



UNIVERSIDADE POLITÉCNICA À POLITÉCNICA  
INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO E UNIVERSITÁRIO DE NACALA  
ISPUNA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA COMANDO  
DAS LINHAS SINALIZADAS DO PATIO FERROVIARIO DE NACALA**

**(CLN)**

Meque Antonio Domingos Mulandeza

Nacala-Porto

2023

Meque Antonio Domingos Mulandeza

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA COMANDO  
DAS LINHAS SINALIZADAS DO PATIO FERROVIARIO DE NACALA  
(CLN)**

Monografia submetido à Universidade Politécnica de Nacala (ISPUNA), como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Elétrica.

Tutor: Eng. Mateus Titosse

---

NACALA  
2023

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA COMANDO DAS LINHAS SINALIZADAS DO PATIO FERROVIARIO DE NACALA (CLN)**

Monografia a ser apresentada à Universidade Politécnica, Instituto Superior Politécnico e Universitário de Nacala (ISPUNA), na obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Elétrica, tendo sido atribuída a nota final (\_\_\_\_\_), \_\_\_\_\_ Valores.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_\_/2023

Os Júris

---

---

---

Presidente da Mesa

---

Oponente

---

Supervisor

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a DEUS, ao meu pai (em memória), a minha mãe, a minha esposa e irmãos , por me ajudar a ultrapassar todos desafios encontrados ao longo do curso.

Ao corpo de docente e colegas de turma, que me incentivaram nos momentos difíceis enquanto me dedicava aos estudos nesta instituição, aos ensinamentos e correções que me permitiram apresentar um bom desempenho no meu processo de formação.

Deixo, ainda também, os meus agradecimentos a todos aqueles que me perguntaram regularmente sobre o meu estágio e que se preocupam comigo.

Por fim agradeço à empresa que me acolheu carinhosamente (CLN), que me proporcionou esta oportunidade de desenvolver e, de tornar possível, a minha inserção no mercado de trabalho, assim como, de terminar a minha licenciatura.

Deste modo gostaria de manifestar os meus sinceros agradecimentos ao meu supervisor, Eng. Mateus Titosse, pelo tempo concedido, orientação, confiança transmitida nas etapas mais difíceis e os vários momentos ímpares de aprendizagens e pesquisa durante o desenvolvimento do presente trabalho.

## **DEDICATÓRIA**

Nesta oportunidade, gostaria de dedicar o presente trabalho em especial a Deus, a minha família, pelo apoio e força, em conciliar o trabalho e a faculdade, amigos e colegas do trabalho.

## **Epígrafe**

" O homem sempre buscou simplificar seu trabalho de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos". [**Silveira e Santos (1998, p.2)**].

## RESUMO

O presente trabalho propõe um sistema elétrico alimentado através energia renovável por meio de sistema solar, para o pátio e terminal ferroviário de carvão no porto de Nacala-à-velha, empresa CLN, de modo a fazer frente dos problemas causados pelo sistema actual que é alimentado pela rede publica da concessionaria EDM, que apresenta bastante instabilidade culminando com o aumento de falhas de equipamentos e acarretando custos da produção no negocio.

A energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa para a geração de energia que alimentara sistemas de comando e manuseio das maquinas de chave para mudança de sentido de marcha das locomotivas e vagões, buscando viabilidade econômica, aliado a uma disponibilidade de recursos naturais. Esta fonte de energia renovável, converte diretamente a luz em energia elétrica e, após essa conversão, a energia é transformada de corrente contínua para corrente alternada pelo inversor e injetada na rede elétrica.

Os valores das potencias dos três métodos citados foram analisados para que houvesse uma coerência no resultado do dimensionamento fotovoltaico.

**Palavras Chaves:** Energia, Recursos, Ambiente, Fotovoltaico, Microgeração.

## **ABSTRACT**

The present work proposes an electrical system powered by renewable energy through a solar system, for the coal yard and railway terminal in the port of Nacala-à-velha, CLN company, in order to face the problems caused by the current system that it is fed by the public network of the EDM concessionaire, which presents a lot of instability culminating in an increase in equipment failures and causing production costs in the business.

Photovoltaic solar energy emerges as an alternative for generating energy to feed command and handling systems for switchgear machines to change the direction of travel for locomotives and wagons, seeking economic viability, combined with the availability of natural resources. This renewable energy source directly converts light into electrical energy and, after this conversion, the energy is transformed from direct current to alternating current by the inverter and injected into the electrical grid.

The values of the powers of the three mentioned methods were analyzed so that there was consistency in the result of the photovoltaic sizing.

**Keywords:** Energy, Resources, Environment, Photovoltaic, Microgeneration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Constituição interna e princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica (efeito fotovoltaico). [14].....	23
Figura 2: Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando uma carga Z [22].....	24
Figura 3: Curva I-V de uma célula solar fotovoltaica [23].....	26
Figura 4: Células monocristalinas. [6].....	28
Figura 5: Células policristalinas. [6].....	28
Figura 6: Células amorfas. [6] .....	29
Figura 7: Células de película fina. [6] .....	30
Figura 8: Associação de células em série [6]. .....	30
Figura 9: Associação de células em paralelo [6]. .....	31
Figura 10: Célula solar com ponto quente. [6] .....	32
Figura 11: Módulo fotovoltaico sombreado com díodos de derivação. [6].....	32
Figura 12: Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada [15]. .....	35
Figura 13: Sistema ligado à rede [15].....	35
Figura 14: Exemplo de sistema híbrido [15]. .....	36
Figura 15: Sistema autónomo com inversor autónomo. [2] .....	41

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Condições Experimentais .....	26
Tabela 2: Rendimentos das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos [6].....	30
Tabela 3: Irradiação global média para inclinação de 25° .....	47
Tabela 4: Valores de consumo diário de energia eléctrica .....	48
Tabela 5: Divisão do sistema em grupos e número de módulos em série e em paralelo. ....	52
Tabela 6: Estimativa do custo base da obra.....	57
Tabela 7: Análise de viabilidade .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLN - Corredor Logístico Integrado de Nacala

$A$  - Autonomia, em dias

$Q$  - Capacidade mínima da bateria, em [Ah]

$q$  - Carga eléctrica do electrão, em [C]

$L$  - Comprimento do cabo, em [m]

$\sigma_{Cu}$  - Condutividade eléctrica, em [ $m/(\Omega \cdot mm^2)$ ]

$C_m$  - Consumo médio mensal, em [kWh/mês]

$I_{SC}$  - Corrente de curto-circuito, em [A]

$I_{CONT}$  e  $I_C$  - Corrente de cada e total dos controladores, respectivamente, em [A]

$I_o$  - Corrente inversão máxima de saturação do díodo, em [A]

$V$  ou  $U$  - Diferença de potencial, em [V]

$E$  - Energia consumida diariamente em [Wh]

$m$  - Factor de idealidade do díodo

$F_t$  - Fluxo de caixa líquido do projecto, no período  $t$

$V_{SSPM\max}$  e  $V_{SSPM\min}$  - Máxima e Mínima tensão de operação do MPPT do controlador de carga, respectivamente. Em [V]

$HSP$  - Número de Horas de Sol Pleno

$N_s$  e  $N_p$  - Número de módulos em série e em paralelo, respectivamente;

## ÍNDICE

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	2
AGRADECIMENTOS .....	3
DEDICATÓRIA.....	4
RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTAS DE TABELAS .....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	10
ÍNDICE.....	11
CAPITULO I .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	13
1.4. Hipótese .....	15
1.4.1. Hipótese 1.....	15
1.4.2. Hipótese 2.....	15
1.4.3. Hipótese 3.....	15
1.5. Objectivo do trabalho.....	16
1.5.1. Objectivo Geral.....	16
1.5.2. Objectivos Específicos .....	16
1.6. Justificativa.....	16
1.7. Estrutura da Monografia .....	18
CAPITULO II .....	19
2. METODOLOGIA DE PESQUISA .....	19
2.1. Metodologia .....	19
2.3. Método de procedimento .....	19
2.4. Método de abordagem.....	20
2.5. Pesquisa quanto aos objectivos.....	20
CAPITULO III .....	22
3. REVISÃO DE LITERATURAS.....	22
3.2. Célula fotovoltaica .....	22

3.2.1.	Modelo matemático da célula fotovoltaica.....	24
3.2.2.	Corrente de curto-circuito e tensão em circuito aberto.....	25
3.2.3.	Tecnologias das células fotovoltaicas.....	27
3.2.4.	Associação de células .....	30
3.2.6.	Características técnicas dos módulos .....	32
3.2.8.	Sistemas Autónomos .....	34
3.2.9.	Sistemas ligados à rede.....	35
3.2.10.	Sistemas híbridos.....	36
3.2.12.	Tipos de baterias.....	37
3.2.13.	Requisitos de carga e carregadores [6].....	39
4.	CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO ACTUAL DE COMANDO DAS LINHAS SINALIZADAS DO PATIO FERROVIARIO DE NACALA.....	44
4.1.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO E AUTÓNOMO (SFIA).....	45
4.1.2.	Melhor inclinação e orientação dos módulos .....	46
4.4.1.	Cálculo da potência de pico do painel fotovoltaico.....	48
4.4.2.	Dimensionamento do banco de bateria.....	53
4.4.3.	Dimensionamento do Controlador de Carga .....	54
4.4.4.	Dimensionamento do inversor.....	56
5.	ANÁLISE ECONÓMICA DO SISTEMA PROPOSTO.....	57
5.1.	Medições e Orçamento .....	57
5.2.	Conceitos Básicos .....	58
5.2.1.	Fluxo de caixa.....	58
5.2.2.	Taxa mínima de atratividade – TMA .....	58
5.2.3.	Valor Actual Líquido – VAL.....	59
5.2.4.	Taxa interna de retorno – TIR .....	59
5.2.5.	Payback.....	60
5.2.6.	Proveitos anuais .....	60
6.3.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
	Anexo 2: Caraterísticas dos módulos policristalinos da Canadian Solar modelo CS3W .....	72
	Anexo 3: Caraterísticas de baterias OPZS PS-16OPZV2000.....	73

## CAPITULO I

### 1. INTRODUÇÃO

Moçambique é um país com bastante recursos e fontes primarias energéticas, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como água, o petróleo, o carvão e o gás).

O sistema logístico da CLN, desempenha um papel vital na economia do país principalmente no transporte de carga. O tempo de viagem curto (transit time) e a capacidade de carga são os factores que tornam o sistema ferroviário e portuário mais competitivo. Com a entrada em operação da linha que liga a Mina de Moatize na província de Tete ao porto de Nacala-a-Velha na província de Nampula, a linha de 912 km, concessionada a empresa Corredor Logístico Integrado de Nacala- CLN, tornou Moçambique mais competitivo e mais atrativo para investimentos.

A empresa Corredor Logístico Integrado de Nacala-CLN, opera na linha Moatize Nacala- a-velha desde maio de 2015, transportando apenas carvão mineral e carga geral, possui 169 locomotivas, 3250 vagões e o comboio padrão é de 4 locomotivas e 120 vagões para comboios de carvão e 2 locomotivas e 40 vagões para comboios de carga geral, para uma capacidade de 18 milhões de toneladas de carvão por ano e 800 mil toneladas de carga geral por ano, o que torna ela uma empresa competitiva, buscando uma operação segura e com eficiência.

Mundialmente tem-se verificado, nas últimas décadas, um incremento veloz no desenvolvimento e implantação de fontes de energia renováveis, não apenas pela inexistência de perigo de escassez, ao invés das fontes energéticas não renováveis, mas simultaneamente devido ao seu manuseamento se tornar mais amigo do Ambiente, uma vez que, não implica a emissão de gases de efeito de estufa (por exemplo o Dióxido de Carbono) e portanto, não contribui para as tão problemáticas alterações climáticas. No que remete à energia solar, esta deve ser primeiramente salientada pela sua contribuição na satisfação das necessidades energéticas dos seres vivos em geral e do Homem em particular, ação muitas vezes desprezada e desvalorizada. É a energia da radiação solar, que mantém a superfície terrestre à temperatura adequada para suportar a vida, especialmente a vida humana. Apesar desta exuberante penetração energética na nossa rotineira civilização, o Sol é ignorado por Nós. Não

consideramos esta fonte nos sistemas de energia nacionais e internacionais, os quais atribuímos quase por completo ao consumo de combustíveis comerciais.

### **1.1. Tema**

O presente trabalho trata-se do sistema de comando remoto e sinalização das linhas férreas que possibilitam a circulação dos comboios e mudanças de via no terminal portuário de Nacala - à - velha.

### **1.2. Delimitação do Tema**

Sistema de comando remoto e sinalização das linhas férreas que possibilitam a circulação dos comboios e mudanças de via no corredor logístico do Norte (CLN).

### **1.3. Problema de Investigação**

O sistema atual de comando remoto e sinalização das linhas férreas é feito através do fornecimento de energia elétrica da concessionária EDM e com o auxílio de grupos geradores a diesel disponíveis em todos os pontos estratégicos, na qual apresenta impactos negativos com atraso do produto final aos pontos de entrega, avarias constantes da rede pública da EDM, e déficit de combustível para o abastecimento dos geradores afetado pelo problema estrutural da região e do país, gerando assim mais custos para empresa poder entregar as cargas comprometidos junto dos clientes com base nos tempos acordados.

Portanto, assim sendo, o sistema actual é concebido para atender aos mais altos índices de respostas e sem fiabilidade, comprometendo o processo através de falhas no sistema, na qual se identifica as seguintes **manifestações fácticas**:

- Aumento do tempo de transporte do carvão para os clientes, forçando a operar os equipamentos em modo manual demandando maior energia humana;
- Aumento dos níveis de poluição ambiental através do uso de geradores a diesel como fonte alternativa na indisponibilidade da rede pública da concessionária de energia elétrica (EDM);
- Componentes com vida útil reduzida, resultante da frequência das avarias e corretivas.

A proposta deste trabalho é garantir a continuidade de fornecimento de energia elétrica para operação dos comboios, utilizando uma fonte de energia alternativa limpa e eficiente, de modo a eliminar os

problemas atuais de atraso, avarias e elevado custo das corretivas que tem sido desperdiçados para operacionalização do sistema atual na indisponibilidade da rede publica.

Assim sendo, surge o seguinte **problema de investigação**:

Como evitar a ineficiência operacional do sistema atual de distribuição de energia elétrica que tem causado avarias constantes das maquinas de chave e circuito de via, baixo fluxo e o atraso do produto final aos pontos de entrega?

Das manifestações fácticas e do problema de pesquisa, identificam-se como sendo as seguintes suas causas:

- Demanda acima da capacidade atual da concessionaria de energia elétrica;
- Baixa qualidade do sistema elétrico da concessionaria;
- Baixo nível de estoque de combustível para garantir giro fornecido.

#### **1.4. Hipótese**

Do problema de pesquisa, surge as seguintes Hipóteses:

##### **1.4.1. Hipótese 1**

- Melhorar o fator de potencia do sistema elétrico responsável pela sinalização e comando das maquinas de chave da linha férrea, afim de otimizar a qualidade de energia elétrica fornecida.

##### **1.4.2. Hipótese 2**

- Aumentar a autonomia dos grupos geradores que alimentam o sistema de sinalização e comando das maquinas de chave da linha férrea.

##### **1.4.3. Hipótese 3**

- Dimensionar um sistema solar fotovoltaico para garantir redundância e alimentar o sistema de sinalização e comando das maquinas de chave.

## **1.5. Objectivo do trabalho**

### **1.5.1. Objectivo Geral**

- Propor a implantação de um sistema de energia elétrica alternativo mais eficiente e barato para o comando remoto das máquinas de chave e sinalização dos pátios ferroviários da empresa CLN.

