que se segue, ilustra várias curvas características de Potência em função da tensão, para vários patamares de potência radiada.

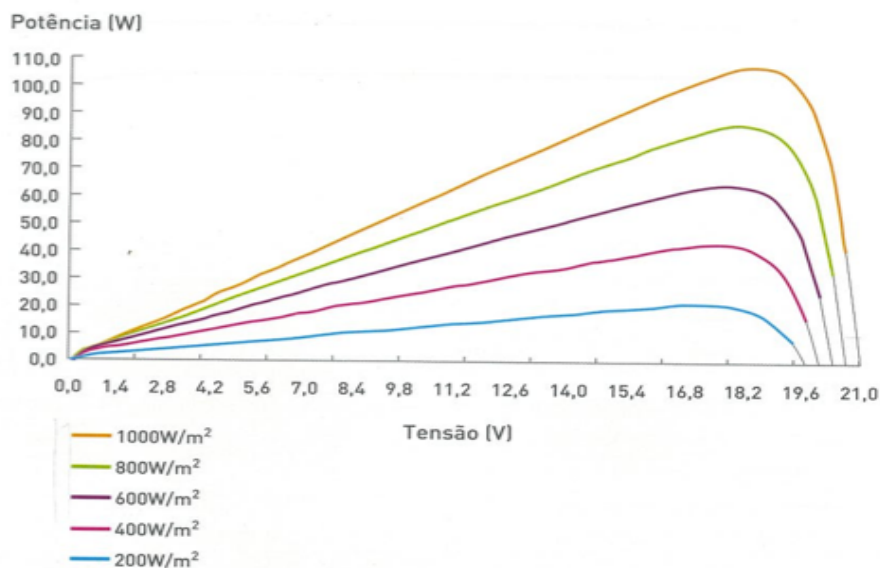


Figura 2.15 - Curvas características W-V, para vários patamares e potência irradiada.[1]

Como se pode observar, o ponto ótimo de funcionamento varia ligeiramente consoante os patamares de potência, tal seria de esperar visto que, a corrente varia com nível de radiação solar.

Os efeitos da temperatura nos módulos fotovoltaicos também se fazem sentir negativamente na eficiência, mais nos módulos mono e policristalinos, embora não sejam tão importantes no caso dos módulos de silício amorfo. Estes, são uma boa solução para climas quentes, embora exijam uma área de implantação superior para a mesma potência. Usualmente as células fotovoltaicas são estudadas nas Condições de Teste Standard (CTS) para a temperatura de 25°C.

O aumento da temperatura mantém a fonte de corrente mas diminui a tensão, diminuindo assim a potência fornecida pelos módulos. A figura 2.16 ilustra as curvas características I-V em função da temperatura.[1]

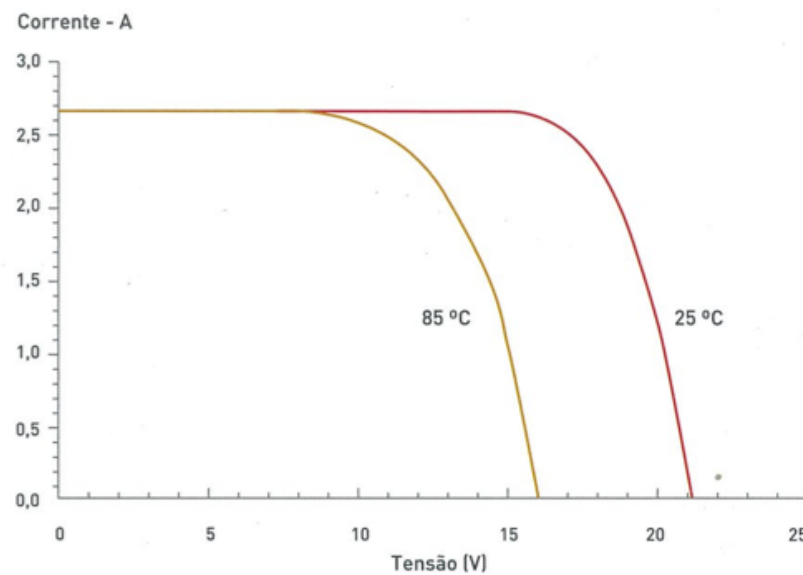


Figura 2.16 - Curva I-V em função da temperatura.[1]

2.10.5 - Rendimento

A eficiência de uma célula fotovoltaica é o cociente entre a energia fornecida pela célula e a radiação solar incidente na célula. A expressão utilizada para o cálculo do rendimento é a seguinte:

$$\eta = \frac{P_{max}}{A \cdot G} (\%) \quad (2.9)$$

Sendo A, a área da célula expressa em m^2 , e o G a radiação solar incidente por unidade de superfície (W/m^2).

Os fatores que mais afetam a eficiência de uma célula fotovoltaica são os seguintes:

- Perdas por reflexão solar;
- Perdas por recombinação;
- Perdas por efeito de joule, pela resistência interna;
- Temperatura;

Capítulo 3

Baterias Solares

As baterias solares, também conhecidas como acumuladores, são hoje muito importantes nos sistemas fotovoltaicos isolados, permitindo o armazenamento de energia elétrica. Ao longo deste capítulo irão ser abordados conceitos importantes para uma boa compreensão da necessidade de baterias solares nos sistemas fotovoltaicos.

3.1 - Constituição e Princípio de Funcionamento

As baterias são classificadas como primárias ou secundárias, isto é, baterias do tipo primárias são as vulgares pilhas, sendo as do tipo secundário baterias acumuladores recarregáveis.

De forma simplificada, um acumulador é constituído externamente por um vaso e internamente por dois elétrodos interligados por um eletrólito constituído por um circuito interno.[1]

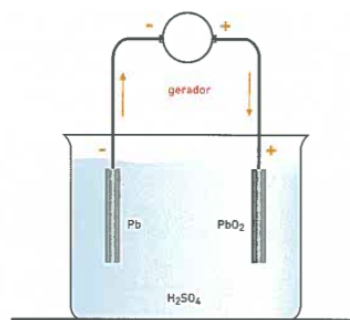


Figura 3.1 - Exemplo de um acumulador Acumulador.[1]

A associação de vários acumuladores em série permite formar uma bateria de acumuladores. Note-se que, os elétrodo podem ser de diversos materiais como cobre, prata, chumbo, zinco, entre outros.[2]

O eletrólito tanto pode ser um ácido como uma base, sendo usualmente utilizado ácidos para este efeito. As baterias de acumuladores fornecem ou armazenam energia elétrica através de reações químicas do tipo oxidação redução que se processam no interior da bateria. Estas reações são reversíveis, ou seja, as reações ocorrem nos dois sentidos. No caso das pilhas a reação só ocorre num sentido e durante a descarga da mesma.[1]

As conversões de energia são do tipo energia elétrica - energia química aquando do processo de carregamento e energia química-energia elétrica durante a descarga da bateria.

As baterias acumuladores quando estão a ser carregadas ocorre um incremento da diferença de potencial aos terminais da bateria, este fenómeno é importante para efeitos de controlo de carga e descarga da bateria.[1]

A corrente elétrica que percorre o circuito externo da bateria é resultante do movimento dos eletrões, por outro lado, a corrente que circula no interior de cada acumulador é resultante da deslocação de iões de um elétrodo para o outro. Durante a fase de descarga, as matérias ativas vão-se esgotando e a reação química abranda até que a abateria deixa de ser capaz de fornecer os elétrodo, ficando descarregada. Invertendo o sentido da corrente elétrica, a reação no interior também se inverte, carregando novamente a bateria.[3]

3.2 - Tipos

Atualmente existem vários tipos de baterias com potencial para serem utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados, como chumbo-ácido, níquel-cádio, recarregáveis manganês-alcalino e iões de lítio. Hoje em dia, as baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados, são as de chumbo-ácido.[2]

Os sistemas fotovoltaicos requerem, às baterias acumuladoras, descarga de pequenos valores de corrente por longos períodos de tempo e são recarregadas sobre condições irregulares. As baterias de ciclos profundos conseguem ir até 80% do seu valor máximo de carga. Nos automóveis, por exemplo, as baterias utilizadas são para ciclos pouco profundos, ou seja, só durante o arranque do motor é que ocorre uma descarga grande passando a bateria a ser carregada de imediato. Baterias deste tipo iriam durar poucos ciclos fotovoltaicos. As baterias de ciclos profundos elevados toleram as condições exigidas pelos sistemas fotovoltaicos com ciclos de vida entre os 3 e os 10 anos.[3]

3.2.1 - Chumbo-Ácido Ventiladas (VLA)

As baterias de chumbo-ácido, também abordada como “baterias abertas” por literatura estrangeira, são as mais comuns. Estas baterias, com princípio de funcionamento semelhante à dos automóveis, usualmente possuem uma tensão de saída de 12V, conseguida através de 6 células individuais de 2V. Necessitam de um controlador de tensão para regular a tensão da bateria.[3]

Quando a bateria atinge o limiar da carga total, o eletrólito que contém água, faz com que o oxigénio seja libertado na placa positiva e o hidrogénio na placa da bateria ($H_2O \Rightarrow 2H + O$). Com isto, é perdida água havendo necessidade de reposição da mesma, periodicamente. Algumas baterias permitem uma recombinação destes gases, reduzindo as perdas de água no eletrólito.[4]

As baterias ventiladas suportam ciclos profundos, se equipadas com o regulador de carga.[1]

3.2.2 - Baterias Chumbo-Ácido Estanques

As baterias estanques, ao contrário das baterias ventiladas, não permitem acesso ao eletrólito. Com isto, permitem a recombinação de gases produzidos durante o seu funcionamento, reduzindo assim as perdas de água. Estas baterias de acumuladores têm uma duração de vida superior e são dotadas de melhores capacidades.[1]

As baterias não são totalmente estanques, possuindo uma válvula que permite o escoamento do excesso de pressão para o exterior em caso de carga a mais. As baterias estanques são consideradas livres de manutenção por não haver necessidade de aceder ao eletrólito.[3]

Existem dois tipos de baterias estanques, usualmente aplicadas em sistemas fotovoltaicos, baterias de gel e baterias AGM (Absorbent Glass Material). As baterias AGM utilizam um separador especial de vidro fibroso, com microfibras de sílica, para suspender o eletrólito e absorver o ácido. Nas baterias de gel o eletrólito é uma mistura de ácido sulfúrico e de sílica bem dispersa para produzir um gel.[2]

A figura que se segue ilustra uma bateria gel do tipo estanque.



Figura 3.2 - Bateria de Gel Estanque.[25]

A grande vantagem das baterias estanques é serem dotadas de proteção contra derrames. Com isto, é possível realizar um transporte seguro das baterias e realizar transporte aéreo, quando comparadas com as baterias normais de chumbo-ácido que necessitam de ser transportadas secas e ativadas no local de chegada pela adição do eletrólito. Outra grande vantagem é a isenção de manutenção, o que resulta na escolha deste tipo de baterias para ambientes remotos onde não há possibilidade de manutenção.[1]

As baterias de gel têm um custo por unidade superior e são especialmente suscetíveis a avaria por sobrecarga, quando comparadas com as baterias húmidas. A duração de vida destas baterias de gel é mais reduzida que as húmidas. É importante referir que grande parte das baterias de gel requerem um carregamento a reduzida tensão e corrente, por forma a prevenir excesso de fuga de gás.[26]

3.3 - Características das Baterias de Acumuladores

A capacidade das baterias são classificadas em Ah, ampere-hora. A capacidade é baseada na quantidade de potencia necessária para alimentar as cargas e a quantidade de energia que é necessária armazenar devido a condições atmosféricas adversas.[3]

Utilizando uma analogia entre água e corrente, pode-se considerar a bateria como um balde, em que a energia armazenada é a água e a capacidade Ah será o tamanho do balde. Assim, o tamanho do balde traduz a capacidade da bateria em Ah.[2]

Se for necessária mais capacidade poderão ser ligadas duas ou mais baterias em paralelo. Por exemplo, duas baterias de 200Ah em paralelo a 12V, são capazes de fornecer 400Ah a 12V. Existe, também, a possibilidade de incrementar a tensão de saída, para tal utiliza-se uma ligação em série das baterias. Seguindo o exemplo anterior, ao ligar em série duas baterias de 200Ah a 12V, o sistema fornece uma tensão de saída de 24V com uma capacidade total de 200Ah.

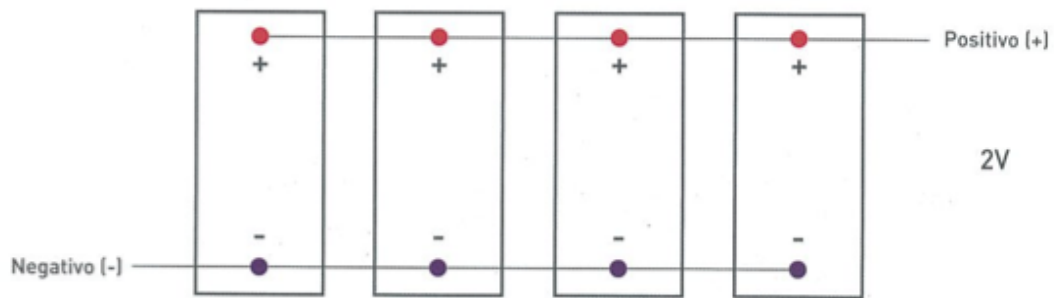


Figura 3.3 - Associação Paralelo de 4 Baterias Acumuladoras.[1]

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \quad (3.1)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (3.2)$$

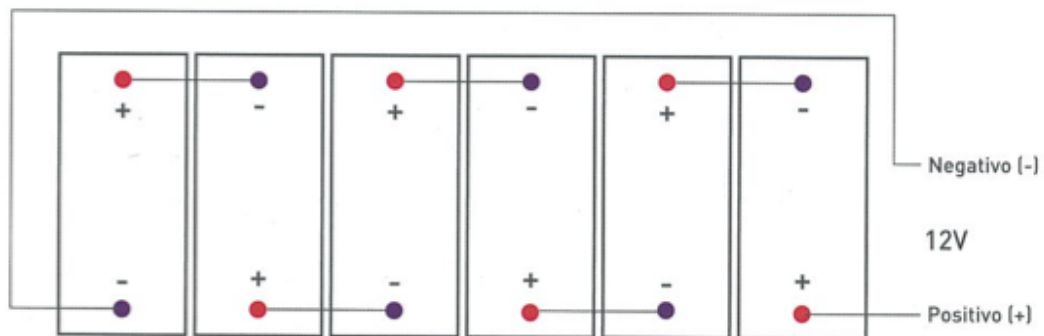


Figura 3.4 - Associação Série de 6 Baterias Acumuladoras.[1]

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (3.3)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (3.4)$$

3.3.1 - Tempo de Descarga

Existem vários fatores que afetam a capacidade de uma bateria, como tempo de descarga, temperatura, idade e características de carregamento.

O tempo de descarga das baterias influencia fortemente a vida útil das mesmas relativamente ao nº de ciclos carga/descarga. Se uma bateria é descarregada rapidamente, menos capacidade haverá disponível, por outro lado, se a bateria for descarregada lentamente terá uma capacidade superior. Por exemplo, uma bateria de 12V poderá ter uma capacidade de 85Ah se for descarregada em 8h, mas a mesma bateria se for descarregada em 72h poderá atingir uma capacidade de 105Ah.[2]

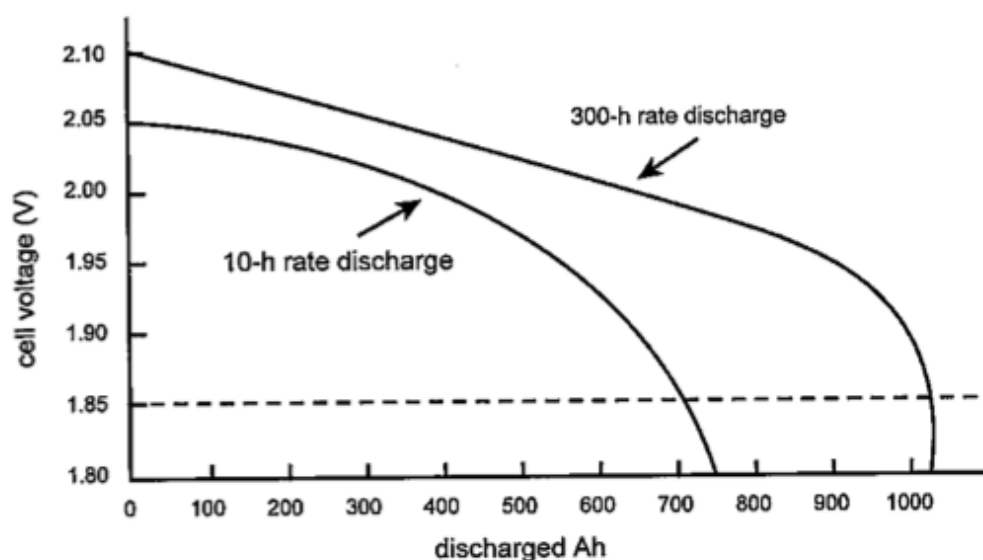


Figura 3.5 - Variação da Capacidade da Bateria em função do tempo de descarga.[2]

As fichas técnicas que os fabricantes de baterias solares fornecem, tipicamente apresentam a capacidade das baterias em função do nº de horas de descargas. Por exemplo, quando uma bateria descarrega ao longo de 20h, o tempo de descarga é apresentada como “@ C20”, se a descarregar ao longo de 10h o tempo será “@ C10”. Desta forma é possível fazer uma escolha correta da bateria.[25]

A tabela que se segue, consolida a interpretação dos conceitos supracitados.

Tabela 3.1 — Capacidade em função do tempo de descarga[1]

Bateria	Capacidade de descarga em Ah				
	10h	8h	5h	3h	1
150Ah @ C10	150Ah	144Ah	129Ah	106Ah	72Ah
	15A x10h	18A X 8h	25,8A X 5h	35,3A X 3h	72A X 1h

A profundidade de descarga (DOD - Depth of Discharge) é o valor máximo, aconselhado pelo fabricante, para a descarga de uma bateria, ou seja, a característica de uma bateria refere a capacidade total mas não a capacidade útil. A capacidade de descarga é limitada a um dado valor normalmente com recurso a um regulador. Tipicamente, em aplicações fotovoltaicas, as baterias estão preparadas para descargas regulares entre os 40% e os 80%. As baterias chumbo-ácido nunca devem ser descarregas por completo, porque a tensão aos terminais irá diminuir continuamente sem voltar a subir.[27]

A tabela 3.2 indica a profundidade de descarga, normalmente utilizada e aconselhada pelos fabricantes para cada tipo de bateria chumbo-ácido.

Tabela 3.2 — Profundidade de Descarga[1]

Tipo de Bateria	Profundidade de descarga
Arranque	60%
Estacionária	40%
Sem Manutenção	50%

Descarregar a bateria em 10% ou 20% tem duas vantagens distintas. Em primeiro lugar, baterias com ciclos de carregamento desta ordem terão uma vida mais longa, por exemplo, uma bateria com ciclos de carga/descarga de 10% durará 5 vezes mais que uma bateria com ciclos de 50%. A segunda vantagem é o facto de existir uma reserva de capacidade superior para o sistema, durante dias nublados.[2]

3.3.2 - Tempo de Vida

Usualmente, em censo comum, classificam-se o tempo de vida das baterias em função dos anos. Os fabricantes, por outro lado, especificam o tempo de vida das baterias em função do nº de ciclos que estas suportam. As baterias perdem capacidade ao longo do tempo e sendo considerado o fim do ciclo de vida após haver uma perda de capacidade de 20% face à capacidade inicial, no entanto a sua utilização é possível, pelo que pode ser considerada aquando do dimensionamento do sistema. A profundidade de descarga também se refere à percentagem nominal da bateria, em Ah, que é utilizada.[27] O nº de ciclos (vida útil da bateria) em função da profundidade de descarga é ilustrada na figura 3.4.

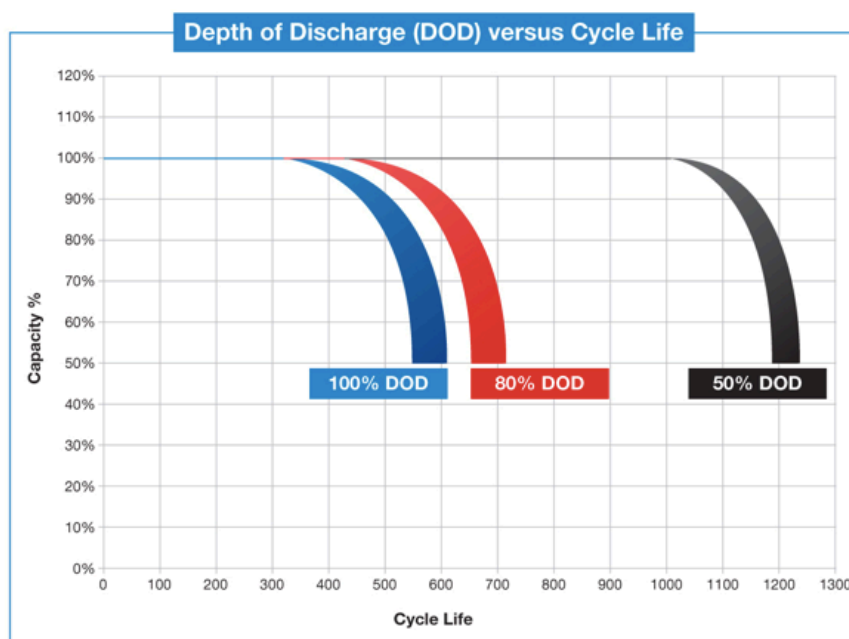


Figura 3.6 - Capacidade da Bateria em função do número de Ciclos.[28]

Por exemplo, uma bateria que tenha uma profundidade de descarga contínua de 30% é espectável que tenha um ciclo de vida superior a 1200 ciclos, por outro lado, a mesma bateria se tiver uma profundidade de descarga contínua de 100% é espectável que tenha um ciclo de vida de 600 ciclos. Note-se que, quanto maior for a profundidade de descarga, além da redução de vida útil, existe uma perda drástica de capacidade da bateria.

