

Dimensionamento do Sistema Híbrido para
Alimentação de Energia Elétrica da Escola Rural de
Nangade (Cabo Delgado)

Manuel António Raúl João

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

27 de novembro de 2014

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Energias
Sustentáveis

Candidato: Manuel António Raúl João, Nº 1110009, 1110009@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Professor Doutor António Carvalho de Andrade, ata@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Energias Sustentáveis

Departamento de Engenharia Mecânica



27 de novembro de 2014

Aos meus pais, família, irmãos e amigos

Agradecimentos

A execução dos trabalhos conducentes à realização duma tese de Mestrado constitui uma tarefa árdua, que exige dedicação e algum sacrifício pessoal. A dificuldade desta tarefa depende das adversidades, mas também dos apoios que vão surgindo ao longo do trabalho. No meu caso, os apoios foram significativos e determinantes para superar as adversidades. Neste sentido, gostaria de prestar os meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para a realização desta tese.

Um agradecimento especial ao meu orientador científico, o Professor Doutor António Carvalho Andrade, pela sua disponibilidade, apoio, colaboração, e valiosos contributos científicos.

À Diretora do Curso de Mestrado em Energias Sustentáveis, Professora Doutora Nídia de Sá Caetano, um agradecimento especial, pela sua disponibilidade e colaboração.

Ao Professor Doutor José Carlos Pereira Lopes da Costa, um agradecimento especial, pelo convite ao curso, pela sua disponibilidade e colaboração.

Um agradecimento especial, ao Mestre António Mário Vahia da Cunha, por todo o apoio e disponibilidade com que acompanhou este trabalho na área da luminotecnia.

Aos colegas do Curso de Mestrado em Energias Sustentáveis, um agradecimento especial pela disponibilidade.

Um agradecimento especial os colegas do Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica-SEE e amigos, pela disponibilidade e colaboração.

Um agradecimento ao Ministério da Educação da República de Moçambique, pelo apoio e disponibilidade.

Um agradecimento ao Ministério dos Negócios Estrangeiros de Portugal, pelo apoio e disponibilidade.

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer à minha família pelo carinho e apoio demonstrados.

Resumo

Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás, constituem fontes de energia que em breve se esgotarão e que são demasiado caras para serem desperdiçadas pelas centrais elétricas na produção de electricidade.

Para além desse facto, existem outros argumentos (sobretudo económicos) que inviabilizam a utilização destas fontes de energia em algumas regiões, abrindo caminho a fontes de energia alternativas (e.g. solar, eólica, biomassa, mini-hídricas, geotérmicas, etc) e preferencialmente com contornos locais. No caso particular de Moçambique, tem-se verificado um interesse crescente por parte do governo e de várias ONGs na promoção do uso de energias alternativas para as zonas onde a energia convencional não chega e não chegará, devido aos custos muito elevados que esse processo acarretaria.

Esta dissertação apresenta um estudo aprofundado do dimensionamento dum sistema híbrido de geração de energia elétrica envolvendo gerador FV e grupo eletrogéneo de emergência para a Escola Rural da Nangade, situada no Distrito de Nangade, na Província do Cabo Delgado. São também descritos os diversos componentes e as tecnologias associadas a um sistema deste género, com a inclusão de sistemas inteligentes de controlo de energia com a utilização de inversores bidireccionais (inversores de bateria e carregadores) para sistemas isolados. Os resultados são apresentados de forma a facilitar a aplicação e montagem deste tipo de sistemas *in loco*.

Espera-se que esta dissertação possa servir de base no futuro próximo, para a implementação deste tipo de sistemas para permitir a melhoria da qualidade de ensino através de melhores infraestruturas, democratizando desta forma o acesso à educação para as crianças das zonas rurais das várias províncias de Moçambique.

Como as energias renováveis são parte integrante do Sistema Elétrico Nacional, apresenta-se resumidamente, no anexo 17, o “Plano de Desenvolvimento na Área de Energia de Moçambique”.

Palavras-Chave

Dimensionamento, energia, fotovoltaico, baterias, grupo eletrogéneo, sistema híbrido, inversor.

Abstract

Fossil fuels such as coal, oil and natural gas, are exhausted raw material and an expensive energy sources to be used in power plants.

Furthermore, economic items argue against fossil fuels use in some regions, driving our attention to the renewable energy sources (e.g. solar, wind, biomass, small hydro, geothermal, etc.) with local policy argumentation. In Mozambique particular situation, there has been a growing interest by the government and various NGOs in promoting the use of alternative energy sources in areas where conventional energy is not enough to support demand, due to the very high proceeding costs.

This master thesis describes the design study of a hybrid power system with FV generator and electrogenic group in Rural School of Nangade, located in Nangade District in Cabo Delgado Province. In this study, it is characterized all the components and technologies associated, including a smart power control systems with the use of bi-directional inverters (inverters and battery chargers) to isolated systems. Results are presented to provide the application and assembly of such systems in situ.

We expect that this thesis can be used as a basis for the future and the implementation of such systems will help to improve the education quality with better infrastructure, democratizing access to education for children in rural areas in several provinces of Mozambique.

Since renewable energy is integrated in National Electric System, it is briefly presented the "Development Plan in Mozambique's Energy Division", from annex 17.

Keywords

Design, energy, photovoltaic, batteries, generator set, hybrid system, inverter.

Índice

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
ÍNDICE	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. TECNOLOGIAS	5
2.1. O SOL	5
2.1.1. RADIAÇÃO SOLAR	6
2.1.2. ESTAÇÕES DO ANO	7
2.1.3. POSICIONAMENTO SOLAR	8
2.2. TECNOLOGIA FV	9
2.2.1. EFEITO FV	9
2.2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	10
2.2.3. TIPOS DE CÉLULAS FV	11
2.2.4. MODELO MATEMÁTICO DA CÉLULA FV	14
2.2.5. CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO	15
2.2.6. FATOR DE FORMA E RENDIMENTO	16
2.2.7. POTÊNCIA ELÉTRICA	17
2.2.8. EFEITO DA RADIAÇÃO	18
2.2.9. EFEITO DE TEMPERATURA	18
2.2.10. MÓDULOS FV	19
2.2.11. EFEITOS DE SOMBREAMENTO, DEPOSIÇÃO DE NEVE E VENTO NOS MÓDULOS	25
2.2.12. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	27
2.2.13. EXPLORAÇÃO DOS SISTEMAS FV	28

2.2.14.	INVERSOR FV	30
2.3.	BATERIAS DE ACUMULADORES	31
2.3.1.	CONSTITUIÇÃO E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	31
2.3.2.	TIPOLOGIA	32
2.3.3.	CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS [3]	34
2.3.4.	ASSOCIAÇÃO DE BATERIAS	37
2.4.	INVERSOR BIDIRECIONAL (<i>SUNNY ISLAND</i>)	38
2.5.	GRUPO ELETROGÊNIO	39
2.5.1.	MOTOR <i>DIESEL</i>	40
2.5.2.	ALTERNADOR	43
2.5.3.	POÊNCIA DO ALTERNADOR	46
2.5.4.	RENDIMENTO MECÂNICO DO ALTERNADOR	48
2.5.5.	FREQUÊNCIA	49
2.6.	SISTEMA DE BOMBAGEM DE ÁGUA	50
3.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HÍBRIDO PARA ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA ESCOLA RURAL DE NANGADE	51
3.1.	AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS	51
3.2.	ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS	53
3.3.	AVALIAÇÃO DA ENERGIA SOLAR DISPONÍVEL	59
3.4.	CÁLCULO E ESCOLHA DOS COMPONENTES DA INSTALAÇÃO	63
3.4.1.	ESCOLHA DO MÓDULO FV	63
3.4.2.	CÁLCULO DA POTÊNCIA DO GERADOR FV	63
3.4.3.	CÁLCULO DO NÚMERO DE MÓDULOS DO FV	64
3.4.4.	ESCOLHA DO INVERSOR FV	64
3.4.5.	CONFIGURAÇÃO DO GERADOR FV	68
3.4.6.	SOMBREAMENTOS	69
3.5.	BANCO DE BATERIAS (SISTEMA HÍBRIDO)	71
3.5.1.	CÁLCULO DO NÚMERO DE BATERIAS	71
3.6.	GRUPO ELETROGÊNIO	74
3.7.	POTÊNCIA DO INVERSOR CARREGADOR (BIDIRECIONAL)	75
3.7.1.	ESCOLHA DO INVERSOR	75
3.7.2.	CÁLCULO DO NÚMERO DE INVERSORES	76
3.8.	SISTEMA DE BOMBEAMENTO	77
3.8.1.	CÁLCULO DA ALTURA DE BOMBEAMENTO	78
3.8.2.	BOMBA SUBMERSÍVEL	78

3.9.	DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA.....	80
3.10.	SISTEMA ELÉTRICO DA ESCOLA	81
3.11.	CUSTOS DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA HÍBRIDO	82
3.11.1.	ANÁLISE DE CUSTOS	84
3.11.2.	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA.....	85
4.	CONCLUSÕES.....	87
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	89
	ANEXO 1: BLOCOS S2 E S2G.....	91
	ANEXO 2: BLOCOS S3 E S3G.....	92
	ANEXO 3: BLOCOS CA E AD (RESPECTIVAMENTE).....	93
	ANEXO 4: DADOS TÉCNICOS DO MÓDULO FV (SPR-333NE-WHT-D).....	94
	ANEXO 5: DADOS TÉCNICOS DE <i>SUNNY TRIPOWER 12000 TL (SMA)</i>.....	95
	ANEXO 6: DADOS TÉCNICOS DE <i>SUNNY ISLAND 8.0H</i>	96
	ANEXO 7: DADOS TÉCNICOS DE BATERIAS OPZS	97
	ANEXO 8: DADOS TÉCNICOS DO GRUPO ELETROGÉNEO GEP22-6.....	98
	ANEXO 9: DADOS TÉCNICOS DE BOMBAS SUBMERSÍVEIS HPS 1023	99
	ANEXO 10: FOLHA DE DADOS DA LUMINÁRIA ELBA FIA-11-228 T5	100
	ANEXO 11: FOLHA DE DADOS DA LUMINÁRIA ELBA FIRA-07-228 T5	101
	ANEXO 12: DADOS LUMINOTÉCNICOS DA SALA DE PROFESSORES	102
	ANEXO 13: DADOS LUMINOTÉCNICOS DA SALA DE AULA.....	103
	ANEXO 14: DADOS LUMINOTÉCNICOS DO GABINETE DO DIRETOR	104
	ANEXO 15: DADOS LUMINOTÉCNICOS DA SECRETARIA DA ESCOLA	105
	ANEXO16:PLANO DE DESENV. NA ÁREA DA ENERGIA EM MOÇAMBIQUE.....	106