### **1.5.2. Objectivos Específicos**

- Revisar das literaturas relacionadas ao tema;
- Desenhar o circuito de comando e controlo automático para acionamento das máquinas de chave e circuito de via alimentado através de sistema solar;
- Estimar o custo para implantação do projeto de sistema solar fotovoltaico;
- Avaliar o impacto ambiental do projeto sistema solar fotovoltaico.

## **1.6. Justificativa**

A justificativa é toda e qualquer prova ou causa que confirme a veracidade e a ocorrência de um facto ou a justiça de uma ação praticada. Ela se refere a toda ação que pode respaldar uma suposta hipótese de algum conhecimento, causa ou ação. (Lakatos & Marconi, 1992):

Na justificativa de um projeto de pesquisa, deve-se indicar:

- Relevância da pesquisa: prática e intelectual;
- Contribuições para compreensão ou solução do problema que poderá advir com a realização de tal pesquisa;
- Estado da arte, estágio de desenvolvimento do tema proposto, como vem sendo tratado na literatura.

Assim sendo, os estudos em campo e as análises do sistema de sinalização e comando das máquinas de chaves, chegam-se as seguintes justificativas:

O sistema atual de sinalização e comando das máquinas de chave do principal pátio de recepção dos comboios e descarga tem a fonte de alimentação de energia elétrica principal proveniente da rede pública fornecida pela concessionária (EDM), que além de ter baixa capacidade e estabilidade, a mesma apresenta um custo elevado, sendo 80% custo fixo e 20% custo variável, e em caso de indisponibilidade da fonte principal a alternativa é a alimentação através de grupos geradores de emergência, este último que por sua vez, além de gerar mais custos operacionais com a aquisição de combustível e manutenção com maior frequência tem a componente ambiental que no futuro poderá

prejudicar bastante os trabalhadores da empresa e membros da comunidade que vive nas proximidades do complexo ferro-portuário da CLN.

Com a implantação de um sistema alternativo para situações de emergência e no futuro tornar-se no principal, o sistema solar fotovoltaico apresenta muitas vantagens comparando com os dois acima referenciados, tais como:

- É uma energia renovável e presente em quantidade suficiente em quase todo o Mundo, permitindo assim a sua instalação rentável;
- É não poluente, não causa danos ambientais e é silenciosa (aquando da sua utilização);
- É bastante fiável;
- Os painéis têm fácil portabilidade, adaptabilidade e facilidade de instalação;
- Tem um tempo médio de vida bastante elevado (por volta dos 25 anos);
- Os custos de instalação, de operação e de desativação são baixos;
- A manutenção é quase inexistente, sendo apenas necessária no caso dos sistemas seguidores devido aos motores, sendo que os painéis não necessitam de nenhuma manutenção, salvo casos de danos físicos que impedem o seu correto funcionamento;
- Permite a incorporação de módulos adicionais em série ou paralelo no sentido de aumentar a potência instalada;
- É resistente a condições climatéricas extremas.

## **1.7. Estrutura da Monografia**

Esta monografia apresenta na sua estrutura, para além da parte introdutória (Capítulo I), cinco (05) capítulos, conclusões e sugestões. Na parte Introdutória são apresentados: O tema, delimitação do tema, o problema de pesquisa, os objetivos, Hipóteses e Justificativa.

Capítulo II, Revisão bibliográfica (conceitos gerais), onde é levantada toda a fundamentação necessária relacionados ao presente trabalho de pesquisa encontrados na literatura, servindo de ponto de partida para o desenvolvimento do trabalho, contemplando o tema para o estudo da proposta da implantação de um sistema solar fotovoltaico para sinalização e comando das maquinas de chave na ferrovia CLN.

Capítulo III, Proposta, onde é feito o desenho do sistema proposto, especificação do circuito de controlo automático para acionamento das maquinas de chaves, bem como as componentes para a sua implementação e o seu principio de funcionamento.

Capítulo IV, apresentação da condição atual das cargas das instalações em estudo e dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Capítulo V, estudo da viabilidade de implantação do projeto.

E na última parte do trabalho, apresenta-se as conclusões obtidas da pesquisa, bem como as recomendações para os trabalhos futuros relacionados com o tema.

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGIA DE PESQUISA

#### 2.1. Metodologia

Segundo BELLO (2005) “*Metodologia é a explicação minuciosa, detalhada, rigorosa e exacta de toda acção desenvolvida no método (caminho) do trabalho de pesquisa*”. É a explicação do tipo de pesquisa, do instrumental utilizado, do tempo previsto, da equipe de pesquisadores e da divisão do trabalho, das formas de tabulação e tratamento dos dados, enfim, de tudo aquilo que se utilizou no trabalho de pesquisa. As metodologias utilizadas pela autora, sendo caminhos para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa são: Método de pesquisa e tipo de pesquisa.

#### 2.2. Metodologia da Pesquisa

Segundo GODOY & DUARTE, (2005) “*O método de pesquisa é conjunto de técnicas, instrumentos e recursos que são utilizados para alcançar as metas estabelecidas e, em consequência, aos objectivos específicos propostos*”. Para o desenvolvimento deste trabalho de culminar de Curso, a autora considera um método de pesquisa, segundo as técnicas e metodologias de pesquisa:

- Método dedutivo, neste contexto a teoria partiu na observação do estado actual do sistema de acionamento das bombas na estação de tratamentos de águas residuais na empresa CLN.
- Método indutivo, parte de constatações mais particulares à formulação de leis e teorias (do particular para o geral). “*O método indutivo possibilita o desenvolvimento de enunciados gerais sobre as observações acumuladas de casos específicos ou proporções que possam ter validades universais*”.

#### 2.3. Método de procedimento

Quanto ao método do procedimento, realizou - se a pesquisa de campo.

De acordo com GIL (2002), “*a pesquisa do campo apresenta muitas semelhanças com o levantamento. Distingue-se, porém, em diversos aspectos e um modo geral, pode-se dizer que o levantamento tem maior alcance e a pesquisa de campo, maior profundidade*”. A eleição deste modelo legitima-se pelo facto de o mesmo oferecer melhor aprofundamento das questões propostas, permitindo por um lado, maior flexibilidade e por outro que os objectivos sejam reformulados ao longo da pesquisa.

#### **2.4.Método de abordagem**

Neste trabalho de culminar de curso foi usado o **método qualitativo**, o tipo de método também designado por análise intensiva, uma forma através da qual se investigam os valores, as atitudes, as percepções e as motivações do público pesquisado, com vista a alcançar a essência do fenómeno e posterior verificação dos resultados de acordo com GIL, (1995).

Como se trata de uma pesquisa qualitativa, para determinação da amostra usou se método de amostragem, intencional que constitui a selecção dos entrevistados por tipicidade ou intencionalidade. Esta é uma amostragem não é probabilística e consistiu na selecção um grupo de funcionários do CLN com domínio na área da matéria em questão e o quadro de pessoal qualificado, que com base nas informações disponíveis, possa ser considerado representativo de toda a população desde que se tenha um conhecimento minimamente suficiente da população de amostragem.

#### **2.5.Pesquisa quanto aos objectivos**

Segundo GIL (2011) “a pesquisa descritiva procura descobrir a frequência com que o fenómeno ocorre, sua natureza, características, causas, relações e conexões com outros fenómenos. A pesquisa descritiva engloba dois tipos de pesquisa: documental e/ou bibliográfica e a pesquisa de campo”.

##### **a) Quanto à natureza**

Segundo Teixeira (2000), *“a pesquisa aplicada na qual a investigação surge como necessidade de resolver ou contribuir com soluções praticas para problemas que exigem intervenção imediata”*. Nesta pesquisa a intenção da autora é de garantir o acionamento automatizado de bombas na estação de tratamento de águas residuais.

##### **b) Quanto aos procedimentos técnicos**

Segundo o Gil (1991) APUDSIENA (2007), *“Considera-se pesquisa - acção: quando concebida e realizada em estreita associação com uma resolução de um problema colectivo”*.

Como o autor procura resolver o problema do sistema actual, atrasos, perdas, custos extras para atendimentos das correctiva, fornecida aos pontos de entrega, do atraso na reposição do sistema quando sobrecargas e descargas atmosféricas.

Para a realização do trabalho adoptou-se os seguintes instrumentos:

- **Análise – síntese** – usada para tirar conclusões através da interpretação de temáticas relacionadas ao objecto de estudo.
- **Pesquisa documental** – para a busca de documentos sobre o objecto de estudo e para a recolha de informação de estudos já realizados.
- **Observação** – para acompanhamento dos meios tecnológicos usados para efectuar a implatação do sistema de automação de acionamento das bombas.
- **Entrevistas** – usada para fazer entrevistas aos operadores, técnicos mecânicos e eléctricos, para levantamento de dados sobre o sistema de acionamento das bombas.

## CAPITULO III

### 3. REVISÃO DE LITERATURAS

Neste capítulo estão descritos os principais conceitos necessários para a compressão do trabalho. Desde o entendimento dos sistemas fotovoltaicos como as tecnologias dos elementos constituintes.

#### 3.1. Tecnologias de painéis fotovoltaicos

A função de uma célula solar consiste em converter directamente a energia solar em electricidade. A forma mais comum das células solares o fazerem é através do efeito fotovoltaico [4].

Uma célula individual, unidade de base dum sistema fotovoltaico, produz apenas uma reduzida potência eléctrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 Volt. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um módulo. A maioria dos módulos comercializados é composta por 36 células de silício cristalino, ligadas em série, para aplicações de 12 V. Quanto maior for o módulo, maior será a potência e/ou a corrente disponível [4]. Nas subsecções seguintes vai ser descrito as características das células fotovoltaicas.

#### 3.2. Célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é constituída por um material semiconductor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, à conversão directa da radiação solar em potência eléctrica produzida em DC [22].

Uma célula fotovoltaica constituída por cristais de silício puro não produziria energia eléctrica. Para haver corrente eléctrica é necessário que exista um campo eléctrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos com o objectivo de alterar as suas propriedades eléctricas, é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo *p* e a camada tipo *n*, que possuem, respectivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro [22].

O boro é o dopante normalmente usado para criar a região tipo *p*. Um átomo de boro forma quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos de silício, mas como só possui três electrões na banda de valência, existe uma ligação apenas com um electrão, enquanto as restantes três ligações

possuem dois electrões. A ausência deste electrão é considerada uma lacuna, a qual se comporta como uma carga positiva que viaja através do material, pois de cada vez que um electrão vizinho a preenche, outra lacuna é criada. A razão entre átomos de boro e átomos de silício é normalmente da ordem de 1 para 10 milhões. O fósforo é o material usado para criar a região  $n$ . Um átomo de fósforo tem cinco electrões na sua banda de valência, pelo que cria quatro ligações covalentes com os átomos de silício e deixa um electrão livre, que viaja através do material [22].

Ao juntar as camadas  $n$  e  $p$  dos semicondutores impuros forma-se uma região de transição denominada junção  $p-n$ , onde é criado um campo eléctrico que separa os portadores de carga que a atingem. Quando uma célula solar é exposta à luz os fotões são absorvidos pelos electrões. Assim, quando o fotão contém energia suficiente a ligação entre os electrões é quebrada e estes movem-se para a banda de condução e são conduzidos através do campo eléctrico para a camada  $n$ . As lacunas criadas seguem para a camada  $p$ . Quando se ligam os terminais da célula a um circuito exterior que se fecha através de uma carga irá circular corrente eléctrica. Se a célula não estiver ligada a nenhuma carga, é obtida a tensão em circuito aberto da célula solar [22]. Na figura 1 é apresentada a constituição interna de uma célula fotovoltaica típica.

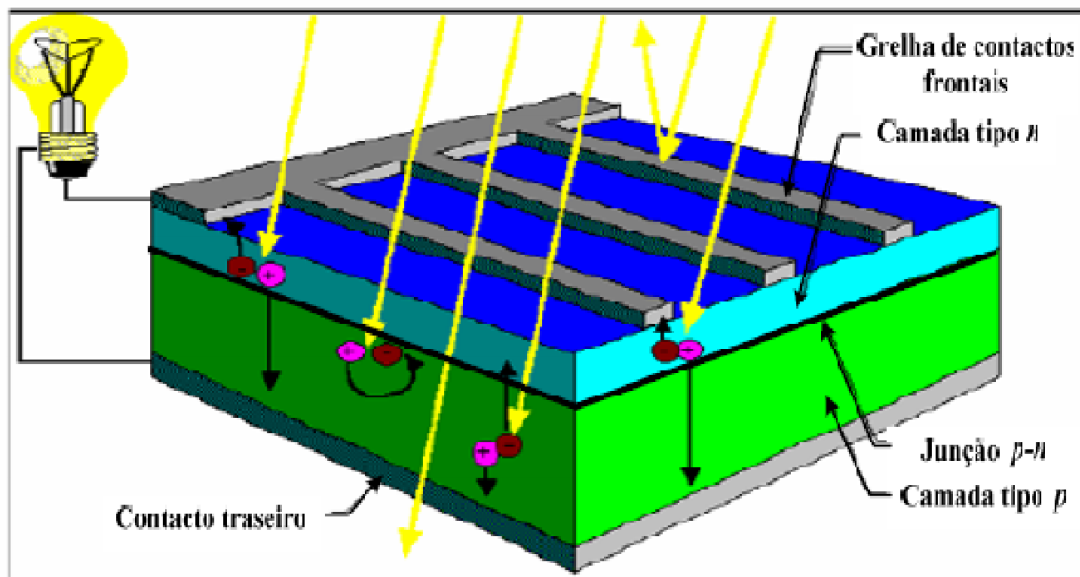


Figura 1 - Constituição interna e princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica (efeito fotovoltaico). [14]

### 3.2.1. Modelo matemático da célula fotovoltaica

Para se poder analisar pormenorizadamente o comportamento de um sistema eléctrico de energia é necessário que sejam desenvolvidos modelos matemáticos para os componentes constituintes do sistema. Uma célula fotovoltaica pode ser descrita através do circuito eléctrico equivalente simplificado representado na figura 2.

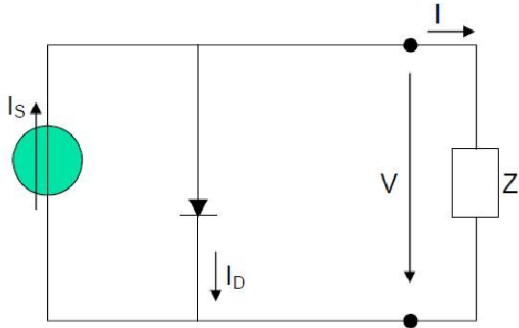


Figura 2: Circuito eléctrico equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando uma carga  $Z$  [22].

A fonte de corrente  $I_s$  representa a corrente eléctrica gerada pelo feixe de radiação luminosa, constituído por fotões, ao atingir a superfície activa da célula (efeito fotovoltaico). A junção  $p-n$  funciona como um díodo que é atravessado por uma corrente interna unidireccional  $I_D$ , que depende da tensão  $V$  aos terminais da célula [22].

A corrente  $I_D$  que se fecha através do díodo é calculada através da equação (2.1)

$$I_D = I_o \times \left( e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right)$$

Em que:

$I_o$  - é a corrente inversão máxima de saturação do díodo;

$V$  - é a tensão aos terminais da célula;

$m$  - é o factor de idealidade do díodo (díodo ideal:  $m = 1$ , díodo real  $m > 1$ );

$V_T$  - é designado por potência térmico  $V_T = \frac{kT}{q}$  ;

$T$  - é a temperatura absoluta da célula em K ( $0^\circ\text{C} = 273,16^\circ\text{K}$ );

$q$  - é a carga eléctrica do electrão ( $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ ).