3.3.3 - Condições Ambientais

As baterias são muito sensíveis às condições ambientais, particularmente à temperatura a que são submetidas. Os fabricantes apresentam os valores nominais das baterias a temperaturas de 25°C, a capacidade da bateria desce se a temperatura for inferior a 25°C, caso a temperatura for superior a esta, a capacidade da bateria sobe. A figura 3.5 ilustra o efeito da temperatura na capacidade das baterias.[3]

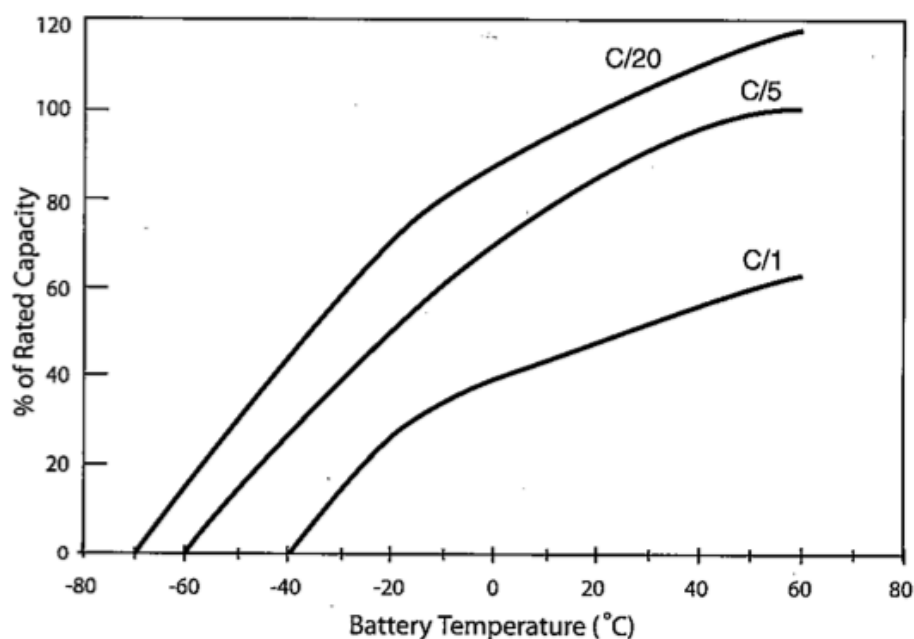


Figura 3.7 - Variação da Capacidade da Bateria em Função da temperatura.[3]

Por análise da figura 3.5, verifica-se que a capacidade da bateria é fortemente reduzida quando ultrapassa a barreira dos 0°, por outro lado, o nº de ciclos (vida útil da bateria) aumenta com a diminuição da temperatura. Em contraste, o aumento da temperatura diminui o nº de ciclos que esta será capaz de realizar, mas a sua capacidade é aumentada. Note-se que, a temperatura de funcionamento recomendada pelos fabricantes e para a qual são definidos tempo de vida útil e capacidade, é 25°C. Estes, ainda afirmam que, existe uma perda de vida de cerca de 50%, a cada 10° acima da temperatura normal de funcionamento.[2]

A temperaturas muito baixas existe a possibilidade de o eletrólito congelar, a temperatura a que tal pode acontecer depende do regime de funcionamento da bateria. Quando um eletrólito está completamente descarregado, a sua constituição principal é a água, que congela com temperaturas abaixo de 0°C. Por outro lado, quando a bateria está completamente carregada a constituição do eletrólito é principalmente ácido sulfúrico, que congele a temperaturas inferiores à da água. Por forma a manter a temperatura constante recorre-se a caixas isolantes ou baterias seladas, onde não existe risco de congelamento.[3]

As baterias de chumbo-ácido, apesar de todas as questões derivadas da temperatura, devem recorrer a caixas isolantes ou mesmo ser do tipo seladas, visto que o eletrólito produz hidrogénio explosivo no estado gasoso, pelo que as baterias devem estar instaladas em zonas com boa ventilação, natural ou forçada, e com distâncias de segurança de outros sistemas Eléctricos.[1]

3.4 - Reguladores de Carga

Os reguladores de carga são responsáveis pelo controlo de carga da bateria através da análise da tensão aos terminais da mesma e interrompem o fornecimento de energia às cargas quando é atingida a profundidade máxima da bateria. Quando a bateria atinge a carga máxima o fornecimento também é interrompido.[4]

O perfeito funcionamento das baterias acumuladores ao longo do seu ciclo de vida útil requer que os reguladores de carga operem de forma flexível e sejam dotados de um correto dimensionamento. Isto porque, os reguladores de carga permitem o aumento do ciclo de vida das baterias.[29]

As principais tarefas do regulador de carga consistem nos seguintes aspetos:

- Ótima carga da bateria;
- Proteção contra sobrecargas (Overcharging);
- Proteção contra descargas profundas;
- Informação do estado de carga.

3.4.1 - Reguladores Série

Tipo de regulador em que os interruptores eletrónicos de controlo ficam em série com gerador fotovoltaico. O controlo da carga da bateria é assegurado pela análise da tensão aos terminais da mesma e interrompem o fornecimento às cargas externas quando é atingido o limite de profundidade de descarga máxima da bateria.

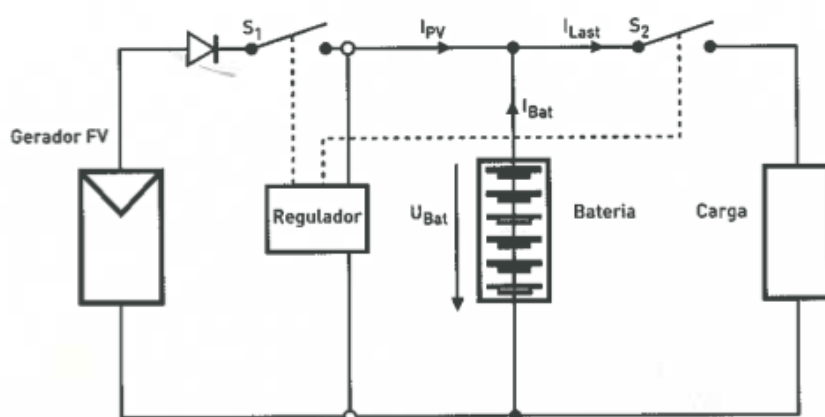


Figura 3.8 - Regulador de Carga em Série.[1]

Quando se atinge a tensão máxima de carga, o regulador em série interrompe a entrega de potência ao módulo, através de um relé ou um semiconductor, voltando a fechar o circuito após uma redução de tensão previamente estipulada. As constantes comutações “on-off” criam oscilações de tensão perto da tensão máxima de carga, bem como perdas permanentes de energia, e como tal, foram desenvolvidos reguladores de carga de regulação constante perante estas desvantagens dos reguladores em série.[15]

3.4.2 - Reguladores Shunt ou Paralelo

Os reguladores shunt são desenhados para sistemas de pequenas dimensões. Nestes reguladores, um dos interruptores eletrónicos de controlo fica em paralelo com o gerador fotovoltaico. Controlam a carga da bateria aplicando um curto-circuito momentâneo ao gerador. Estes reguladores permitem reduzir continuamente a potência do módulo fotovoltaico, a partir do momento em que é atingida a tensão máxima de carga da bateria. A energia não aproveitada é dissipada sob a forma de calor, assim, os módulos podem tomar a corrente de curto-circuito sem qualquer problema, limitando-se a sofrer um ligeiro aquecimento adicional. Permitem o curto-circuito ao gerador fotovoltaico à noite, evitando correntes inversas no mesmo. Este método é ideal para a bateria, visto que a carga da bateria é feita de forma eficiente e em total segurança.[1]

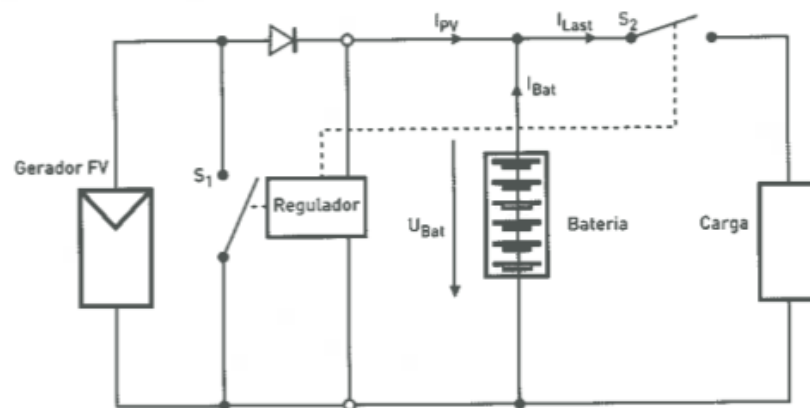


Figura 3.9 - Regulador de Carga em Paralelo.[1]

Estes reguladores, usualmente, incorporam um díodo por forma a prevenir que existam correntes da bateria para os módulos fotovoltaicos durante a noite. Os díodos atuam como válvulas, ou seja, permitem o fluxo para bateria durante o carregamento e previnem que haja correntes inversas para os módulos fotovoltaicos durante a descarga.

Os reguladores shunt têm uma construção robusta e barata, sendo a sua principal desvantagem o limite de carga que aguentam.[1]

3.4.3 - Reguladores MPP

Os reguladores supra-abordados apresentam, ambos, o mesmo problema, ou seja, se a tensão do gerador fotovoltaico baixar, por exemplo, devido à diminuição da radiação disponível, os reguladores poderão não permitir o aproveitamento da energia em produção no gerador fotovoltaico. Quando existe uma subida ou descida de tensão, o ponto ótimo de funcionamento à máxima potência é deslocado (MPP - Maximum Power Point). Para ser possível aproveitar a energia fornecida pelo módulo fotovoltaico, é necessário um regulador que situe o funcionamento do sistema no ponto de máxima potência, MPP, mantendo a tensão com um valor superior ao da bateria para que esta carregue[29]

Para que tal seja possível, é necessário instalar um conversor eletrónico DC/DC capaz de regular a tensão e pesquisa para o ponto MPP.

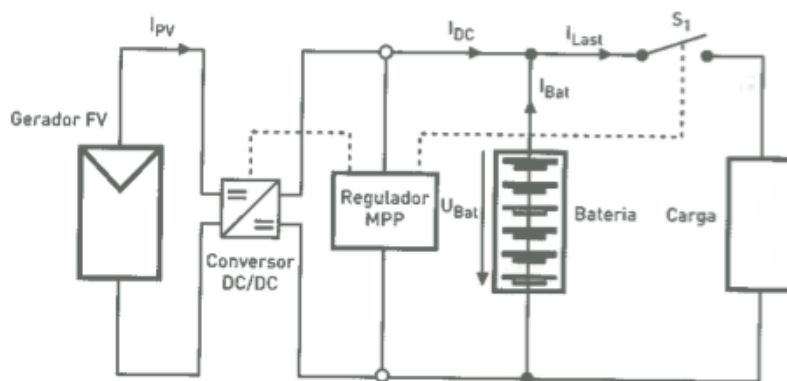


Figura 3.10 - Reguladores MPP.[1]

Capítulo 4

Inversores DC/AC

O transporte de energia, em corrente alternada, tornou-se um standard internacional devido às baixas perdas e simplicidade de operação, comparada com o transporte DC. Consequentemente, a maioria das aplicações elétricas são projetadas para operar em sistemas AC. Os módulos fotovoltaicos só são capazes de gerar corrente contínua, adicionalmente as baterias só armazenam energia em corrente contínua.[3]

O armazenamento e fornecimento de energia para consumo, por parte das baterias acumuladores, é feito sob a forma de sinal contínuo DC. Recorre-se aos inversores eletrónicos DC/AC para possibilitar a alimentação de aparelhos elétricos AC convencionais de 230V, 50Hz, a partir de uma rede DC. O inversor autónomo DC/AC deve ser capaz de alimentar uma vasta gama de equipamentos elétricos.



Figura 4.1 - Inversor Sunny Boy [36]

4.1 - Princípio de Funcionamento

Ao longo dos anos os fabricantes de inversores têm utilizado diferentes tecnologias para converter tensões contínuas, de baixo valor, em tensões alternadas elevadas. O primeiro inversor criado, utilizava um transistor, que abruptamente alternava a polaridade entre o pólo positivo e o pólo negativo, 60 vezes por segundo, criando uma onda quadrada. A forma de onda “bruta” iria passar por um transformador para incrementar o valor da tensão de saída.[3]

Um transformador eleva o valor da tensão através da passagem de corrente pelo enrolamento primário, induzindo corrente no enrolamento secundário. Se o número de espiras do enrolamento secundário for superior ao número de espiras do enrolamento primário, então a tensão irá ser superior proporcionalmente ao número de espiras em cada enrolamento. [13]

O avanço tecnológico que temos assistido ao longo das últimas três décadas na eletrônica de potência, nomeadamente nos transístores de efeito de campo e transformadores de alta frequência, permitiu que fosse possível criar inversores mais leves, eficientes e capazes de obter uma forma de onda sinusoidal praticamente perfeita. Em vez de se converter diretamente valores baixos de tensão DC para 230V AC, utiliza-se um processo de múltiplos-passos (multi-step) com ciclos de tempo variados. Por exemplo, 12V DC são convertidos para 230 V com uma frequência 20kHz, que depois são retificados para 230V DC e posteriormente invertidos para a frequência desejada, usualmente os 50Hz.[1]

Com o objetivo de fornecer ao sistema a maior potência possível, o inversor deve funcionar no ponto MPP - do módulo fotovoltaico. O ponto MPP, como já referido, varia de acordo com as condições meteorológicas, ou sejam, com o nível de irradiância. No inversor, o sistema de rastreio MPP garante que o inversor é constantemente ajustado para o ponto MPP. Este sistema consiste num conversor DC ligado em série com o inversor que ajusta a tensão de entrada do inversor em função do nível de tensão MPP.[14]

O comportamento em caso de sobrecargas, é um fator importante no dimensionamento e escolha do inversor. Especialmente para os sistemas caracterizados por um deficiente alinhamento ou sujeitos a sombreamentos parciais, poderá fazer sentido (do ponto de vista técnico-económico), subdimensionar o inversor.[5]

4.1.1 - Inversor de Onda Quadrada

Os inversores de onda quadrada baseiam o seu funcionamento em tirístores, são normalmente utilizados em grandes sistemas fotovoltaicos, sendo comutados pelo relógio da rede.

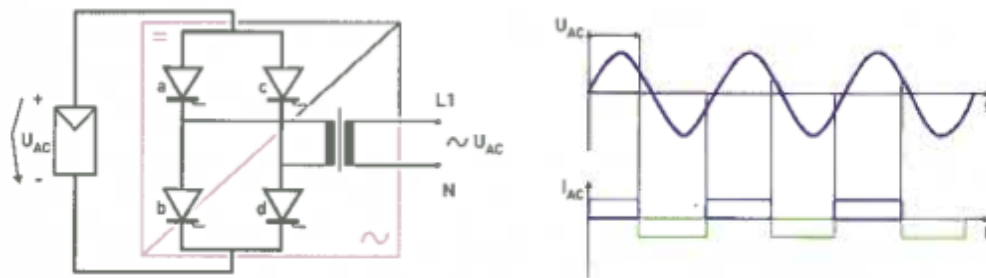


Figura 4.2 - Inversor de Onda Quadrada.[1]

Este tipo de inversores não são adequados para sistemas isolados da rede, onde existam cargas não puramente resistivas.[5]

4.1.2 - Inversores Autocontrolados

Os inversores autocontrolados utilizam a tecnologia eletrônica dos MOSFET, GTO, IGBT e TJB. Estes podem ser, ou não, dotados de um transformador de baixa ou alta frequência na saída, para proteção de pessoas contra contactos indiretos, ficando assim assegurada esta proteção sem recurso a dispositivos diferenciais.

A falta de isolamento elétrico entre os circuitos de potência DC e AC com inversores sem transformador, requer rigorosas medidas de proteção em termos de configuração elétrica de segurança. A regulamentação de segurança do sector especifica que, deve ser instalado um dispositivo sensível à corrente residual, do lado AC e DC.[15]

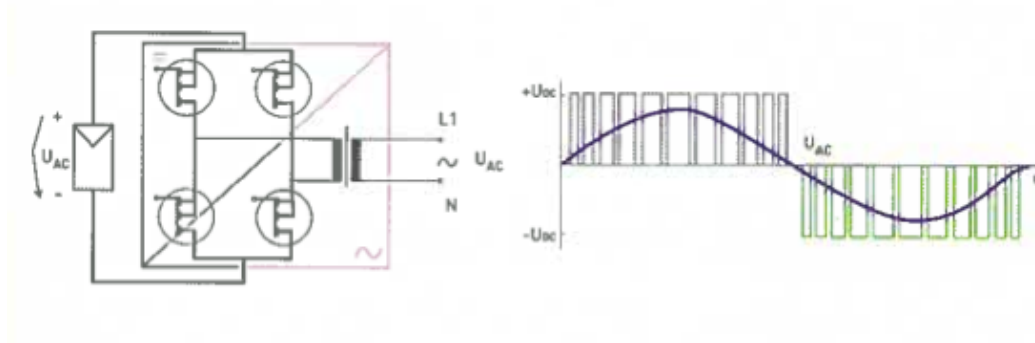


Figura 4.3 - Inversor Autocontrolado.[1]

Os inversores autocontrolados são adequados para sistemas isolados da rede, sendo também possível a sua utilização para sistemas ligados à rede. Necessitam de pouca energia reativa no seu funcionamento, mas carece de controlo dos harmónicos produzidos pelas altas frequências de comutação.[4]

4.2 - Eficiência de Conversão

A eficiência da conversão caracteriza as perdas originadas pela conversão de corrente DC em AC. Nos inversores, estas perdas compreendem as perdas ocasionadas pelo transformador (em inversores dotados de transformador), pelos comutadores eletrónicos e pelo controlador, pelos dispositivos de registo de dados operacionais, entre outros. A expressão seguinte, ilustra a fórmula de cálculo da eficiência energética.[4]

$$\eta_{inv} = \frac{\text{Potência de Saída Efectiva, } P_{AC}}{\text{Potência de Entrada Efectiva, } P_{DC}} \quad (4.1)$$

O valor usual de rendimento situa-se entre os 86% e os 95%, havendo fabricantes a anunciar eficiências energéticas na ordem dos 99%.

4.3 - Configurações dos Inversores

Os inversores instalados num sistema fotovoltaico podem dividir-se em três grandes grupos, relativos à sua configuração: inversores centrais, inversores de cadeia de módulos e inversores integrados.

4.3.1 - Configuração Multifileira

A utilização de inversores para elevadas tensões de entrada, particularmente no caso dos inversores de cadeia de módulos, pode conduzir a substanciais perdas de energia. Os sistemas sombreados ou que possuem campos de módulos com diferentes orientações, são os mais afetados. Por forma a reduzir este tipo de perdas, são adotadas soluções multifileira.

Neste caso, o sistema é concebido para que os módulos com condições idênticas de irradiância sejam ligados uns aos outros, formando uma fileira única, ou seja, cada fileira tem o seu próprio conversor DC/DC com um rastreador MPP separado, de modo a cada fileira operar o seu ponto de máxima potência.[5]

4.3.2 - Configuração “Master-Slave”

A configuração “Master-Slave” permitiu o desenvolvimento de uma nova solução para a otimização da produção de energia. Este conceito, usualmente utilizado para inversores de potências elevadas (superiores a 200kW), foi extrapolado para os inversores de baixa potência (até 5kW).[5]

Vários inversores de baixa potência trabalham em conjunto. Quando o nível de irradiância é reduzido apenas operam os dispositivos “Master”. Com o incremento do nível de irradiância, atinge-se a potência limite do inversor “Master”, sendo então acionado o primeiro dispositivo “Slave”. De forma incremental, ou seja, à medida que o nível de irradiância sobe, entram sucessivamente os inversores “Slave” em operação. A utilização deste tipo de configuração permite otimizar a eficiência global do sistema.

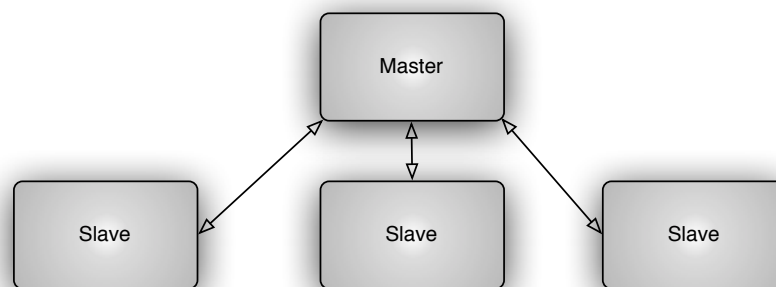


Figura 4.4 - Esquema Master-Slave.

4.4 - Modularidade dos Inversores

Os fabricantes de inversores têm vindo a dar um especial ênfase à modularidade dos seus dispositivos. A utilização de múltiplos inversores de pequena dimensão ligados entre si do lado DC ou AC, tem-se tornado uma prática comum por parte das entidades instaladoras. Isto permite a ligação de várias unidades conversores sob a forma de um único sistema modular, que forneça a potência total desejada.[1]

Tal como os componentes de potência, esta modularidade estende-se a outras funcionalidades que a título opcional podem equipar os inversores, de acordo com as especificações e necessidades do cliente. Entre várias, destacam-se as interfaces de comunicação e as funções de proteção. Desta forma, os dados operacionais de múltiplos inversores podem ser monitorizados à distância, através das suas interfaces de comunicação.

Atualmente estão a ser desenvolvidos sistemas em que, o controlador MPP e o conversor DC/DC estão separados e ligados através de um barramento DC a um inversor central.[13]

4.5 - Local de Instalação

O inversor deverá, sempre que possível, ser instalado junto do contador ou na sua proximidade. Se as condições locais e ambientais permitirem, fará sentido instalar o inversor perto da caixa de junção geral do gerador, com isto, é possível reduzir as perdas de energia que ocorrem através do cabo principal DC, bem como reduzir os custos de instalação.

Os sistemas fotovoltaicos dotados de inversores centralizados, são frequentemente instalados junto com outros dispositivos, tais como aparelhos de ligação, corte e proteção, num armário/quadro de potência.[13]

Os inversores devem ser instalados em locais protegidos de chuva, humidade e radiação solar direta.

Ao escolher o local de instalação, é crucial que se mantenham as condições de temperatura e humidade exigidas pelo fabricante. O ruído produzido pelo inversor (varia com a potência e isolamento do inversor), também deverá ter sido em conta.[13]

Capítulo 5

Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos, mediante as necessidades do cliente, podem ser de dois tipos: sistemas autónomos ou sistemas ligados à rede. Neste capítulo serão abordados os pontos característicos dos sistemas fotovoltaicos isolados, visto que, o objetivo deste projeto é a eletrificação rural isolada em Moçambique.

5.1 - Sistemas Isolados

Nos sistemas isolados da rede, o aproveitamento da energia solar tem que ser ajustado à procura energética, ou seja, a energia produzida não corresponde, na maioria das vezes, à requisitada pela carga num dado instante. Com isto, torna-se obrigatório considerar um sistema de armazenamento de energia, caso das baterias acumuladores. O planeamento deste tipo de sistemas tem que ser rigoroso quando a intenção é alimentar um consumidor ao longo de um ano, visto que, a radiação solar varia ao longo do ano. O desfasamento que se verifica entre a produção e consumo deve ser cuidadosamente estudado e dimensionado, no sentido de prevenir eventuais cortes na alimentação das cargas.

Os sistemas autónomos estão a assumir um papel de grande relevo nos países em vias de desenvolvimento, visto que, existem locais onde o fornecimento de energia elétrica através da rede pública, se torna financeiramente inviável.

Devido à elevada robustez desta tecnologia e longo período de vida útil do sistema, países como Moçambique, criaram fundos nacionais de energia (FUNAE - Fundo Nacional de Energia).

As sucessivas evoluções tecnológicas, associada às constantes reduções de custo de produção de módulos fotovoltaicos, têm contribuído para expansão deste tipo de aplicações.

Com isto, verifica-se o elevado valor acrescentado que estas tecnologias trarão para os cidadãos que vivem sem energia e água purificada.[10]

A figura seguinte ilustra uma eletrificação rural com recurso a tecnologias fotovoltaicas.