Índice de Figuras

Figura 1 - Sistemas FV em Infraestruturas Rurais	2
Figura 2 - Diminuição da intensidade da radiação solar ao atravessar a atmosfera	6
Figura 3 – Componentes da radiação solar [8].	7
Figura 4 - Estações do ano.....	8
Figura 5 - Variação da inclinação do painel FV ao longo do ano [10].....	8
Figura 6 – Posicionamento solar [8].....	9
Figura 7 - Princípio de funcionamento de uma célula FV [8].....	11
Figura 8 - Células monocristalina.....	12
Figura 9 - Células policristalina.....	12
Figura 10 – Células amorfa	13
Figura 11– Célula película fina	13
Figura 12 - Princípio de funcionamento de célula FV alimentando carga Z [4].....	14
Figura 13 - Curva I-V de célula FV típica de silício cristalino em condições STC	16
Figura 14 - Curvas I-V para duas células com factores de forma diferentes [4].....	17
Figura 15 - Variação da curva I-V com a variação da radiação	18
Figura 16 - Variação da curva I-V com a temperatura da célula FV [2].....	19
Figura 17 - Módulo FV.....	19
Figura 18 - Associação em série de n módulos [9].....	21
Figura 19 - Curvas I-V relativas à associação em série de três módulos[9].....	22
Figura 20 - Associação em paralelo de n módulos [9]	22
Figura 21 - Curvas I-V referentes à associação em paralelo de três módulos [9]	23

Figura 22 - Associação mista de n módulos [9]	23
Figura 23 - Curvas I-V relativas à associação mista de três módulos [9]	24
Figura 24 - Painel e gerador FV (respectivamente)	25
Figura 25 - Módulo FV sombreado com díodos de derivação (by-pass) [8].....	26
Figura 26 - Curvas corrente-tensão do módulo com e sem díodos de derivação [8]	26
Figura 27 - Módulo FV sombreado deposição de camada de neve [9].....	27
Figura 28 - Diagrama de sistemas FV em função da carga utilizada [9].....	29
Figura 29 - Sistema ligado à rede [9]	29
Figura 30 – Exemplo de sistema híbrido [9]	30
Figura 31 – Inversor solar <i>Sunny Boy</i>	31
Figura 32 - Bateria VRLA	33
Figura 33 - Bateria tipo OPzS	34
Figura 34 – Número de ciclos em função da profundidade de descarga [3]	36
Figura 35 – Variação da capacidade de bateria com a temperatura [3].....	37
Figura 36 – Representação esquemática de baterias associadas em série [9]	37
Figura 37 – Representação esquemática de baterias associadas em paralelo [9]	38
Figura 38 – Esquemática de sistema híbrido com inversor bidirecional.....	39
Figura 39 – Motor de combustão interna	41
Figura 40 – Controlo do GG analógico e digital respectivamente	43
Figura 41 - Gerador eléctrico de corrente alternada de Faraday	44
Figura 42 - Alternador	45
Figura 43 - Triângulo de potências.....	47

Figura 44 – Rendimento de alternador	49
Figura 45 – Grupo eletrogéneo (não canopiado)	49
Figura 46 – Sistemas de bombeamento de água (manual e solar, respetivamente).....	50
Figura 47 – Lâmpadas de baixo consumo TL5 e PLS.....	53
Figura 48 – Televisor LCD e Computador LCD.....	53
Figura 49 – Frigorífico e eletrobomba submersível	53
Figura 50 – Mapa da localização da Nangade	60
Figura 51 – Mapa da estimativa energética solar de Nngade	61
Figura 52 – Variação mensal da Irradiância de Nangade (Norte de Moçambique)	62
Figura 53 – Altura solar e Azimute de Nangade (Norte de Moçambique).....	62
Figura 54 – Módulo FV SPR-333NE-WHT-D	63
Figura 55 – Inversor Sunny Tripower 12000TL	65
Figura 56 – Entradas DC do inversor <i>Sunny Tripower</i> 12000TL.....	67
Figura 57 – Ligações DC do painel FV no inversor <i>Sunny Tripower</i> 12000TL.....	69
Figura 58 – Diposição de paineis FV para evitar o sombreamento [8].....	70
Figura 59 – Disposição de paineis FV (semelhante à da Escola Rural da Namacha)	71
Figura 60 – Baterias OPzS ligadas em série.....	74
Figura 61 – Grupo gerador GEP22-6	75
Figura 62 – Inversor Sunny Island	75
Figura 63 – Esquema de ligação em paralelo de Inversores <i>Sunny Island</i>	76
Figura 64 – Inversores <i>Sunny Island</i> 8.0H ligados a um banco de baterias.	77
Figura 65 – Eletrobomba submersível HPS 1023	80

Figura 66 –Rede de distribuição elétrica em baixa tensão (Fonte: EDP Distribuição) 81

Figura 67 –Esquema de rede elétrica semelhante a da Escola Rural de Nangade..... 82

Índice de Tabelas

Tabela 1- Rendimento de cada tecnologia [6]	14
Tabela 2 - Eficiência dos módulos em função da área necessária [9]	20
Tabela 3 - Capacidade <i>versus</i> tempo de descarga de uma bateria de acumuladores [10].	35
Tabela 4 - Profundidade de descarga por tipo de bateria de acumuladores [2].....	36
Tabela 5 - Diferenças entre ciclos de motores.....	42
Tabela 6 - Infraestruturas da Escola Rural de Nangade	52
Tabela 7 - Características dos equipamentos de utilização	52
Tabela 8 – Cálculo luminotécnico	54
Tabela 9 - Necessidades de consumo do bloco S2	54
Tabela 10 - Necessidades de consumo do bloco S2G	54
Tabela 11 - Necessidades de consumo do bloco S3	55
Tabela 12 - Necessidades de consumo do bloco S3G	55
Tabela 13 - Necessidades de consumo do bloco Ad	55
Tabela 14- Necessidades de consumo do bloco CA-1 (Diretor da Escola).....	56
Tabela 15 - Necessidades de consumo do bloco CA-2 (Diretor adjunto)	56
Tabela 16 - Necessidades de consumo do bloco CA-3 (Diretor C. Saúde).....	57
Tabela 17 - Necessidades de consumo do bloco CA-3 (Enfermeiro C. Saúde).....	57
Tabela 18 - Necessidades de consumo do C. Saúde.....	58
Tabela 19 - Necessidades de consumo do bloco L2.....	58
Tabela 20 - Necessidades de consumo do bloco SBA.....	58

Tabela 21 - Necessidades energéticas da Escola Rural da Nangade	59
Tabela 22 - Potência do gerador FV do complexo escolar.....	63
Tabela 23 – Cálculo do número de módulos do sistema FV	64
Tabela 24 – Potência do inversor Sunny Tripower	64
Tabela 25 – Tensão do módulo FV a (-10°C)	66
Tabela 26 – Número máximo de módulos em série	66
Tabela 27 - Tensão do módulo FV a (70°C)	67
Tabela 28 – Número mínimo de módulos em série.....	67
Tabela 29 – Número de fileiras por inversor <i>Sunny Tripower</i> 12000TL	68
Tabela 30 – Módulos FV por fileira por inversor <i>Sunny Tripower</i> 12000TL.....	68
Tabela 31 – Afastamento mínimo de painéis FV	70
Tabela 32 - Rendimento global das baterias (acumuladores).....	72
Tabela 33 - Capacidade do banco de baterias.....	72
Tabela 34 - Número de baterias em paralelo.....	73
Tabela 35 - Número de baterias em série	73
Tabela 36 - Número de inversores <i>Sunny Island</i>	76
Tabela 37 – Cálculo da energia hidráulica	79
Tabela 38 - Cálculo da potência da bomba.....	80
Tabela 39 - Custos indicativos dos principais componentes do sistema	84

Nomenclatura

Caracteres Romanos

- c_p – Limite de Betz
- D – Diâmetro do Rotor (do Aerogerador)
- v – Velocidade Incidente do Vento sobre o Rotor

Caracteres Gregos

- β – Ângulo Ótimo de Inclinação do Gerador Fotovoltaico
- γ – Altura Mínima do Sol a 21 de junho

Abreviaturas

- A – Área da Célula Fotovoltaica
- AC – Corrente Alternada
- AQS – Águas Quentes Sanitárias
- AM – Massa Solar
- C_{Bat} – Capacidade do Banco de Baterias
- C_U – Capacidade da Bateria Seleccionada
- DC – Corrente Contínua
- DOD – Profundidade Máxima de Descarga da Bateria
- DST – Dispositivo de Sobretensões
- E_d – Energia Média Diária Produzida por 1kWp do Gerador Fotovoltaico