A corrente  $I$  que se fecha pela carga é, obtida através da equação (2.2).

$$I = I_S - I_D = I_S - I_o \times \left( e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right)$$

### 3.2.2. Corrente de curto-circuito e tensão em circuito aberto

Dois pontos de operação da célula merecem atenção particular: curto-circuito e circuito aberto. No caso de curto-circuito,

$$V = 0 \rightarrow I_D = 0 \rightarrow I = I_S = I_{CC} \quad (2.3)$$

A corrente de curto-circuito  $I_{CC}$  é o valor máximo da corrente de carga, igual à corrente gerada por efeito fotovoltaico. O seu valor é uma característica da célula, sendo um dado fornecido pelo fabricante para determinadas condições de radiação incidente e temperatura.

No caso de circuito aberto,

$$I = 0$$

$$V = mV_T \times \ln \left( 1 + \frac{I_S}{I_o} \right) \quad (2.4)$$

A tensão em vazio é o valor máximo da tensão aos terminais da célula, que ocorre quando esta está em vazio.

As condições nominais de teste, normalizadas para a realização das medidas dos parâmetros característicos da célula, designadas condições de referência são:

- Radiação incidente:  $H_r = 1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura:  $\theta^r = 25^\circ \text{ C} \leftrightarrow T^r = 298,16 \text{ K}$

As grandezas referenciadas pelo índice superior  $r$  são consideradas medidas nas condições de referência – STC. De forma a explicar o significado das grandezas descritas anteriormente, é apresentado a seguir um exemplo em que é determinada a característica I-V para uma célula fotovoltaica de silício cristalino de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  com as seguintes condições experimentais [4]:

Tabela 1: Condições Experimentais

	H (W/m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	I <sub>cc</sub> (A)	V <sub>ca</sub> (V)*
<b>Teste</b>	430	0.01	25	1.28	0.56

\*ca – circuito aberto

\*cc – curto-circuito

A corrente inversa máxima de saturação do díodo foi calculada a partir das condições de curto-circuito e de circuito aberto. Assim, a partir da equação (2.4) e tendo em conta a equação (2.3) obtém-se:

$$I_o = 4,4 \times 10^{-10} \text{ A}; \quad m=1 \text{ (considerando o díodo ideal);} \quad (2.5)$$

Tendo em conta a expressão (2.2), a corrente que se fecha pela carga é dada por:

$$I = 1,28 - 4,4 \times 10^{-10} \times \left( e^{\frac{v}{mV_T}} - 1 \right) \text{ A} \quad (2.6)$$

A figura 3 representa a característica I-V da célula fotovoltaica para as condições de referência.

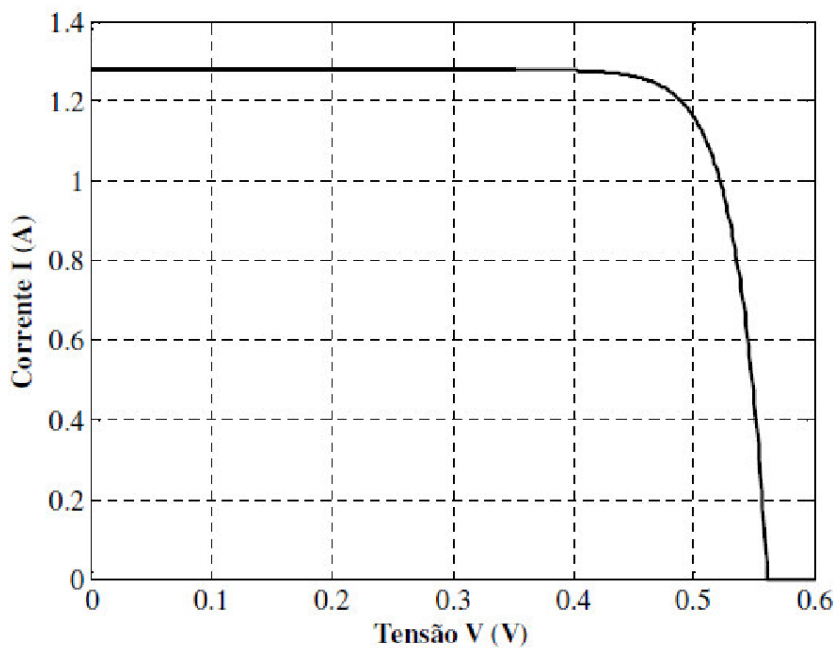


Figura 3: Curva I-V de uma célula solar fotovoltaica [23].

A análise da curva I-V é fundamental para a caracterização de um módulo fotovoltaico, pois a partir dela é possível obter os principais parâmetros que determinam a sua qualidade e desempenho.

### 3.2.3. Tecnologias das células fotovoltaicas

Dependendo do material utilizado no fabrico das células solares fotovoltaicas, estas podem ser classificadas como células monocristalinas, policristalinas e amorfas. No entanto existem novas tecnologias em fase de desenvolvimento e comercialização. As células que utilizam estas novas tecnologias são denominadas por células de película fina. De seguida é feita uma breve descrição sobre as diferentes tecnologias das células solares fotovoltaicas [6].

#### a) Células monocristalinas

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potenciar o efeito fotovoltaico. As células monocristalinas foram as primeiras a serem elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal. Apresentam-se sob a forma de placas redondas, quadradas ou pseudo quadradas [6]. Contudo, apresentam dois inconvenientes:

- Preço elevado;
- Elevado período de retorno do investimento.

A figura 4 apresenta o aspecto visual das células monocristalinas.

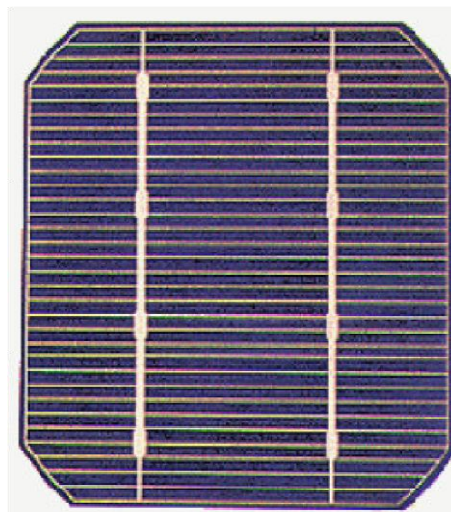


Figura 4: Células monocristalinas. [6]

### b) Células policristalinas

O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. As descontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de electrões e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. O processo de fabricação é mais barato do que o do silício cristalino. A figura 5 apresenta o aspecto visual deste tipo de células [6].

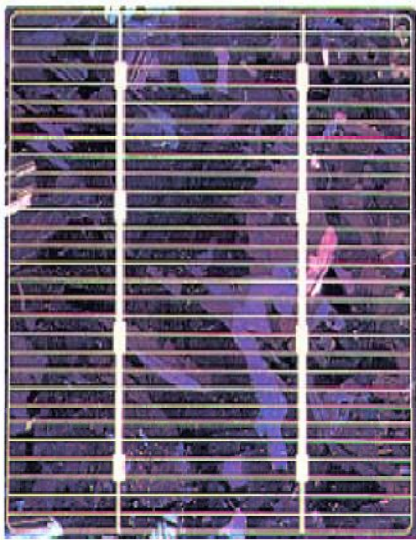


Figura 5: Células policristalinas. [6]

### c) Células amorfas

As células amorfas são compostas por um suporte de vidro ou de outra matéria sintética, na qual é deposta uma camada fina de silício (a organização dos átomos já não é regular como num cristal). O rendimento deste tipo de células é mais baixo do que nas células cristalinas mas, mesmo assim, a corrente produzida é razoável.

A sua gama de aplicações são os pequenos produtos de consumo como relógios, calculadoras, mas podem também ser utilizadas em instalações solares. Apresentam como vantagem o facto de reagirem melhor à luz difusa e à luz fluorescente e, portanto, apresentarem melhores desempenhos a temperaturas elevadas. A figura 6 apresenta o aspecto visual das células amorfas [6].

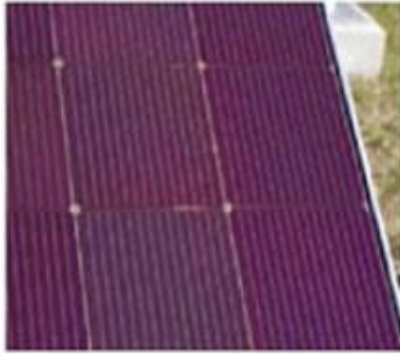


Figura 6: Células amorfas. [6]

#### d) Células de película fina

As células de película fina tais como CIS, CdTe e CiGs, encontram-se em fase de desenvolvimento. Apesar de possuírem baixas eficiências, as células de película fina apresentam-se como uma alternativa promissora ao silício, por serem muito mais resistentes aos efeitos de sombreamento e a temperaturas elevadas. Estas apresentam custos de produção mais baixos.

Os painéis solares de CIS apresentam, como o a-Si (silício amorfo) e o CdTe, uma agradável aparência estética. Apresentam rendimentos algo inferiores ao do silício, mas em contrapartida encontram aplicações arquitectónicas diversas, devido às vantagens de utilizarem tecnologias de películas finas e permitirem a passagem parcial de luz. No caso do CdTe, a pouca abundância dos elementos envolvidos e a sua toxicidade são aspectos que têm de ser considerados se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção. O aspecto visual das células de película fina está representado na figura 7 [6].

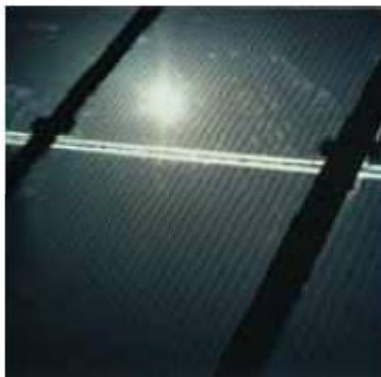


Figura 7: Células de película fina. [6]

A tabela seguinte apresenta os rendimentos típicos e teóricos obtidos com cada uma destas tecnologias.

Tabela 2: Rendimentos das diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos [6].

Material da célula Solar	Eficiência da Célula
Silício monocristalino	11 - 16%
Silício policristalino	10 - 14%
Silício Cristalino de película fina	6 - 8%
CIS, CIGS	4 - 7%

### 3.2.4. Associação de células

#### i. Associação de células em série [6]

Num agrupamento ligado em série, as células são atravessadas pela mesma corrente e a característica resultante deste agrupamento é obtida pela adição das tensões aos terminais das células, para um mesmo valor de corrente, como mostra a figura 8.

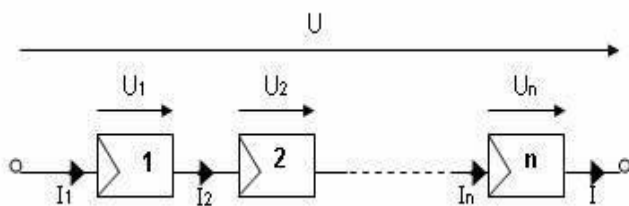


Figura 8: Associação de células em série [6].

Logo:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n ; I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

## ii. Associação de células em paralelo [6]

Num agrupamento ligado em paralelo, as células estão submetidas à mesma tensão e as intensidades de corrente adicionam-se. A característica resultante obtém-se por adição de correntes, para um mesmo valor de tensão, como mostra a figura 9.

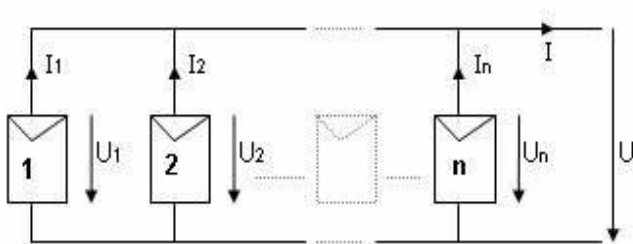


Figura 9: Associação de células em paralelo [6].

Logo:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n; \quad I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

A grande maioria dos módulos são construídos associando em primeiro lugar as células em série até se obter um nível de tensão considerável, e depois associando-as em paralelo até alcançar o nível de corrente desejado.

### 3.2.5. Pontos quentes, díodos de derivação e sombreamento

Sob determinadas condições de funcionamento, uma célula solar sombreada pode aquecer até ao ponto de se danificar, dando origem a um ponto quente. Isto pode acontecer quando flui uma corrente inversa relativamente elevada através da célula solar [6].

Quando uma célula solar fica totalmente obscurecida, esta célula passa a estar inversamente polarizada, passando a absorver energia eléctrica, convertendo-a em calor. No caso da corrente que a atravessa ser suficientemente elevada, no máximo igual á corrente de curto-circuito, resulta um ponto quente conforme se pode verificar na figura 10 [6].

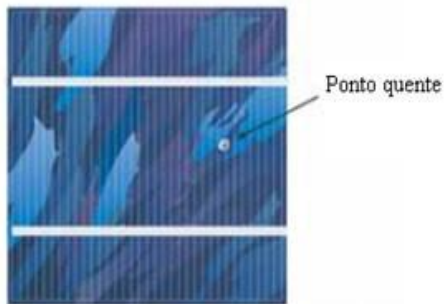


Figura 10: Célula solar com ponto quente. [6]

De modo a prevenir a ocorrência de pontos quentes, a corrente deve ser desviada da célula solar através de uma derivação que, por sua vez, é conseguida através de um díodo de derivação ligado em antiparalelo com as células solares impedindo assim o aparecimento de tensões inversas elevadas nas células solares. Na prática os díodos de derivação são colocados em anti-paralelo com um conjunto de 18 a 20 células solares, conforme figura 11 [6].

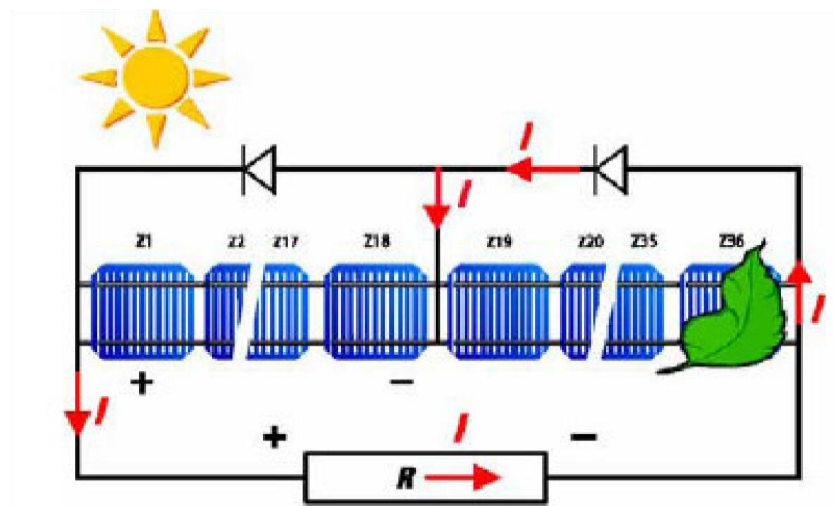


Figura 11: Módulo fotovoltaico sombreado com díodos de derivação. [6]

Em caso de sombreamento de um módulo solar, a característica I-V do módulo será modificada pelo díodo de derivação. Na ausência deste, a corrente total do módulo seria determinada pela célula sombreada [6].