Figura 5.1 - Aldeia Moçambicana, módulos fotovoltaicos que alimentam um centro de saúde

Tradicionalmente, os sistemas fotovoltaicos isolados, são constituídos pelos seguintes elementos:

- Módulos fotovoltaicos (um ou associação de vários módulos);
- Baterias Acumuladoras;
- Regulador de Carga;
- Inversor DC/AC;
- Consumidor (DC e/ou AC).

A figura 5.2, ilustra como são agrupados os vários elementos de um sistema fotovoltaico.

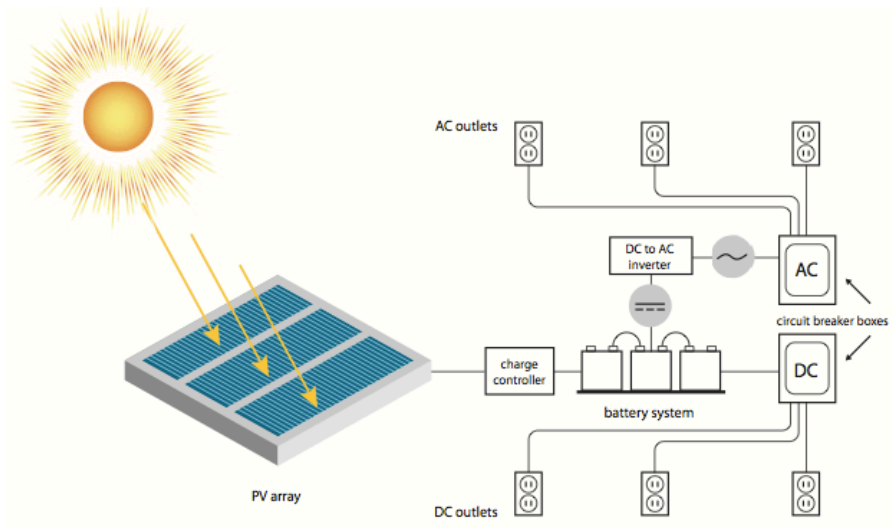


Figura 5.2 - Sistema Fotovoltaico Isolado.[31]

5.2 - Características a levantar do local de instalação

O estudo detalhado das condições do local da instalação deverão ser efetuadas antes do dimensionamento e viabilidade económica. A visita ao local permite efetuar uma avaliação prévia das condições básicas existentes, que poderão ou não levar a indicações mais ou menos favoráveis relativas à instalação do sistema fotovoltaico.[5]

A recolha de informação consiste num levantamento de condições ambientais, como temperatura ou humidade, espaço disponível para a instalação, necessidades energéticas, existência de sombreamentos e tipo de montagem. Deverão ainda, ser definidos aspetos tais como: trabalhos necessários à fixação dos painéis, localização do inversor e baterias acumuladoras e realizado um traçado de toda a cablagem.

Esta análise detalhada do local da instalação será fundamental na medida em que permite que se evitem diversos erros de planeamento relativamente à produção/consumo de energia, bem como o custo global do sistema.[5]

5.2.1 - Análise de Sombreamentos

A projeção de sombras sobre um sistema fotovoltaico tem efeitos severos na produção de energia e, como tal, terá que ser efetuada, na fase prévia do projeto, uma análise detalhada dos possíveis sombreamentos que o sistema poderá sofrer. Estes sombreamentos devem ser evitados, pelo que, o estudo profundo dos possíveis locais em que os módulos fotovoltaicos possam ser instalados deve ser cuidadosamente estudado.[5]

Os tipos de sombreamentos podem ser agrupados em dois grupos distintos:

- Sombreamento temporário - Presença de neve, folhas ou sujidade;
- Sombreamento devido à localização - Presença de edifícios ou zonas arborizadas em redor da instalação, são consideradas sombras constantes pelo que devem ser contabilizadas aquando do dimensionamento da instalação.

O impacto do sombreamento na instalação fotovoltaica depende essencialmente do número de módulos sombreados, da duração temporal do sombreamento e da distribuição espacial.[5]

5.3 - Dimensionamento

A robustez e longo período de vida útil de um sistema fotovoltaico requer um dimensionamento criterioso, visto que, será necessário estabelecer um custo geral relativamente equilibrado, bem como estabelecer critérios de dimensionamento adequados. Por exemplo, instalações super dimensionadas levam a custos de instalação elevados que podem tornar o projeto inviável, por outro lado, instalações subdimensionadas conduzem a um descrédito da tecnologia.[32]

O processo de dimensionamento encontra-se balizado e tem a seguinte estrutura:

- Avaliação da viabilidade técnica atendendo ao recurso solar disponível;
- Avaliação das necessidades energéticas para alimentar as cargas, tendo em conta os requisitos do cliente;
- Desenvolvimento conceptual do sistema;
- Dimensionamento dos componentes principais do sistema;
- Escolha dos equipamentos;
- Revisão do projeto e dimensionamento do sistema.

5.3.1 - Avaliação Técnica

O primeiro passo no projeto de uma instalação fotovoltaica é a realização da viabilidade técnica do projeto.[5]

Caso se conclua que o projeto deverá avançar, deve-se então proceder à recolha de mais informação relativa aos aspetos que se seguem:

- Objetivo concreto do sistema fotovoltaico;
- Planeamento e expansão futuro do sistema;
- Avaliação dos consumos do sistema;
- Estabelecimento de um padrão de utilização do sistema fotovoltaico;
- Definir o nível de segurança da instalação, segundo a legislação em vigor;
- Avaliação da logística da instalação.

5.3.2 - Avaliação das necessidades energéticas do sistema

Esta fase do projeto é crucial, sendo considerado um dos passos mais importantes do sistema, visto que, a avaliação das necessidades energéticas irá influenciar todo o projeto. Convém, portanto, realizar uma análise da utilidade que se vai dar à instalação, como por exemplo, quantos dias por ano irá ser utilizada, o tipo de cargas que irão ser ligadas, por forma a realizar uma estimativa de consumos real e ao qual o sistema irá ser submetido.[33]

A substituição de equipamentos convencionais de consumo elevado por equipamentos de baixo consumo, no caso das lâmpadas, bem como alimentar cargas através do ramal DC deve ser tido em conta.

A listagem de todas as cargas que o sistema terá que alimentar é crucial para definir a potência do sistema. As cargas devem ser agrupadas por prioridades de alimentação, ou seja, se a irradiação de energia for reduzida e as baterias acumuladores estiverem num nível considerado baixo, terá que se cortar cargas por forma a alimentar continuamente as cargas prioritárias. Esta hipótese é tida em conta quando não existe outra fonte de energia elétrica que não o sistema fotovoltaico projetado.[5]

Através deste estudo de necessidades energéticas é possível estimar o consumo diário, que o sistema terá que alimentar.

5.3.3 - Avaliação do Recurso Solar

Os sistemas fotovoltaicos isolados da rede são concebidos, usualmente, para satisfazer os consumos ao longo do ano. Tendo em conta que a irradiação média solar varia consoante o mês do ano, o ângulo de inclinação do painel deve ser o que permite maximizar a radiação incidente no plano do painel, extraíndo assim a máxima potência do painel para o mês em que a radiação solar atinge o nível mais baixo.[32]

5.3.4 - Dimensionamento dos componentes do sistema

Os sistemas fotovoltaicos isolados da rede são compostos por vários componentes, sendo estes: módulos fotovoltaicos, baterias acumuladoras, reguladores de carga, inversor DC/AC e cabos de ligação que serão posteriormente dimensionados.[14]

5.3.4.1 - Potência de Pico

A potência de pico, PPP, dos painéis fotovoltaicos é calculada através da expressão 5.1

$$P_{PP} = \eta \frac{E}{G} (Wp) \quad (5.1)$$

sendo E a energia consumido diariamente em Wh, G o número de horas de sol verificadas no pior mês do ano tendo em conta o ângulo de orientação e inclinação do painel e η o rendimento global do sistema.

Com isto, é necessário calcular o número de módulos fotovoltaicos que irão compor o painel fotovoltaico e obter-se o valor da potência do mesmo.

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = \frac{P_{PP}}{\text{Potência de Pico do Módulo}} (Wp) \quad (5.2)$$

O valor obtido a partir da expressão 5.2 terá que ser majorado para n° inteiro imediatamente superior. Com isto, através da simples multiplicação do n° módulos pelo valor da sua potência de pico é possível obter a nova potência do sistema.[1]

Como já referido, o dimensionamento do sistema fotovoltaico terá que ser realizado para o pior mês do ano, ou seja, quando a carga é máxima e o nível de radiação é mínimo. Este estudo é realizado com recurso a ferramentas de simulação computacional, que atualmente se revelam muito precisas devido a bases de dados extensas contendo condições atmosféricas de vários anos.[32]

O rendimento total do sistema é obtido através da expressão 5.3.

$$\eta_{Sistema} = \eta_{PV} * \eta_{PV-Bat} * \eta_{RC} * \eta_{Dist} * \eta_{Inv} (\%) \quad (5.3)$$

sendo η_{PV} o rendimento do painel fotovoltaico tendo em conta que não está a funcionar no seu ponto de potência máxima (%), η_{PV-Bat} representa as perdas derivadas da queda de tensão dos cabos que ligam os módulos fotovoltaicos às baterias (%), η_{RC} o rendimento do regulador de carga da bateria (%), η_{Dist} representa as perdas por efeito de joule nos cabos de distribuição e η_{Inv} ilustra o rendimento do inversor DC/AC.[1]

5.3.4.2 - Dimensionamento das Baterias Acumuladoras

As baterias acumuladoras devem ser capazes de alimentar as cargas, em dias em que a radiação solar é escassa, como por exemplo, em dias nublados. Estas têm ter uma capacidade tal que permita acumular energia para dias em que a radiação solar é fraca sem exceder o nível de profundidade máximo permitido pelo fabricante (como referido no [Capítulo 3](#)).

A capacidade mínima da bateria, Q, pode ser obtida de acordo com a expressão 5.4

$$Q = \frac{E \cdot A}{V \cdot T} (Ah) \quad (5.4)$$

sendo E o valor diário da carga (Wh), A o número de dias de autonomia sem qualquer carregamento, V a tensão do sistema (V), T representa o nível de profundidade de descarga da bateria (%), η_{Inv} o rendimento do inversor DC/AC e η_{Cabo} representa o rendimento dos cabos de distribuição.[1]

O número de dias de autonomia, usualmente varia entre 3 a 5 dias, estando este valor diretamente relacionado com as necessidades de cada cliente e com a continuidade do serviço exigida. Note-se que, o dimensionamento da bateria para menos de 3 dias reduz o ciclo de carga, mas em contrapartida diminui o ciclo de vida útil da bateria. Por outro lado, a escolha de baterias com autonomia para 5 dias poderá tornar o projeto fotovoltaico inviável devido aos elevados custos que acarreta.[5]

Como abordado no [Capítulo 3](#), se a capacidade do sistema for superior à capacidade da bateria escolhida, terá que ser feito uma associação em paralelo das baterias. O número de baterias em paralelo é calculado através da seguinte expressão.

$$N^{\circ} \text{ Baterias em Paralelo} = \frac{\text{Capacidade do Sistema}}{\text{Capacidade da Bateria}} \quad (5.5)$$

Caso a tensão de funcionamento do inversor seja superior à tensão aos terminais da bateria é necessário uma associação das baterias em série como abordado no [Capítulo 3](#). A expressão 5.6 permite obter o número de associações em série necessárias.

$$N^{\circ} \text{ Baterias em Série} = \frac{\text{Tensão do Inversor}}{\text{Tensão aos terminais da Bateria}} \quad (5.6)$$

5.3.4.3 - Dimensionamento do Inversor

Os inversores DC/AC são responsáveis pela alimentação de todas as cargas AC, ou seja, estes devem garantir as necessidades das cargas. Os inversores devem ser dimensionados ligeiramente acima da potência mínima necessária, isto porque caso exista aumento do consumo não será necessário trocar o inversor. O nº de inversores necessários para instalação pode ser calculado de acordo com expressão 5.7.[1]

$$N^{\circ} \text{ Inversores} = \frac{P_{\text{Cargas AC}}}{P_{\text{Inversor}}} \quad (5.7)$$

sendo $P_{\text{Cargas AC}}$ o valor da potência das cargas AC (W) e P_{Inversor} a potência do inversor escolhido (W).[1]

O sistema fotovoltaico deve ser dimensionado de tal forma que a corrente nominal do regulador de carga e bateria acumuladora seja superior a 30% da corrente máxima do painel fotovoltaico. A potência de saída do inversor deve ser dimensionada, no mínimo, 10% acima da máxima carga AC.[16]

5.3.4.4 - Regulador de Carga

Após o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e das baterias a instalar, terá que se dimensionar o regulador de carga, componente indispensável para o controlo de carga, responsável por interromper o carregamento das baterias em caso de sobrecarga, e no caso de descarga é interrompido o fornecimento de energia por parte da bateria à carga, assim que se atingir o nível de profundidade máximo recomendado pelo fabricante.

Por questões de segurança, em caso de corrente excessiva provocada por excesso de radiação solar, o regulador deve ser sobredimensionado 25% acima da corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico, como ilustrado na expressão 5.8.[14]

$$\text{Corrente mínima do Regulador} = 1,25 * I_{CCPV} \text{ (A)} \quad (5.8)$$

Assim, o nº de reguladores, em paralelo, necessário ao bom funcionamento da instalação é calculado através da expressão 5.9.[1]

$$N^{\circ} \text{ Reguladores} = \frac{\text{Corrente mínima do Regulador}}{\text{Corrente nominal do Regulador}} \quad (5.9)$$

5.3.4.5 - Secção dos Condutores

As perdas por efeito de joule e quedas de tensão nos condutores são a preocupação primordial no dimensionamento da secção dos condutores. Este cálculo deve ser feito de acordo com as regras técnicas definidas.

A secção, S, pode ser obtida de acordo com a expressão 5.10:

$$S = \frac{2 * \rho * l * I_{max}}{V_n * \Delta V_{adm}} \text{ mm}^2 \quad (5.10)$$

sendo ρ a resistividade do material condutor ($\Omega.m$), l o comprimento do cabo (m), I_{max} a corrente máxima admissível para a instalação (A), V_n a tensão nominal do sistema (V) e ΔV_{adm} a variação máxima admissível da queda de tensão do sistema (V).

5.4 - Algoritmo para o Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

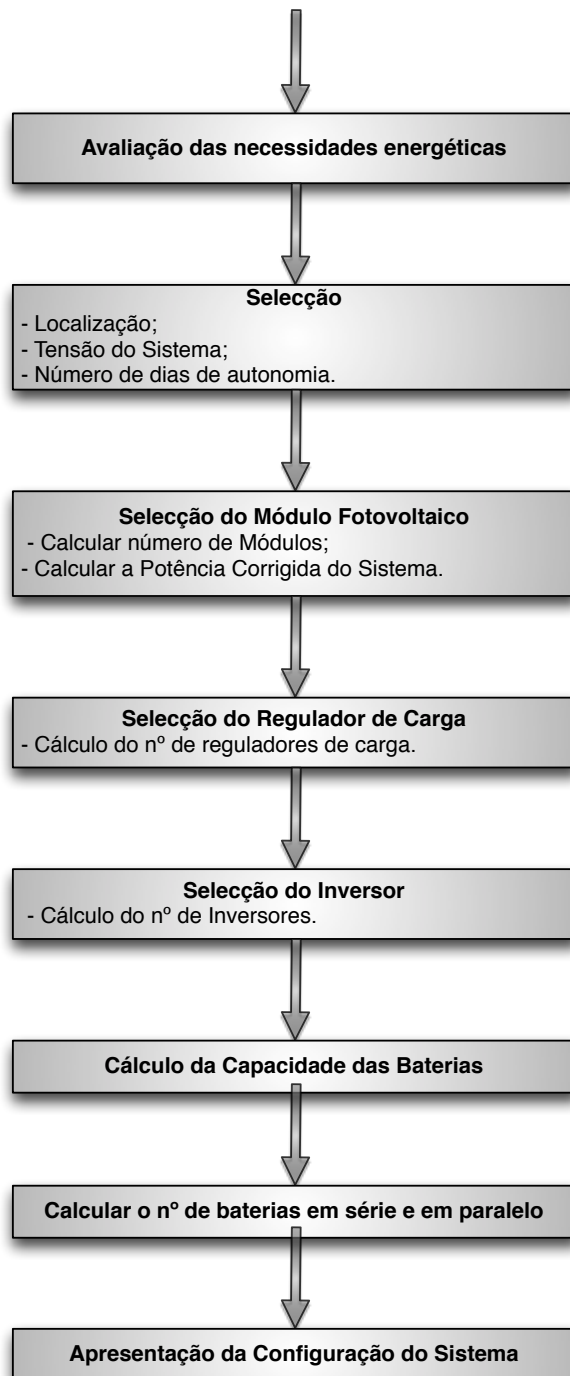


Figura 5.3 - Fluxograma de Dimensionamento.[5]

5.5 - Programas de Simulação e Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos

Atualmente existem no mercado uma variedade de programas de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos, estes utilizam modelos de fluxo energético que demonstram a interação dos componentes constituintes do sistema. Os primeiros programas de simulação foram desenvolvidos nos Estados Unidos da América (USA).

A utilização deste tipo de recursos é de extrema relevância quando se projeta e dimensiona um sistema fotovoltaico. A grande maioria dos simuladores possui uma vasta base de dados de radiação solar ao longo de vários anos.[5]

As base de dados dos programas de simulação são robustas e completas para países desenvolvidos, o que não acontece para países em vias de desenvolvimento, ou seja, para este projeto existe uma grande dificuldade de aceder a informação credível de forma gratuita. No entanto, o instituto de energia e transporte da união europeia fornece um serviço on-line de simulação 100% gratuito, com uma base de dados extensa desde 1998 a 2010. Esta será a plataforma a utilizar aquando da simulação.[9]

De seguida, apresentam-se alguns dos programas mais utilizados para simular sistemas fotovoltaicos:

- Hommer: desenvolvido pela NREL-National Renewable Energy Laboratory so U.S. Dpt Energy.
- PV F-CHART: este programa projeta e analisa sistemas fotovoltaicos, realizando cálculos para determinar o comportamento do sistema, através de métodos desenvolvidos na University of Wisconsin tendo em conta as variações da radiação e das cargas.[7]
- PVSYST: Este software foi desenvolvido pela Université de Genève e permite trabalhar com diferentes níveis de complexidade, desde um estágio inicial à representação de um sistema detalhado de simulação. Apresenta também uma ferramenta adicional, tridimensional, que tem em conta as limitações do horizonte e de objetos que possam criar sombras para os painéis fotovoltaicos. Possui uma base de dados de 200 localidades do Mundo.[8]
- PVGIS: Software On-line desenvolvido pelo Instituto de Energia e Transporte da União Europeia, permite simular sistemas isolados ou ligados à rede em todo continente Europeu ou Africano. Apresenta uma vasta base de dados extremamente robusta. Este foi o software utilizado para dimensionar o sistema no Capítulo 6.[9]

Capítulo 6

Solução

Nos países em vias de desenvolvimento, como Moçambique, as populações vivem numa precariedade elevada. A inexistência de energia elétrica, água potável, aliado à falta de condições de higiene são realidades muito comuns neste tipo de países. Com isto, foi elaborado um conjunto de medidas por parte do Governo Moçambicano com o intuito de melhorar estas condições de vida, que abunda na sua População. O FUNAE, Fundo Nacional de Energia de Moçambique, financia vários projetos desde linhas de transporte de energia, subestações, postos de transformação a soluções de eletrificação rural, sendo esta última a que irei abordar.[10]

A Eurico Ferreira S.A., empresa na qual realizo esta dissertação, está envolvida no projeto de eletrificação rural em Moçambique.

6.1 - Necessidades Moçambicanas

A realidade Moçambicana é dolorosa, condições muito precárias sem acesso a água potável são sempre difíceis de observar. Posto isto, as necessidades abordadas visam proporcionar uma qualidade de vida superior às populações através de sistemas robustos, baixo custo de aquisição e baixa manutenção, capazes de trazer valor acrescentado para estas populações.

A figura 6.1 ilustra uma aldeia, em Cabo Delgado Moçambique, onde a solução final irá ser implementada.



Figura 6.1 - Aldeia em Cabo Delgado, Moçambique

Como referido no Capítulo 1, irão ser eletrificados 3 tipos de edifícios, sendo estes:

- Eletrificação de Escolas;
- Eletrificação de Casas;
- Eletrificação de Centros de Saúde.

Ao longo desta secção serão discriminadas as necessidades energéticas de cada edifício, bem como o dimensionamento de uma solução, para cada edifício. Para a eletrificação da Escola, sistema mais complexo, irá ser feito uma justificação da escolha de cada componente do sistema. Para os restantes edifícios irá ser apresentado uma tabela resumo dos componentes.

O local de instalação é amplo e o sistema fotovoltaico não será submetido a qualquer tipo de sombreamento fixo.

6.2 - Dimensionamento

6.2.1 - Escola

As necessidades apuradas para este tipo de edifícios são as seguintes:

- Energia para 1 Computador;
- Iluminação para 3 salas grandes, 1 Posto administrativo e luz exterior;
- Energia limitada para alimentar 1 Computador, carregamento do telefone do Staff e alimentação de uma TV/DVD.
- O sistema tem que ser capaz de alimentar dois edifícios de distância máxima de 50m (metros);
- Consumo médio diário 2,36kWh/dia a 230V ($\pm 10V$) AC;

De acordo com estas necessidades foi feito um levantamento das exigências elétricas capazes de alimentar estas cargas e construído um diagrama de cargas diário. A tabela que se segue sumariza o tipo de cargas que vão ser utilizadas.

Tabela 6.1 – Cargas

Tipo de Carga	Consumo <i>W</i>	Nº de Componentes
Iluminação Exterior	9 <i>W</i>	2
Iluminação Interior	15 <i>W</i>	15
Desktop PC + LCD	115 <i>W</i>	1
TV/DVD	45 <i>W</i>	1
Carregador Telemóvel Universal	12 <i>W</i>	1

O diagrama de cargas diário estabelecido para as necessidades da escola encontra-se na secção Anexos, tendo-se obtido uma carga diária de 2,36kWh/dia.

Recorrendo ao software Google SketchUp, foi dimensionada a instalação, por forma a obter o comprimento dos condutores e desenho técnico da mesma.

A figura que se segue ilustra os módulos fotovoltaicos e o local de instalação das baterias acumuladoras, inversor, regulador de carga e quadro de proteções DC.

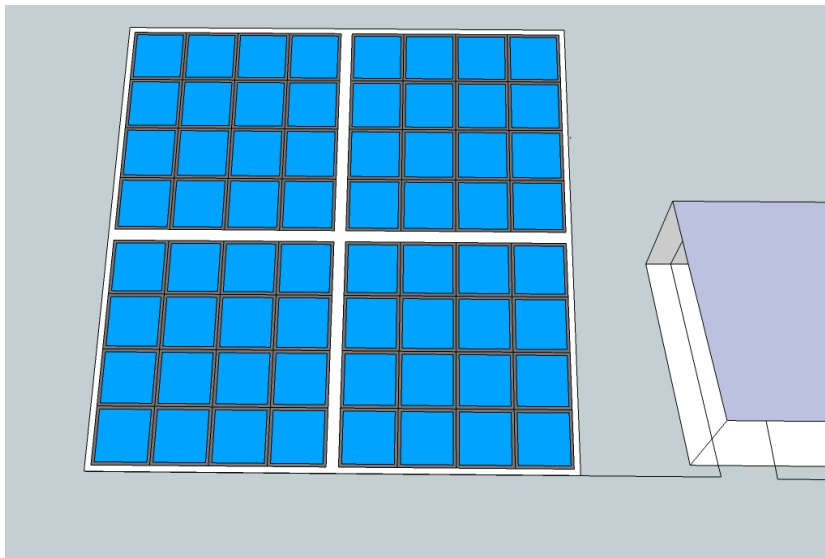


Figura 6.2 - Pannel Fotovoltaico e Edifício da instalação.