EDENR	–	Estratégia de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis
FF	–	Fator de Forma do Módulo Fotovoltaico
FUNAE	–	Fundo de Energia (Entidade do Estado Moçambicano Responsável pelas Energias Renováveis)
FV	–	Fotovoltaica
g	–	Aceleração de Gravidade
K_{Bat}	–	Eficiência da Bateria
K_D	–	Profundidade Máxima de Descarga da Bateria
V_b	–	Volume de Água a Bombear
P_b	–	Potência do Motor da Bomba
h	–	Altura Total (altura manométrica)
h_g	–	Altura Estática
H_d	–	Altura Dinâmica
I_D	–	Corrente de Saída da Célula Fotovoltaica
I_{MaxFil}	–	Corrente Máxima da Fileira
I_{MPP}	–	Pico máximo de corrente
I_O	–	Corrente Inversa Máxima de Saturação do Díodo
I_{OC}	–	Corrente em Circuito Aberto
I_{sc}	–	Corrente em Curto-Circuito
m	–	Fator de Idealidade do Díodo
MINED	–	Ministério da Educação de Moçambique
MISAU	–	Ministério da Saúde de Moçambique

N_{MFV}	–	Número de Módulos Fotovoltaicos
N_D	–	Número de Dias de Funcionamento das Baterias
N_{InvSI}	–	Número de Inversore Sunny Island
N_{MaxInv}	–	Número Máximo de Inversores
N_P	–	Número de Baterias em Paralelo
NOCT	–	Temperatura Nominal de Funcionamento da Célula
N_S	–	Número de Baterias em Série
ONG	–	Organização Não-Governamental
P_b	–	Potência da Bomba Submersível
P_{FV}	–	Potência do Painel FV
P_{GE}	–	Potência do Gerador Eólico
P_{GFV}	–	Potência do Gerador Fotovoltaico
P_{Inv}	–	Potência do Inversor
P_{InvSI}	–	Potência do Inversor Sunny Island
P_{MFV}	–	Potência do Módulo Fotovoltaico
P_{MPP}	–	Pico máximo de potência
PVGIS	–	Sistema Geografico de Informação Fotovoltaica
q	–	Carga Elétrica
SEE	–	Sistemas Elétricos de Energia (Correntes Fortes)
SOC	–	Estado de Carga
SSF	–	Sistemas Solares FV
STC	–	Condições de Referência de Teste

T_a	–	Temperatura Ambiente
T_C	–	Temperatura de Utilização da Célula Fotovoltaica
UEM	–	Universidade Eduardo Mondlane
U_{MaxInv}	–	Tensão Máxima do Inversor
U_{MPP}	–	Pico máximo de tensão
U_{Sist}	–	Tensão do Gerador Fotovoltaico
U_U	–	Tensão da Bateria Seleccionada
W_{DE}	–	Energia Diária Estimada para Escola
U_{SC}	–	Tensão em Curto-Circuito
V_T	–	Potencial Térmico da Célula Fotovoltaica

1. Introdução

1.1. Contextualização

Moçambique, embora seja um grande exportador de energia elétrica (para a África do Sul, Zimbabwe e num futuro próximo para República de Malawi), tem promovido o uso de energias alternativas para as zonas onde a energia convencional não chega e não chegará, devido aos elevadíssimos custos que esse processo acarretaria, apostando e incentivando as energias alternativas.

Dados existentes indicam claramente que Moçambique possui um vasto recurso para a produção de energia solar. A radiação solar anual está na ordem dos 2000 kWh.m^{-2} , o que favorece a aplicação desta fonte de energia nas diferentes tecnologias, a saber: Sistemas Solares Térmicos (SST) para as Águas Quentes Sanitárias (AQS) e Sistemas Solares FV (SSF) para serviços de energia elétrica e bombeamento de água [2].

Nos últimos anos assistiu-se em Moçambique a diversas iniciativas promocionais de abastecimento de energia nas zonas rurais, muitas das quais desenvolvidas e implementadas pelo Fundo de Energia (FUNAE). De entre as várias instituições que até ao momento participam em programas de produção e fornecimento de energia elétrica com tecnologias solares destacam-se, entre outros, o Ministério da Energia, Ministério da Saúde (MISAU),

Ministério da Educação (MINED), a Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e algumas outras instituições do governo a nível central e provincial. Têm havido também algumas iniciativas realizadas por ONG's e organizações do sector privado.

Diversos projetos-piloto foram e estão sendo implementados, fornecendo energia para clientes domésticos, escolas e centros de saúde (Figura 1), postos administrativos e estabelecimentos comerciais, nas componentes de bombagem de água, iluminação, conservação de vacinas e centros comunitários com *internet* e televisão.



Figura 1 - Sistemas FV em Infraestruturas Rurais

(Fonte: FUNAE)

1.2. Objetivos

O principal objetivo que esta dissertação se propõe a cumprir é o seguinte:

- Dimensionar o Sistema Híbrido de Geração de Energia Elétrica da Escola Rural de Nangade (na Provincia de Cabo Delgado).

1.3. Organização da Dissertação

O restante conteúdo desta dissertação é constituído por mais três capítulos. No seguinte capítulo são abordadas várias questões relativas às tecnologias FV, grupo eletrogéneo (de socorro), bombas submersíveis trifásicas, inversores FV (*Sunny Tripower*), inversores bidirecionais (*Sunny Island*).

No terceiro capítulo é apresentado todo o procedimento de cálculo e a metodologia utilizada para o dimensionamento dos vários componentes do sistema híbrido. Foram também

utilizados os *softwares PVGIS*, para a obtenção da tabela de dados da energia solar incidente na Escola Rural de Nangade para o dimensionamento do respetivo gerador FV, e *DIALUX*, para o cálculo luminotécnico dos compartimentos (divisões) mais importantes das diversas infraestruturas escolares. Por insuficiência de *softwares* adequados para Moçambique, a maioria dos cálculos foi feita por cálculos matemáticos.

Finalmente, no último capítulo são apresentadas as conclusões e as perspectivas de desenvolvimentos futuros.

2. Tecnologias

Neste estudo serão abordadas as tecnologias que constituirão o sistema híbrido para alimentação de energia elétrica da Escola Rural de Nangade, nomeadamente: a FV, grupo eletrogéneo (de socorro), baterias de acumulação, bombas submersíveis trifásicas, inversores FV (*Sunny Tripower*), inversores bidirecionais (*Sunny Island*). Mas antes, alguns conceitos de energia solar.

2.1. O Sol

No Universo existem biliões de estrelas, das quais só vemos uma infinitésima parte, sendo o Sol a mais próxima. É uma estrela do tipo médio e o seu raio é de 700.000 km com uma massa, 300.000 vezes superior à da Terra. Tem mais de 5.000 milhões de anos e afortunadamente ainda lhe resta muito tempo de vida [3].

Se não fosse por esta pequena estrela, tão próxima de nós, o nosso planeta seria um deserto onde não haveria vida. Ao Sol devemos as Estações, as transformações energéticas úteis para a vida, as transformações artificiais energéticas necessárias para a nossa evolução, o bem-estar, etc. e há milénios atrás prestava-se-lhe culto, considerando-o um Deus em muitas civilizações.

A energia solar produz-se pelas reações nucleares de fusão que têm lugar no interior do Sol a grande profundidade. Os átomos de hidrogénio combinam-se entre si para formar átomos de hélio libertando energia. Esta energia vai desde o interior até à superfície solar ou fotosfera e desde aí irradia em todas as direções. A energia irradiada chega à Terra através do espaço em feixes de energia constituídos por fotões. Os fotões deslocam-se a uma velocidade de $300.000 \text{ km.s}^{-1}$ (velocidade da luz), pelo que demoram cerca de oito minutos a chegar à Terra, que está a 150 milhões de quilómetros do Sol [3].

O Sol irradia em todas as direções e num segundo emite uma energia de 4×10^{26} J, pelo que gera uma potência de 4×10^{23} kW. A energia irradiada pelo Sol num segundo é muito maior do que a consumida por toda a humanidade, desde a criação da Terra até à atualidade [3].

2.1.1. Radiação solar

A atmosfera é um obstáculo à radiação solar. Na parte superior das nuvens há uma importante reflexão da energia solar, e apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre pois a atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozono, vapor de água, oxigénio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição). O nível de radiação na superfície da Terra atinge um total aproximado de 1.000 Wm^{-2} , ao meio-dia, em boas condições climatéricas no plano horizontal, independentemente da localização.

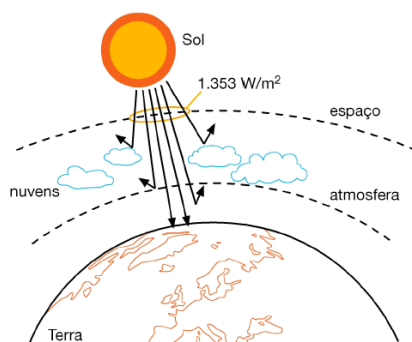


Figura 2 - Diminuição da intensidade da radiação solar ao atravessar a atmosfera
(Fonte: FUNAE)

Note-se, contudo, que as várias reflexões na atmosfera produzem modificações na trajetória da radiação solar. Assim, apesar desta energia chegar também à superfície, não o faz como se chegasse do Sol, mas sim como se viesse da abóbada celeste. Esta irradiação é conhecida como irradiação difusa, e à que chega diretamente do Sol chama-se direta (chega em linha reta). Se somarmos todas as radiações, temos a irradiação total.

Outro dado a mencionar é que a irradiação difusa é a que faz com que um corpo receba sempre energia por todos os lados, até pelos que não são alcançados pela energia direta [3].

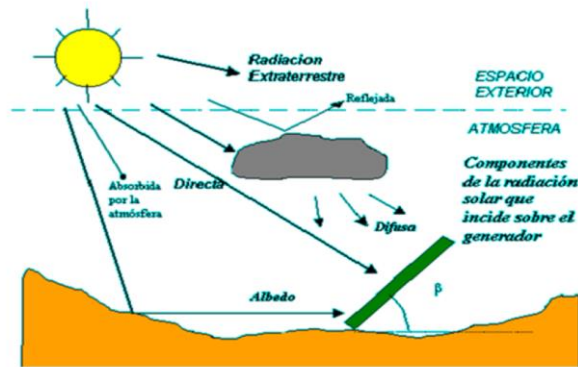


Figura 3 – Componentes da radiação solar [8].