### 3.2.6. Características técnicas dos módulos

A norma europeia Standard EN 50380 especifica quais as características técnicas que os fabricantes devem apresentar nas folhas descritivas das características dos módulos fotovoltaico [8]. Nem todos os

fabricantes respeitam esta norma, não fornecendo todas as características técnicas que a norma impõe, que são:

- Potência nominal de pico;
- Tensão no ponto de potência máxima;
- Corrente no ponto de potência máxima;
- Tensão em circuito aberto;
- Corrente em curto-circuito;
- Coeficiente de variação da tensão em função da temperatura;
- Coeficiente de variação da corrente em função da temperatura.

Estes valores são vitais para se poderem realizar estimativas da quantidade de energia gerada, bem como verificar a compatibilidade de ligação com outros componentes do sistema fotovoltaico. Todos estes valores são obtidos em condições de teste (STC).

O coeficiente de temperatura é muito importante porque em dias em que o valor de radiação é elevado, a temperatura nas células aumenta, podendo chegar aos 70°C, causando uma redução do rendimento. Por outro lado, a baixas temperaturas, o valor de tensão em circuito aberto aumenta, colocando em risco o estado da célula fotovoltaica.

As características construtivas dos módulos também devem ser evidenciadas, nomeadamente:

- Dimensões (Comprimento e largura);
- Espessura;
- Peso.

As características construtivas mencionadas anteriormente são de crucial importância para a realização do projecto, porque estes dados permitem-nos escolher as estruturas de suporte e o espaço que os módulos vão ocupar.

### **3.2.7. Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Hoje em dia os sistemas fotovoltaicos são usados num vasto conjunto de aplicações distintas, de entre as quais se destacam as seguintes aplicações em média potência [20]:

- Electrificação rural, em que os sistemas fotovoltaicos são utilizados para o abastecimento de

cargas domésticas em locais sem rede, bombagem de água, irrigação, complemento de abastecimento de locais remotos com ou sem rede;

- Produção descentralizada, em que os sistemas solares fotovoltaicos são utilizados como fonte de produção dispersa, entregando à rede a totalidade ou parte da energia produzida.

Os sistemas fotovoltaicos, sozinhos ou com associação com outras fontes de energia renováveis são já competitivos para a alimentação de certos locais remotos onde as soluções alternativas convencionais (gerador diesel ou rede eléctrica) apresentam inconvenientes ambientais consideráveis e são inferiores do ponto de vista económico. No caso dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede, a situação é bastante diferente, pois estes estão ainda longe de serem competitivos mesmo quando comparados com outras fontes de energia renováveis [15].

Os sistemas solares fotovoltaicos podem ser explorados de três formas distintas:

- Sistemas ligados à rede;
- Sistemas isolados ou autónomos;
- Sistemas híbridos.

Estes modos de operação dos sistemas fotovoltaicos são apresentados nas subsecções seguintes.

### **3.2.8. Sistemas Autónomos**

Um sistema fotovoltaico autónomo é concebido para alimentar um conjunto de cargas sem a presença da rede eléctrica, durante todo o ano. Assim, o dimensionamento do painel é normalmente efectuado com base na radiação disponível no mês com menor radiação solar. Em conjunto com o painel solar o sistema deve incluir também:

- Baterias, de modo a assegurar a alimentação dos consumos nos períodos em que o recurso (radiação solar) não está disponível. As baterias são carregadas sempre que a radiação solar disponível permite gerar uma potência superior a potência de carga da bateria;
- Controlador de carga, para efectuar a gestão da carga da bateria;
- Inversor, no caso de haver cargas a alimentar em CA.

Alguns sistemas autónomos não necessitam de armazenamento. É o caso da irrigação onde toda a água bombeada é directamente consumida ou colocada em reservatórios. Quando as bombas são alimentadas em CA torna-se necessário um inversor. Dependendo do tipo de cargas a alimentar os

sistemas fotovoltaicos autónomos podem assumir uma ou mais configurações possíveis tal como se pode observar na figura 12.

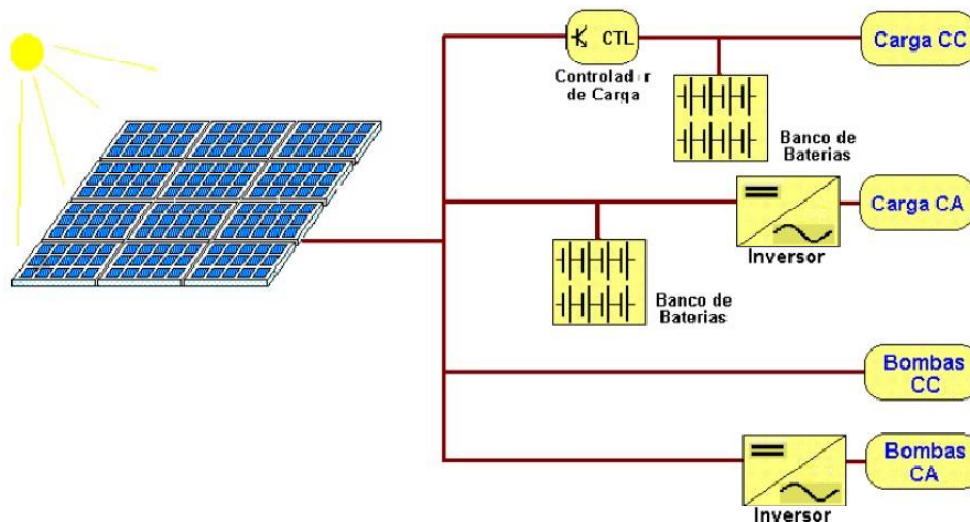


Figura 12: Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada [15].

### 3.2.9. Sistemas ligados à rede

Tal como já foi referido anteriormente, os sistemas ligados à rede entregam toda a energia que a radiação solar lhes permite produzir à rede. Para tal é necessário um inversor que faz a interface entre o painel e a rede, de modo a converter a energia produzida em DC pelo painel para CA exigida pela rede, tal como se encontra esquematizado na figura 13.

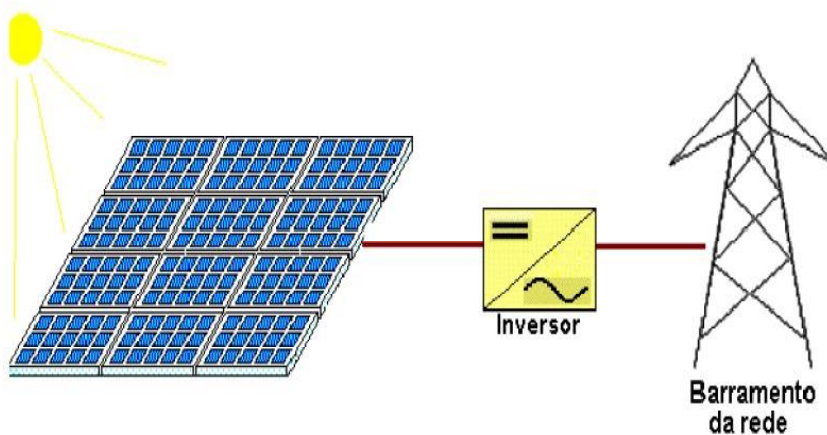


Figura 13: Sistema ligado à rede [15].

Por norma estes sistemas utilizam painéis fotovoltaicos de grandes dimensões, embora com a promoção da microgeração comecem a aparecer também sistemas de dimensões reduzidas, sem necessidade de recurso a baterias. No entanto, o inversor tem que possuir características adequadas a satisfação dos requisitos que a ligação impõe de modo a não afectar a qualidade de energia e assegurar as questões de segurança. Nestes sistemas fotovoltaicos ligados à rede o critério de dimensionamento é a maximização de energia produzida.

### 3.2.10. Sistemas híbridos

Em sistemas híbridos os sistemas fotovoltaicos são utilizados para alimentar as cargas em conjunto com outros sistemas que utilizam fontes de energias renováveis, como por exemplo sistemas eólicos, ou sistemas convencionais como o gerador diesel. Neste modo de operação os dispositivos requeridos para os sistemas fotovoltaicos são aqueles que estão mencionados na subsecção anterior relativamente aos sistemas autónomos. Na figura 14 é apresentado o esquema típico de um sistema híbrido.



Figura 14: Exemplo de sistema híbrido [15].

Uma vez que os sistemas híbridos são explorados na ausência da rede eléctrica convencional, torna-se necessária a existência de um sistema de gestão e controlo das diferentes fontes de energia de modo a satisfazer os consumidores e assegurar o menor custo de produção da energia. Para tal é necessário maximizar a eficiência do sistema em função do consumo e da disponibilidade dos recursos.

### 3.2.11. Baterias, requisitos de carga e carregadores

Em sistemas fotovoltaicos autónomos, dado que a produção e consumo de energia muitas vezes não coincidem, quer ao longo do dia, quer ao longo dos dias do ano, o armazenamento de energia assume

um papel fundamental. Para tal são utilizadas baterias, as quais devem possuir tempos de vida útil longos em condições de carga e descarga diárias, também conhecidas como baterias de alta profundidade de carga. Outras características importantes são uma elevada eficiência de carga, mesmo para baixas correntes de carga e uma baixa razão de auto-descarga.

As baterias são uma forma de armazenamento de energia, pois são capazes de transformar directamente energia eléctrica em energia potencial química e posteriormente converter, directamente, a energia potencial química em eléctrica. Cada bateria é composta por um conjunto de células electroquímicas ligadas em série de modo a obter a tensão eléctrica desejada [21].

De modo a proteger as baterias contra sobrecargas são utilizados controladores de carga. Questões relacionadas com as baterias e controladores de carga são apresentados nas subsecções seguintes.

### **3.2.12. Tipos de baterias**

A escolha apropriada da bateria, bem como da sua capacidade, é uma tarefa essencial de modo a assegurar o adequado funcionamento do sistema solar fotovoltaico autónomo e proporcionar à bateria um longo tempo de vida útil.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia eléctrica, devem ser descartadas. As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente eléctrica aos seus terminais. Os sistemas fotovoltaicos utilizam baterias do tipo recarregáveis sendo as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio as mais comuns [2].

O ciclo de carga/descarga das baterias repete-se diariamente, pelo que deve ser tido em conta o valor da percentagem de descarga no dimensionamento, uma vez que irá determinar o tempo de vida útil da bateria. Em resultado do processo de carga/descarga a capacidade da bateria diminui, sendo a perda de capacidade maior quanto maior for a profundidade de descarga. Para aumentar a durabilidade das baterias é necessário garantir um ciclo de carga/descarga adequado, de acordo com as recomendações do fabricante. O nível de carga de uma bateria nunca deve ser inferior ao valor máximo permitido para a sua profundidade de carga. A escolha da bateria a ser utilizada em sistemas fotovoltaicos autónomos requer a avaliação das suas características. Para além da razão

custo/desempenho, capacidade, requisitos de manutenção, tamanho e espaço necessário à sua instalação, a sua eficiência e razão de auto descarga devem também ser tidos em conta [21].

Nas subsecções seguintes é apresentada a descrição destes dois tipos de baterias.

#### **i) Bateria chumbo-ácido**

As baterias de chumbo-ácido possuem esta denominação, porque são constituídas por uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico.

A capacidade é medida pela quantidade de carga eléctrica, ou seja, pelo número de horas que uma determinada corrente pode ser fornecida por uma bateria totalmente carregada, e expressa em Ampère - hora (Ah), isto é o produto da corrente em ampères pelo tempo em horas corrigido para a temperatura de referência [2].

Devido ao seu baixo custo e à grande disponibilidade no mercado, as baterias de chumbo-ácido são frequentemente utilizadas nos sistemas solares fotovoltaicos autónomos. A célula electroquímica de chumbo-ácido possui uma tensão nominal de 2,0 Vcc. Assim várias destas células são ligadas em série de modo a obter nos terminais da bateria valores de tensão desejáveis.

No mercado existem baterias de chumbo-ácido de 12, 24 e 48 V. No entanto a tensão nos terminais da bateria depende do seu estado de carga e do processo de carga/descarga, baixando durante o processo de descarga e subindo durante o processo de carga.

#### **ii) Bateria níquel-cádmio**

As baterias de níquel-cádmio são também utilizadas em sistemas de geração de energia eléctrica fotovoltaica. Apresentam uma estrutura física semelhante às das baterias chumbo-ácido, utilizando hidróxido de níquel para as placas positivas, óxido de cádmio para as placas negativas e hidróxido de potássio para o electrólito.

As baterias de níquel-cádmio, quando comparadas com as de chumbo-ácido, são menos afectadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas. Não estando sujeitas a sulfatação, possuem um custo mais elevado que as chumbo-ácido [2].

### 3.2.13. Requisitos de carga e carregadores [6]

Nos sistemas fotovoltaicos autónomos, a tensão aos terminais do painel fotovoltaico deverá ser compatível com a tensão nominal da bateria, devendo ser a tensão do painel superior à tensão da bateria.

Tendo em conta a dependência da tensão aos terminais do painel com a temperatura, é conveniente que para temperaturas elevadas a tensão gerada seja suficientemente elevada para possibilitar a carga das baterias e para valores baixos de temperatura é conveniente garantir que a tensão do painel fotovoltaico não supere a tensão de carga da bateria. Assim, o controlador de carga mede a tensão da bateria e a protege contra a possibilidade de sobrecarga. No caso de a tensão no painel ser superior à tensão da bateria, o controlador de carga evita que a bateria descarregue através do painel, através da utilização de díodos de bloqueio que evitam a passagem de corrente inversa.

Como as baterias são em geral muito sensíveis tanto a sobrecargas como a descargas profundas, a utilização do controlador de carga contribui significativamente para o aumento do seu tempo de vida útil. Os controladores de carga são compostos por um circuito de controlo e outro de comutação. Tendo em conta que a tensão máxima de carga e mínima de descarga da bateria dependem do seu estado de carga, o circuito de controlo monitoriza a tensão, corrente e também a temperatura da bateria, processa essas informações e gera sinais de controlo para o circuito de comutação. O circuito de comutação é formado por dispositivos semi-condutores de potência que controlam a tensão e/ou a corrente de carga ou de descarga das baterias.

As principais funções atribuídas aos controladores de carga das baterias são:

- Assegurar o carregamento da bateria;
- Evitar a sobrecarga da bateria;
- Bloquear corrente inversa entre a bateria e o painel;
- Prevenir descargas profundas (no caso de baterias chumbo-ácido).

Existem basicamente dois tipos de controladores: os que são ligados em paralelo e os que são ligados em série.

Os controladores de carga em paralelo e em série nem sempre conseguem fazer o melhor aproveitamento da energia solar disponível. As perdas de energia podem ser da ordem dos 10% aos 40%, dependendo da tensão da bateria, da radiação e da temperatura. Estas perdas podem ser evitadas utilizando um sistema de PPM, que consiste essencialmente num conversor DC/DC regulado. A regulação é executada pelo controlador MPPT, que num dado intervalo de tempo percorre a curva característica corrente-tensão do gerador fotovoltaico e determina o MPP. O conversor DC/DC é regulado de forma a ajustar o sinal de saída em função da tensão de carga da bateria. Os controladores de carga MPPT são mais utilizados para potências fotovoltaicas superiores a 500 W [6].

#### **3.2.14. Tecnologias dos conversores DC-AC**

Os conversores electrónicos DC-AC, ou simplesmente Inversor de potência são utilizados para converter a energia eléctrica produzida em DC em AC monofásica ou trifásica com características de frequência e tensão adequadas para a sua ligação à rede.

O inversor estabelece a ligação entre o sistema fotovoltaico e a rede. A sua principal tarefa consiste em converter o sinal eléctrico contínuo do painel num sinal eléctrico alternado, e ajustá-lo para a frequência e nível de tensão da rede à qual está ligado.

Dependendo da aplicação, existe uma distinção entre os inversores utilizados nos sistemas com ligação à rede (inversores de rede) e nos sistemas autónomos (inversores autónomos). Para este projecto aborda-se inversores utilizados nos sistemas autónomos.