Pormenorizadamente, a figura 6.3, ilustra da disposição dos componentes ao longo de um edifício com $25m^2$.

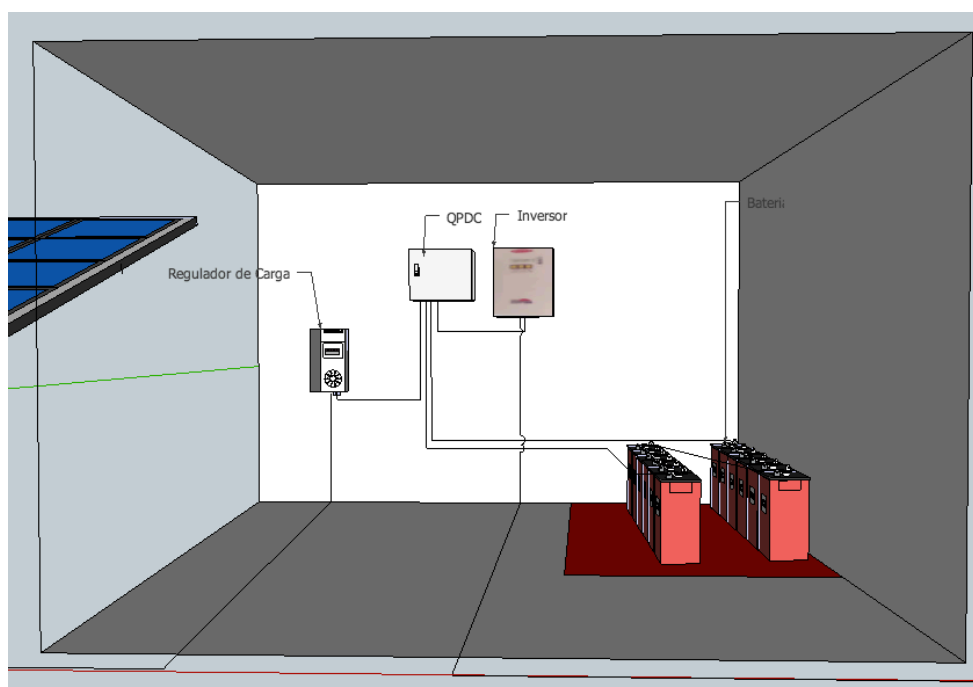


Figura 6.3 - Edifício da Instalação.

Como se pode observar, os módulos fotovoltaicos estão ligados diretamente ao Regulador de Carga, o quadro de proteção DC tem um barramento onde se encontram ligados o inversor, regulador de carga e as baterias acumuladoras. As baterias utilizadas são de 2V com uma capacidade de 500Ah @C10 (a sua escolha irá ser devidamente justificada no

dimensionamento da instalação), a tensão de saída é 24V pelo que foram ligadas 12 baterias acumuladoras em paralelo como abordado no Capítulo 3.

A saída do sistema é realizada através do inversor DC/AC, esta ligação é feita até ao quadro geral de baixa tensão do edifício escolar. A figura 6.4 ilustra em perspetiva toda a instalação.

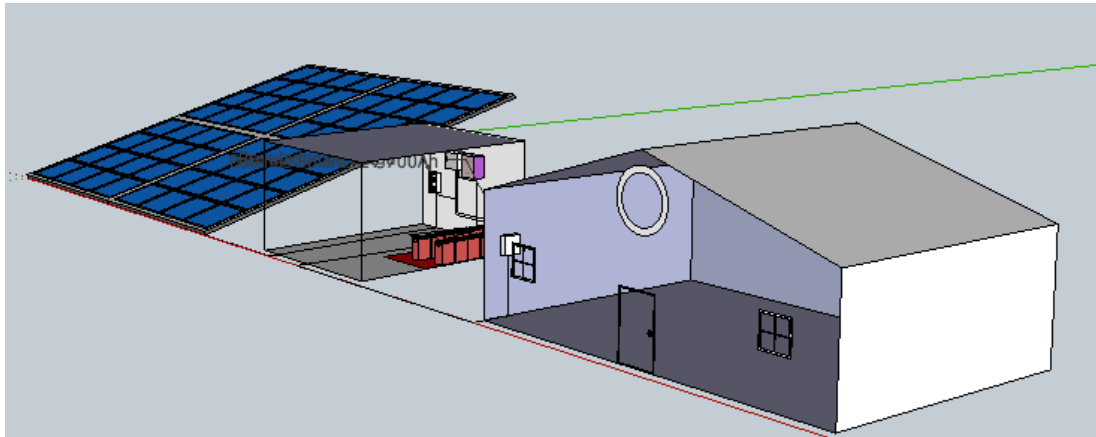


Figura 6.4 - Vista em Perspetiva da Instalação.

A instalação ficou fisicamente dimensionada, pelo que é possível dimensionar todos os componentes.

6.2.1.1 - Módulos Fotovoltaicos

A estimativa do consumo diário permite dimensionar os módulos fotovoltaicos, para isto, é necessário verificar qual o pior dia solar do ano. Moçambique tem duas estações, Verão e Inverno, sendo de Abril a Outubro Inverno e o Verão de Outubro a Abril. O pior mês do ano é Junho, em que o nº de horas de sol, em média, é de 3 horas.

O consumo diário estimado é de 2,36kWh.

$$P_{\text{Painel}} = \frac{\text{Carga diária}}{\text{Nº de horas de Sol}} \text{ Wp} \quad (6.1)$$

$$P_{\text{Painel}} = \frac{2360}{3} = 787 \text{ Wp} \quad (6.2)$$

O sistema fotovoltaico tem que ser capaz de alimentar as cargas continuamente sem correr riscos de corte de carga, com isto, os módulos fotovoltaicos serão sobredimensionados em 25%.

$$P_{\text{Painel}} = 1,25 * 787 = 984 \text{ Wp} \quad (6.3)$$

Escolheram-se módulos fotovoltaicos policristalinos devido à sua robustez, rendimento e custo de aquisição.

Os módulos fotovoltaicos escolhidos são da marca Beijing Epsolar Technology CO., Ltd (Ficha Técnica na secção Anexos), de silício policristalino de 240Wp. O fabricante garante um ciclo de vida de 25 Anos.

A associação de 4 Módulos permitirá obter uma potência de 960Wp, representando um sobredimensionamento de 22%, sendo este valor aceitável. A associação dos módulos será realizada através da ligação de dois módulos em série que por sua vez estarão em paralelo com a série de dois módulos, com isto, é possível obter uma tensão de saída do painel de 61,2V e uma corrente de 15,68A.

A tabela que se segue sumariza a chapa de características dos módulos fotovoltaicos que serão utilizados.

Tabela 6.2 – Chapa de Características do Módulo Fotovoltaico

Parâmetros Eléctricos	Valor
Potência Nominal	240 Wp
Corrente Nominal	7,84 A
Tensão Nominal	30,6 V
Corrente Curto-Circuito	8,59 A
Tensão Circuito-Aberto	37,6 V
Rendimento	16,4 %

6.2.1.2 - Regulador de Carga

A escolha do regulador de carga é realizada com base na tensão nominal, corrente nominal, tensão de religação e potência do painel.

Tabela 6.3 – Características Painel Fotovoltaico

Parâmetros Eléctricos	Valor
Potência Nominal	960 Wp
Corrente Nominal	15,68 A
Tensão Nominal	61,2 V
Corrente Curto-Circuito	17,18 A
Tensão Circuito-Aberto	75,2 V
Rendimento	16,4 %



Figura 6.5 Regulador de Carga Sunny Island Charger 50.[36]

Com estes dados, tendo em conta que se trata de um sistema isolado da rede, escolheu-se o regulador de Carga Sunny Island Charger 50 da empresa SMA. A ficha técnica deste componente encontra-se disponível na seção Anexos.

6.2.1.3 - Inversor

A escolha do inversor é baseada na tensão e corrente de saída do regulador de carga e na potência dos módulos fotovoltaicos.

Com estes dados escolheu-se o inversor da empresa SMA Solar Technology, Sunny Island 2224. A ficha técnica deste componente encontra-se na seção Anexos.[36]

A figura 6.6 ilustra o inversor utilizado.



Figura 6.6 - Inversor Sunny Island 2224.[36]

6.2.1.4 - Baterias

A tensão de saída do inversor e regulador de carga define a tensão de funcionamento das baterias. Os fabricantes de baterias acumuladoras apresentam soluções com tensões desde os 2V aos 12V. Por forma a assegurar a tensão de 24V que o inversor exige, terá que se realizar uma associação em série das baterias acumuladoras.

Tendo em conta que o sistema tem que alimentar continuamente as cargas e por forma a garantir isto, definiu-se que o sistema terá que ser dotado de uma autonomia de 2 dias sem qualquer tipo de carregamento.

O cálculo a realizar para se determinar a capacidade das baterias segue o seguinte método:

Tabela 6.4 – Cálculo Capacidade

Grandezas	Valor
Energia a fornecer	2360Wh/dia
Tensão das Baterias	24 V
Autonomia	2 dias
Profundidade de Descarga	40 %

A fórmula a adotar para determinar a capacidade é a seguinte:

$$Capacidade = \frac{A * E}{U * P} \text{ Ah} \quad (6.4)$$

onde:

A - Autonomia (dia);

E - Energia a fornecer por dia (Wh/dia);

U - Tensão das Baterias (V);

P - Profundidade de Descarga (%).

$$Capacidade = \frac{2 * 2360}{24 * 0,4} = 492 \text{ Ah} \quad (6.5)$$

As baterias escolhidas são fabricadas pela empresa Shen Zhen Ritar Power CO., LTD, modelo RL2600D, com uma capacidade de 500Ah @ C10 e uma tensão de 2V. Por forma a obter os 24V de saída impostos pelo inversor e regulador de carga escolhidos, irá ser feita uma associação em série de 12 baterias acumuladoras.

A ficha técnica encontra-se na secção Anexos.



Figura 6.7 -Baterias Acumuladoras 2V, 500Ah @ C10.[37]

6.2.1.5 - Secção dos Condutores

A tabela que se segue indica o comprimento das várias ligações da instalação, bem como as quedas de tensão máximas admissíveis para cada troço.

Tabela 6.5 – Comprimento dos Condutores[10]

Ligação	Comprimento l	I_{max}	V_n	ΔU %
Painel - Regulador	6,98 m	15,68 A	61,2 V	3%
Regulador - QPDC	1,12 m	40 A	24 V	3%
QPDC - Baterias	5 m	40 A	24 V	1%
QPDC - Inversor	0,13	40 A	24 V	3%
Inversor - QGBT	41,29 m	9,6 A	230 V	5%

De acordo com o descrito na secção 5.3.5.5, o dimensionamento da secção do cabo é realizado de acordo com a equação 5.10. As perdas por efeito de joule tem que ser mínimas, pelo que o material condutor a adotar será o cobre. Os cabos utilizados são do tipo VV. A resistividade do cobre, ρ_{Cu} , é de 0,018 $\Omega \cdot m$.

A tabela 6.3 sintetiza as secções de cabo obtidas para cada troço.

Tabela 6.6 – Secção de Cabo[40]

Ligação	$S \text{ mm}^2$	$S \text{ mm}^2$ Normalizada
Painel - Regulador	2,15 mm^2	4 mm^2
Regulador - QPDC	2,24 mm^2	4 mm^2
QPDC - Baterias	30 mm^2	35 mm^2
QPDC - Inversor	0,26 mm^2	2,5 mm^2
Inversor - QGBT	1,25 mm^2	2,5 mm^2

6.2.1.6 - Síntese de Componentes

A tabela 6.7 sumariza os materiais constituintes do sistema.

Tabela 6.7 – Síntese do Sistema

Componente	Fabricante	Modelo
Painel Fotovoltaico	Beijing Epsolar Technology CO., Ltd	DT240P-20
Regulador de Carga	OutBack Power Technologies, Inc	Flex Max 60
Inversor de Sinal	SMA Solar Technology, Inc	Sunny Island 2224
Baterias Acumuladoras	Shen Zhen Ritar Power CO., LTD	RL2500D

6.2.1.7 - Simulação

A província de Cabo Delgado situa-se no norte de Moçambique e tem uma densidade populacional de 16 habitantes por km^2 . A título de curiosidade, a cidade do Porto apresenta uma densidade populacional de 6.500 habitantes por km^2 , havendo áreas como Ramalde em que são atingidos valores superiores a 20.000 habitantes por km^2 . [39][19].

Como referido na seção 5.5, utilizou-se a plataforma PVGIS desenvolvida pela União Europeia. [9]

A introdução dos dados é relativamente simples e intuitiva, isto porque, o sistema já se encontra dimensionado. A figura 6.7 ilustra a introdução dos dados no PVGIS.

The screenshot displays the PVGIS web interface. The top navigation bar includes logos for JRC, CM SAF, and the system title 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. The breadcrumb trail shows the path: EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > africa. A search bar contains 'cabo delgado' and shows the cursor position at -12.211, 39.321. The main map area shows a satellite view of a region in Africa with labels for Bonaaqui, Manhula, Metota, Namavanga, Rapelelene, and Limuata. A red pin is placed at Namavanga. The right-hand panel is titled 'Stand-alone PV Estimation' and contains the following fields and options:

- Radiation database: PVGIS-Helioclim
- Enter peak PV power: 960 Wp
- Battery voltage: 24 V, Capacity: 500 Ah
- Discharge cutoff limit (%): 40
- Enter daytime consumption: 1000 Wh
- Enter nighttime consumption: 1260 Wh
- (calculate consumption)
- Module inclination [-90;90]: 15 deg.
- Use given inclination (selected) / Find optimal inclination
- Show graphs (checkbox)
- Output options: Show graphs (checked), Show horizon (checked), Web page (selected), Text file, PDF
- Calculate button
- [help] link

Figura 6.8 - PVGIS, introdução dos dados.[9]

Todos parâmetros da simulação já se encontravam dimensionados, à exceção da inclinação dos módulos fotovoltaicos. A inclinação escolhida, 15°, é mínima e tem como principal objetivo a manutenção dos módulos contra sombreamentos provocados por folhas ou poeiras. Tendo em conta que o local de instalação é amplo e sem sombreamentos contínuos, a inclinação dos módulos fotovoltaicos não apresenta problemas. Os módulos estarão, como é habitual, direcionados para norte, por forma a maximizar o rendimento do sistema.

Após a introdução dos dados, obteve-se o seguinte resultado.

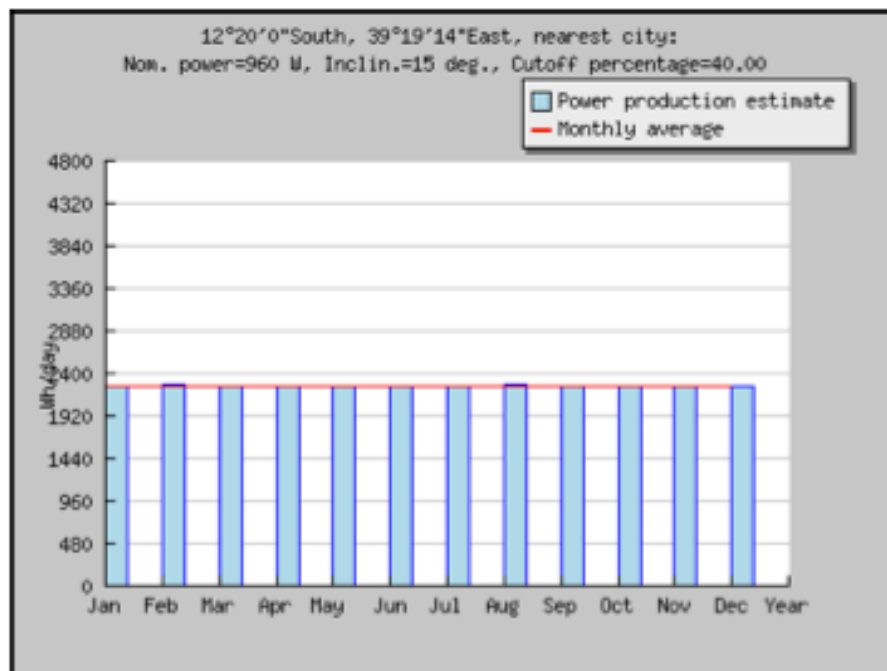


Figura 6.9 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]

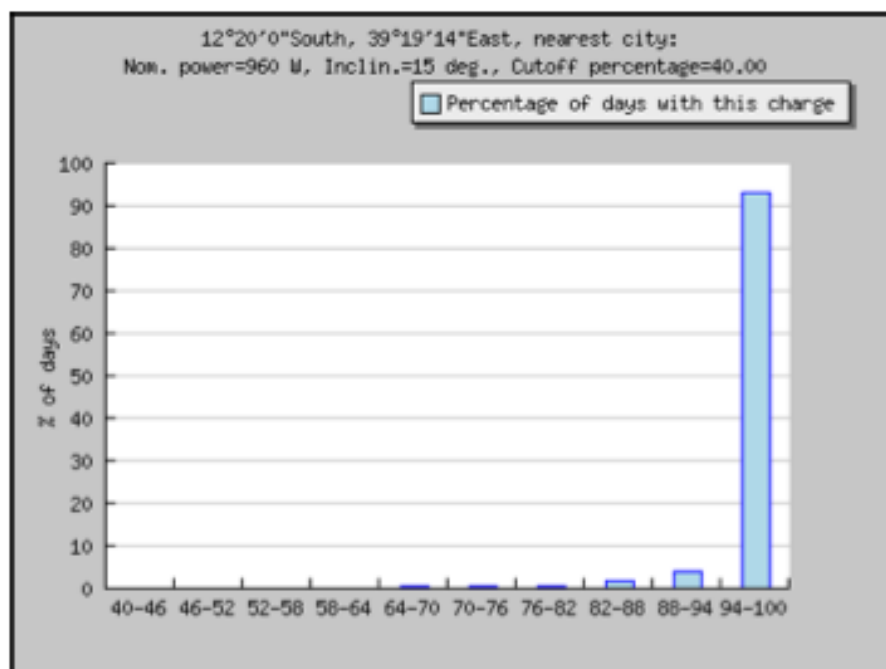


Figura 6.10 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9]

A figura 6.8 ilustra a produção mensal do sistema ao longo de um ano e a figura 6.9 indica, percentualmente, o estado de carga das baterias (%) ao longo do ano.

Dado que o sistema se encontra sobredimensionado, seria de esperar que não houvesse corte de carga, ou seja, que existisse sempre energia disponível para alimentar as cargas, mesmo que não haja sol para carregar as mesmas durante 2 dias. Este valor foi imposto aquando do dimensionamento do sistema para o pior caso possível. Note-se que, as baterias nunca atingem a profundidade máxima imposta pelo fabricante (40%), com isto, garante-se uma longevidade saudável das baterias.

Se o sistema não se encontrasse sobredimensionado iria haver corte de carga nos piores meses de radiação solar. As figuras que se seguem ilustram essa situação, com módulos fotovoltaicos de 780Wp.

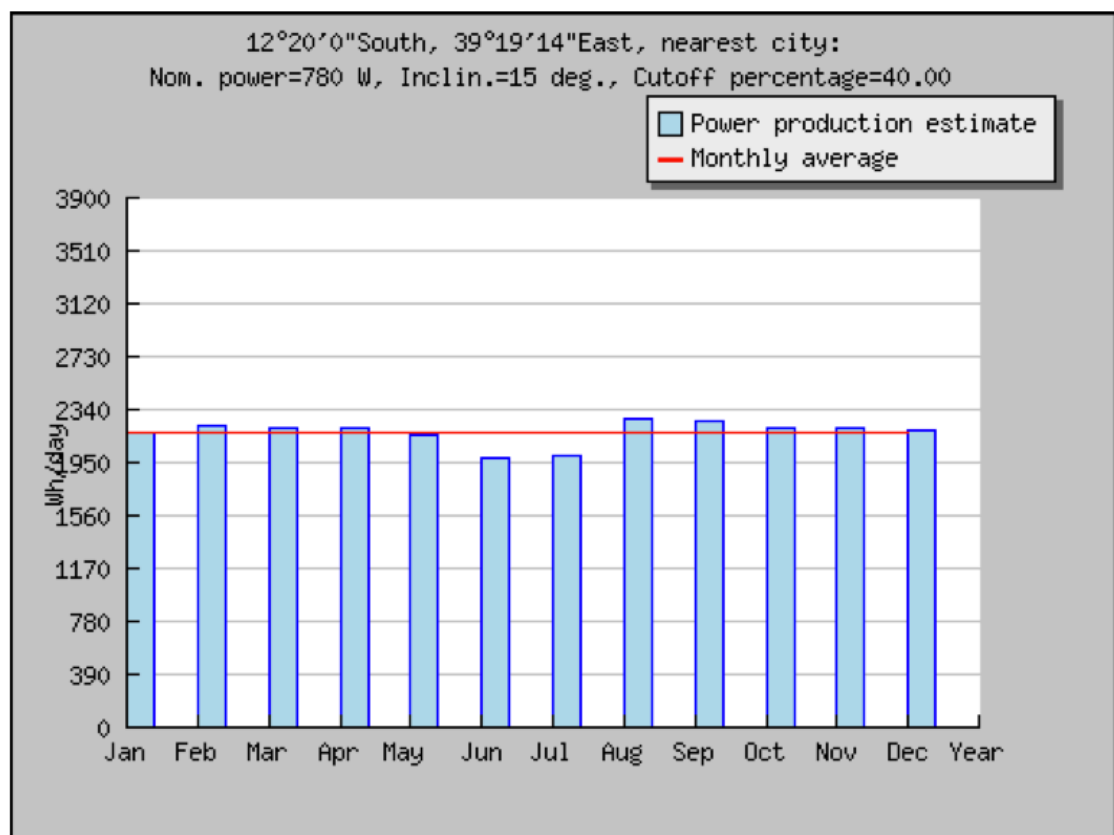


Figura 6.11 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]

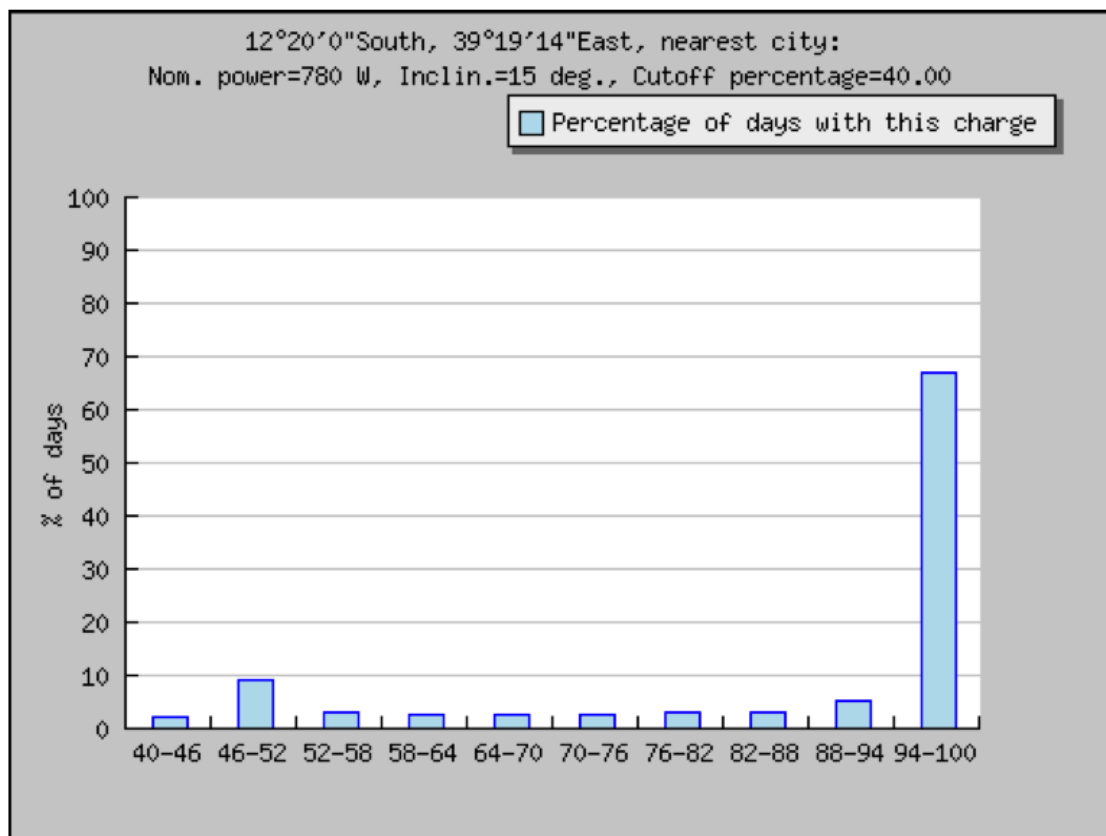


Figura 6.12 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9]

Conclui-se que ao efetuar um sobredimensionamento do sistema, este será mais robusto, capaz de alimentar as cargas de forma contínua e terá uma longevidade maior. Em contrapartida terá um custo superior. Do ponto de vista técnico, é mais vantajoso instalar o sistema sobredimensionado devido às inúmeras vantagens, como robustez, longevidade e qualidade de serviço. Note-se que se está a eletrificar aldeias sem qualquer fonte de energia e que, esta solução será a única que terão durante os próximos 20 anos.