Outro dado a mencionar é que a radiação difusa é a que faz com que um corpo receba sempre energia por todos os lados, até pelos que não são alcançados pela energia direta [8].

2.1.2. Estações do ano

Sabemos que o Sol nasce a Este (E) e põe-se a Oeste (W), elevando-se mais ou menos dependendo da estação do ano em que nos encontrarmos. Há muito tempo atrás julgava-se que o Sol girava em torno da Terra, mas também há muito tempo que sabemos que essa aparência de movimento é produzida pelo movimento da Terra sobre si mesma, atingindo uma volta completa cada 24 horas.

A Terra move-se numa órbita elíptica à volta do Sol. O eixo de rotação da Terra forma um ângulo de $23,27^\circ$ com a normal ao plano da elipse, e é responsável pela duração do dia e da noite nas distintas estações do ano.

A Figura 4 mostra-nos as posições da Terra nos seus pontos extremos (solstício de verão e de inverno). Em Moçambique temos muito mais tempo de Sol em dezembro do que em junho, já que o Sol ilumina muito melhor o hemisfério sul. No hemisfério norte verifica-se o oposto.

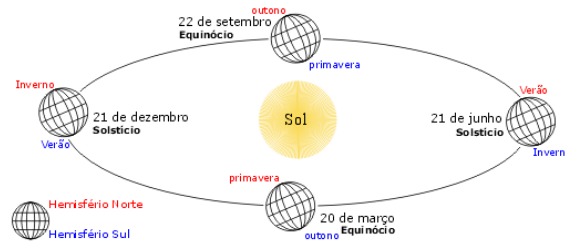


Figura 4 - Estações do ano
(Fonte:www.astrologie.com.br)

O equinócio é o momento em que o Sol, no movimento anual aparente, corta o equador celeste, fazendo com que o dia e a noite tenham igual duração. Costuma ser no dia 21 de março e 23 de setembro (começo da primavera e do outono).

No solstício de verão, temos o dia mais longo, 21 de junho, enquanto o mais curto é o 21 de dezembro. As estações estão determinadas pelos equinócios e os solstícios.

O verão ocupa uma ampla trajetória e o Sol eleva-se sobre a abóbada celeste ficando muito tempo no horizonte. Durante o inverno acontece o contrário.

De modo a captar a máxima irradiância solar a inclinação do painel FV deve variar ao longo do ano (solstício de Verão e de Inverno), tal como ilustrado na Figura 5.

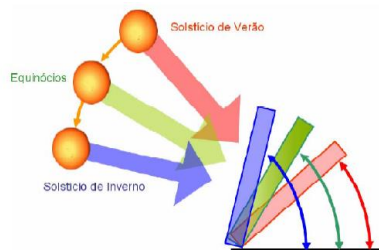


Figura 5 - Variação da inclinação do painel FV ao longo do ano [10].

2.1.3. Posicionamento solar

Para o estudo que se irá desenvolver e de modo a simplificá-lo, vai-se supor que o Sol é que gira em torno da Terra (*Teoria geocêntrica*).

Para se saber com precisão em que posição está o Sol em cada instante relativamente a um observador imóvel, será utilizada a altura solar α_s e o azimute solar γ_s .

A altura solar γ_s é o ângulo que os raios solares formam com a superfície horizontal. O ângulo zenital ou a distância zenital é o que forma o raio com a vertical, isto é, o complemento da altura tal como mostra a Figura 5.

O azimute solar α_s é a amplitude do arco de círculo do horizonte compreendido entre o ponto cardeal sul e a interseção do semicírculo vertical do Sol com o plano do horizonte.

Na Figura 6 podemos observar graficamente a altura solar γ_s e o azimute solar α_s , sendo este negativo quando o Sol estiver a este (de manhã).

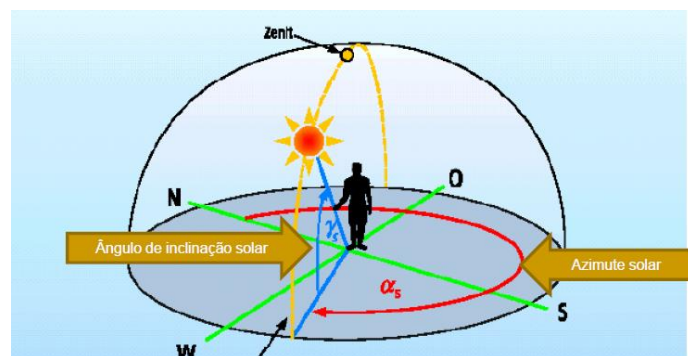


Figura 6 – Posicionamento solar [8]

Tanto a altura do sol como o azimute, num momento determinado, serão diferentes para dois observadores que se encontrem em locais distintos da Terra, pelo que tem que se ter em conta a latitude geográfica em que foram calculados.

2.2. Tecnologia FV

A tecnologia FV é uma tecnologia que converte a radiação solar diretamente em eletricidade. O método mais conhecido para produzir energia FV é através das células FV.

2.2.1. Efeito FV

Quando se fala em energia FV, fala-se da transformação direta da luz em energia elétrica e, para isso, recorre-se a células FV. Neste processo, são utilizados materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telureto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. A célula de silício cristalina é a mais comum. Hoje, cerca de 95 % de todas as células FV existentes no mundo são de silício. Numa quantidade próxima do oxigénio, é o segundo

elemento químico mais frequentemente utilizado na Terra. O silício apresenta uma disponibilidade quase ilimitada, no entanto não existe como um elemento químico, existindo somente associado à areia de sílica.

2.2.2. Princípio de funcionamento

A função de uma fotocélula consiste em converter directamente a energia solar em electricidade. A forma mais comum das células solares o fazerem é através do efeito FV [2].

A célula FV 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 FV, isto é, à conversão directa da irradiância solar em potência eléctrica produzida em DC.

Uma célula FV constituída por cristais de silício puro não produziria energia eléctrica. Para haver corrente eléctrica é necessário que exista 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.

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 [1].

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 fótons são absorvidos pelos electrões. Assim, quando o fóton 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 fotocélula [10].

Na Figura 7 é apresentada a constituição interna de uma célula FV típica.

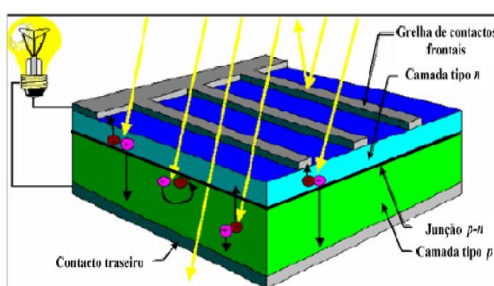


Figura 7 - Princípio de funcionamento de uma célula FV [8]

2.2.3. Tipos de células FV

Dependendo do material utilizado no fabrico das células solares FV, estas podem ser classificadas como células monocristalinas, policristalinas e amorfas.

No entanto existem novas tecnologias em fase de desenvolvimento, nomeadamente as denominadas por células de película fina. De seguida é feita uma breve descrição sobre as diferentes tecnologias das células solares FV.

- **Células monocristalinas**

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células FV, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potenciar o efeito FV. As células monocristalinas (figura 8), 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.



Figura 8 - Células monocristalina
(Fonte: Sunways Photovoltaic Technology)

- **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.

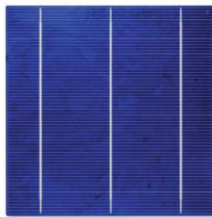


Figura 9 - Células policristalina
(Fonte: Sunways Photovoltaic Technology)

- **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.

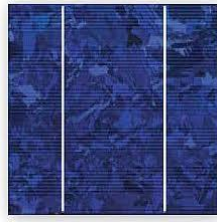


Figura 10 – Células amorfa

(Fonte: Sunways Photovoltaic Technology)

- **Células de película fina**

As células de película fina tais como CIS, CdTe e CiGs, encontram-se em fase de investigação e 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 arquitetónicas 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.



Figura 11– Célula película fina

(Fonte: Sunways Photovoltaic Technology)

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

Tabela 1- Rendimento de cada tecnologia [6]

Item	Material da célula solar	Eficiência da célula
1	Silício monocristalino	11-16%
2	Silício policristalino	10-14%
3	Silício cristalino de película fina	6-8%
4	CIS, CIGS	4-7%

2.2.4. Modelo matemático da célula FV

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 FV pode ser descrita através do circuito eléctrico equivalente simplificado representado Figura 12.

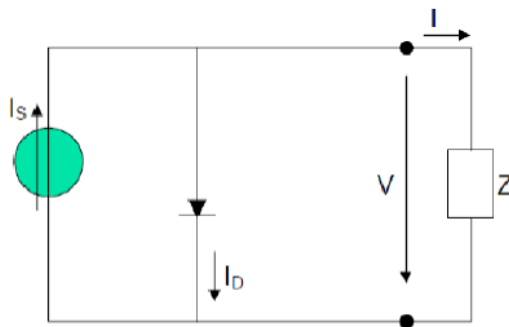


Figura 12 - Princípio de funcionamento de célula FV alimentando carga Z [4]

A fonte de corrente I_s representa a corrente eléctrica gerada pelo feixe de radiação luminosa, constituído por fótons, ao atingir a superfície ativa da célula (efeito FV). A junção $p-n$ funciona como um diodo que é atravessado por uma corrente interna unidirecional I_D , que depende da tensão V aos terminais da célula [1].