#### **3.2.15. Inversores para sistemas autónomos**

Num sistema fotovoltaico isolado, o armazenamento de energia nas baterias e o fornecimento de energia para o consumo é feito em DC. Os inversores são utilizados para possibilitar o uso de aparelhos eléctricos convencionais que requerem alimentação em AC ( $V=230V$  e  $f=50Hz$ ) a partir da rede em DC. Um sistema isolado típico é apresentado a seguir através da figura 15.

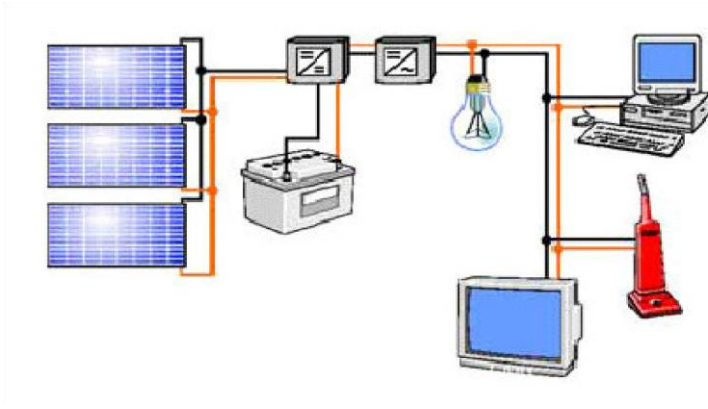


Figura 15: Sistema autônomo com inversor autônomo. [2]

Os inversores utilizados nos sistemas autônomos possuem características bastante diferentes dos inversores utilizados em sistemas ligados à rede e são, por vezes, conhecidos como inversores para baterias ou inversores autônomos [2].

A escolha de um inversor para um sistema deste tipo é feita tendo em conta a potência do inversor e atendendo a que a potência nominal do inversor deve ser suficiente para alimentar as cargas de forma contínua.

Quando no sistema autônomo existirem motores ou outras cargas que exijam correntes de arranque elevadas, o inversor deverá ter capacidade de fornecer essas correntes de arranque. Por outro lado, os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos autônomos têm que ser eficientes. Segundo o manual [2], estes inversores devem possuir as seguintes características:

- Gerar uma onda de tensão em AC estável;
- A tensão DC de entrada deve acautelar as variações de tensão na bateria;
- Ser dimensionado de modo a ter capacidade de alimentar continuamente todas as cargas;
- Capacidade de fornecer correntes de arranque elevadas;
- Elevada eficiência para diferentes condições de carga;
- Fiabilidade elevada;
- Baixa interferência electromagnética;
- Baixo consumo quando não há carga a ser alimentada.

Num sistema autônomo podem ser usados dois ou mais inversores. No entanto devem ser ligados a circuitos distintos pois caso contrário podem sofrer danos.

Existem no mercado inversores sofisticados que podem funcionar em paralelo, permitindo assegurar o nível mais elevado de segurança e aumentar a eficiência de sistemas de grande dimensão evitando a alimentação das cargas (por inversores) de forma separada.

### **3.2.16. Normas e regulamentos sobre módulos fotovoltaicos**

A tabela a em anexo 1, lista as normas internacionais sobre módulos fotovoltaicos que são recomendadas para consulta.

### **3.2.17. Programas de simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**

Os simuladores de sistemas fotovoltaicos utilizam modelos de fluxo energético que demonstram a interacção dos componentes constituintes do sistema. Os primeiros programas foram desenvolvidos nos Estados Unidos. No mercado encontra-se uma grande variedade de programas de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos que utilizam diferentes metodologias. Estes programas são de grande importância quando se pretende projectar um sistema fotovoltaico.

A maior parte dos programas descritos a seguir têm uma Base de Dados de radiação solar e, em alguns casos, dados de temperatura ambiente. Em alguns existe a possibilidade de importar dados meteorológicos, tal acontece no METEONORM.

O estudo descrito não é exaustivo, devido à grande variedade de softwares que abrangem os sistemas fotovoltaicos nas suas diferentes configurações. A seguir é apresentada uma breve descrição de alguns programas de simulação e dimensionamento populares, grátis e utilizados neste projecto.

### **3.2.18. Homer 2.0**

Foi desenvolvido nos E.U.A. no “National Renewable Energy Laboratory” (NREL) e apresentado no ano 2000. Simula sistemas ligados à rede, autónomos ou híbridos, combinando diferentes tipos de geração, eólica, biogás, micro-turbinas, etc. Permite a optimização de parâmetros técnicos específicos assim como resultados detalhados de cada configuração do sistema. O programa está disponível gratuitamente [13].

### **3.2.19. METEONORM 7.2**

Segundo METEONORM (2019), A ferramenta METEONORN 7.2 é uma base de dados que fornece um histórico mundial sobre a irradiação e temperatura desde 2010. Esses dados são obtidos através de uma combinação de cálculos feitos pelo método Heliosat.

### **3.2.20. PVSYST V6.79**

De acordo com Freitas (2008), o PVSYST foi desenvolvido em 1991 pela Universidade de Genebra, na Suíça. Este *software* permite ao usuário trabalhar desde o estágio inicial de representação até um detalhado sistema de simulação.

Conforme GTES (2014), o *software* permite importar dados da ferramenta METEONORM, facto que facilita o estudo da radiação de uma certa localidade.

## **CAPITULO IV**

### **4. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO ACTUAL DE COMANDO DAS LINHAS SINALIZADAS DO PATIO FERROVIARIO DE NACALA**

O pátio e terminal ferroviário de Nacala-a-velha, esta instalado um sistema de comando das linhas férreas totalmente sinalizado por questões de segurança operacional e dinâmica, e alimentado pela energia elétrica através da rede publica da EDM e com sistema redundante de grupos geradores a diesel.

Os respetivos circuitos elétricos de força e comando pode ser verificado nos anexos.

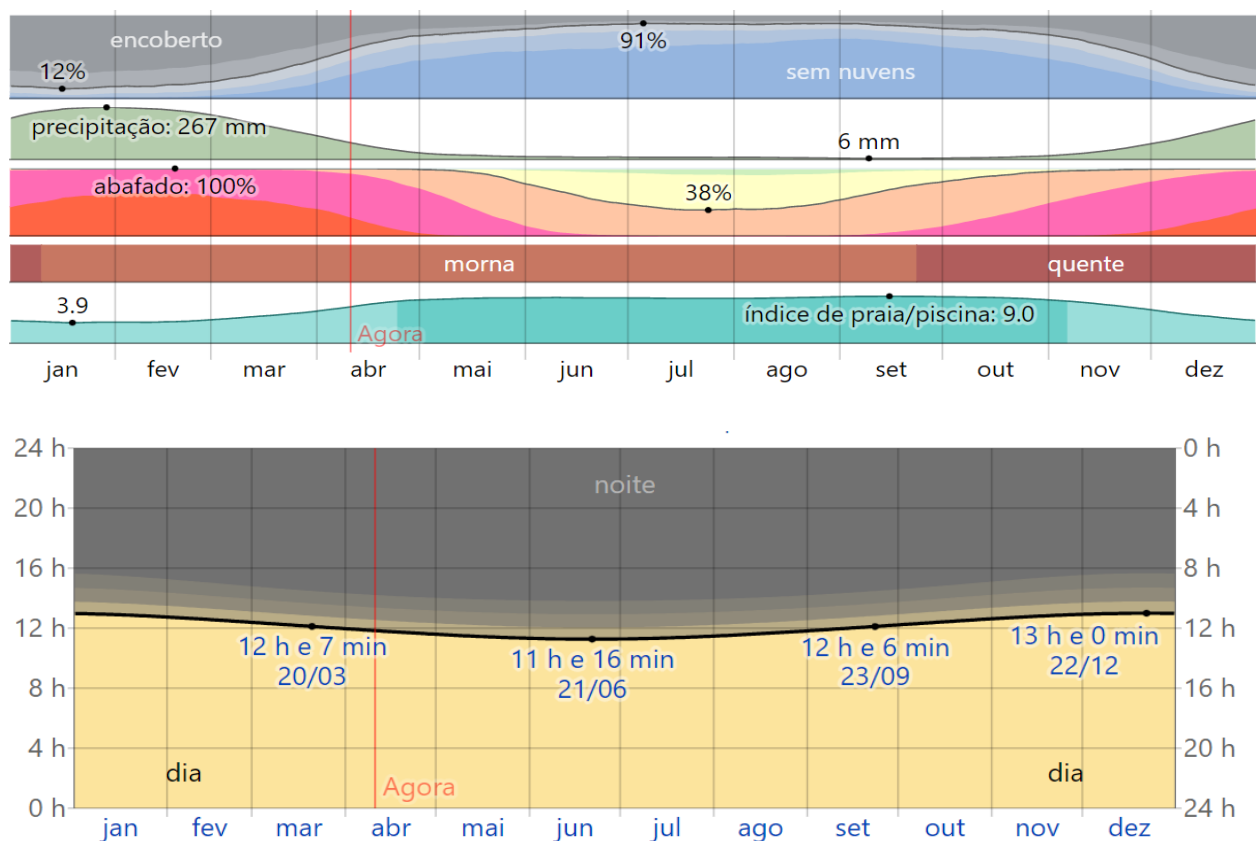
## 4.1.DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO E AUTÓNOMO (SFIA)

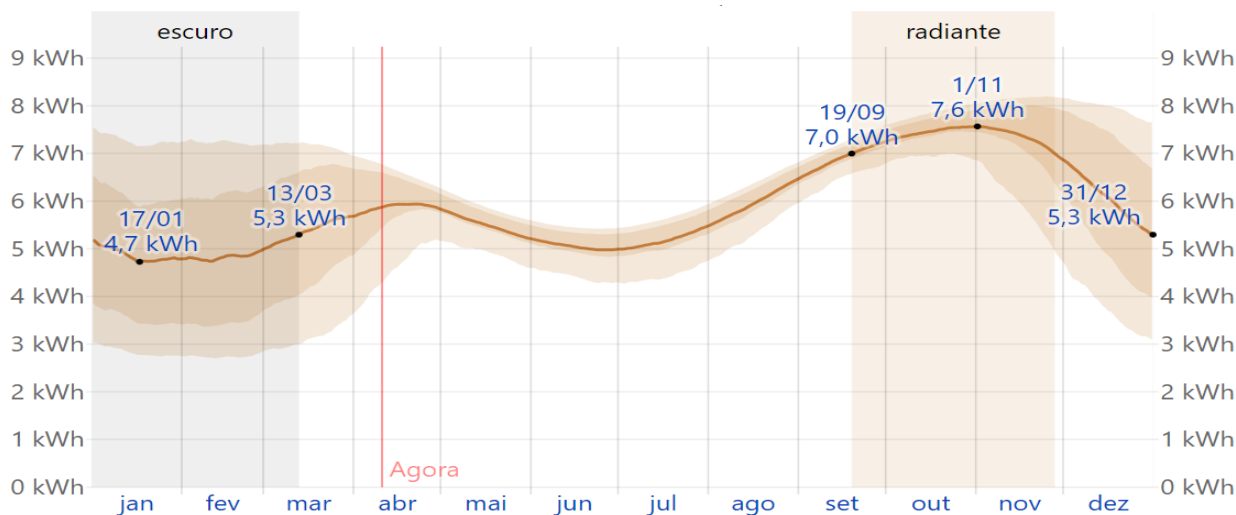
Neste capítulo apresenta-se o dimensionamento de sistema fotovoltaico e seus componentes para fazer face as dificuldades de estabilidade do sistema de alimentação de energia elétrica.

### 4.1.1. Avaliação do recurso solar

Nesta subseção é feita uma breve análise ao recurso solar do local em estudo, com vista a quantificar a radiação solar global incidente sobre o painel fotovoltaico. Para isso, foi utilizado ferramenta METEONORM 7.2, onde os valores da irradiação visto encontram-se em valores médios diários.

Como dito na introdução, “Pátio e terminal de Nacala-a-velha”, localiza-se na vila de Nacala-a-velha, província de Nampula – Moçambique, com as coordenadas -14.531319323669285. A tabela 3 abaixo mostra parâmetros em base diária para avaliação do recurso solar.





Fonte: <https://pt.weatherspark.com/y/101528/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Nacala-Mo%C3%A7ambique-durante-o-ano>

De acordo com dados da tabela, os valores mais baixos de irradiação, correspondem aos meses de inverno. Entretanto, a irradiação global horizontal média anual e do mês mais crítico para o município Nacala são 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/dia e 4,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia respectivamente.

#### 4.1.2. Melhor inclinação e orientação dos módulos

Segundo OLIVEIRA (1997), para aumentar a colecta de energia durante os meses de inverno, período em que o Sol passa pelo meridiano local com maior ângulo zenital, se deve adoptar um ângulo de inclinação dos painéis ( $\beta$ ). Esta inclinação é obtida pela seguinte expressão:

$$\beta = \phi + \left( \frac{\phi}{4} \right) \quad (4.1)$$

Onde:  $\phi$  representa latitude.

Deste modo, para a latitude ( $\phi$ ) correspondente a -19.8048125, tem-se uma inclinação dos módulos de  $24.75^\circ \approx 25^\circ$  em relação ao plano horizontal. Na tabela 4, observa-se que para  $\beta=25^\circ$ , a irradiação global média subiu ligeiramente para 6.07 kWh/m<sup>2</sup>/dia, significando que houve melhoria na colecta de energia nos meses de inverno e ligeira perda na captação de irradiação em alguns meses do verão. Os dados foram retirados pela ferramenta PVSYST V6.79.

Segundo BLUE-SOL (2008), para pequenos sistemas fotovoltaicos isolados recomenda-se o uso de um suporte em mastro com o intuito de fazer o ajuste sazonal do  $\beta$  para melhorar a captação de irradiação solar. E conforme GTES (2014) recomenda que, o  $\beta$  deve ter no mínimo  $10^\circ$  com o intuito de favorecer a autolimpeza dos módulos pela acção da chuva.

Tabela 3: Irradiação global média para inclinação de 25°

**Plano: inclinação 25°, azimute 0°, bo (IAM)=0.02**

	Horiz. Glob kWh/m <sup>2</sup> .dia	Tilted Glob kWh/m <sup>2</sup> .dia
Janeiro	6.69	5.92
Fevereiro	6.23	5.95
Março	6.11	6.39
Abril	5.41	6.37
Maio	4.67	6.05
Junho	4.23	5.77
Julho	4.38	5.81
Agosto	5.09	6.27
Setembro	5.75	6.31
Outubro	6.40	6.34
Novembro	6.76	6.12
Dezembro	6.34	5.50
Ano	5.67	6.07

Legendas: Horiz. Glob Global on horizontal plane  
Tilted Glob Global on tilted plane

Fonte: PVSYST V6.79 (2020)

#### 4.2. Escolha da configuração do SFIA

Conforme CARVALHO (2013), a configuração dos sistemas fotovoltaicos isolados e autónomos pode ser:

- a) Com carga AC e armazenamento;
- b) Com carga AC sem armazenamento;
- c) Com carga DC e armazenamento;
- d) Com carga DC sem armazenamento.

Segundo GTES (2014), quase todos os sistemas fotovoltaicos isolados e autónomos os valores de tensão a adoptar depende do tamanho do sistema, e podem ser de 12 V, 24 V e 48V. Entretanto, para reduzir a corrente eléctrica em corrente contínua, e consequentemente reduzir a secção dos cabos eléctrico utilizados, aumentando a eficiência, a tensão de operação do sistema, fixa-se em 48 V. Mais detalhes podem ser consultados em Folha 04 - Peças desenhadas.