6.2.2 - Habitação

Analogamente à [seção 6.2.1](#) será dimensionado cada componente de forma sumariada e posteriormente simulado o sistema.

As necessidades apuradas para este tipo de edifícios são as seguintes:

- Iluminação 1 sala grande, luz exterior;
- Iluminação para uma Secretária
- Energia para um frigorífico pequeno;
- Energia para carregamento de um telefone/rádio amador;
- Consumo médio diário 2kWh/dia a 230V ($\pm 10V$) AC;

De acordo com estas necessidades foi feito um levantamento das exigências elétricas capazes de alimentar estas cargas e construído um diagrama de cargas diário. A tabela que se segue sumariza o tipo de cargas que vão ser utilizadas.

Tabela 6.8 – Cargas Habitação

Tipo de Carga	Consumo W	Nº de Componentes
Iluminação Exterior	9 W	2
Iluminação Interior	9 W	5
Frigorífico	55 W	1
Carregador Telemóvel Universal	12 W	1

O diagrama de cargas diário estabelecido para as necessidades deste edifício encontra-se na secção Anexos, tendo-se obtido uma carga diária de 2,0kWh/dia.

O esquema de ligações deste edifício é análogo à escola desenhada no ponto 6.2.1.

6.2.2.1 - Módulos Fotovoltaicos

O consumo diário estimado é de 2 kWh, com isto dimensiona-se a potência dos módulos fotovoltaicos para o pior dia solar do ano. De forma análoga ao sistema anterior:

$$P_{Painel} = \frac{Carga_{diária}}{N^{\circ} de horas de Sol} Wp \quad (6.7)$$

$$P_{Painel} = \frac{2000}{3} = 666 Wp \quad (6.8)$$

O sistema fotovoltaico tem que ser capaz de alimentar as cargas continuamente sem correr riscos de corte de carga, com isto, os módulos fotovoltaicos serão sobredimensionados em 25%.

$$P_{Painel} = 1,25 * 666 = 833 Wp \quad (XX)$$

Os módulos fotovoltaicos escolhidos são da marca Beijing Epsolar Technology CO., Ltd (Ficha Técnica na secção Anexos), de silício policristalino de 140Wp. O fabricante garante um ciclo de vida de 25 Anos.

A associação de 6 Módulos permitirá obter uma potência de 840Wp, representando um sobredimensionamento de 26%, sendo este valor aceitável. A associação dos módulos será realizada através da ligação de três módulos em série que por sua vez estarão em paralelo

com a série de três módulos, com isto, é possível obter uma tensão de saída do painel de 53,4V e uma corrente de 23,58A.

A tabela 6.9 sintetiza a chapa de características dos módulos fotovoltaicos que serão utilizados.

Tabela 6.9 – Chapa de Características

Parâmetros Eléctricos	Valor
Potência Nominal	140 Wp
Corrente Nominal	7,86 A
Tensão Nominal	17,8 V
Corrente Curto-Circuito	8,34 A
Tensão Circuito-Aberto	22,4 V
Rendimento	15,3 %

6.2.2.2 - Regulador de Carga

A escolha do regulador de carga é realizada com base na tensão nominal, corrente nominal, tensão de religação e potência do painel.

Tabela 6.10 – Características Painel Fotovoltaico

Parâmetros Eléctricos	Valor
Potência Nominal	840 Wp
Corrente Nominal	23,58 A
Tensão Nominal	53,4 V
Corrente Curto-Circuito	25,02 A
Tensão Circuito-Aberto	67,2 V
Rendimento	15,3 %

Com estes dados, tendo em conta que se trata de um sistema isolado da rede, escolheu-se o regulador de carga Sunny Island Charger 50 da empresa SMA. A ficha técnica deste componente encontra-se disponível na seção Anexos.

6.2.2.3 - Inversor

A escolha do inversor é baseada na tensão e corrente de saída do regulador de carga e na potência dos módulos fotovoltaicos.

Com estes dados escolheu-se o inversor da empresa SMA Solar Technology, Sunny Island 2224. A ficha técnica deste componente encontra-se na seção Anexos.[36]

6.2.2.4 - Baterias

A tensão de saída do inversor e regulador de carga impõe a tensão de funcionamento das baterias.

Tendo em conta que o sistema tem que alimentar continuamente as cargas e por forma a garantir isto, definiu-se que o sistema terá que ser dotado de uma autonomia de 2 dias sem qualquer tipo de carregamento.

O cálculo a realizar para se determinar a capacidade das baterias segue o seguinte método:

Tabela 6.11 – Cálculo Capacidade

Grandezas	Valor
Energia a fornecer	2000Wh/dia
Tensão das Baterias	24 V
Autonomia	2 dias
Profundidade de Descarga	60 %

A fórmula a adotar para determinar a capacidade é a seguinte:

$$Capacidade = \frac{A * E}{U * P} Ah \quad (6.8)$$

onde:

A - Autonomia (dia);

E - Energia a fornecer por dia (Wh/dia);

U - Tensão das Baterias (V);

P - Profundidade de Descarga (%).

$$Capacidade = \frac{2 * 2000}{24 * 0,4} = 417 Ah \quad (6.9)$$

As baterias escolhidas são fabricadas pela empresa Leoch International Technology Limited CO., LTD, modelo LPG2-400, com uma capacidade de 400Ah @ C10 e uma tensão de 2V. Por forma a obter os 24V de saída impostos pelo inversor e regulador de carga escolhidos, irá ser feita uma associação em série de 12 baterias acumuladoras.

A ficha técnica encontra-se na secção Anexos.



Figura 6.13 -Bateria Acumuladora 2V, 400Ah @ C10.[25]

6.2.2.5 - Secção dos Condutores

A tabela que se segue indica o comprimento das várias ligações da instalação, bem como as quedas de tensão máximas admissíveis para cada troço.

Tabela 6.12 – Comprimento dos Condutores[10]

Ligação	Comprimento l	I_{max}	V_n	ΔU %
Painel - Regulador	6,98 m	23,58 A	53,4 V	3%
Regulador - QPDC	1,12 m	35 A	24 V	3%
QPDC - Baterias	5 m	35 A	24 V	1%
QPDC - Inversor	0,13	35 A	24 V	3%
Inversor - QGBT	11,64 m	9,6 A	230 V	5%

A tabela 6.3 sintetiza as secções de cabo obtidas para cada troço.

Tabela 6.13 – Secção de Cabo[40]

Ligação	S mm ²	S mm ² Normalizada
Painel - Regulador	3,7 mm ²	6 mm ²
Regulador - QPDC	1,96 mm ²	4 mm ²
QPDC - Baterias	26,25 mm ²	35 mm ²
QPDC - Inversor	0,23 mm ²	2,5 mm ²
Inversor - QGBT	0,34 mm ²	2,5 mm ²

6.2.2.6 - Síntese de Componentes

A tabela 6.14 sumariza os materiais constituintes do sistema.

Tabela 6.14 – Síntese do Sistema

Componente	Fabricante	Modelo
Painel Fotovoltaico	Beijing Epsolar Technology CO., Ltd	DT140P-12
Regulador de Carga	SMA Solar Technology, Inc	Sunny Island Charger 50
Inversor de Sinal	SMA Solar Technology, Inc	Sunny Island 2224
Baterias Acumuladoras	Leoch International Technology Limited CO., LTD	LPG2-400

6.2.2.7 - Simulação

A figura 6.18 ilustra a introdução dos dados no PVGIS, de acordo com os resultados obtidos para este sistema.

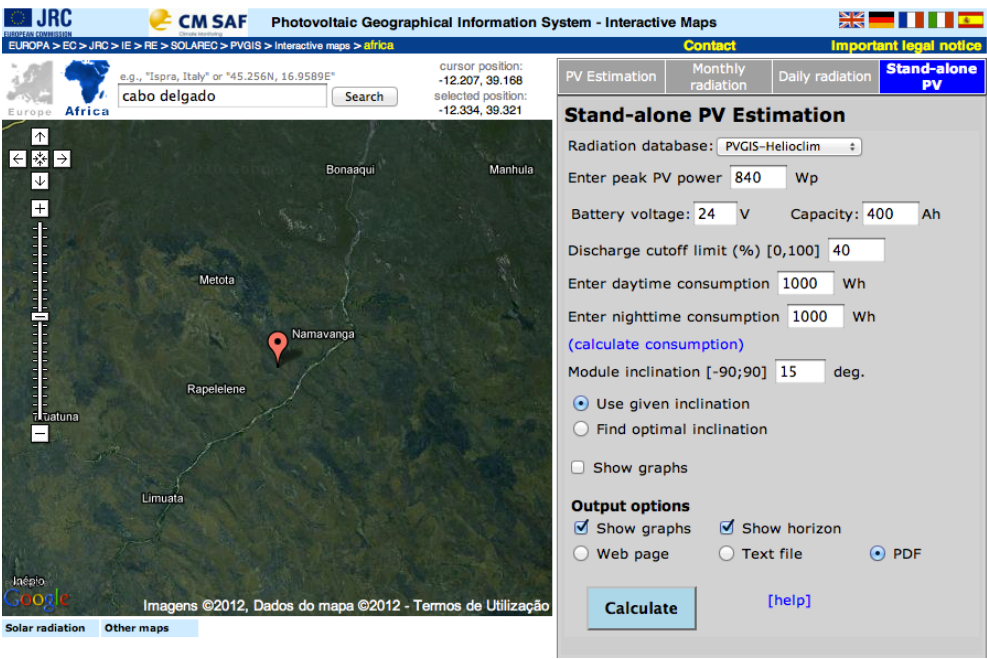


Figura 6.14 - PVGIS, introdução dos dados.[9]

Após a introdução dos dados, obteve-se o seguinte resultado.

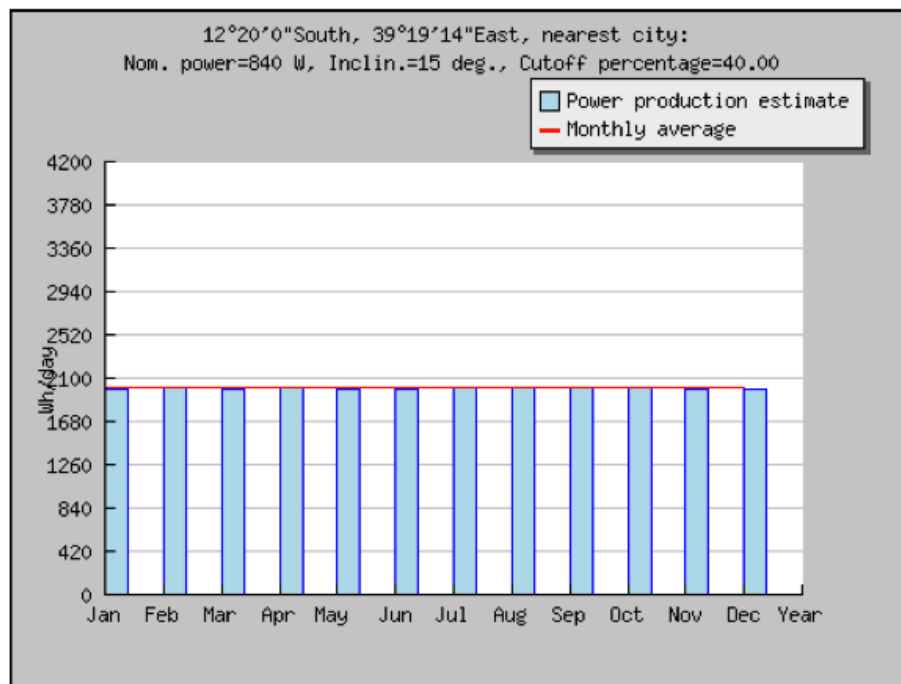


Figura 6.15 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]

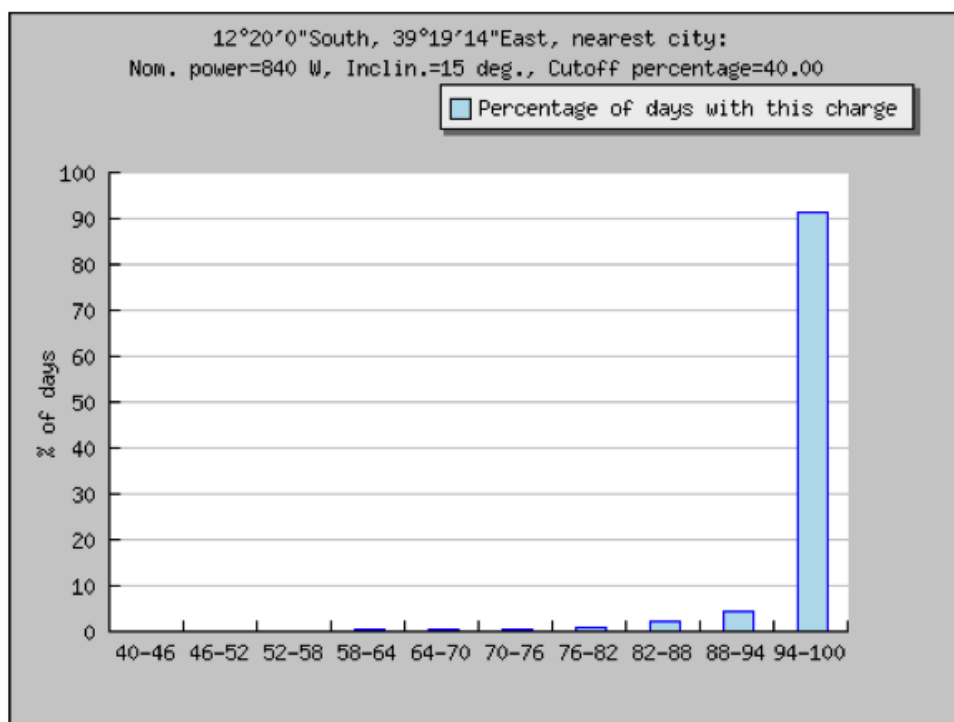


Figura 6.16 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9]

Como seria de esperar o sistema mantém-se estável ao longo do ano, visto que, este se encontra sobredimensionado de forma a evitar falhas de alimentação. Esta opção é relevante, visto que, esta fonte de energia será única para a população e considerada um recurso fundamental. Optando por um sistema com menor qualidade de serviço do ponto de vista da continuidade, nos meses de Junho e Julho iria haver corte de alimentação.

O gráfico presente na figura 6.21, ilustra a produção estimada para um sistema sem sobredimensionamento, ou seja, com módulos fotovoltaicos totalizando uma potência de 666Wp.

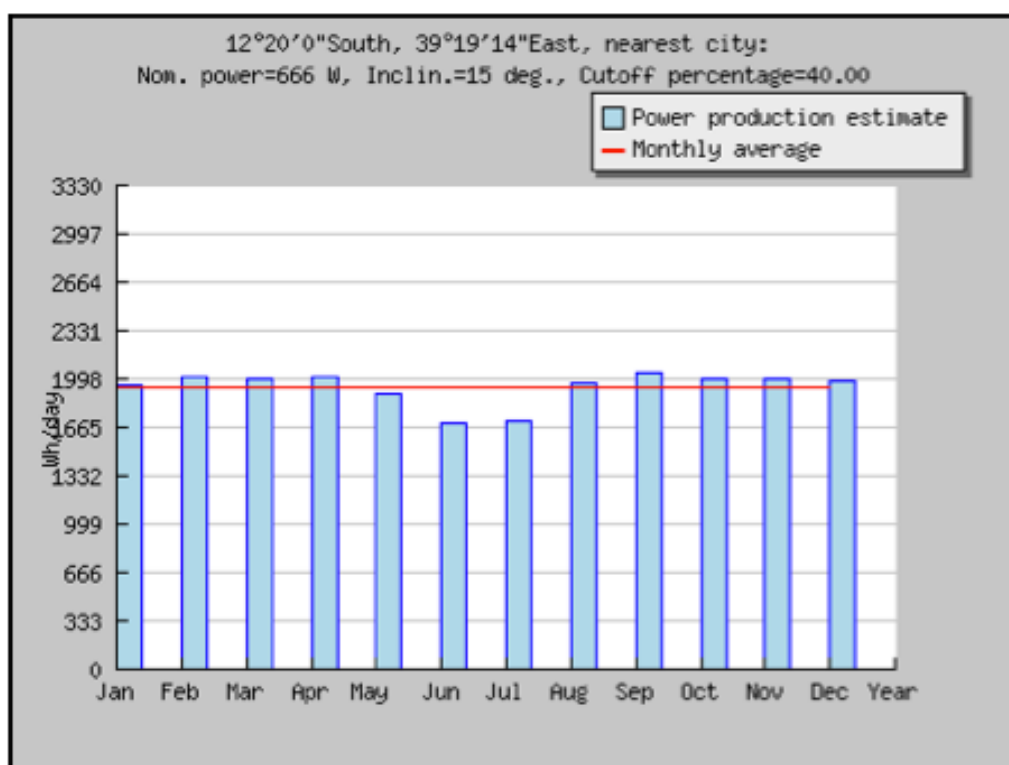


Figura 6.17 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]

Conclui-se que ao efetuar um sobredimensionamento do sistema a instalar será mais robusto, capaz de alimentar as cargas de forma contínua e terá uma longevidade maior. Em contrapartida terá um custo superior. Do ponto de vista técnico, é mais vantajoso instalar o sistema sobredimensionado devido às numerosas vantagens, como robustez, longevidade e qualidade de serviço. Note-se que se está a eletrificar aldeias sem qualquer fonte de energia e que, esta solução será a única que terão durante os próximos 20 anos.

6.2.3 - Centro de Saúde

Analogamente à [seção 6.2.1](#) e [seção 6.2.2](#) será dimensionado cada componente de forma sumariada e posteriormente simulado o sistema.

As necessidades apuradas para este tipo de edifícios são as seguintes:

- Iluminação 1 sala de Observação, 1 Sala de Espera;
- Iluminação para uma Secretária e luz para exames médicos;
- Iluminação Exterior;
- Energia para um frigorífico de vacinas e gelo;
- Energia para carregamento de um telefone/rádio amador;
- Consumo médio diário 2,2 kWh/dia a 230V (±10V) AC;

De acordo com estas necessidades foi feito um levantamento das exigências elétricas capazes de alimentar estas cargas e construído um diagrama de cargas diário. A tabela que se segue sumaria o tipo de cargas que vão ser utilizadas.

Tabela 6.15 – Cargas Centro Saúde

Tipo de Carga	Consumo <i>W</i>	Nº de Componentes
Iluminação Exterior	9 <i>W</i>	1
Iluminação Interior	15 <i>W</i>	8
Iluminação de Secretária	5 <i>W</i>	2
Iluminação para Exame Médico	50 <i>W</i>	1
Carregador de Rádio UF	25 <i>W</i>	1
Refrigerador Vacinas/Gelo	42 <i>W</i>	1

O diagrama de cargas diário estabelecido para as necessidades do centro de saúde encontra-se na secção Anexos, tendo-se obtido uma carga diária de 2,2 kWh/dia.

O esquema de ligações deste edifício é análogo ao edifício escola desenhado no ponto 6.2.1, excetuando que existe uma saída do QPDC (Quadro de Proteção DC) para alimentar o refrigerador de vacinas a 24V DC.

6.2.3.1 - Módulos Fotovoltaicos

O consumo diário estimado é de 2,2 kWh, com isto dimensiona-se a potência dos módulos fotovoltaicos para o pior dia solar do ano. De forma análoga ao sistema anterior:

$$P_{\text{Painel}} = \frac{\text{Carga diária}}{\text{Nº de horas de Sol}} \text{ Wp} \quad (6.10)$$

$$P_{\text{Painel}} = \frac{2200}{3} = 734 \text{ Wp} \quad (6.11)$$

O sistema fotovoltaico tem que ser capaz de alimentar as cargas continuamente sem correr riscos de corte de carga, com isto, os módulos fotovoltaicos serão sobredimensionados em 25%.

$$P_{\text{painel}} = 1,25 * 734 = 918 \text{ Wp} \quad (6.12)$$

Os módulos fotovoltaicos escolhidos são da marca Beijing Epsolar Technology CO., Ltd (Ficha Técnica na secção Anexos), de silício policristalino de 230Wp. O fabricante garante um ciclo de vida de 25 Anos.

A associação de 4 Módulos permitirá obter uma potência de 920Wp, representando um sobredimensionamento de 23%, sendo este valor aceitável. A associação dos módulos será realizada através da ligação de dois módulos em série que por sua vez estarão em paralelo com a série de dois módulos, com isto, é possível obter uma tensão de saída do painel de 60,4V e uma corrente de 15,24 A.

A tabela 6.16 sintetiza a chapa de características dos módulos fotovoltaicos que serão utilizados.