A corrente I_D que se fecha através do diodo é calculada através da equação seguinte:

$$I_D = I_0 \times \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

em que:

I_0 : corrente inversa máxima de saturação do diodo;

V : tensão aos terminais da célula;

m : factor de idealidade do diodo (diodo ideal: $m = 1$; diodo real: $m > 1$);

V_T : designado por potencial térmico $V_T = \frac{kT}{q}$;

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

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

A corrente I que se fecha pela carga é, obtida através da equação seguinte:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_0 \times \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

2.2.5. Corrente de curto-circuito

Dois pontos de operação da célula merecem atenção particular: curto-circuito e circuito aberto.

No caso de curto-circuito, $V = 0$; $I_D = 0$ (2.3)

$$I = I_S = I_{sc} \quad (2.4)$$

A corrente de curto-circuito, I_{sc} , é o valor máximo da corrente de carga igual à corrente gerada por efeito FV. 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, $I = 0$;

$$V_{OC} = mV_T \ln\left(1 + \frac{I_S}{I_0}\right) \quad (2.5)$$

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, *STC* (*Standard Test Conditions*), normalizadas para a realização das medidas dos parâmetros característicos da célula, designadas condições de referência são:

Radiação incidente: $G^r = 1.000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;

Temperatura: $\theta^r = 25^\circ\text{C} \leftrightarrow T^r = 298,16 \text{ K}$;

Massa de ar, AM=1,5.

As grandezas referenciadas pelo índice superior r são consideradas medidas nas condições de referência, STC.

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:

$$I_0 = 4,4 \times 10^{-10} \text{ A} \quad (2.6)$$

Com $m=1$ (considerando o díodo ideal);

Tendo em conta a expressão (2.5), a corrente que se fecha pela carga é dada por:

$$I = 1,28 - 4,4 \times 10^{-10} \times \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (2.7)$$

A Figura 13 representa a característica I-V da célula FV para as condições de referência.

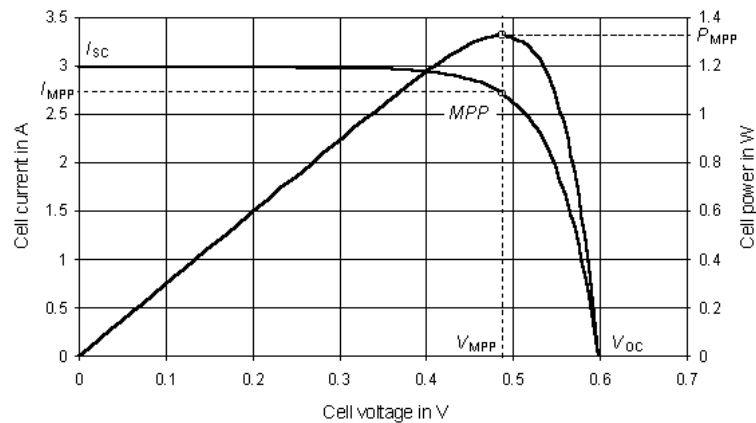


Figura 13 - Curva I-V de célula FV típica de silício cristalino em condições STC

(Fonte: <http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals3/figure3.gif4>)

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

2.2.6. Fator de forma e rendimento

O factor de forma (FF) expressa a aproximação da representação da curva I-V a um retângulo. Quanto maior for a qualidade das células, mais próxima da forma retangular será a curva I-V, ou seja, a curva pode ser utilizada para qualificar as células. O factor de forma é calculado através da seguinte equação:

$$FF = \frac{I_{MPP} \times U_{MPP}}{I_{CC} \times V_{OC}} \quad (2.8)$$

O FF tem um valor menor que uma unidade, comum entre 0,7 e 0,8 para células de silício. Pode observar-se a sensível redução na potência máxima verificada na célula 2.

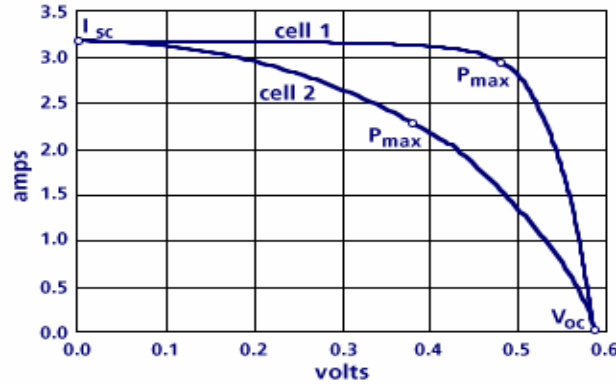


Figura 14 - Curvas I-V para duas células com factores de forma diferentes [4]

O rendimento (η) define-se como a relação entre o ponto de potência máxima de uma célula e a potência da radiação solar incidente sobre a célula, como mostra a equação seguinte:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A \times G} = \frac{I_{MPP} \times U_{MPP}}{A \times G} \quad (2.9)$$

Sendo:

A: área da célula;

G: radiação solar incidente por unidade de superfície.

2.2.7. Potência elétrica

A potência elétrica de saída (P) da célula FV é o produto entre a tensão e a corrente de saída dado pela equação seguinte:

$$P = VI = V \left[I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \right] \quad (2.10)$$

O ponto de potência máxima é calculado através da seguinte equação:

$$P_{MPP} = U_{MPP} \times I_{MPP} \quad (2.11)$$

2.2.8. Efeito da radiação

Tal como se pode observar na figura 15, a potência de saída aumenta com o aumento da radiação incidente. A corrente de curto-circuito aumenta de forma aproximadamente linear com o aumento da radiação incidente ao passo que o valor de tensão de circuito aberto pouco varia com a variação da radiação.

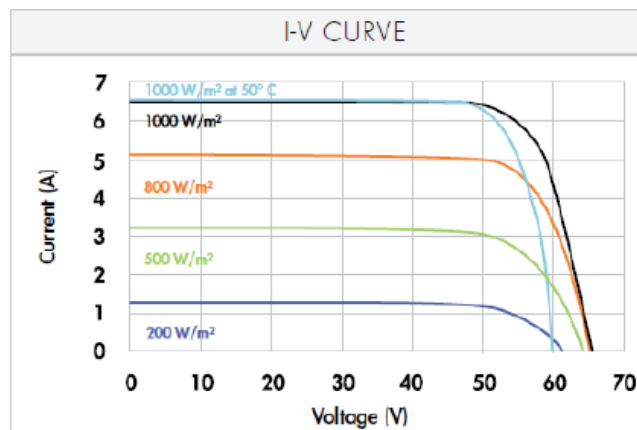


Figura 15 - Variação da curva I-V com a variação da radiação
(Fonte: SUNPOWER)

2.2.9. Efeito de temperatura

A temperatura é um parâmetro importante uma vez que, estando as células expostas aos raios solares, o seu aquecimento é considerável. Além disso, uma parte da incidência solar absorvida não é convertida em energia elétrica, mas sim dissipada sob a forma de calor. Esta é a razão porque a temperatura de uma célula é sempre superior à temperatura ambiente. Para estimar a temperatura da célula, a partir da temperatura ambiente, pode utilizar-se a equação (2.12).

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{(NOCT-20)}{800} \quad (2.12)$$

Onde,

T_c : temperatura de utilização da célula, em °C;

T_a : temperatura ambiente medida, em °C;

G : irradiância solar incidente, em $W \cdot m^{-2}$;

NOCT: temperatura nominal de funcionamento da célula (valor típico NOCT=45 °C).

A variação da temperatura faz com que os pontos de operação correspondentes à extracção de potência máxima variem.

Analisando a figura 16 verifica-se que o valor da tensão em circuito aberto (U_{OC}) baixa com o aumento da temperatura, enquanto que o valor da corrente de curto-circuito (U_{SC}) pouco varia.

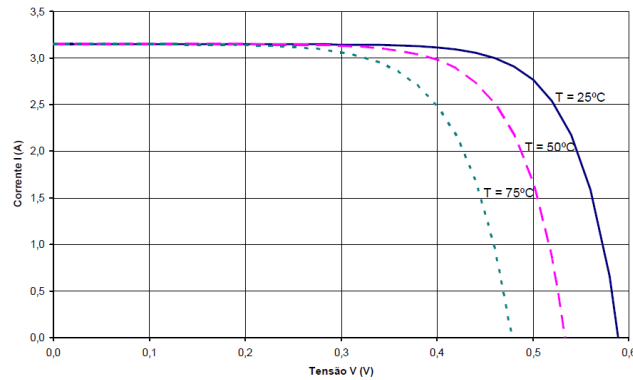


Figura 16 - Variação da curva I-V com a temperatura da célula FV [2]

2.2.10. Módulos FV

As células são agrupadas em módulos. Na construção dos módulos, estes devem ser dotados de meios que lhes permitam resistir às condições ambientais adversas em que vão ser colocados.



Figura 17 - Módulo FV
(Fonte: www.enerstore.it)

Características técnicas

A Norma Europeia Standard EN 50380 especifica quais as características técnicas que os fabricantes devem apresentar nas folhas descritivas das características dos módulos [1].

Estes dados são obtidos em condições de teste (STC) e são vitais para se poderem realizar estimativas da quantidade de energia gerada, bem como verificar a compatibilidade de ligação com outros componentes do painel FV.

Existe uma enorme variedade de opções de módulos no mercado, mas tal como foi dito anteriormente nem todos respeitam as normas e por consequência nem todos estão certificados. Quando se faz a escolha de um módulo FV é necessário ter em conta alguns factores, como por exemplo:

- **Qualidade**

Com uma inspeção visual pode-se verificar se as características construtivas do módulo são fiáveis. O carimbo de certificação do módulo por si, já deve garantir que o módulo foi construído segundo as normas. Por outro lado, o próprio fabricante dos módulos por norma já é um factor que influencia a escolha do módulo.

- **Tipo de célula FV**

O tipo de célula solar pode ser monocristalina, policristalina ou de película fina.

- **Eficiência**

Ao analisar a eficiência das células FV verifica-se que quanto maior é o valor da eficiência menor vai ser a área ocupada por kW produzido. Esta característica é evidenciada na tabela abaixo (tabela 2), que apresenta as diferentes dimensões necessárias de cada tipo de painel para produzirem 1kW de energia.