#### 4.3. Levantamento do consumo de energia eléctrica

Segundo OLIVEIRA (1997), a maneira mais simples para determinar a produção necessária para uma unidade consumidora é fazendo a soma das energias consumidas por cada equipamento. conforme GTES (2014), para calcular o consumo médio de energia (kWh) de

um equipamento, primeiro procura-se a potência do equipamento no catálogo ou manual do fabricante e de seguida utiliza-se a seguinte expressão:

$$C_m = \frac{P_e \times N_d \times D_m}{1000} \quad (4.2)$$

Onde:

$C_m$  (kWh/mês) – consumo médio mensal;

$P_e$  (W) – Potência nominal do equipamento (dado de placa ou do manual do fabricante);

$N_d$  (h/dia) – número médio de horas diárias de utilização do equipamento;

$D_m$  (dia/mês) – número médio de dias de utilização do equipamento, por mês.

A tabela a seguir está apresentado o consumo de electricidade (kWh/dia).

Tabela 4: Valores de consumo diário de energia eléctrica

CARGAS						
Quadro Elétrico	Circuito	Potencia (W)	Qtde	Total (kw)	Utilizacao diaria (h)	Consumo diario (kwh/dia)
EE & TELECOM	MSCH	750	3	2,25	24	54,00
	DMN	750	3	2,25	24	54,00
	SEMAFOROS	500	2	1,00	24	24,00
	ILUMINACAO DO PATIO	1000	2	2,00	24	48,00
<b>Total</b>	-	-	<b>10,00</b>	<b>7,50</b>	<b>24</b>	<b>180,00</b>

Fonte: autor.

#### 4.4. Dimensionamento dos componentes do sistema

No sistema fotovoltaico autónomo os componentes básicos que fazem parte do sistema são os módulos fotovoltaicos, baterias, controladores de carga, inversores e cabos. Nesta subsecção estão descritas as fórmulas de dimensionamento para o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico e das baterias, secção dos condutores e para o cálculo do número de inversores e controladores de carga necessários.

##### 4.4.1. Cálculo da potência de pico do painel fotovoltaico

A potência de pico do painel pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$P_m = \frac{\left( \frac{E}{HSP} \right)}{\eta}$$

Fonte: editado [10]

Onde:

$P_m$  - potência de pico do painel em Wp;

$\eta$  - rendimento global do sistema [%], descrito na equação 4.3;

$E$  - energia consumida diariamente em Wh, ilustrada na tabela 5;

$HSP$  - número de Horas de Sol Pleno verificadas no mês crítico tendo em conta o ângulo de orientação e inclinação do painel, descrito na equação (4.6);

O rendimento total do sistema pode ser determinado através da expressão (4.4).

$$\eta = \eta_{PV} \times \eta_{PV-bat} \times \eta_C \times \eta_{dist} \times \eta_{inv}$$

Onde:

$\eta$  - rendimento global do sistema;

$\eta_{PV}$  - rendimento do painel tendo em conta que não está a funcionar no ponto de potência máxima (80% do valor típico);

$\eta_{PV-bat}$  - representa as perdas devido à queda de tensão nos cabos que ligam o painel à bateria, tomando valores de 2%, logo o rendimento é de 98%;

$\eta_C$  - rendimento do controlador de carga, na ordem dos 98%;

$\eta_{dist}$  - representa as perdas nos cabos de distribuição na ordem dos 2%, sendo o rendimento de 98%;

$\eta_{inv}$  - rendimento do inversor. Neste projecto, o rendimento dos inversores a serem utilizados, o rendimento é de 94%.

Deste modo,

$$\eta = 0,80 \times 0,98 \times 0,98 \times 0,98 \times 0,94 = 0,71 \quad (4.5)$$

$HSP$ (h/dia) - Horas de Sol Pleno. Esta grandeza reflete “o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1,0 kW/m<sup>2</sup> GTES (2014, p. 300).

O cálculo do número de  $HSP$  é dado pela expressão:

$$HSP = \frac{5,77 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ dia}}{1 \text{ kW} / \text{m}^2} = 5,77 \text{ h} / \text{dia} \quad (4.6)$$

Onde o 5.77kWh/m<sup>2</sup>.dia corresponde à menor irradiação solar obtida na tabela 5.

Com base na equação (4.2), segue-se o cálculo da potência necessária para o painel conforme equação (3.5).

$$P_m = \frac{\left[ \frac{E}{HSP} \right]}{\eta} = \frac{\left[ \frac{180.000}{5,77} \right]}{0,71} = 43.937,80Wp \quad (4.7)$$

Devido a ausência de módulos com esta potência no mercado, foi escolhidos 110 módulos policristalinos da Canadian Solar modelo CS3W-410P com potência nominal máxima de 410W. Associados 110 módulos, temos 45.100 Wp suficientes para o sistema. As características do módulo são:

- Potência nominal de pico: 410 W
- Tensão no ponto de potência máxima: 39.1 V
- Corrente no ponto de potência máxima: 10.49 A
- Tensão em circuito aberto: 47.6
- Corrente em curto-circuito: 11.06 A
- Coeficiente de variação da tensão em função da temperatura: -0.29 %/ °C
- Coeficiente de variação da corrente em função da temperatura: 0.05 %/ °C

As características como temperatura nominal de operação do modulo, comprimento, largura, espessura, peso, entre outros podem ser consultados em anexo 2.

Para evitar que o sistema trabalhe em muito alta corrente, o mesmo será dividido em 3 grupos, sendo o Grupo 1 junção dos circuitos MSCH e DMN tendo como consumo total de energia 108.000 Wh (108 kWh), Grupo 2 do circuito SEMAFOROS tendo como consumo total de energia 24.000 Wh (24 kWh) e Grupo 3, o circuito ILUMINACAO DO PATIO, cuja energia é de 48.000 Wh (48 kWh). Conforme a tabela 6 mais abaixo.

- a) Cálculo do número de módulo em série é dado pela seguinte expressão, GTES (2014, p. 311):

$$\frac{V_{SSPM \min}}{V_{mpT \max}} < N_s < \frac{V_{SSPM \max}}{V_{mpT \min}} \quad (4.8)$$

Onde  $V_{mp(T)} = V_{mp} \times \left[ 1 + \beta_{V_{mp}} (T - 25) \right]$ , GTES (2014, pp. 150;151) (4.9)

e

$$\beta_{V_{mp}} = \gamma - \alpha, \quad \text{GTES (2014, pp. 150;151)} \quad (4.10)$$

- b) Cálculo do número de módulo em paralelo é dado pela seguinte expressão GTES (2014, p. 311):

$$N_p = \frac{P_m}{N_s \times P_{\text{mod}}} \quad (4.11)$$

Onde:

$N_s$  e  $N_p$  - número de módulos em série e em paralelo, respectivamente;

$V_{SSPM \text{ max}}$  e  $V_{SSPM \text{ min}}$  - máxima e mínima tensão de operação do SPPM do controlador de carga, respectivamente;

potencia quando estiverem operando na temperatura mais elevada prevista para o modulo;

$V_{mpT \text{ max}}$  e  $V_{mpT \text{ min}}$  - tensões de máxima e mínima potencia do modulo fotovoltaico nas suas máximas e mínima temperatura de operação, respectivamente;

$P_{\text{mod}}$  - potência (Wp) nominal do modulo adoptado e escolhido;

Assim, para sistema do grupo 1:

i. Número de módulo em série:

$$V_{mp(T)} = V_{mp} \times [1 + \beta_{V_{mp}} (T - 25)] \quad (4.12)$$

$$\beta_{V_{mp}} = \gamma - \alpha = -0,0037^\circ C^{-1} - 0,0005^\circ C^{-1} = -0,0042^\circ C^{-1} \quad (4.13)$$

$$V_{mpT \text{ min}} \Rightarrow V_{mp(-40^\circ C)} = 39,1 \times [1 - 0,0042(-40 - 25)] = 49,8V \quad (4.14)$$

$$V_{mpT \text{ max}} \Rightarrow V_{mp(85^\circ C)} = 39,1 \times [1 - 0,0042(85 - 25)] = 29,2V \quad (4.15)$$

$$\frac{V_{SSPM \text{ min}}}{V_{mpT \text{ max}}} < N_s < \frac{V_{SSPM \text{ max}}}{V_{mpT \text{ min}}} \Leftrightarrow \frac{30}{29,2} < N_s < \frac{150}{49,8} \rightarrow N_s = 2,0 \quad (4.16)$$

ii. Número de módulo em paralelo:

$$N_p = \frac{P_m}{N_s \times P_{\text{mod}}} = \frac{16403,45}{2 \times 410} = 20 \quad (4.17)$$

Os valores de  $P_m$ , foram obtidos a partir da equação 4.7. Por exemplo,

Grupo 1: 26.362,68 Wp

Grupo 2: 5.858,37 Wp

Grupo 3: 11.716,75 Wp

A tabela 6 apresenta o resumo da divisão do sistema em grupos, a potência necessária para o painel de cada grupo, bem como o número de módulos em série e em paralelo. O cálculo completo pode ser consultado no Apêndice.

Tabela 5: Divisão do sistema em grupos e número de módulos em série e em paralelo.

Grupos	Consumo diário (Wh)	$P_m (W_p)$	$P_{mod} (W_p)$	$I_{mp} (A)$	$N_s$	$N_p$	$I_m (A)$
1	108.000	26.362,68	410	10.49	2	20,00 (20 módulos)	209,8
2	24.000	5.858,37	410	10.49	2	21,43 (22 módulos)	230,8
3	48.000	11.716,75	410	10.49	2	12,86 (13 módulos)	136,4
<b>Total</b>	<b>180.000</b>	<b>43.937,80</b>				<b>110 módulos</b>	<b>577</b>

Fonte: Autor

O cálculo da corrente que deve ser gerada pelo painel fotovoltaico é dado pela seguinte expressão:

$$I_m = N^{\circ} \text{módulos paralelo} \times I_{mp} \quad (4.18)$$

Onde:

$I_m$  - corrente do painel fotovoltaico, em [A];

$I_{mp}$  - corrente do painel no ponto de máxima potência, em [A].

Para Grupo 1:

$$I_m = 20 \times 10,49 = 209,8 \text{ A}$$

Para Grupo 2:

$$I_m = 22 \times 10,49 = 230,8 \text{ A}$$

Para Grupo 3:

$$I_m = 13 \times 10,49 = 136,4 \text{ A}$$

#### 4.4.2. Dimensionamento do banco de bateria

O número de dias de autonomia geralmente varia entre 3 a 5 dias e está relacionado com as necessidades de cargas em termos de continuidade de serviço. O dimensionamento da bateria para menos de 3 dias reduz o seu ciclo de carga, diminuindo o seu tempo de vida útil. Por outro lado, o dimensionamento para mais de 5 dias aumenta consideravelmente o custo do sistema, podendo comprometer o projecto [10]. Neste sentido, o valor de autonomia escolhida neste projecto é de 3 dias.

A capacidade da bateria pode ser calculada através da seguinte da expressão (4.19).

$$Q = \frac{E \times A}{V_{sist} \times pd \times \eta_{inv} \times \eta_{cabo}} \quad (4.19)$$

Em que:

$Q$  - a capacidade mínima da bateria em Ah para o regime de descarga em 20 horas;

$E$  - a energia média diária consumida em Wh;

$A$  - o número de dias de autonomia;

$V$  - a tensão do sistema;

$pd$  - o limite máximo permitido da profundidade de carga da bateria (0,3 a 0,9), para projecto foi adoptado 0,6.

$\eta_{inv}$  - o rendimento do inversor;

$\eta_{cabo}$  - o rendimento dos cabos de distribuição calculado com base nas perdas.

Para sistema do grupo 1:

$$Q = \frac{E \times A}{V_{sist} \times pd \times \eta_{inv} \times \eta_{cabo}} = \frac{108.000 \times 3}{48 \times 0,6 \times 0,94 \times 0,90} = 13.297,87 \text{ Ah}$$

Para sistema do grupo 2:

$$Q = \frac{E \times A}{V_{sist} \times pd \times \eta_{inv} \times \eta_{cabo}} = \frac{24.000 \times 3}{48 \times 0,6 \times 0,94 \times 0,90} = 2.955,08 \text{ Ah}$$

Como não existem baterias na esta capacidade, para grupo 1 e 2 foram seleccionadas 24 baterias estacionárias PS-16OPZV2000, capacidade de carga 2.138 Ah (taxa de 20 horas), fabricado pelo Power-Sonic. Estas baterias são compostas por seis elementos de 2,0 Volts, denominados por vasos para sistema de 12 Volts (350 Ah por vaso). Entretanto, para sistema de 48 Volts serão necessários 24 Vasos.

Para sistema do grupo 3:

$$Q = \frac{E \times A}{V_{sist} \times pd \times \eta_{inv} \times \eta_{cabo}} = \frac{48.000 \times 3}{48 \times 0,6 \times 0,94 \times 0,90} = 5.910,17 \text{ Ah}$$

Para grupo 3 foram selecionadas as baterias estacionárias PS-120PzV1200 é parte da gama PS-OPzV, capacidade de carga 1.283 Ah (taxa de 20 horas), fabricado pelo Power-Sonic. O mesmo para caso dos grupos 1 e 2, as baterias PS-120PzV1200 são compostas por seis elementos de 2,0 Volts, denominados por vasos para sistema de 12 Volts (210 Ah por vaso). Entretanto, para sistema de 48 Volts serão necessários 24 Vasos.

As características de OPZS são mostradas em anexo 3 e mais detalhes de ligações em série e paralelo de baterias de cada grupo.

O cálculo do número de baterias é realizado pela seguinte expressão:

Para Grupo 1:

$$N_{Bat} = \frac{Q}{Q_{Bat(C20)}} = \frac{13.297,87}{350} = 37,99 \approx 38 \text{ Baterias/vasos} \quad (4.20)$$

#### 4.4.3. Dimensionamento do Controlador de Carga

Depois de se realizar o dimensionamento do painel fotovoltaico e das baterias, tem de se proceder ao dimensionamento do controlador de carga. Este componente tal como foi referido na secção anterior tem a função de proteger as baterias de eventuais sobrecargas e de descargas excessivas.

Por questões de segurança em caso de corrente excessiva provocada por um aumento de radiação, o controlador deve ser sobredimensionado na ordem dos 25% em relação à corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico [10], conforme a equação (4.21).

$$I_C = 1,25 \times N_P \times I_{SC}$$

Onde:

$I_C$  - Corresponde a corrente mínima do controlador de carga;

$N_P$  - Corresponde ao numero de módulos ligados em paralelo;

$I_{SC}$  - Corresponde a corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico.

Para sistema do grupo 1:

- i. Corrente mínima do controlador de carga

$$I_C = 1,25 \times 20 \times 11,06 = 276,5 A$$

- i. Número de controladores de carga em paralelo

Há modelos de controladores que permitem a operação em paralelo. Isto pode ser necessário se a corrente  $I_C$  for elevada para apenas um controlador. A equação permite obter o número necessário de controladores em paralelo, considerando a corrente de cada controlador  $I_{CONT}$ .

$$N_{Cont\_Paralelo} = \frac{I_C}{I_{CONT}} = \frac{276,5}{100} = 2,765 \approx 3$$

Assim, escolheu-se 3 controladores de carga para Grupo 1, EPEVER MPPT Modelo Tracer10415AN devido a sua capacidade de ser aplicado a diferentes tipos de baterias. O controlador é fabricado pela BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO. LTD. As características controlador EPEVER MPPT Modelo Tracer10415AN.