Tabela 6.16 – Chapa de Características

Parâmetros Eléctricos	Valor
Potência Nominal	230 Wp
Corrente Nominal	7,62 A
Tensão Nominal	30,2 V
Corrente Curto-Circuito	8,42 A
Tensão Circuito-Aberto	37,3 V
Rendimento	15,7 %

6.2.3.2 - Regulador de Carga

A escolha do regulador de carga é realizada com base na tensão nominal, corrente nominal, tensão de religação e potência do painel.

Tabela 6.17 – Características Painel Fotovoltaico

Parâmetros Eléctricos	Valor
Potência Nominal	920 Wp
Corrente Nominal	15,24 A
Tensão Nominal	60,4 V
Corrente Curto-Circuito	16,42 A
Tensão Circuito-Aberto	74,6 V
Rendimento	15,3 %

Com estes dados, tendo em conta que se trata de um sistema isolado da rede, escolheu-se o regulador de carga Sunny Island Charger 50 da empresa SMA. A ficha técnica deste componente encontra-se disponível na seção Anexos.

6.2.3.3 - Inversor

A escolha do inversor é baseada na tensão e corrente de saída do regulador de carga e na potência dos módulos fotovoltaicos.

Com estes dados escolheu-se o inversor da empresa SMA Solar Technology, Sunny Island 2224. A ficha técnica deste componente encontra-se na seção Anexos.[36]

6.2.3.4 - Baterias

A tensão de saída do inversor e regulador de carga impõe a tensão de funcionamento das baterias.

Tendo em conta que o sistema tem que alimentar continuamente as cargas e por forma a garantir isto, definiu-se que o sistema terá que ser dotado de uma autonomia de 2 dias sem qualquer tipo de carregamento.

O cálculo a realizar para se determinar a capacidade das baterias segue o seguinte método:

Tabela 6.18 — Cálculo Capacidade

Grandezas	Valor
Energia a fornecer	2200Wh/dia
Tensão das Baterias	24 V
Autonomia	2 dias
Profundidade de Descarga	60 %

A fórmula a adotar para determinar a capacidade é a seguinte:

$$Capacidade = \frac{A * E}{U * P} \text{ Ah} \quad (6.13)$$

onde:

A - Autonomia (dia);

E - Energia a fornecer por dia (Wh/dia);

U - Tensão das Baterias (V);

P - Profundidade de Descarga (%).

$$Capacidade = \frac{2 * 2200}{24 * 0,4} = 458 \text{ Ah} \quad (6.14)$$

As baterias escolhidas são fabricadas pela empresa Shen Zhen Ritar Power CO., LTD, modelo RL2500D, com uma capacidade de 500Ah @ C10 e uma tensão de 2V. Por forma a obter os 24V de saída impostos pelo inversor e regulador de carga escolhidos, irá ser feita uma associação em série de 12 baterias acumuladoras.

A ficha técnica encontra-se na secção Anexos.

6.2.3.5 - Secção dos Condutores

A tabela que se segue indica o comprimento das várias ligações da instalação, bem como as quedas de tensão máximas admissíveis para cada troço.

Tabela 6.19 – Comprimento dos Condutores[10]

Ligação	Comprimento l	I_{max}	V_n	ΔU %
Painel - Regulador	6,98 m	15,24 A	60,4 V	3%
Regulador - QPDC	1,12 m	38 A	24 V	3%
QPDC - Baterias	5 m	38 A	24 V	1%
QPDC - Inversor	0,13 m	38 A	24 V	3%
QPDC - Refrigerador	15 m	38 A	24 V	3%
Inversor - QGBT	14,7 m	9,6 A	230 V	5%

A tabela 6.3 sintetiza as secções de cabo obtidas para cada troço.

Tabela 6.20 – Secção de Cabo[40]

Ligação	S mm ²	S mm ² Normalizada
Painel - Regulador	2,12 mm ²	4 mm ²
Regulador - QPDC	2,13 mm ²	4 mm ²
QPDC - Baterias	28,5 mm ²	35 mm ²
QPDC - Inversor	0,247 mm ²	2 mm ²
QPDC - Refrigerador	28,5 mm ²	35 mm ²
Inversor - QGBT	0,74 mm ²	2 mm ²

6.2.3.6 - Síntese de Componentes

A tabela 6.21 sumariza os materiais constituintes do sistema.

Tabela 6.21 – Síntese do Sistema

Componente	Fabricante	Modelo
Painel Fotovoltaico	Beijing Epsolar Technology CO., Ltd	DT230P-20
Regulador de Carga	SMA Solar Technology, Inc	Sunny Island Charger 50
Inversor de Sinal	SMA Solar Technology, Inc	Sunny Island 2224
Baterias Acumuladoras	Shen Zhen Ritar Power CO., LTD	RL2500D

6.2.3.7 - Simulação

A figura 6.25 ilustra a introdução dos dados no PVGIS de acordo com os resultados obtidos para o sistema fotovoltaico do centro de saúde.

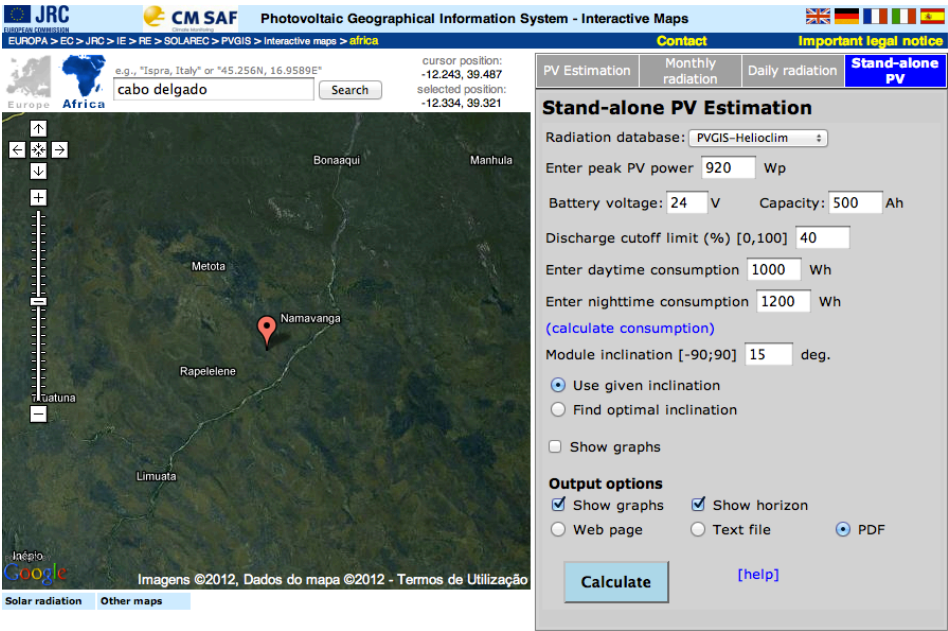


Figura 6.18 - PVGIS, introdução dos dados.[9]

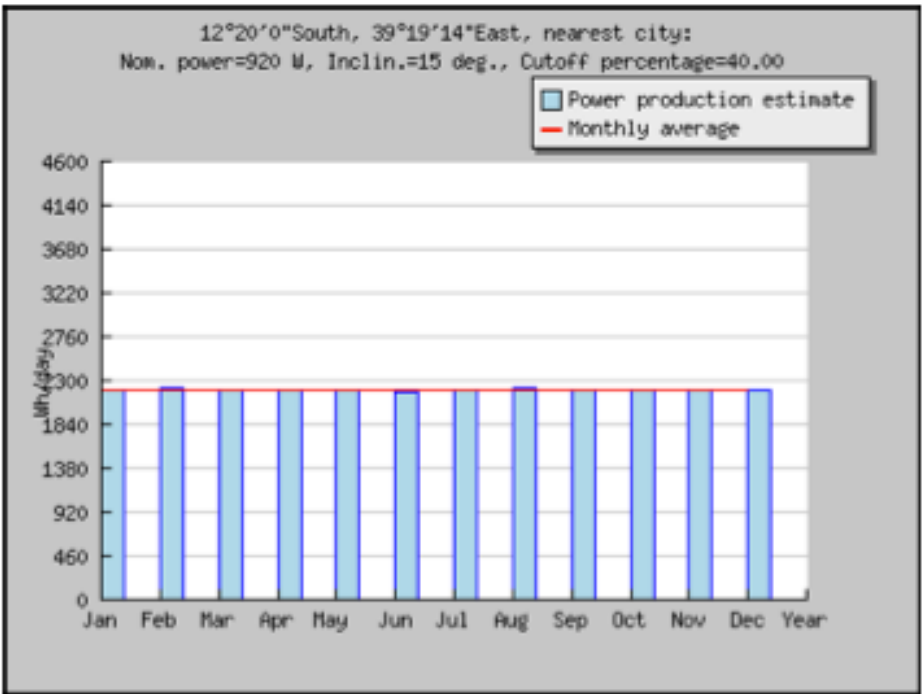


Figura 6.19 - PVGIS, Produção estimada mensal.[9]

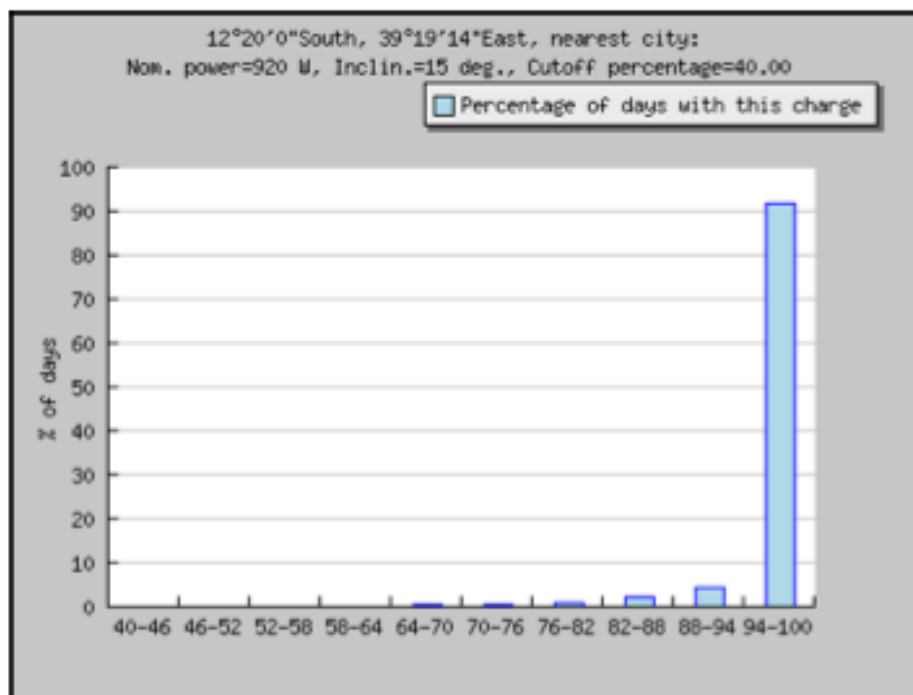


Figura 6.20 - PVGIS, Descarga das Baterias.[9]

Analogamente aos sistemas dimensionados anteriormente, observa-se um sistema estável, robusto que preza pela continuidade do serviço. Se não existisse sobredimensionamento dos módulos fotovoltaicos iria-se observar uma quebra de alimentação das cargas nos meses de Junho e Julho, por se tratarem dos piores meses solares em Moçambique.

6.3 - Conclusão

Ao longo deste capítulo foram desenvolvidas 3 soluções, uma para cada tipo de edifício. Esta secção visa sumarizar os componentes por tipo, comparando-os entre si, ou seja, fazer uma leitura clara das potências envolvidas em função da carga, bem como foi modelizado cada sistema para responder aos requisitos exigidos.

Para cada tipo de edifício, a solução irá ser catalogada com o nome “Kit África” seguida de um número, ou seja, o edifício escolar será denominado Kit África 1, o edifício habitacional Kit África 2 e o Centro de Saúde Kit África 3.

6.3.1 - Módulos Fotovoltaicos

A tabela que se segue identifica os módulos adotados para cada Kit África, destacando os principais parâmetros, como tensão de saída, potência de pico, corrente de saída, bem como, carga diária estimada e rendimento.

Tabela 6.22 – Módulos Fotovoltaicos

Parâmetros	Kit África 1	Kit África 2	Kit África 3
Potência (Wp)	960 Wp	840 Wp	920 Wp
Tensão de Saída (V)	61,2 V	53,4 V	60,4 V
Corrente de Saída (A)	15,68 A	23,58 A	15,24 A
Carga Diária (kWh/dia)	2,36 kWh/dia	2,0 kWh/dia	2,2 kWh/dia
Rendimento dos Módulos (%)	16,3 %	15,3 %	15,3 %

O kit África 1 e 3 apresentam semelhanças notáveis em todos os parâmetros elétricos, tal facto deve-se à utilização de módulos fotovoltaicos do mesmo fabricante com potências idênticas e existir o mesmo número de módulos ligados entre si, com a mesma topologia de ligação. A grande diferença reside no rendimento dos mesmos, isto é justificado pelas perdas internas dos módulos fotovoltaicos. O kit África 2 é constituído por 6 módulos fotovoltaicos o que conduz a uma corrente de saída substancialmente maior que a dos restantes sistemas. Como seria de esperar, a potência dos módulos fotovoltaicos varia linearmente com a carga estimada. A figura que se segue ilustra a evolução da potência em função da carga estimada.

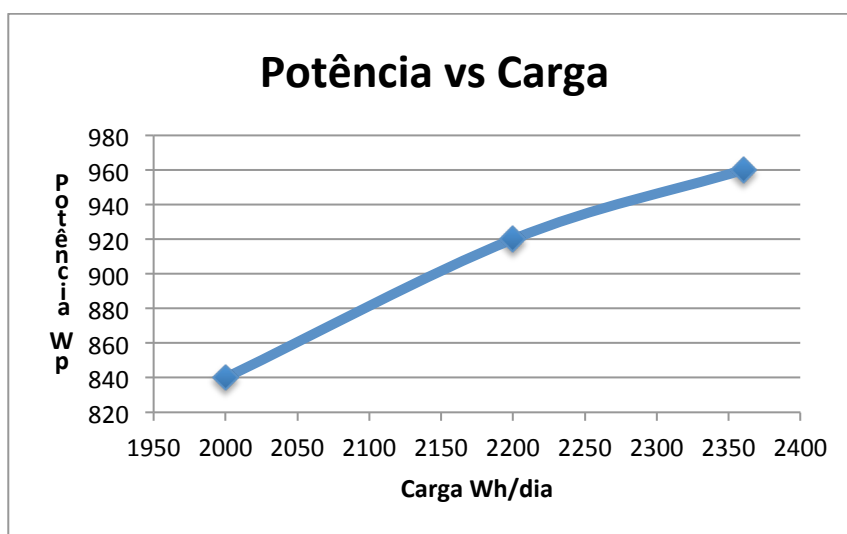


Figura 6.21 - Potência vs Carga

6.3.2 - Regulador de Carga

A escolha do regulador de carga é realizada de acordo com a tensão e corrente de saída do painel fotovoltaico, bem como a potência nominal do mesmo. Optou-se pelo regulador de carga Sunny Island Charger 50 do fabricante SMA. Este componente adequa-se aos 3 sistemas dimensionados devido aos requisitos de entrada que este exige. A tabela XX sumariza os parâmetros mais relevantes deste regulador de carga.

Tabela 6.23 – Regulador de Carga Sunny Island Charger 50

Parâmetros	Valores
Potência Máxima PV	1250 W
Tensão Máxima de Entrada	140 Vdc
Corrente Máxima de Entrada	40 A
Tensão de Saída DC	24 V
Corrente de Saída DC	40 A
Rendimento	97,3 %

6.3.3 - Inversor DC/AC

Nos três sistemas dimensionados, utilizou-se o mesmo inversor DC/AC. A oferta destes componentes é reduzida para esta gama de potências, tendo em conta que são sistemas isolados da rede elétrica, por isso optou-se por um fabricante com largos anos de experiência no mercado e escolheu-se um inversor robusto específico para sistemas solares remotos. Note-se que, ao utilizar um inversor do mesmo fabricante que o do regulador de carga, garante-se compatibilidade de software entre os mesmos, evitando assim, problemas que poderiam surgir do ponto de vista técnico aquando da instalação do sistema.

A tabela 6.24 sumariza os principais parâmetros do inversor Sunny Island 2224 fabricado pela empresa SMA.

Tabela 6.24 – Inversor Sunny Island 2224

Parâmetros	Valores
Tensão de Entrada DC	24 V
Corrente de Entrada DC	80 A
Capacidade das Baterias	100Ah - 1000Ah
Rendimento	93,6 %
Tensão de Saída AC	230 V
Corrente de Saída AC	9,6 A
Potência de Saída (25°C)	2200 W

6.3.4 - Baterias Acumuladoras

As baterias acumuladoras, são dimensionadas de acordo com a carga alimentar, autonomia que se pretende e tensão de funcionamento imposta pelo inversor e regulador de carga. As baterias de grande capacidade têm, por norma, uma tensão nominal de 2V. Para assegurar a tensão de 24V imposta pelo inversor e regulador, associaram-se 12 baterias acumuladoras em série, por forma a garantir a tensão de saída de pretendida.

Definiu-se que o sistema teria de ser autónomo por dois dias, ou seja, as baterias teriam que ser capazes de alimentar o sistema sem qualquer carregamento ao longo desse tempo. Este valor foi imposto tendo em conta a situação precária de Moçambique, visto que, esta será a única fonte de energia elétrica que as aldeias irão ter ao seu dispor.

A tabela que se segue sumariza as baterias utilizadas em cada Kit África.

Tabela 6.25 – Baterias Acumuladoras

Parâmetros	Kit África 1	Kit África 2	Kit África 3
Capacidade (Ah)	500 Ah	400 Ah	500 Ah
Tempo de Descarga	C10	C10	C10
Tensão Unitária	2 V	2 V	2 V
Profundidade de Descarga	40 %	40 %	40 %
Energia Acumulada kWh	12 kWh	9.6 kWh	12 kWh

Note-se que a energia acumulada indicada na tabela 6.25, não contempla a profundidade de descarga, ou seja, tendo em conta uma profundidade de descarga até 40% na realidade a energia útil acumulada para o Kit África 1 e 3 é de 7,2 kWh e para o Kit África 2 é de 5,76 kWh.

Tendo em conta que se pretendia um sistema autónomo para, pelo menos dois dias, sem qualquer tipo de carregamento, garante-se que existe energia acumulada suficiente para a alimentar as cargas durante esse período.

A tabela 6.26 indica a carga diária estimada e a energia acumulada nas baterias para cada sistema, tendo em conta a profundidade de descarga.

Tabela 6.26 – Baterias Acumuladoras

Parâmetros	Kit África 1	Kit África 2	Kit África 3
Carga Diária (kWh/dia)	2,36 kWh/dia	2 kWh/dia	2,2 kWh/dia
Carga em 2 dias	4,76 kWh/dia	4 kWh	4,4 kWh
Energia Acumulada (kWh)	7,2 kWh	5,76 kWh	7,2 kWh

Tendo em conta que os módulos fotovoltaicos se encontram sobredimensionados e que as baterias, segundo as simulações realizadas, não atingem a profundidade máxima de descarga, verifica-se que os sistemas atingem uma autonomia de 3 dias, o que revela um sistema robusto com elevada continuidade de serviço.

Capítulo 7

Cálculo Económico

Para se efetuar o cálculo económico do projeto, foram considerados os preços individuais dos componentes constituintes de cada Kit África, sob as taxas locais impostas pelos fabricantes. Os preços dos componentes foram obtidos diretamente a partir de cada fabricante. O cálculo de cada Kit África é realizado individualmente.

7.1 - Kit África 1 - Escola

Tabela 7.1 — Kit África 1 - Edifício Escolar

Componente	Referência	Quantidade	Custo Unitário €	Custo Total
Módulos Fotovoltaicos	DT240P-20	4	288,99 €	1.155,96 €
Regulador de Carga	Sunny Island Charger 50	1	925,00 €	925,00 €
Inversor DC/AC	Sunny Island 2224	1	2.325,00 €	2.325,00 €
Baterias Acumuladoras	RL2500D	12	138,76 €	1.665,12 €
Condutores	Tipo VV	59	Variável	979,95 €
Quadro DC		1	159,99 €	159,99 €
Iluminação	Luminárias + Lâmpadas	1	553,78 €	553,78 €
Mão-de-obra		3	600€,00 €	1.800,00 €
TV/DVD	Toshiba Combo LED/DVD 23DL934G	1	299€	299,00 €
Custos de Transporte	Contentor Marítimo 20 Pés	1	3.000€	3.000,00 €
Carregador Telemóvel	Universal	1	25,00 €	25,00 €
Total				12.888,80 €

7.2 - Kit África 2 - Habitação

Tabela 7.2 – Kit África 2 - Habitação

Componente	Referência	Quantidade	Custo Unitário €	Custo Total €
Módulos Fotovoltaicos	DT140P-12	6	172,30 €	1.033,80 €
Regulador de Carga	Sunny Island Charger 50	1	925,00 €	925,00 €
Inversor DC/AC	Sunny Island 2224	1	2.325,00 €	2.235,00 €
Baterias Acumuladoras	LPG2-400	12	119,43 €	1.433,16 €
Condutores	Tipo VV	26	Variável	620,74 €
Quadro DC		1	159,99 €	159,99 €
Iluminação	Luminárias + Lâmpadas	1	178,04 €	178,04 €
Mão-de-obra		1,5	600 €	900 €
Custos de Transporte	Contentor Marítimo 20 Pés	1	3.000 €	3.000 €
Carregador Telemóvel	Universal	1	25,00 €	25,00 €
Frigorífico		1	350,00 €	350,00 €
Total				12.390,73 €

7.3 - Kit África 3 - Centro de Saúde

Tabela 7.3 – Kit África 3 - Centro de Saúde

Componente	Referência	Quantidade	Custo Unitário €	Custo Total €
Módulos Fotovoltaicos	DT230P-20	4	278,43 €	1.113,72 €
Regulador de Carga	Sunny Island Charger 50	1	925,00 €	925,00 €
Inversor DC/AC	Sunny Island 2224	1	2.325,00 €	2.325,00 €
Baterias Acumuladoras	RL2500D	12	138,76 €	1.665,12 €
Condutores	Tipo VV	45	Variável	1.618,01 €
Quadro DC		1	159,99 €	159,99 €
Iluminação	Luminárias + Lâmpadas	1	373,14 €	373,14 €
Mão-de-obra		2,5	600,00 €	1.500,00 €
Custo de Transporte	Contentor Marítimo 20 Pés	1	3.000,00 €	3.000,00 €
Carregador Telemóvel	Universal	1	25,00 €	25,00 €
Refrigerador de Vacinas		1	2.083,00 €	2.083,00 €
Total				14.787,98 €

7.4 - Conclusão

A tabela 7.4, ilustra o custo total de cada Kit África e o custo global do projeto.

Tabela 7.4 – Síntese de Custos dos Kits África

Kit África	Custo €
Escola	12.888,80 €
Habitação	12.390,73 €
Centro de Saúde	14.787,98 €
Custo Global do Projeto	40.067,51 €

Os custos individuais de cada kit África são muito semelhantes, tal facto deve-se aos custos fixos com pessoal, estruturas, instalação e material a avulso como televisores ou frigoríficos que se encontram em cada tipo de instalação.