Tabela 2 - Eficiência dos módulos em função da área necessária [9]

Item	Material da célula FV	Eficiência	Área necessária para gerar 1 kW _p de potência
1	Silício monocristalino	15 - 18%	7 - 9 m ²
2	Silício policristalino	13 - 16%	8 - 11 m ²
3	Disseleneto de cobre e índio (CIS)	7,5 - 9,5%	11 - 13 m ²
4	Telureto de cádmio (CdTe)	6 - 9%	14 - 18 m ²
5	Silício amorfo (a-Si)	5 - 8%	16 - 20 m ²

Associação de módulos

Os módulos são constituídos por agrupamentos de células ligadas em série e/ou em paralelo de forma a se obter os valores desejáveis de tensão e corrente.

- **Associação em série**

Os módulos ligados em série constituem aquilo que normalmente se designa por *strings*. É importante realçar que na associação de módulos devem ser utilizados os do mesmo tipo, de forma a minimizar as perdas de potência no sistema.

Com efeito, a associação em série de módulos permite obter tensões mais elevadas, mantendo a corrente estipulada do módulo.

A figura 19 representa esquematicamente a associação em série de n módulos.

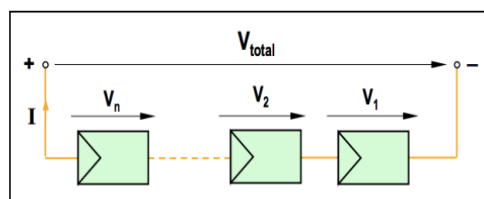


Figura 18 - Associação em série de n módulos [9]

Como se observa, temos:

$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n = n \times U \quad (2.13)$$

$$I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2.14)$$

Deve ter em atenção que não deve ser ultrapassada a tensão máxima de associação que é normalmente indicada pelo fabricante. Os díodos de *by-pass* são colocados para prever eventualmente avarias nos módulos evitando que os sistemas bloqueiem.

A figura 19 corresponde à representação gráfica da curva característica de $I-V$ (de acordo com a equação 1.13) referente à associação em série de, por exemplo, três módulos FV (*Shell SM 100-12*) em condições *STC*.

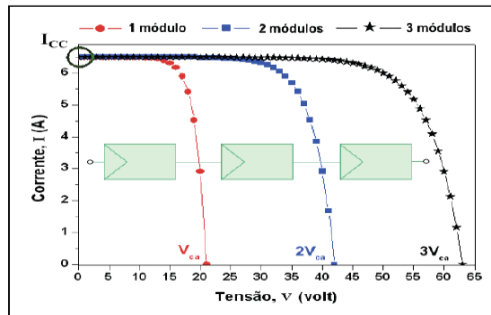


Figura 19 - Curvas $I-V$ relativas à associação em série de três módulos[9]

Nesta condição, a corrente de curto-circuito da associação de três módulos ligados em série mantém-se inalterada. No entanto, a tensão de circuito aberto é três vezes superior ($U_{OC}=63V$).

- **Associação em paralelo**

A ligação em paralelo entre módulos individuais é efectuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo.

A figura 20 representa esquematicamente a associação em paralelo de n módulos.

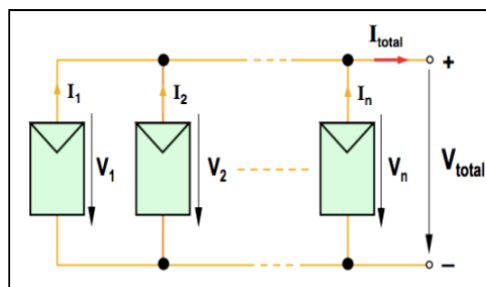


Figura 20 - Associação em paralelo de n módulos [9]

Nesta situação, obtêm-se intensidades de corrente mais elevadas, mantendo-se a tensão estipulada do módulo. Neste caso, teremos:

$$U_{total} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (2.15)$$

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n \times I \quad (2.16)$$

A Figura 21 corresponde à representação gráfica da curva característica de I-V (de acordo com a equação 1.5) referente à associação em paralelo de três módulos (*Shell SM 100-12*) em condições *STC*.

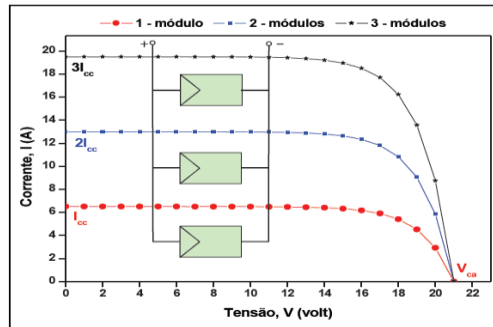


Figura 21 - Curvas I-V referentes à associação em paralelo de três módulos [9]

- **Associação mista**

Nos sistemas FV com ligação à rede, é muito comum efetuar-se a associação de várias *strings* de módulos ligadas em paralelo.

A figura 22 representa esquematicamente a associação *mista* de $n \times m$ módulos, em que n representa o número de strings de módulos associados em paralelo e m representa o número de módulos associados em série.

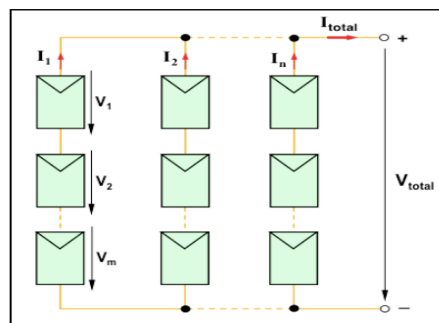


Figura 22 - Associação mista de n módulos [9]

Na associação mista de módulos, obtêm-se as características das associações em série e em paralelo. No entanto, conseguem-se obter valores mais elevados de corrente e de tensão. Com efeito, no pressuposto de que o sistema é constituído por módulos do mesmo tipo, então a corrente I que atravessa cada string é igual.

Neste contexto, a análise da figura 22 permite estabelecer a seguinte relação:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2.17)$$

Por isso, a corrente total é calculada da seguinte maneira:

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n \times I \quad (2.18)$$

sendo n , o número de *strings*.

Por outro lado, a queda de tensão que ocorre em cada módulo que integra uma determinada *string* também é igual. Deste modo pode-se escrever a relação seguinte:

$$U_{\text{total}} = U_1 = U_2 = \dots = U_m \quad (2.19)$$

Deste modo, a tensão total é obtida da seguinte forma:

$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n = m \times U \quad (2.20)$$

sendo m , o número de módulos.

A figura 23 corresponde à representação gráfica da curva característica de I-V referente à associação mista de três módulos (*Shell SM 100-12*) em condições *STC*.

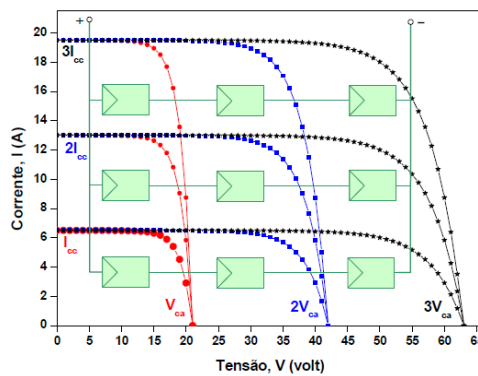


Figura 23 - Curvas I-V relativas à associação mista de três módulos [9]

Ao agrupamento de módulos dá-se o nome de painel FV e ao de painéis chama-se gerador FV.



Figura 24 - Painel e gerador FV (respetivamente)
(Fonte: <http://www.bigsolar.eu/Novidades.html>)

2.2.11. Efeitos de sombreamento, deposição de neve e vento nos módulos

Sob certas condições operacionais, uma célula solar sombreada pode aquecer a tal extremo, que o material celular fique danificado. Origina-se assim o que é designado por um ponto quente, o que pode acontecer, por exemplo, quando flui uma corrente inversa relativamente elevada através da célula solar. O sombreamento nos módulos pode ter consequências nefastas quer na eficiência, quer na segurança dos módulos. Se cair uma folha no módulo solar, de tal modo que uma célula solar fique totalmente obscurecida, esta célula passará a estar inversamente polarizada, atuando como uma carga elétrica e convertendo a energia elétrica em calor. Se a corrente que a atravessa for suficientemente elevada, poderá então resultar o ponto quente. A maior intensidade de corrente que pode fluir através da célula é a corrente de curto-circuito.

No caso de sombreamento de um módulo (figura 25), a fonte de corrente extingue-se e comporta-se como uma "resistência" que é atravessada pela corrente produzida por outros módulos, ficando sujeito a uma tensão inversa mais ou menos elevada e provocando aquecimento que eleva a temperatura para valores que, em alguns casos, destroem o módulo. Nestes casos, os díodos de *by-pass* tornam-se importantes para fazer o desvio de correntes, evitando que estas passem pelo módulo sombreado em sentido inverso, mantendo a *string* em produção, embora diminuída.

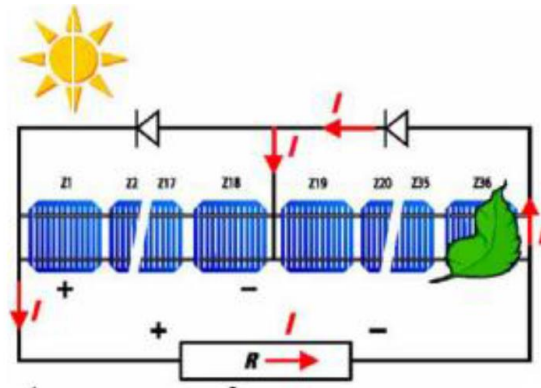


Figura 25 - Módulo FV sombreado com díodos de derivação (by-pass) [8]

Pode então afirmar-se que os díodos *by-pass* impedem o aparecimento de tensões inversas elevadas nas células solares.