- i. Número de controladores de carga em série

A tensão máxima de operação do controlador de carga ( $V_{cmax}$ ) “deve sempre ser maior do que a tensão máxima de saída do painel fotovoltaico” GTES (2014, p. 314) e o seu cálculo é realizado pela seguinte expressão:

$$N_s \times V_{ocT_{\min}} < V_{c_{\max}} \quad (4.24)$$

Onde:

$V_{ocT_{\min}}$  - Corresponde a tensão de circuito aberto do módulo na menor temperatura de operação prevista;

$N_s$  - Corresponde ao número de módulos ligados em série;

$V_{c_{\max}}$  - Tensão máxima de operação do controlador de carga.

Neste caso, não será ligado controladores em série, sendo que a faixa de tensão máxima dos controladores está acima da tensão em vazio dos módulos na menor temperatura de operação prevista, na ordem dos 150 V.

#### **4.4.4. Dimensionamento do inversor**

O Inversor deve ser dimensionado de forma a garantir as necessidades das cargas em CA, podendo neste tipo de sistemas fotovoltaicos ser um pouco mais elevado, para no caso de existir um aumento dos consumos não se ter de substituir o inversor.

Para sistemas dos grupos 1, 2 e 3:

As cargas dos grupos são iguais a 5,6 kW, 6,0 kW e 3,6 kW, respectivamente. Assim, escolheu-se o inversor de onda senoidal pura de 6,0 kW, 48V<sub>DC</sub>/380V/220V, com eficiência a potência nominal maior ou igual a 94 %.

## CAPITULO V

### 5. ANÁLISE ECONÓMICA DO SISTEMA PROPOSTO

Neste capítulo é feita uma avaliação do projecto em termos da viabilidade financeira. O principal objectivo é mostrar se o projeto tem benefícios do ponto de vista económicos e, caso tal não se verifique, apresentar uma contraproposta que atinja esse objectivo.

#### 5.1. Medições e Orçamento

Nesta subsecção, se estabelece uma base do custo da obra, a partir das medições com correspondência aos custos unitários obtidos localmente.

Tabela 6: Estimativa do custo base da obra

Custo de material				
Item	Designação/Descrição	Qt.	Preço	
			Unit[Mt]	Total [Mt]
<b>1</b>	<b>Fornecimento de módulos fotovoltaicos</b>			
1.1.	Modulos fotovoltaicos policristalinos da Canadian Solar, modelo CS3W410P ou equivalente de acordo com esquemas.	110	10.868,91	1.195.580,10
<b>2</b>	<b>Fornecimento de Baterias</b>			
2.1	Conjunto de Baterias OPZV modelo PS-16OPZV2000, capacidade 2138Ah C/20 da Power-Sonic ou equivalente.	8	13.798,00	110.384,00
2.2	Conjunto de Baterias OPZV modelo PS-12OPZV1200, capacidade 1283Ah C/20 da Power-Sonic ou equivalente.	4	8.279,00	33.116,00
<b>3</b>	<b>Fornecimento de controladores de carga</b>			
3.1	Controlador de carga MPPT EPEVER da EPSOLAR TECHNOLOGY, Modelo Tracer10415AN ou equivalente.	8	40.150,00	321.200,00
<b>4</b>	<b>Fornecimento de inversor</b>			
4.1	Inversor EPEVER da EPSOLAR TECHNOLOGY, SHI6000-42, 6000W, 48V-380V/220V ou equivalente.	3	23.060,70	69.182,10
<b>5</b>	<b>Cabos e condutores</b>			
<b>5.1</b>	Cabo de tipo XV 5x4 mm <sup>2</sup> 0,6/1KV	20	265	5.600,00
<b>5.2</b>	Cabo de tipo VV multifilar classe 2 1x35 mm <sup>2</sup> 0,6/1KV	250	298	74.500,00
<b>6</b>	<b>Disjuntores</b>			

6.1	Disjuntor Bipolar 100A Efapel	3	1.762.93	5.288.79	
6.2	Chave de transferência automática LCGATS-20A ou equivalente	3	10.800	32.400,00	
				<b>1.847.251,00</b>	
	<b>Contingência</b>		10%	<b>184.725,10</b>	
	<b>Subtotal (A)</b>			<b>2.031.976,10</b>	
<b>Custo de mão-de-obra</b>					
<b>Ord.</b>	<b>Designação</b>	<b>Qt</b>	<b>Horas</b>	<b>Mt/Hr</b>	<b>Total [Mt]</b>
1	Engenheiro Responsável	1	240	650	156.000,00
2	Técnicos médios	4	240	300	288.000,00
3	Estagiários	8	240	200	384.000,00
	<b>Subtotal (B)</b>				<b>828.000,00</b>
<b>Custo de transporte</b>					
<b>Ord.</b>	<b>Designação</b>	<b>Qt</b>	<b>Horas</b>	<b>Mt/Hr</b>	<b>Total [Mt]</b>
1	Ligeiro	1	30	550	16.500
2	Pesado	2	15	2500	75.000
	<b>Subtotal (C)</b>				<b>91.500,00</b>
	<b>TOTAL (A+B+C)</b>				<b>2.951.476,10</b>

## 5.2. Conceitos Básicos

### 5.2.1. Fluxo de caixa

Segundo Filho, De Souza, Gonçalves e Cury (2007), o fluxo de caixa, do inglês *cash-flow* é a representação das entradas e saídas de recursos no caixa tanto a curto prazo como nas projeções a longo prazo. Estes recursos tomam valores positivos quando significam entradas, benefícios ou receitas e são negativos quando indicam custos, saídas, investimento ou despesas.

### 5.2.2. Taxa mínima de atratividade – TMA

Filho, De Souza, Gonçalves e Cury (2007) descrevem a TMA como a taxa de juros que o capital seria remunerado ao órgão de fomento ou instituição de financiamento.

### 5.2.3. Valor Actual Líquido – VAL

Conforme Filho, De Souza, Gonçalves e Cury CURY (2007), O valor presente líquido – VPL, também chamado valor actual líquido é um método utilizado para a análise do fluxo de caixa e pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (5.1)$$

Onde:

$F_t$  - Indica o fluxo de caixa líquido do projecto, no período t;

$i$  - Indica taxa de juros para determinado período.

Entretanto, se:

- VAL > 0 significa sinal de viabilidade económica;
- VAL = 0 significa completa recuperação do investimento inicial, mas não mais que isso, sendo a rentabilidade do projecto dúbia;
- VAL < 0 indica a inviabilidade económica do projecto.

### 5.2.4. Taxa interna de retorno – TIR

Conforme Damodaran (2004) a taxa interna de retorno é a taxa de desconto que equaliza o valor presente dos benefícios e dos custos de um projecto de investimento. O TIR é determinado pela seguinte expressão:

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i^*)^t} = 0 \quad (5.2)$$

Onde:

$i^*$  - Corresponde a taxa de juros de um determinado financiador.

Filho, De Souza, Gonçalves e Cury (2007) verificam que, um projecto é viável quando o TIR é maior ou igual ao custo de oportunidade dos recursos para sua implantação. Assim, quanto maior a TIR, maior a atratividade do projecto.

- TIR > TMA significa que o projecto deve ser aceite;
- TIR = TMA significa que o projecto pode ser aceite ou negado;

- TIR < TMA significa que o projecto deve ser rejeitado.

### 5.2.5. Payback

De acordo com Motta e Calôba (2002), o *payback* é o tempo no qual o empreendimento devolve o valor investido, ou seja, é o prazo para o pagamento de um empréstimo.

### 5.2.6. Proveitos anuais

Considera-se proveito anual em metcais ao consumo energético (em kWh/ano) que o sistema energético a instalar consegue suprir. Ou seja, contabiliza o valor de electricidade que não é comprada à rede. Assim, o cálculo pode ser feito da seguinte maneira:

$$Pr\ o\ v\ e\ i\ t\ o_{anual} = C\ o\ n\ s\ u\ m\ o_{anual} \times t\ a\ r\ i\ f\ a_{aplicada} \quad (5.3)$$

Sendo que:

- O  $Consumo_{anual}$  se encontra em kWh por ano;
- $tarifa_{aplicada}$  diz respeito ao preço por kWh cobrado pela distribuidora de electricidade.

### 5.3.Considerações gerais para compreensão da viabilidade económica

Para a melhor compreensão da viabilidade económica, segue-se uma lista de considerações:

1. Todo o valor do investimento é feito no ano 0;
2. As despesas de operação e manutenção do sistema são fixos ao longo do projecto desde o ano 1 até ao ano final;
3. Assume-se um período de 20 anos para a vida do projecto devido a garantia do painel fotovoltaico e baterias dada pelo fabricante;
4. Assume-se que o consumo energético é constante desde o ano 1 até ao final;
5. O fluxo de caixa é calculado tendo em conta a diferença entre os proveitos e os custos de operação e manutenção;
6. A tarifa aplicada é de 6,21 Mts/kWh e chega a atingir 227,34 Mts/kWh na hora de ponta ou de pico, conforme mapa de facturação;
7. Taxa de actualização utilizada para o presente caso foi de 5%, valor tabelado e fornecido pela empresa (TMA = 5%).

#### 5.4. Análise de viabilidade financeira

Sendo que o sistema fotovoltaico reduzirá consideravelmente a taxa de pico, será utilizado a taxa fixa de 6,21 Mts/kWh, logo:

$$\text{Proveito}_{\text{anual}} = 67392 \times 6,21 = 41850432 \text{Mts} \quad (5.4)$$

Devido a confiabilidade, estimou-se o custo total anual da manutenção correspondente ao valor de 18.504,32 Mts/ano. Neste sentido o fluxo de caixa é de 400.000,00 Mts/ano.

Deste modo:

Tabela 7: Análise de viabilidade

Ano	Fluxo de caixa [Mts]	VAL [Mts]	Saldo [Mts]	Observação
0	400 000,00	400 000,00	-2 463 146,10	Saldo negativo
1	400 000,00	380 952,40	-2 082 193,72	
2	400 000,00	362 811,80	-1 719 381,93	
3	400 000,00	345 535,04	-1 373 846,89	
4	400 000,00	329 081,00	-1 044 765,90	
5	400 000,00	313 410,50	-731 355,43	
6	400 000,00	298 486,16	-432 869,30	
7	400 000,00	284 272,53	-148 596,74	
8	400 000,00	270 735,74	122 139,00	<i>Payback time</i>
9	400 000,00	257 843,57	379 982,60	Saldo positivo, sinal de viabilidade económica.
10	400 000,00	245 565,30	625 547,90	
11	400 000,00	233 871,72	859 419,60	
12	400 000,00	222 734,10	1 082 154,56	
13	400 000,00	212 128,54	1 294 283,10	
14	400 000,00	202 027,18	1 496 310,28	
15	400 000,00	192 406,84	1 688 717,11	
16	400 000,00	183 244,61	1 871 961,72	
17	400 000,00	174 518,68	2 046 480,40	
18	400 000,00	166 208,26	2 212 688,70	
19	400 000,00	158 293,58	2 370 982,24	
20	400 000,00	150 755,79	2 521 738,04	
<b>INVESTIMENTO</b>		<b>2.951.476,10 Mts</b>		
<b>TMA</b>		<b>5 %</b>		
<b>Payback time</b>		<b>7,86 Anos</b>		
<b>VAL apos Payback time</b>		<b>2 670 334,80 Mts</b>		
<b>TIR</b>		<b>11,47 %</b>		

Observando a tabela Análise de viabilidade, nota-se que nos primeiros sete anos, o VAL é negativo, indica a inviabilidade económica do projecto. A partir de 7 anos em diante os resultados conseguidos conseguem cobrir o investimento inicial, gerando um excedente financeiro e assegurar a remuneração mínima exigida pelo investidor.

O período de tempo que decorre até que o investimento seja totalmente recuperado e haja geração de retorno é de aproximadamente 7 anos, representado pela taxa de actualização de 11,47 %.

## CAPITULO VI

### 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1.CONCLUSÃO

A pesquisa teve como objectivo dimensionar um sistema fotovoltaico para alimentação da rede de sinalização e maquinas de chave do pátio ferroviário de Nacala-a-velha, no primeiro momento como redundância em substituição ao sistema grupo gerador a diesel, e no futuro aplicar como fonte primário em substituição da rede pública da EDM. Para este propósito, foi dimensionado um sistema fotovoltaico isolado e autónomo, partindo do estudo de avaliação do recurso solar, dimensionamento de seus componentes, bem como estudo viabilidade económica, para verificar a rentabilidade do sistema.

No dimensionamento do sistema, fez-se o levantamento de potência e consumo total diário e dividido em três grupos, Feito os cálculos para a escolha dos componentes a serem aplicados no sistema fotovoltaico, adoptou-se o uso de painéis solares de 410Wp onde serão aplicados 40 módulos no Grupo1, 44 módulos no grupo 2 e 26 módulos no grupo 3 totalizando 110 módulos associados. Os inversores a serem aplicados são de 6.000W ligados a 2 controladores de carga cada do modelo Tracer10415AN com tensão nominal 48V. E quanto as baterias são da Power-Sonic compostas de 24 vasos de 2V cada para o sistema de 48V com as capacidades de 2.138Ah para o primeiro e o segundo grupo e 1.283Ah para o Grupo3.

Na análise de viabilidade económica verificou-se através de cálculos que para implementação do projecto serão necessários 2.951.476,10 MZN e ficou confirmando que os resultados conseguem cobrir o investimento inicial a partir de 7 anos em diante gerando um excedente financeiro e assegurar a remuneração mínima exigida pelo investidor, ou seja, o projecto consegue gerar uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital, pelo que o projecto é economicamente viável. Sendo que o projeto foi estimado considerando uma necessidade de manusear um total de 18 Milhões de toneladas de carvão anualmente, e como a empresa espera aumentar a demanda para ate 22 milhões nos próximos 2 anos, então, a expectativa de ganho pode ser antecipada.

## 6.2. RECOMENDAÇÕES

Propõe-se medidas que contribuirão para melhorar o seu desempenho, tendo em conta a importância de cada componente do SFIA.

### i. Gerais

- Para os futuros pesquisadores do tema ou temas semelhantes, recomendar a aplicação de um sistema de seguidor solar ao sistema fotovoltaico isolado e autónomo de modo a melhorar a captação da irradiação solar;
- Instalar sistema de comando automático do inversor, com intuito de mantê-lo desligado quando não estiver a utilizar e ligado quando for para utilizar, isto é, fim do dia.
- Para o recinto das instalações da CLN, poderá ser mais proveitoso substituir as lâmpadas de valor de sódio de 400 W de potência por outras de baixo consumo sem afetar de forma negativa o rendimento visual com vista a aumentar a disponibilidade e esta poderá ser utilizada para alimentação de outras cargas;
- Se deseja aumentar o número de lâmpadas, mover os equipamentos do sistema fotovoltaico de um lugar para outro ou qualquer mudança, deslocamento, integração de novos equipamentos, substituição de peças, etc, deve ser feito por um técnico qualificado;
- Fixar, em local visível, instruções para desconectar a energia do equipamento antes da realização de serviços de manutenção, e para sua reconexão após o término desses serviços.

### ii. Gerador fotovoltaico

- NÃO permita a presença de objectos sobre os módulos, bem como plantar árvores perto dos módulos, já que com o tempo podem vir a projectar sombras sobre os mesmos. Porque qualquer sombra sobre os módulos solares fará com que os mesmos não funcionem devidamente e, portanto, vão gerar menos electricidade para o sistema.
- É aconselhável lavar os módulos pelo menos duas a três vezes por ano no período seco, pois quando está chuva, estes limpam-se por si. Recomenda-se limpar com água e um pano suave para não os riscar. O pó e a sujeira impedem uma boa geração de energia eléctrica dos módulos. Este procedimento deve ser realizado no início da manhã ou ao final da tarde, aproveitando os horários em que o gerador fotovoltaico está frio e a sua produção não é significativa.