Apesar do custo elevado, este valor pode ser reduzido se houver uma eletrificação em massa, ou seja, eletrificação de um elevado nº de aldeias reduz fortemente o preço por kit.

Note-se que, os sistemas se encontram sobredimensionados na ordem dos 20% garantindo uma elevada fiabilidade e continuidade de serviço nos piores meses do ano, isto porque estas soluções serão o único recurso energético no local de instalação.

Capítulo 8

Conclusões

8.1 - Conclusão

A presente dissertação aborda a eletrificação rural remota com recurso à energia solar para pequenas potências. Para tal foram descritos os componentes e tecnologias associadas a todo um sistema fotovoltaico, bem como metodologia de dimensionamento e desenvolvimento de soluções sustentáveis de acordo com as necessidades Moçambicanas. A eletrificação rural isolada da rede, em Moçambique, é crucial, visto que, as Aldeias em que o sistema será instalado não têm qualquer fonte de energia vivendo em condições bastante precárias. A introdução de energia elétrica na vida destas pequenas populações irá trazer um enorme valor acrescentado na sua qualidade de vida.

Atualmente, os módulos fotovoltaicos ainda representam custos relativamente elevados, no entanto tem-se verificado uma redução de custos significativos nos últimos anos, bem como um aumento de performance em termos de rendimento e ciclo de vida útil. Ao nível dos inversores, regista-se melhorias na qualidade de serviço e fiabilidade. As baterias, indispensáveis num sistema autónomo, serão sempre uma condicionante devido ao seu elevado custo de aquisição para grandes capacidades. Note-se que as baterias exigem bastantes cuidados na descarga das mesmas, ou seja, se a profundidade de descarga recomendada pelo fabricante for ultrapassada existe uma forte redução no ciclo de vida útil das baterias e consequentemente do sistema.

A microprodução é uma solução a adotar nos países em vias de desenvolvimento, com um elevado número de pequenas populações a viverem a centenas de quilómetros dos grandes centros sem qualquer recurso a energia da rede elétrica.

É de esperar que num futuro, muito próximo, se assista a uma crescente aposta neste tipo de sistemas por parte dos países em vias de desenvolvimento, como Moçambique.

8.2 - Trabalhos Futuros

Devido às preocupações ambientais, surge a necessidade de aumentar a produção de energia a partir de fontes renováveis, nomeadamente a produção fotovoltaica, de forma a diminuir os impactos ambientais através da redução de emissões de carbono para a atmosfera.

A utilização de sistemas fotovoltaicos em países subdesenvolvidos sem grandes capacidades financeiras para instalar uma rede elétrica completa e robusta, como Moçambique, está a crescer. É expectável num futuro próximo, que haja uma escalada de procura deste tipo de soluções, para outros países, com o intuito de eletrificar aldeias isoladas dos grandes centros.

É de esperar que os fabricantes comecem a produzir soluções, plug and play, reduzindo assim os custos de aquisição e instalação. A Efacec, por exemplo, é pioneira na produção de postos de transformação em betão armado do tipo plug and play.

Referências

- [1] Josué Morais , Engebook - “ **Sistemas Fotovoltaicos da Teoria à Prática** ” , 1ª Edição Março 2009 - ISBN: 978-989-96101-0-1
- [2] Stuart R. Wenham , Martin A. Green , Muriel E. Watt , Richard Corkish , Earth Scan - “ **Applied Photovoltaics** “ 1ª Edição 2007 - ISBN: 978-1-84407-401-3
- [3] Renewable Energy Education for a Sustainable Future , New Society Publishers - “ **Photovoltaics Design and Instalation Module** ” , 1ª Edição 2004 - ISBN- 0-86571-520-3
- [4] Daniel Sousa Leite, “Potential Induced Degradation of Photovoltaic Cells”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Janeiro de 2012.
- [5] Filipe Fernandes dos Santos, “**Utilização de Energia Fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia**”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Janeiro de 2011
- [6] “**Informação sobre o SolTerm 5.0**”, manual informativo do software SolTerm 5.0 desenvolvido no Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Informação, Fevereiro de 2007
- [7] PV F-CHART: “ **FV Systems Analysis** ”. Disponível em <http://www.fchart.com/pvfchart/>. Último acesso em Abril de 2012
- [8] PVSYS: “ **Software for Photovoltaic Systems** ”. Disponível em: <http://www.pvsyst.com/>. Último acesso em Abril de 2012
- [9] PVGIS: “ **Photovoltaic Geographical Information System** ”. Disponível em: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. Último acesso em Maio de 2012.
- [10] FUNAE: **Fundo Nacional de Energia**. Disponível em: <http://www.funae.co.mz/>. Último acesso em Maio de 2012.
- [11] OSRAM. Disponível em: http://www.osram.com/osram_com/products/lamps/fluorescent-lamps/fluorescent-lamps-t8/lumilux-t8/index.jsp. Último acesso em Abril de 2012.
- [12] Outback Power. Disponível em : http://www.outbackpower.com/docman/230911404593998000160100_RevE_FLEXmax_Spec-Sheet.pdf. Último acesso em Abril de 2012.
- [13] Domingos Miguel Sequeira Carvalho, “**Análise e Caracterização Energética de Sistemas Fotovoltaicos de Baixa Potência com Ligação à Rede Elétrica**”, Dissertação Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Julho 2011.

- [14] Célia Cristina da Costa Tenente, “ **Projeto de instalações de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios** ”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Julho de 2010.
- [15] Vitor Alexandre Moreira Alves, “ **Dimensionamento de sistemas de produção de eletricidade baseados em energia solar fotovoltaica** ”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Junho de 2008.
- [16] Brigitte Schulz, “ **PV Field Grounding** ”, SIEMENS Technical Description 24.12.09 http://www.automation.siemens.com/mcms/solar-inverter/de/solar-wechselrichter-sinvertr/Documents/Datas/Options/Pv_field_grounding/sinvert_datas_pv_field_grounding_en_2009-02-24.pdf (último acesso Abril 2012)
- [17] Yvonne, “ **Photovoltaic Cells**”, <http://nothingnerdy.wikispaces.com/PHOTOVOLTACI+CELLS++Yvonne> (Último Acesso Maio 2012).
- [18] Tatsuo Sasa, “ **Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production** ”, npg asia materials, website: <http://www.natureasia.com/asia-materials/highlight.php?id=744> (Último acesso Março 2012).
- [19] Câmara do Porto, “ **Notas Sobre a Evolução Demográfica do Concelho do Porto** ”, http://www.cm-porto.pt/users/0/56/Relatorio_demografia_GEP_25343ba266a4e79ef2e82c89d1fc1df0.pdf (Último acesso Maio 2012).
- [20] FF Solar Energias Renováveis, <http://www.ffi-solar.com/> (Último Acesso Maio 2012).
- [21] National Renewable Energy Laboratory, “ **Thin Film CIGS and CdTe Photovoltaic Technologies** ”, <http://www.nrel.gov/pv/pdfs/42058.pdf> (Último Acesso Abril 2012).
- [22] Ok Solar, “ **Diodes in PV Systems** ”, http://www.oksolar.com/technical/diodes_in_pv_systems.htm (Último Acesso Maio 2012).
- [23] Hahn-Meitner-Institut Berlin, “ **Solar Cells Materials - production and features** ”, Berlin Institute <http://www.sunenergysite.eu/en/technologies.php>
- [24] Filipe Alexandre de Sousa Pereira, Manuel Ângelo Sarmiento Oliveira, PubIndustria- “ **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica** ”, 1a Edição Agosto 2011 - ISBN: 978-972-8953-78-2.
- [25] Leoch, “ **LPG SERIES** ”, <http://www.leoch.com/uploadfiles/LPG2-400.pdf> (Último Acesso Maio 2012).
- [26] NaceCare Solutions, “ **Gel Batteries Vs Wet Lead Acid Batteries** ”, <http://www.nacecare.com/articles/gel-batteries-vs-wet-lead-acid-batteries> (Último Acesso Maio 2012).
- [27] Electropaedia, “ **Battery Life (and Death)** ”, <http://www.mpoweruk.com/life.htm> (Último Acesso Março 2012).
- [28] Rolls, “ **Cycle Life vs Depth of Discharge** ”, <http://www.rollsbattery.com/content/agm-faqs?q=node/81&phpMyAdmin=0610e516bf803196b5feee0b1ad65c08&phpMyAdmin=3jSJ-jdC5E7b53DHgV8TGvpSCF6> (Último Acesso Maio 2012).
- [29] WindSun, “ **What is a solar charge controller?** ”, <http://www.windsun.com/ChargeControls/ChargeCont.htm> (Último Acesso Maio 2012).
- [30] E. Cotter, J. H. Guo, P. J. Cousins, M. D. Abbott, F. W. Chen, and K. C. Fisher, “ **P-Type Versus n-Type Silicon Wafers: Prospects for High Efficiency Commercial Silicon Solar Cells** ” - IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 53, NO. 8, AUGUST 2006
- [31] European commission “ **PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY Development and current research** ”

- , http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2009_report-solar-energy.pdf (Último Acesso Maio 2012).
- [32] Susana Sofia Alves Freitas, “**Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**”, Relatório de projecto de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Novembro de 2008
- [33] Rui M.G. Castro, “Introdução à Energia Fotovoltaica”, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Maio de 2008
- [34] National Instruments, “**Photovoltaic Cell I-V Characterization**”, <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7230> (Último Acesso Maio 2012).
- [35] 2DO Congresso Iberoamericano, “**Model of Photovoltaic Module in Matlab™**”, http://personnel.univ-reunion.fr/lanson/typosite/fileadmin/documents/pdf/Heuristiques_M2/Projet/lecture_ModelPV.pdf (Último Acesso Abril 2012).
- [36] SMA Solar Technology, “**Sunny Family**”, <http://files.sma.de/dl/17333/SFK-KUS120911.pdf> (Último Acesso Abril 2012).
- [37] Ritarpower, “**AGM Battery**”, <http://www.ritarpower.com/products.aspx?pcatid=13> (Último Acesso Abril 2012).
- [38] Martin A Green, “**CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS**”, chapter 4 Photovoltaics Special Research Centre, University of New South Wales http://www.icpress.co.uk/etextbook/p139/p139_chap4.pdf.
- [39] Ministério do Turismo de Moçambique, <http://www.mitur.gov.mz/> (Último Acesso Maio 2012).
- [40] Regulamento de Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, <http://www.certiel.pt/web/certiel/instalacoes-de-utilizacao> (Último Acesso Maio 2012).
- [41] Norma CEI 60364-7-712i, http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60364-7-712%7Bed1.0%7Den_d.pdf (Último Acesso Julho 2012).

Anexos

Diagrama de cargas - Escola.

Diagrama de Carga	Iluminação Interior	Iluminação Exterior	Computador	Carregador	TV/DVD
0h	0	1	0	0	0
1h	0	1	0	0	0
2h	0	1	0	0	0
3h	0	1	0	0	0
4h	0	1	0	0	0
5h	0	1	0	0	0
6h	0	1	0	0	0
7h	0	1	0	0	0
8h	0	0	0	0	0
9h	0	0	0	0	0
10h	0	0	1	1	0
11h	0	0	1	1	1
12h	0	0	1	1	1
13h	0	0	1	1	1
14h	0	0	0	1	0
15h	0	0	0	1	0
16h	0	0	0	1	0
17h	0	0	0	1	0
18h	1	0	0	0	0
19h	1	0	0	0	0
20h	1	1	0	0	0
21h	1	1	0	0	0
22h	0	1	0	0	0
23h	0	1	0	0	0
Total de Horas	4	12	4	8	3
Total Wh/dia	1240	432	460	96	135

Diagrama de Cargas - Habitação

Diagrama de Carga	Iluminação Interior	Iluminação Exterior	Computador	Carregador	TV/DVD
0h	0	1	0	0	0
1h	0	1	0	0	0
2h	0	1	0	0	0
3h	0	1	0	0	0
4h	0	1	0	0	0
5h	0	1	0	0	0
6h	0	1	0	0	0
7h	0	1	0	0	0
8h	0	0	0	0	0
9h	0	0	0	0	0
10h	0	0	1	1	0
11h	0	0	1	1	1
12h	0	0	1	1	1
13h	0	0	1	1	1
14h	0	0	0	1	0
15h	0	0	0	1	0
16h	0	0	0	1	0
17h	0	0	0	1	0
18h	1	0	0	0	0
19h	1	0	0	0	0
20h	1	1	0	0	0
21h	1	1	0	0	0
22h	0	1	0	0	0
23h	0	1	0	0	0
Total de Horas	4	12	4	8	3
Total Wh/dia	1240	432	460	96	135

Diagrama de Cargas - Centro de Saúde

Diagrama de Carga	Iluminação Interior	Iluminação Exterior	Iluminação Exames	Carregador
0h	0	1	0	1
1h	0	1	0	1
2h	0	1	0	1
3h	0	1	0	1
4h	0	1	0	1
5h	0	1	0	1
6h	0	0	0	1
7h	0	0	0	1
8h	0	0	0	0
9h	0	0	0	0
10h	0	0	0	0
11h	1	0	1	0
12h	1	0	1	0
13h	1	0	0	0
14h	1	0	0	0
15h	1	0	0	0
16h	1	0	0	0
17h	0	0	0	0
18h	0	0	0	0
19h	0	0	0	0
20h	0	1	0	0
21h	0	1	0	0
22h	0	1	0	0
23h	0	1	0	0
Total de Horas	6	10	2	8
Total Wh/dia	780	90	100	200

Datasheet - Módulos Fotovoltaicos - 140Wp .



BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO.,LTD.



Performance Parameters

Type		DT090P-12	DT095P-12	DT100P-12	DT110P-12	DT120P-12	DT130P-12	DT140P-12
Electrical Characteristics	Max. Power (Pm)	90W	95W	100W	110W	120W	130W	140W
	Max. Power Voltage (Vmp)	17.6V	18.0V	17.4V	17.8V	17.2V	17.5V	17.8V
	Max. Power Current (Imp)	5.11A	5.28A	5.75A	6.18A	6.98A	7.42A	7.86A
	Open Circuit Voltage (Voc)	22.2V	22.6V	22.0V	22.4V	21.8V	22.0V	22.4V
	Short Circuit Current (Isc)	5.48A	5.53A	6.31A	6.54A	7.76A	8.10A	8.34A
	Max. System Voltage	700V		700V		700V		
	Operating Temperature	-40℃～85℃		-40℃～85℃		-40℃～85℃		
Mechanical Characteristics	No. of Cells (pcs)	36/72			36		36	
	Dimensions (mm)	1020×670×30			1190×670×30		1470×670×30	
	Weight (kg)	8.5			9.5		12	

Datasheet - Módulos Fotovoltaicos - 230 Wp e 240 Wp.



BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO.,LTD.

DT210P-20—DT240P-20 Polycrystalline Solar Module 210/215/220/225/230/235/240



Module Characteristics

- High efficiency monocrystalline silicon solar cells.
- High transmission low iron tempered glass, strong mechanical resistance.
- IP65 waterproof junction box can adjust to the harsh environment.
- -1~+5% maximum power output.
- Easy to install, it can adjust to different kinds of environment.
- Independent certification of the international certification body.
- The specification can be custom made by their different kinds of demand.

Mechanical Parameters

Cell (mm)	Poly 156×156
Weight (kg)	20
Dimensions (L×W×H) (mm)	1640×992×50
Cable length (mm)	900
Cable cross section size (mm ²)	4
No. of cells and connections	60(6×10)
No. of diodes	6

Working Conditions

Maximum System Voltage	DC 1000V (TuV)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse (A)	15
Grounding conductivity	<0.1Ω
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A
Insulation Resistance	≥40MΩ

Packing Configuration

Container	20'GP	40'GP
Pieces per pallet	17	17
Pallets per container	12	28
Pieces per container	204	476

Guarantee

5-year limited product warranty. 10 years at 90% of the minimal rated power output, 25 years at 80% of the minimal rated power output.

Datasheet - Baterias 400Ah.



LPG SERIES-GEL Battery LPG2-400 (2V400AH)

Specification	
Nominal Voltage	2V
Nominal Capacity(10HR)	400.0AH
Dimension	Length 210±2mm (8.27 inches)
	Width 175±2mm (6.89 inches)
	Container Height 330±2mm (12.99 inches)
	Total Height (with Terminal) 350±2mm (13.78 inches)
Approx Weight	Approx 28.0 kg (61.74lbs)
Terminal	T11
Container Material	ABS
Rated Capacity	426.7 AH/21.34A (20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	400.0 AH/40.00A (10hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	344.0 AH/68.8A (5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	299.1 AH/99.7A (3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	234.7 AH/234.7A (1hr, 1.67V/cell, 25°C/77°F)
Max. Discharge Current	2800A (5s)
Internal Resistance	Approx 0.79mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -20~55°C (-4~131°F)
	Charge : 0~40°C (32~104°F)
	Storage : -20~50°C (-4~122°F)
Nominal Operating Temp. Range	25±3°C (77±5°F)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 100.0A. Voltage 2.4V~2.5V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -5mV/°C
	No limit on Initial Charging Current Voltage
Standby Use	2.25V~2.3V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -3mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103%
	25°C (77°F) 100%
	0°C (32°F) 86%
Self Discharge	Leoch LPG series batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.



Applications

- ◆ Telecommunications
- ◆ Solar system
- ◆ Wind power system
- ◆ Engine starting
- ◆ Wheelchair
- ◆ Floor cleaning machines
- ◆ Golf trolley
- ◆ Boats



Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)														
F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	348.0	273.6	208.5	181.2	115.6	88.1	73.0	63.0	54.4	48.2	43.5	39.7	37.6	20.48
1.80V/cell	399.6	305.6	230.4	200.0	125.2	94.4	77.4	66.2	57.1	50.4	45.6	41.8	39.2	21.34
1.75V/cell	448.8	336.0	248.5	213.6	132.6	99.7	81.1	68.8	59.1	52.2	47.0	43.0	40.0	21.76
1.70V/cell	483.6	360.0	264.0	226.4	140.6	103.9	83.7	70.9	61.2	53.9	48.4	44.1	41.0	22.06
1.67V/cell	502.8	374.4	273.6	234.7	144.2	107.2	85.8	72.4	62.2	54.7	49.1	44.8	41.4	22.26
1.60V/cell	544.8	400.0	293.9	249.2	150.0	111.5	89.0	74.6	63.7	55.9	50.0	45.7	42.2	22.58

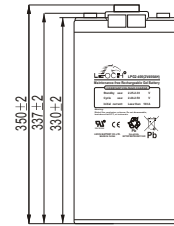
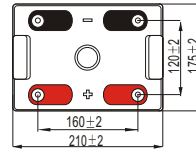
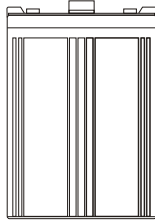
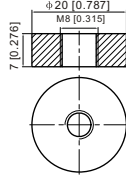
Constant Power Discharge (Watts) at 25 °C (77°F)														
F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	660.9	523.1	401.2	350.1	224.1	171.3	142.5	123.5	107.0	94.9	85.8	78.5	74.3	40.6
1.80V/cell	748.9	578.8	439.1	384.4	241.5	182.9	150.5	129.3	111.9	99.0	89.7	82.4	77.5	42.2
1.75V/cell	831.6	629.3	469.5	408.4	255.1	192.8	157.2	133.7	115.4	102.3	92.4	84.8	78.9	43.0
1.70V/cell	886.4	669.6	496.8	431.3	269.2	200.2	161.8	137.4	119.3	105.5	95.0	86.9	80.7	43.5
1.67V/cell	911.1	687.0	510.3	443.6	274.7	205.7	165.3	139.9	120.9	106.7	96.1	87.9	81.6	43.9
1.60V/cell	976.3	729.2	545.1	468.5	284.4	212.9	171.0	143.8	123.5	108.7	97.7	89.6	83.0	44.5



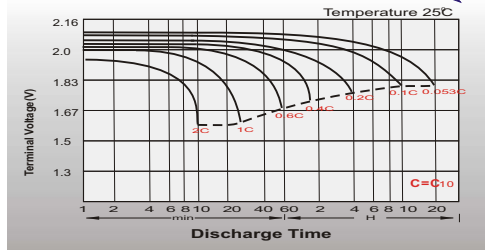
Dimensions

T11 Terminal

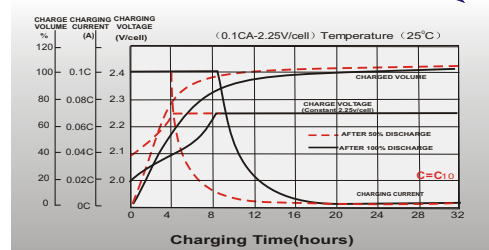
Unit: mm [inches]



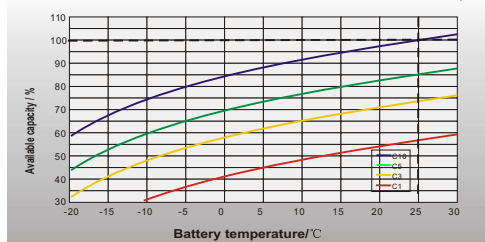
Discharge Characteristics



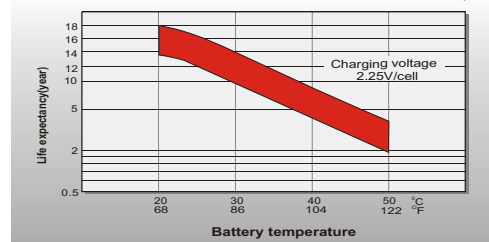
Float Charging Characteristics



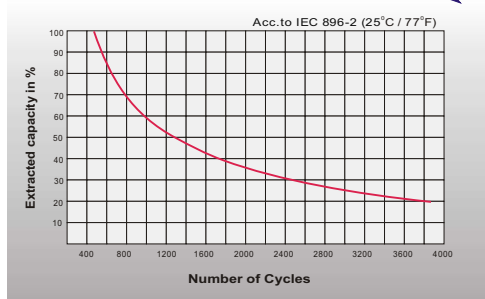
Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



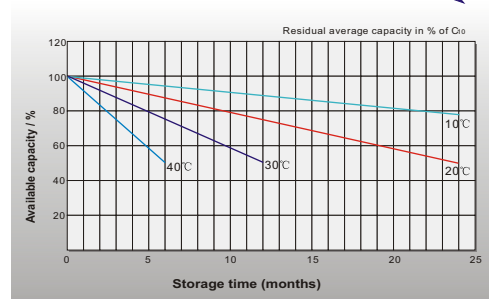
Effect of Temperature on Long Term Float Life



Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



General Relation of Capacity VS. Storage Time



Sales Office

China sales office:

Add: 5th Floor, Xinbaohui Bldg., Nanhai Blvd.,
Nanshan, Shenzhen, China. 518052
Tel: +86-755-86036060 (100 lines)
Fax: +86-755-26067269
E-mail: export@leoch.com

North America sales office:

Add: 19751 Descartes, Unit A,
Foothill Ranch, CA 92610, USA
Tel: 949-588-5853
Fax: 949-588-5966
E-mail: sales@leoch.us

Europe sales office:

Add: 9B Wheatstone Park, Waterwells
Business Park, Gloucester, GL2 2AQ. UK.
Tel: +44(0)1452-729428
Fax: +44(0)1452-690125
E-mail: Sales.Europe@leoch.com

Datasheet - Baterias 500Ah



RL2500D (2V500Ah)

RL2500D is AGM Deep cycle battery with 18 years floating design life, specially designed for frequent cyclic discharge usage. By using strong grid and specific paste plate, it makes battery have 30% more cyclic life time than standby series. It is applicable for solar energy system, golf cart, electric wheelchair, etc..