Se um módulo estiver situado na sombra de um objeto próximo, a curva corrente-tensão (figura 26) do módulo será modificada pelo diodo de derivação. Sem o diodo de derivação, a corrente total do módulo estaria determinada pela célula sombreada.

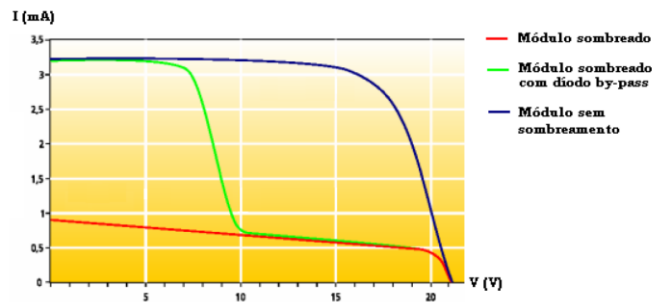


Figura 26 - Curvas corrente-tensão do módulo com e sem díodos de derivação [8]

Um outro especto influente no desempenho geral dos módulos diz respeito à possibilidade da deposição de neve nos módulos. De facto, a possibilidade de deposição de neve nos módulos requer alguns cuidados na sua colocação para minimizar os efeitos negativos na eficiência do sistema produtor, pelo efeito de sombreamento. O sombreamento dos módulos poderá levar ao aquecimento dos mesmos devido às resistências internas que se criam.



Figura 27 - Módulo FV sombreado deposição de camada de neve [9]

Face ao tipo das ligações entre as células que integram o módulo, verifica-se que a opção pela solução do módulo em *posição horizontal* (a) corresponde àquela que apresenta menores efeitos negativos, na medida em que apenas é afetada uma fileira de células ligadas em série, mantendo-se no entanto a produção nas restantes. Por outro lado, se a opção incidisse na seleção da solução do módulo colocado na *posição vertical* (b), todas as *strings* ficariam sombreadas pela neve, e por conseguinte conduziria a repercussões muito mais negativas no que respeita à eficiência do módulo FV [9].

Por outro lado, o vento pode ter uma função importante no arrefecimento dos módulos, melhorando os efeitos da convecção natural. O vento para além de arrefecer os módulos, também exerce uma pressão dinâmica sobre os módulos que não pode ser descurada, carecendo de cuidada análise o dimensionamento dos sistemas mecânicos dos painéis FV.

2.2.12. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Hoje em dia os sistemas FV são usados num vasto conjunto de aplicações distintas, de entre as quais se destacam as seguintes aplicações em média potência [11]:

Eletrificação rural

Os sistemas 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

Sistemas solares FV podem ser utilizados como fonte de produção dispersa, entregando à rede a totalidade ou parte da energia produzida.

Os sistemas FV, 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 elétrica) apresentam inconvenientes ambientais consideráveis e são inferiores do ponto de vista económico. No caso dos sistemas FV 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 [6].

2.2.13. Exploração dos sistemas FV

Os sistemas solares FV podem ser explorados de três formas distintas: Sistemas isolados (ou autónomos), sistemas ligados à rede e sistemas híbridos.

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

Sistemas Autónomos

Um painel FV autónomo é concebido para alimentar um conjunto de cargas sem a presença da rede elétrica, durante todo o ano. Assim, o dimensionamento do painel é normalmente efetuado 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 efetuar a gestão da carga da bateria;

Inversor, no caso de haver cargas a alimentar em AC.

Alguns sistemas autónomos não necessitam de armazenamento. É o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou colocada em reservatórios. Quando as bombas são alimentadas em AC torna-se necessário um inversor. Dependendo do tipo de cargas a alimentar os sistemas FV autónomos podem assumir uma ou mais configurações possíveis tal como se pode observar na figura 28.

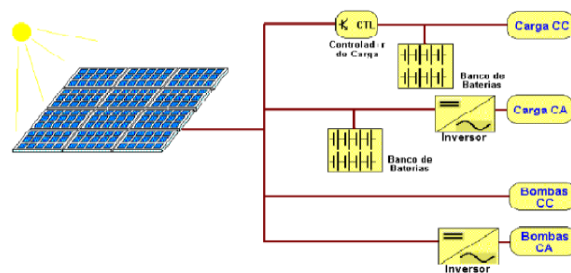


Figura 28 - Diagrama de sistemas FV em função da carga utilizada [9]

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 AC exigida pela rede, tal como se encontra esquematizado na figura 29.

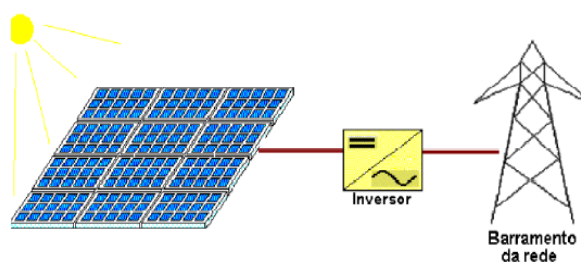


Figura 29 - Sistema ligado à rede [9]

Por norma estes sistemas utilizam painéis FV 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 à satisfação dos requisitos que a ligação impõe de modo a não afetar a qualidade de energia e assegurar as questões de segurança. Nestes sistemas FV ligados à rede o critério de dimensionamento é a maximização de energia produzida.

Sistemas híbridos

Em sistema híbridos os sistemas FV 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 a *diesel*. Neste modo de operação os dispositivos requeridos para os sistemas FV são aqueles que estão mencionados na subsecção anterior relativamente aos sistemas autónomos.

Na figura 30 é apresentado o esquema típico de um sistema híbrido.



Figura 30 – Exemplo de sistema híbrido [9]

Uma vez que os sistemas híbridos são explorados na ausência da rede elétrica 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.

2.2.14. Inversor FV

Inversores são componentes de eletrónica de potência que permitem converter a DC gerada pelo módulo FV em AC.

Nos sistemas com ligação à rede elétrica, os inversores estão ligados directamente à rede principal. Nesta situação, operam como interface entre o painel FV e a rede de modo a adequar as grandezas DC do painel às formas de onda AC exigidas pela rede.

Os inversores utilizados em sistemas *off-grid* são usados se houver cargas alimentadas em AC, como por exemplo os aparelhos domésticos como frigoríficos ou televisores.



Figura 31 – Inversor solar *Sunny Boy*

(Fonte: www.solarta.com)

2.3. Baterias de acumuladores

A bateria, também designada por acumulador, é um equipamento que utiliza processos químicos para armazenar energia elétrica sob a forma de corrente contínua. O armazenamento de energia é hoje um tema central no que diz respeito ao aproveitamento da energia solar nos sistemas FV autônomos, dado que a produção e o consumo de energia não coincidem, quer ao longo do dia quer ao longo do ano. A energia solar produzida durante o dia não é, normalmente, utilizada antes do início da noite, sendo por este motivo necessário armazená-la.

Os períodos de dias sucessivos sem sol também devem ser tidos em conta. Recorre-se portanto aos acumuladores (baterias recarregáveis) ou baterias de ácido de chumbo, como sendo os elementos mais comuns para os armazenamentos de curta duração nas instalações de energia solar.

Estas baterias têm a melhor relação preço-eficiência e podem assegurar elevadas e reduzidas correntes de carga com uma boa eficiência. Há outros tipos de baterias já comercializados, como as baterias de níquel-cádmio, de hidreto metálico ou de iões de lítio.

2.3.1. Constituição e princípio de funcionamento

As baterias de ácido de chumbo compreendem várias células individuais, cada uma delas com uma tensão nominal de 2 V. Quando são montadas em bloco, as células são dispostas dentro de um invólucro comum, sendo internamente ligadas em série (por ex. 6 células de

2V em série formando um bloco de 12 V). Nos grandes sistemas de acumulação, as baterias são construídas geralmente como células individuais, devido ao seu peso.

Na forma mais simples, um acumulador é constituído externamente por um vaso e internamente por dois elétrodos interligados por um eletrólito constituindo o circuito interno. O conjunto de vários acumuladores em série forma uma bateria de acumuladores. Os elétrodos podem ser de diversos materiais metálicos tais como o cobre, zinco, prata, chumbo, etc. O eletrólito tanto pode ser um ácido como uma base. Os ácidos são ainda os mais utilizados.

As baterias de acumuladores armazenam ou fornecem energia elétrica através das reações químicas de oxidação-redução que se processam no seu interior. Este processo pode ser reversível, contrariamente ao que sucede nas pilhas onde a reação química se dá só num sentido e durante a descarga da mesma.

Pode dizer-se que as baterias de acumuladores transformam energia elétrica em energia química durante a carga e transformam depois essa energia química em energia elétrica durante a descarga. Durante o processo de carga tem lugar o incremento da diferença de potencial aos terminais da bateria, que será referenciada para efeitos de controlo de carga e de descarga da bateria. No circuito externo, a corrente elétrica é resultante do movimento de eletrões, no interior de cada acumulador a corrente é resultante da deslocação de iões de um eletrodo para outro. Durante esta fase, as matérias cativas vão-se esgotando e a reação abranda até que a bateria deixa de ser capaz de fornecer os elétrodos, o que significa que a bateria está descarregada. Invertendo o sentido da corrente elétrica, a reação química no interior da bateria inverte-se, carregando novamente a bateria. Este processo não é completamente reversível, uma vez que pequenas quantidades de sulfato de chumbo não se voltam a dissolver (sulfatação). Em resultado do processo de carga/descarga, a capacidade da bateria diminui. Esta perda de capacidade é maior quanto maior for a profundidade da descarga. Se for utilizada apenas uma parte da capacidade da bateria, então a diminuição é relativamente pequena, pelo que a vida da bateria, isto é, o seu número de ciclos, aumenta consideravelmente para operações caracterizadas por fracas descargas.