- Cobrir o gerador fotovoltaico com uma manta ou uma cobertura opaca, quando possível, ao se trabalhar no sistema, para reduzir o risco de um choque eléctrico ou curto-circuito.

Nota: um painel bem cuidado dura mais de 20 anos.

### **iii. Controlador de carga**

- NÃO deve retirar o controlador do sistema, porque isso pode danificar gravemente a bateria. Só um técnico pode retirar ou substituir o controlador
- NÃO permita que o regulador fique molhado com qualquer líquido.
- O regulador controla automaticamente o sistema. Portanto, quando a luz indicadora de bateria baixa estiver acesa, espere até que a bateria tenha carga suficiente. Caso contrário pode danificar irremediavelmente a bateria.

### **iv. Baterias**

- A bateria deve estar num local ventilado para evitar riscos de explosão;
- NÃO coloque objectos metálicos na bateria, porque pode provocar um curto-circuito e explosões.
- Utilize a bateria só para o sistema de energia solar.
- Mantenha lubrificados os bornes da bateria para assegurar um bom contacto nas ligações.

Nota: uma bateria OPZV bem cuidado dura mais de 20 anos.

### **v. Inversor**

- Durante a instalação destes sistemas, deverá dar uma grande atenção à polaridade, pois uma má ligação do positivo e negativo pode provocar danos no equipamento.
- NÃO desligue o equipamento da bateria. Se precisar de deslocar a instalação consulte o técnico.
- Desligue o equipamento quando não estiver a utilizar.

Para mais detalhes, pode ser consultada em GTS (2014), capítulo 7 - Instalação de Sistemas fotovoltaico e recomendações de segurança.

### 6.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BLUE-SOL Introdução a sistemas de energia solar fotovoltaica. Ribeirão preto – SP, 2008.
- [2] CABRAL, Cláudia, **Análise de dimensionamento estocástico e determinístico de sistemas fotovoltaicos autónomos** [citado em 12.07.2020], dissertação de mestrado. disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/Teses.html>.
- [3] CARVALHO, S. J. *Métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos: Aplicações em dessalinização*. Duque de Caxias: Creative Commons, 2013.
- [4] Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente: [www.ceeeta.pt](http://www.ceeeta.pt).
- [5] Damodaran, A. *Finanças Corporativas: Teoria e prática*, 2<sup>a</sup> ed.. Porto Alegre - RS: Bookman, 2004.
- [6] Energia Fotovoltaica- Manual sobre tecnologias, projecto e Instalação – Volume técnico no âmbito do projecto financiado pela comissão europeia programa ALTENER
- [7] ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P. (6 de Junho de 2020). *Geração*. Obtido de Electricidade de Moçambique: <http://www.edm.co.mz/pt/website/page/geração>
- [8] Oliveira, S. F. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autónomos: Ênfase na eletrificação de residências de baixo consumo**, 1997 [citado em 12.07.2020] Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Departamento de Energias, São Paulo.

# Apêndices

## Apêndice 1: configuração do sistema

<b>Consumo</b>			
	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
Consumo total (dia)	108.000 Wh	24.000 Wh	48.000 Wh
<b>Dados</b>			
Localização	Nacala-a-velha	Nacala-a-velha	Nacala-a-velha
Inclinação	25° ajustável	25° ajustável	25° ajustável
Nº de dias de Autonomia	3	3	3
Tensão do Sistema	48V	48V	48V
Capacidade min. de bat.	8.274,23 Ah	8.865,25 Ah	5.319,15 Ah
<b>Modulo (s)</b>			
Fabricante	CANADIAN	CANADIAN	CANADIAN
Modelo	CS3W	CS3W	CS3W
Potência	410 W	410 W	410 W
Nº total de módulos	40	44	26
Potência conjunto PV	16.400W	18.040W	10.660W
<b>Inversor(es)</b>			
Fabricante	EPEVER	EPEVER	EPEVER
Modelo	SHI6000-42	SHI6000-42	SHI6000-42
Potência	6.000W	6.000W	6.000W
Nº de inversores	1	1	1
<b>Controlador(es) de carga</b>			
Fabricante	EPEVER	EPEVER	EPEVER
Modelo	Tracer10415AN	Tracer10415AN	Tracer10415AN
Tensão nominal	48V	48V	48V
Nº de controladores	3	3	2
<b>Baterias(s)</b>			
Fabricante	Power-Sonic	Power-Sonic	Power-Sonic
Modelo	PS-16OPZV2000	PS-16OPZV2000	PS-12OPZV1200
Capacidade	2138 (@C/20)	2138 (@C/20)	1283 (@C/20)
Nº de baterias	24	24	24

# Anexos

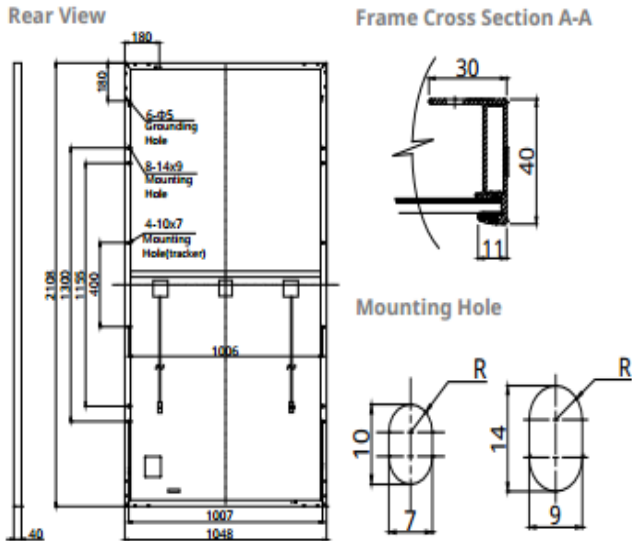
**Anexo 1: Normas e regulamentos sobre módulos fotovoltaicos, editado [19]**

<b>Org.</b>	<b>Código</b>	<b>Título</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aplicação</b>
IEC - International Electrotechnical Commissions	61215: 2005	Crystalline Silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval; Edition 2.0.	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Módulos de Silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si).
	61646: 2008	Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval; Edition 2.0.	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos	Modulos de filmes finos (a-Si, CdTe, CIGS, etc).
	61630-2: 2004	Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction; Part 2: Requirements for testing.	A parte 2 estabelece ensaios para verificação da segurança eléctrica e mecânica de módulos fotovoltaicos	Módulos fotovoltaicos
	61701:2011	Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules; Edition 2.0.	Estabelece o procedimento de ensaio da resistência de módulos fotovoltaicos à corrosão por névoa salina.	Módulos fotovoltaicos
	62108: 2007	Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies – Design qualification and type approval; Edition 1.0.	Estabelece ensaios de qualificação para módulos fotovoltaicos.	Módulos fotovoltaicos com concentração.
ABNT	NBR 11876:2010	Módulos Fotovoltaicos – Especificação; Segunda Edição	Estabelece requisitos e critérios de aceitação de módulos fotovoltaicos de uso terrestre.	Módulos fotovoltaicos
INMETRO	Portaria nº 004,	Anexo - Requisitos de	Especifica os	Módulos

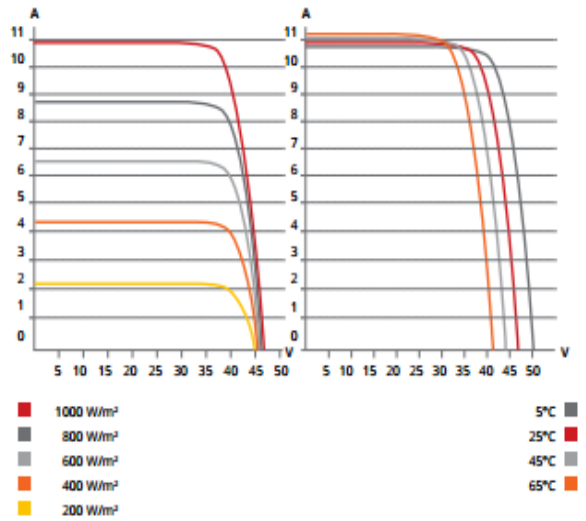
	de 04 de Janeiro de 201	avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Modulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria)	procedimentos de ensaio para etiquetagem de módulos fotovoltaico (e outros equipamentos)	fotovoltaicos (e outros equipamentos)
--	-------------------------	---	--	---------------------------------------

## Anexo 2: Características dos módulos policristalinos da Canadian Solar modelo CS3W

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS3W-400P / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V
Short Circuit Current (Isc)	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	293 W	297 W	301 W	304 W	308 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.1 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.35 A	8.42 A	8.48 A	8.52 A	8.58 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.72 A	8.78 A	8.85 A	8.90 A	8.97 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup> spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

Fonte: [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

## Anexo 3: Características de baterias OPZS PS-16OPZV2000

### CARACTERÍSTICAS

<b>Tipo</b>	gel OPz
<b>Formato</b>	tubular
<b>Outras características</b>	UL, de elevado desempenho
<b>Capacidade de carga</b>	2.000 Ah, 2.138 Ah, 2.528 Ah

### DESCRIÇÃO

O PS-160PzV2000 é parte da gama PS-OPzV de baterias de gel de placa tubular que foram projectados para oferecer desempenho cíclico superior. A bateria OPzV de 2V 2138.00Ah (taxa de 20 horas) tem uma vida útil de até 20 anos e tem excelente recuperação de descarga profunda, tornando-a a bateria ideal para uma variedade de aplicações cíclicas críticas, incluindo energia renovável, telecomunicações, estações de energia e sinais. A fabricação de ponta e o controle de processo da Power Sonic, combinados com procedimentos meticulosos de garantia de qualidade, garantem um desempenho consistente e confiável.



Fonte: <https://www.directindustry.com/pt/prod/power-sonic/product-19906-2118791.html>

## Anexo 4: Características do controlador de carga solar MPPT Tracer AN series



BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO.,LTD.

# 5 Specifications

## Electrical Parameters

Item/Tracer***AN	5210	6210	5415	6415	8415	10415	5420	6420	8420	10420
Nominal System Voltage	12/24VDC or Auto		12/24/36/48VDC or Auto							
Battery Input Voltage Range	8V~32V		8V~68V							
Battery Type	Sealed(Default)/Gel/Flooded/User									
Battery fuse	80A/58V				150A/58V		80A/58V		150A/58V	
Rated charge current	50A	60A	50A	60A	80A	100A	50A	60A	80A	100A
Rated charge Power	625W/12V 1250W/24V	750W/12V 1500W/24V	625W/12V 1250W/24V 1875W/36V 2500W/48V	750W/12V 1500W/24V 2250W/36V 3000W/48V	1000W/12V 2000W/24V 3000W/36V 4000W/48V	1250W/12V 2500W/24V 3750W/36V 5000W/48V	625W/12V 1250W/24V 1875W/36V 2500W/48V	750W/12V 1500W/24V 2250W/36V 3000W/48V	1000W/12V 2000W/24V 3000W/36V 4000W/48V	1250W/12V 2500W/24V 3750W/36V 5000W/48V
Max. PV open circuit voltage	100V <sup>①</sup> 92V <sup>②</sup>		150V <sup>①</sup> 138V <sup>②</sup>				200V <sup>①</sup> 180V <sup>②</sup>			
MPP Voltage Range	(Battery Voltage+2V) ~72V <sup>③</sup>		(Battery Voltage +2V) ~108V <sup>③</sup>				(Battery Voltage+2V) ~144V <sup>③</sup>			
Tracking efficiency	≥99.5%									
Max. conversion efficiency	98.0%	98.0%	98.3%	98.6%	98.5%	98.6%	98.3%	98.1%	98.5%	98.5%
Full load efficiency	97.0%	97.0%	97.8%	98.0%	98.0%	98.0%	97.1%	97.5%	97.5%	97.6%
Temperature compensate coefficient	-3mV/°C/2V(Default)									
Self-consumption	98mA/12V;60mA/24V;50mA/36V;46mA/48V									
Grounding	Common negative grounding									
Relay	Rated Value:5A/30VDC; Max. Value:0.5A/60VDC									
RS485 interface	RS485(RJ45)									
LCD backlight time	Default:60S,Range:0~999S(0S:the backlight is ON all the time)									

①At minimum operating environment temperature;

②At 25°C environment temperature

③The maximum PV open circuit voltage must never exceed 72V(Tracer\*\*10AN),138V(Tracer\*\*15AN)or180V(Tracer\*\*20AN) at 25°C environment temperature.

Fonte: <http://www.epsolarpv.com>

### Environmental Parameters

Ambient temperature range	-25℃ ~+60℃ (Derate above 45℃)
LCD temperature range	-20℃ ~+70℃
Storage temperature range	-30℃ ~+85℃
Relative humidity range	5% to 95% (N.C.)
Enclosure	IP20
Pollution degree	PD2

### Mechanical Parameters

Item	Tracer5210/5415/5420AN	Tracer6210/6415/6420AN
Dimension	261×216×119mm	340×236×119mm
Mounting dimension	180×204mm	260×224mm
Mounting hole size	Φ7	
Terminal	6AWG/16mm <sup>2</sup>	2AWG/35mm <sup>2</sup>
Recommended cable	6AWG/16mm <sup>2</sup>	6AWG/16mm <sup>2</sup>
Weight	3.5kg	4.5kg

Item	Tracer8415/8420AN	Tracer10415/10420AN
Dimension	394×240×134mm	394×242×143mm
Mounting dimension	300×228mm	300×230mm
Mounting hole size	Φ7	
Terminal	2AWG/35mm <sup>2</sup>	2AWG/35mm <sup>2</sup>
Recommended cable	4AWG/25mm <sup>2</sup>	2AWG/35mm <sup>2</sup>
Weight	6.1kg	7.4kg

### Certification

Safety	EN/IEC62109-1
EMC	EN61000-6-3/EN61000-6-1
FCC	47 CFR Part 15, Subpart B
ROHS	IEC62321-3-1

## Anexo 5: Características de Inversor EPEVER da série SHI

Item	SHI 2000-22	SHI 2000-42	SHI 3000-22	SHI 3000-42
Nominal Battery Voltage	24V	48V	24V	48V
Input Voltage Range	21.6 ~ 32 VDC	43.2 ~ 64VDC	21.6 ~ 32VDC	43.2 ~ 64VDC
No Load Current	≤0.7A	≤0.7A	≤1.2A	≤1.0A
Output Wave	Pure Sine Wave			
Output Voltage	220Vac ± 3% / 230Vac ± 10%			
Continuous Power	2000W		3000W	
Power 10 sec	3000W		4500W	
Power 1.5 sec	4000W		6000W	
Surge Power	4800W		6900W	
Frequency	50/60Hz ± 0.2%			
Distortion THD	≤ 3% (resistive load)			
Efficiency at Rated Power	≥ 93%	≥ 94%	≥ 93%	≥ 94%
Max. Efficiency	≥ 95%	≥ 95%	≥ 95%	≥ 95%
Terminal	50mm <sup>2</sup>		50mm <sup>2</sup>	
Dimensions	438×249×116mm		507×249×116mm	
Installation	236×220mm		236×270mm	
Hole Size	Φ6mm		Φ6mm	
Net Weight	6.0kg		7.5kg	
Working Temperature	-20°C ~ +50°C			
Storage Temperature	-35°C ~ +70°C			
Humidity	< 95% (N.C.)			
Altitude	< 5000m(Derating to operate according to IEC62040 at a height exceeding 1000m)			

Anexo 6: imagens da condição do pátio