Specification

Cells Per Unit	1
Voltage Per Unit	2
Capacity	500Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 30.5Kg
Max. Discharge Current	2500 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 0.62 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	2.27 to 2.3 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	100 A
Equalization and Cycle Service	2.43 to 2.47 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Thread insert & Bolt (F10)
Container Material	A.B.S. (UL94-HB), Flammability resistance of UL94-V1 can be available upon request.



MH28539



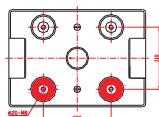
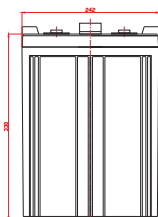
G4M20206-0910-E-16



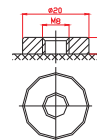
ISO9001:2000 Certificate

Dimensions

Unit: mm Dimension: 242(L)×172(W)×366(H)



Terminal F10



Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

F.V/Time	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	6HR	8HR	10HR
1.60V	678.9	500.7	322.2	191.5	142.6	113.7	95.76	80.43	64.92	54.26
1.65V	645.5	480.7	308.2	184.5	136.7	109.7	91.77	78.49	62.02	53.33
1.70V	601.9	453.2	302.2	181.5	133.7	108.7	90.77	76.55	61.05	52.36
1.75V	534.4	407.8	278.3	171.6	126.7	102.7	86.78	72.68	59.11	51.39
1.80V	460.0	371.5	262.3	163.6	121.7	101.7	83.79	71.71	58.14	50.42
1.85V	389.0	334.4	242.4	154.6	115.7	93.77	79.80	67.83	55.23	47.01

Constant Power Discharge Characteristics : W(25°C)

F.V/Time	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	6HR	8HR	10HR
1.60V	1188	912.4	589.9	354.8	265.8	213.7	181.0	155.2	123.5	104.8
1.65V	1157	907.5	587.9	349.7	260.6	210.5	178.9	153.2	122.5	103.8
1.70V	1093	858.9	577.2	344.6	256.6	209.7	177.3	149.6	120.6	102.2
1.75V	974	774.0	531.7	326.2	247.4	199.2	169.9	142.3	116.8	100.5
1.80V	842.9	706.2	501.4	311.5	237.2	198.3	164.4	140.6	114.9	96.95
1.85V	718.8	636.7	463.4	294.9	226.0	183.6	156.9	133.2	109.2	93.35

All mentioned values are average values.

Output Simulação - Escola



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Performance of solar home system

Location: 12°20'0" South, 39°19'14" East, Elevation: 267 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 960 W

Inclination of modules: 15 deg.

Battery size : 24 V, 500 Ah

Discharge cutoff limit (%) 40 %

Daytime consumption: 1000 Wh

Nighttime consumption: 1260 Wh

Number of days used for the calculation: 7188

Percentage of days with fully charged battery 83.46%

Average energy not captured due to full battery: 1191.14Wh

Percentage of days the battery became fully discharged: 0%

Average energy missing: 348Wh

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	2260.0	72	0
Feb	2270.0	80	0
Mar	2260.0	89	0
Apr	2260.0	94	0
May	2260.0	88	0
Jun	2240.0	60	0
Jul	2260.0	50	1
Aug	2270.0	78	0
Sep	2260.0	97	0
Oct	2260.0	98	0
Nov	2260.0	97	0
Dec	2260.0	91	0

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

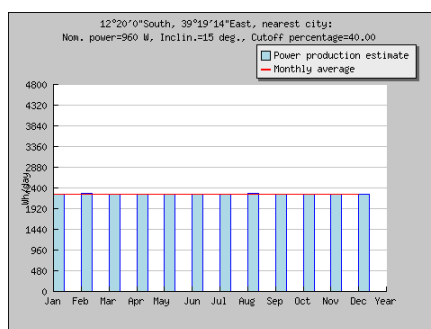
Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

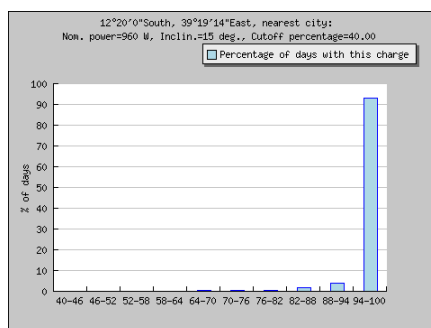
Cs	Cb
40-46	0
46-52	0
52-58	0
58-64	0
64-70	0
70-76	0
76-82	0
82-88	1
88-94	3
94-100	92

Cs: Charge state at sunset (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)



Monthly energy output from SHS system



Probabilities of battery charge state at the end of day

PVGIS (c) European Communities, 2001-2010
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Output Simulação - Habitação



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Performance of solar home system

Location: 12°20'0" South, 39°19'14" East, Elevation: 267 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 840 W

Inclination of modules: 15 deg.

Battery size : 24 V, 400 Ah

Discharge cutoff limit (%) 40 %

Daytime consumption: 1000 Wh

Nighttime consumption: 1000 Wh

Number of days used for the calculation: 7188

Percentage of days with fully charged battery 81.98%

Average energy not captured due to full battery: 1033.81Wh

Percentage of days the battery became fully discharged: 0%

Average energy missing: 404Wh

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	2000.0	71	0
Feb	2010.0	80	0
Mar	2000.0	89	0
Apr	2000.0	94	0
May	2000.0	86	0
Jun	1980.0	54	0
Jul	2000.0	44	1
Aug	2010.0	77	0
Sep	2000.0	97	0
Oct	2000.0	98	0
Nov	2000.0	96	0
Dec	2000.0	91	0

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

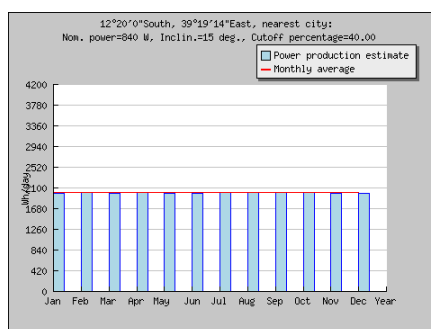
Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

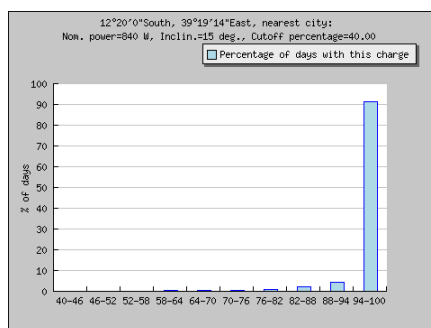
Cs	Cb
40-46	0
46-52	0
52-58	0
58-64	0
64-70	0
70-76	0
76-82	0
82-88	2
88-94	4
94-100	91

Cs: Charge state at sunset (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)



Monthly energy output from SHS system



Probabilities of battery charge state at the end of day

PVGIS (c) European Communities, 2001-2010
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

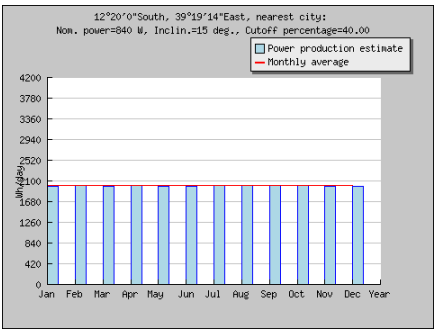
Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

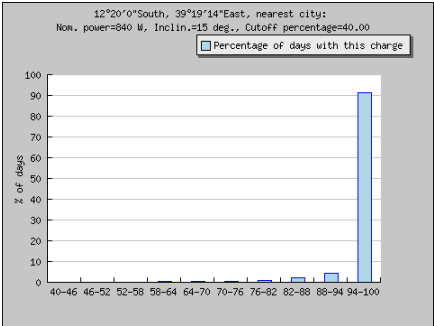
This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Monthly energy output from SHS system



Probabilities of battery charge state at the end of day

PVGIS (c) European Communities, 2001-2010
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Output Simulação - Centro de Saúde



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Performance of solar home system

Location: 12°20'0" South, 39°19'14" East, Elevation: 267 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 920 W

Inclination of modules: 15 deg.

Battery size : 24 V, 500 Ah

Discharge cutoff limit (%) 40 %

Daytime consumption: 1000 Wh

Nighttime consumption: 1200 Wh

Number of days used for the calculation: 7188

Percentage of days with fully charged battery 81.41%

Average energy not captured due to full battery: 1128.28Wh

Percentage of days the battery became fully discharged: 0%

Average energy missing: 425Wh

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	2200.0	70	0
Feb	2210.0	79	0
Mar	2200.0	89	0
Apr	2200.0	94	0
May	2200.0	86	0
Jun	2180.0	53	0
Jul	2200.0	42	1
Aug	2210.0	76	0
Sep	2200.0	97	0
Oct	2200.0	98	0
Nov	2200.0	96	0
Dec	2200.0	91	0

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

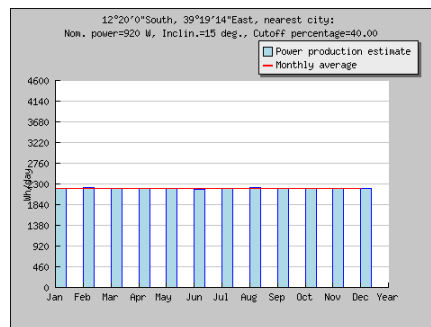
Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

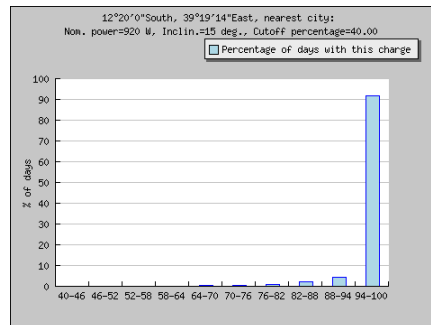
Cs	Cb
40-46	0
46-52	0
52-58	0
58-64	0
64-70	0
70-76	0
76-82	0
82-88	2
88-94	4
94-100	91

Cs: Charge state at sunset (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)



Monthly energy output from SHS system



Probabilities of battery charge state at the end of day

PVGIS (c) European Communities, 2001-2010

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Datasheet - Inversor Sunny Island 2224.

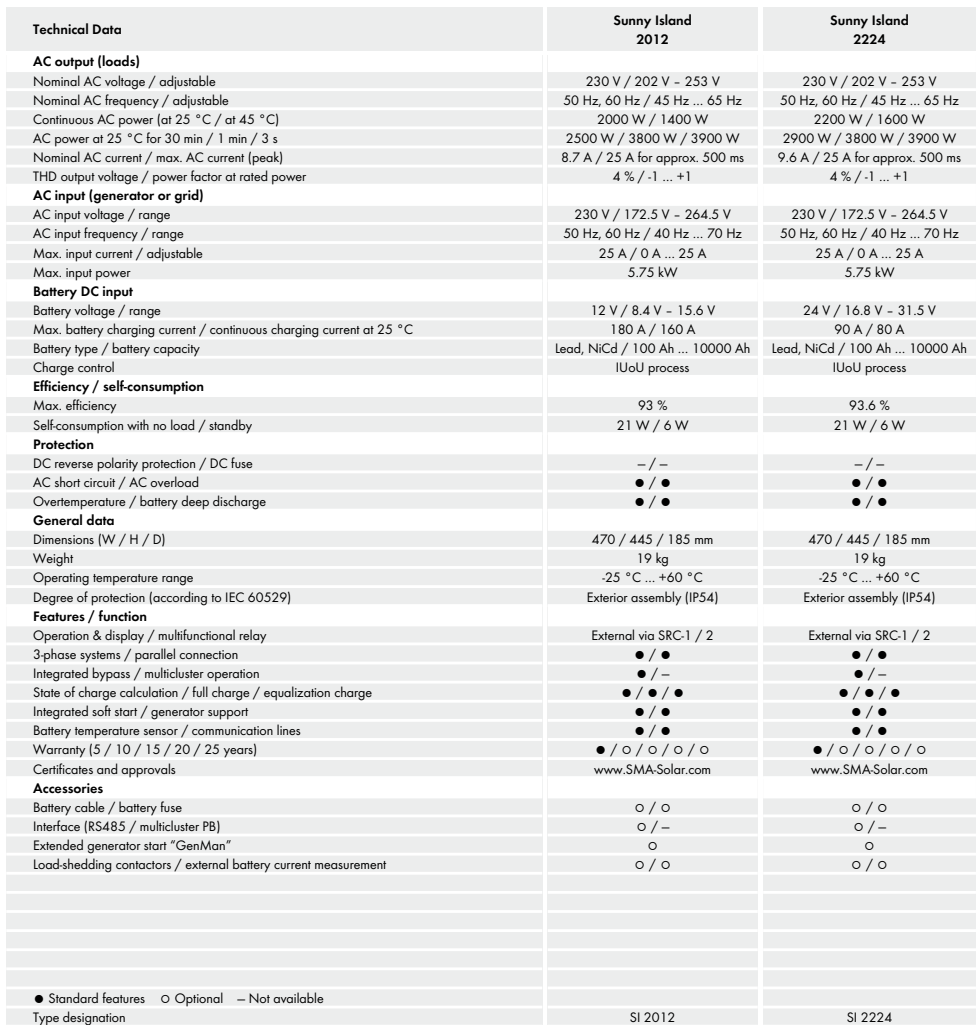


Flexible • For systems from 1 to 9 kW • 1- and 3-phase operation, connectable in parallel and modularly extendable • AC and DC coupling	Simple • Simple installation • Complete off-grid management • Easy and remote configuration and monitoring with Sunny Remote Control	Efficient • High efficiency • Charge level calculation • Intelligent battery management for maximum battery life-span	Durable • For indoor and outdoor installation • Excellent overload characteristics • Very wide temperature range • 5-year warranty
--	---	--	---

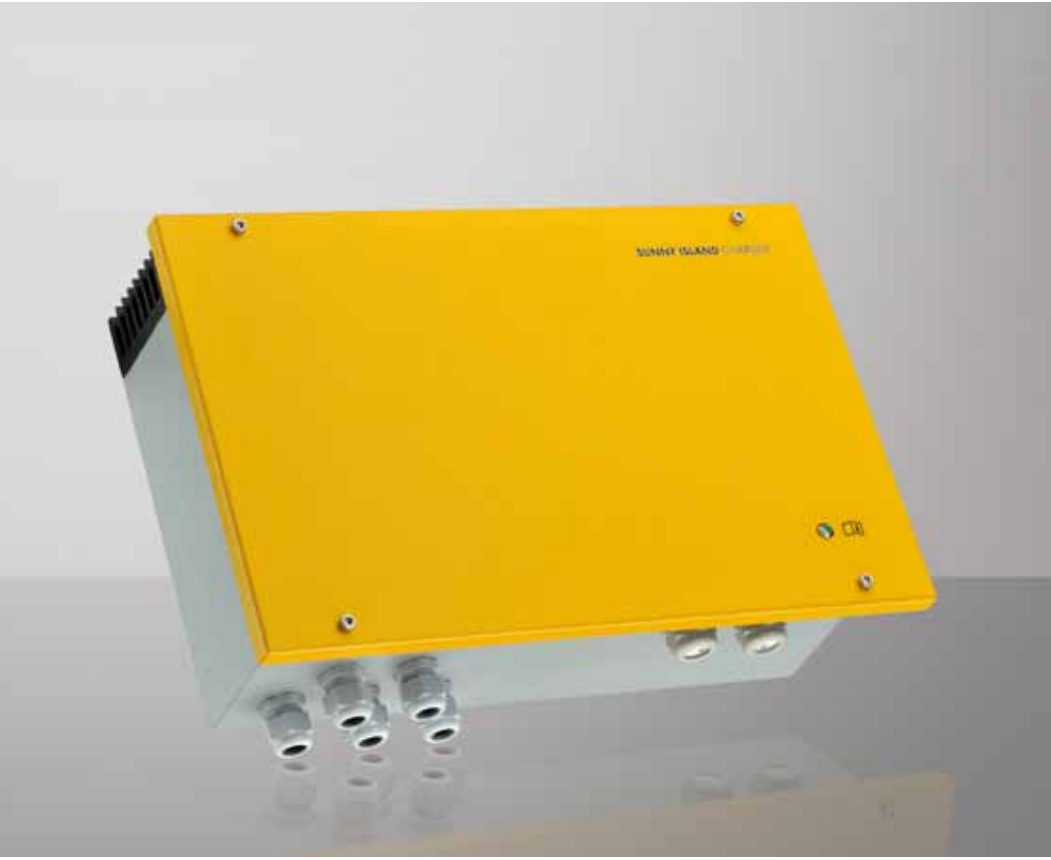
SUNNY ISLAND 2012 / 2224

Compact and powerful for small stand-alone systems

The new Sunny Island 2012 and 2224 extends the off-grid SMA inverter series for the lower power range. The inverters not only feature all the proven product characteristics of the “big brother” Sunny Island 5048 but, thanks to their reduced weight and compact design, the new family members are even easier to handle and install. The high IP54 protection class and the Sunny Remote Control (SRC-1) give you full flexibility when choosing an installation location. Easy-to-use technology at its best, the new Sunny Island models are an unbeatable combination for off-grid systems of up to nine kilowatts.



Datasheet - Sunny Island Charger 50

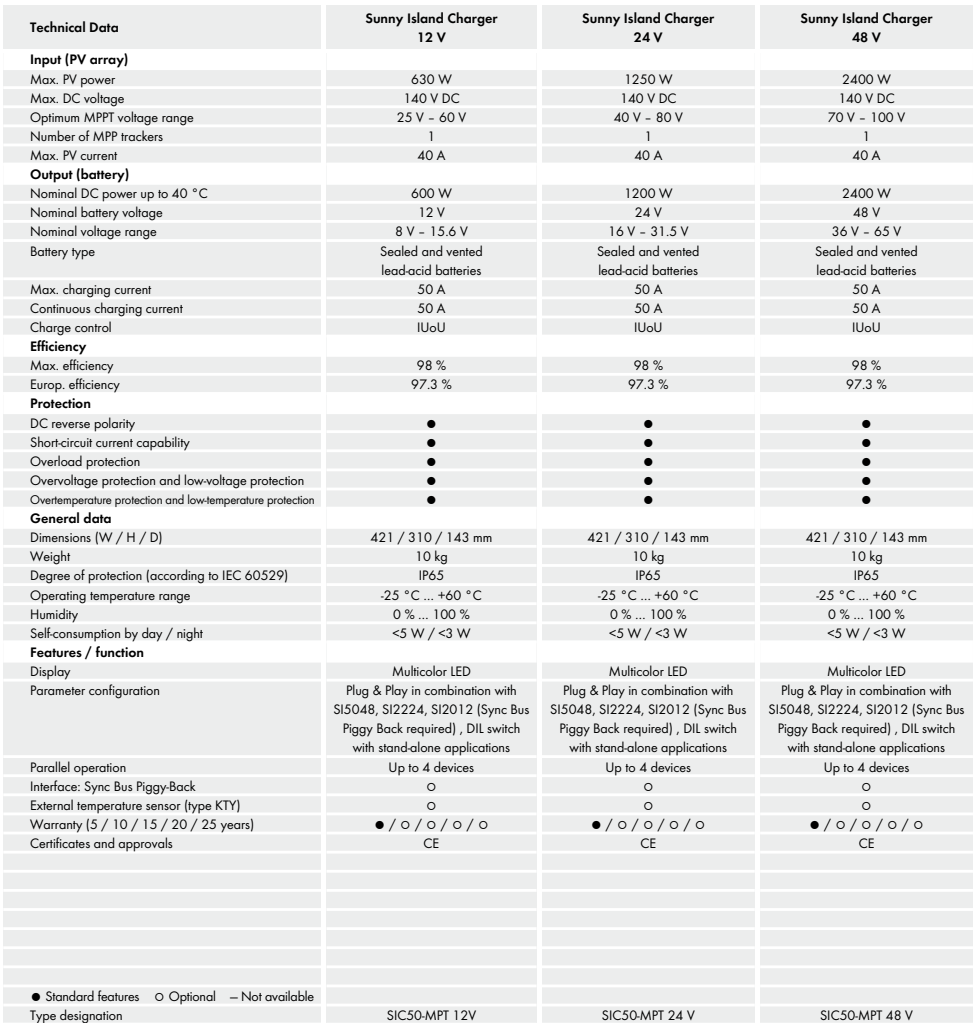


Flexible • For 12/24/48 V • Up to four devices can be connected in parallel • Modular and extendable	Simple • Easy installation and commissioning • Operation and configuration via Sunny Island (Single Point of Operation)	Efficient • Active MPP tracking • Efficiency > 98%	Durable • Outdoor-compatible through IP65 • Fanless • Nominal power up to 40 °C • 5-year warranty
---	--	--	--

SUNNY ISLAND CHARGER 50

Maximum efficiency and versatile DC coupling

For the first time, a single manufacturer offers AC and DC coupling. The all-purpose SMA Sunny Island Charger 50 features a broad DC input voltage range, making system configuration possible for almost all PV modules. Thanks to the integrated MPP tracking system, the charger guarantees an energy yield that is 15 to 30 percent higher than that of conventional shunt and serial charge controllers. It includes unique features for charge controllers in this power range. A high protection rating, fanless operation and a broad temperature range make worldwide use possible, even in difficult ambient conditions. Easy installation and the completely automatic customization of the key controller settings by the Sunny Island make its startup simple.



Datasheet - Frigorífico - Centro de Saúde



PS40solar photovoltaic combined vaccine refrigerator – icepack freezer

PIS Code:	E3/109M
Description:	Refrigerator/Freezer battery solar
Manufacturer's Reference:	True Energy PS40
Manufactured in:	UK
Manufacturer:	True Energy Pendre Enterprise Park Tywyn, Gwynedd, Wales LL36 9LW United Kingdom T +44 (0) 1654 712 713 F +44 (0) 1654 710 641 hello@trueenergy.com trueenergy.com

SPECIFICATIONS

Climate Zone	Hot (H 43°C)	Refrigerant	R134a (CFC free)
Min rated ambient temp	+10°C	Ext dimensions	H123 x W70 x D60cm
Fuel and Cycle type	Electric-compression		
Holdover time 43°C	2¼ hours	Holdover time 32°C	3 hours 20 minutes
Refrigerator Vaccine storage capacity:	18L	Freezer Ice pack storage capacity	16 x 0.6L icepacks
Gross volume	35L	Gross Volume	24L
		Water pack freezing capacity	2.4kg/24h
Energy consumption:			
43°C without icepack freezing	0.24kWh/24h	43°C with icepack freezing	0.9kWh/24h
32°C without icepack freezing	0.14kW/24h	32°C with icepack freezing	0.32kWh/24h
Power requirements	12V DC Solar rechargeable battery	Energy source	Photovoltaic solar panels
Optional Extras	Shelves drawers Icepacks solar power system complete with batteries	Spare Parts	Compressor Compressor controller Thermostat Condensor fan fuse
Shipping Volume	0.6m ³	Shipping Weight	90Kg