2.3.2. Tipologia

Existem diversos tipos de baterias, para diferentes utilizações. Começamos então por falar das baterias de acumuladores de chumbo-ácido, que são as que nos interessam para a

presente dissertação. Como o próprio nome indica, o eletrólito é um ácido, normalmente o ácido sulfúrico, e os elétrodos (placas) são de chumbo. A diferença de potencial, ou tensão, de cada acumulador elementar situa-se à volta de 2V.

Estas são as baterias mais comuns nas instalações FV. As baterias de ácido de chumbo podem ser divididas em diferentes tipos, de acordo com a tecnologia da placa e o tipo de eletrólito que utilizam. Nas instalações solares são normalmente utilizadas baterias húmidas de eletrólito fluido (conhecidas por baterias solares), baterias de gel, baterias estacionárias de placa tubular e baterias de bloco.

- **Baterias de gel (Baterias VRLA – *Valve Regulated Lead Acid*)**

A bateria de gel de chumbo constitui uma versão melhorada da normal bateria de ácido de chumbo. As suas principais vantagens são: não tem problemas de estratificação e é caracterizada por uma reduzida sulfatação do ácido, possui um maior ciclo de vida útil, não liberta gases, o invólucro é completamente selado, isento de derrames e não requer cuidados de manutenção.



Figura 32 - Bateria VRLA

(Fonte: www.valve-regulatedleadacidbattery.com)

- **Baterias estacionárias com placas tubulares (tipo OPzS e OPzV)**

Este tipo de baterias é usualmente utilizado em operações permanentes, durante períodos que vão de quinze a vinte anos e em grandes instalações FV. O peso, o volume, o custo da instalação (pode ser necessário construir uma plataforma que suporta o banco de baterias) e os preços comerciais, que podem ser duas a três vezes superiores aos restantes tipos de baterias, são as características principais desta solução. O ciclo de vida das baterias OPzS e OPzV é significativamente maior do que nos restantes tipos de baterias.



Figura 33 - Bateria tipo OPzS
(Fonte: productos.renobat.eu)

- **Baterias de bloco com placas positivas planas**

As baterias de bloco de eletrólito fluido estão classificadas entre as baterias estacionárias. Os elétrodos positivos neste caso são placas planas, um compromisso entre as placas radiais (grelha) e as placas tubulares. As baterias de bloco caracterizam-se pela sua elevada fiabilidade e ciclo de vida.

2.3.3. Caraterísticas das baterias [3]

A escolha das baterias para um painel FV deve ser criteriosa e ter em atenção certas considerações, tais como:

A **capacidade** (em Ah), que indica o valor da corrente que teoricamente uma bateria seria capaz de fornecer durante uma hora em condições de temperatura standard (CTS), de 25 °C. O **tempo de descarga**, que é o tempo convencional para o qual a bateria deve descarregar e que corresponde à sua capacidade estipulada.

Exemplos: C10 (baterias de arranque), C20 (baterias estacionárias) e C100 (baterias usadas em aplicações FVs).

Temos uma relação directa entre a capacidade e o tempo de descarga da bateria, expressa por:

$$C_n = I_n \times t_n \quad (2.21)$$

Sendo:

C_n : Capacidade da bateria, em ampère-hora;

I_n : Corrente de descarga, em ampères;

t_n : Tempo de descarga da bateria, em horas.

Em seguida é dado um exemplo de interpretação das características da bateria.

Tabela 3 - Capacidade versus tempo de descarga de uma bateria de acumuladores [10]

Bateria	10 h	8 h	5 h	3 h	1 h
150 Ah C10	150 Ah 15 A×10 h	144 Ah 18 A×8 h	129 Ah 25,8 A×5 h	106 Ah 35,3 A×8 h	72 Ah 72 A×1 h

Analisando esta tabela, conclui-se o seguinte:

- Quanto maior for a corrente de descarga, menor será a energia total fornecida pelo acumulador;
- Quanto menor for o tempo de descarga, menor será a carga total fornecida pela bateria e, conseqüentemente, mais reduzida será a sua eficiência e o tempo de vida útil da bateria é também afectado negativamente;
- Quanto mais lentas forem a carga e descarga, maior será a durabilidade da bateria [10].

A **energia específica** (em Wh) é o total de energia que a bateria pode fornecer por unidade de massa, para uma determinada taxa de descarga.

A **densidade energética** (em Wh) é o total de energia que a bateria pode fornecer por unidade de volume, para uma determinada taxa de descarga.

A **densidade de potência** está relacionada com a densidade de energia que a bateria pode fornecer durante uma descarga rápida. É uma característica importante para aplicações tais como o arranque de veículos eléctricos, mas não muito importantes para aplicações FVs.

Os **ciclos de vida** representa o número de vezes que a bateria pode ser descarregada e carregada durante a sua vida útil. Este valor está inversamente relacionado com a taxa de descarga, quanto maior for a taxa de descarga, menor será o tempo de vida. Quando a bateria não consegue apresentar uma carga superior a 80% da carga nominal, considera-se o seu ciclo de vida terminado.

A **autodescarga** é a percentagem da descarga da bateria mesmo quando não utilizada (normalmente cerca de 3% ao mês).

A **profundidade de descarga** (*DOD-deep of discharge*) é o valor máximo aconselhado para a descarga da bateria. Quando a característica de um acumulador refere a capacidade total,

esta não é a capacidade utilizável, portanto a capacidade de descarga é limitada a um determinado valor (excepto nas baterias Li-íão e Ni-Cd).

Tabela 4 - Profundidade de descarga por tipo de bateria de acumuladores [2]

Tipo de bateria	Profundidade de descarga (K_D)
Estacionária Pb/Ácido	0,6
De arranque Pb/Ácido	0,4
Sem manutenção Pb/Ácido	0,5
Alcalina Ni/Cd	1

A profundidade de descarga das baterias influencia fortemente a vida útil das mesmas relativamente ao número de ciclos carga/descarga.

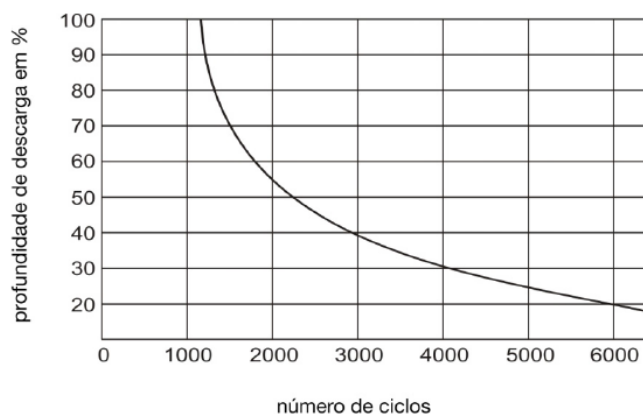


Figura 34 – Número de ciclos em função da profundidade de descarga [3]

A **tensão** é normalmente de 2V, 6V e 12 V.

A **eficiência** (ou rendimento energético) é a relação, em percentagem, entre a energia fornecida na carga e a energia obtida na descarga. Em condições de funcionamento ideais pode atingir o valor de 95%. Os valores mais reais são abaixo deste valor, dependendo das utilizações.

A Figura 35 apresenta um exemplo da variação da capacidade de uma bateria com a temperatura.

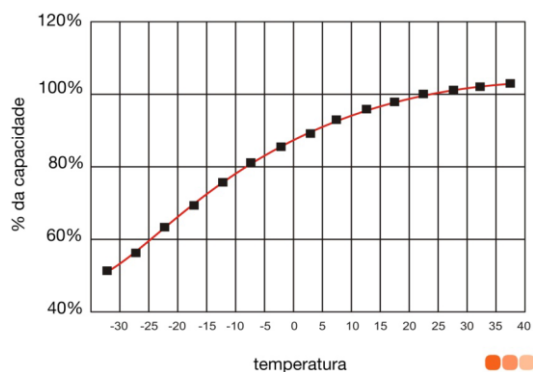


Figura 35 – Variação da capacidade de bateria com a temperatura [3]

Os **preços das baterias** são por si só uma condicionante, podendo mesmo ajudar a decidir a escolha do tipo de bateria.

2.3.4. Associação de baterias

As baterias podem ser associadas (ou seja, ligadas) através de duas diferentes formas: em série e em paralelo.

Associação em série

Se o objectivo consistir em garantir a obtenção de tensões mais elevadas, as baterias devem ser associadas em série. A figura 36 mostra esquematicamente um conjunto de 6 baterias associadas em série.

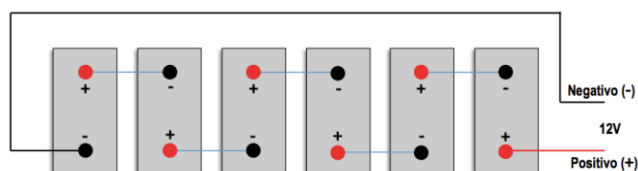


Figura 36 – Representação esquemática de baterias associadas em série [9]

Nas baterias associadas em série, a corrente (capacidade) é mantida e a tensão é incrementada:

$$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (2.22)$$

$$I_{\text{total}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2.23)$$

Associação em paralelo

As baterias são associadas em paralelo quando se pretende obter correntes mais elevadas, com a tensão inalterada.

A Figura 37 mostra esquematicamente um conjunto de 4 baterias associadas em paralelo.

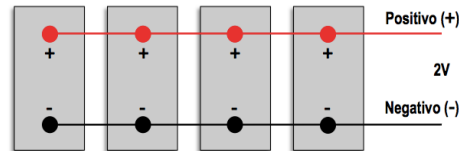


Figura 37 – Representação esquemática de baterias associadas em paralelo [9]

Nas baterias associadas em paralelo, a tensão é mantida e a corrente (capacidade) é incrementada:

$$U_{\text{total}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (2.24)$$

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (2.25)$$

Associação mista

A associação mista é feita quando se pretende obter simultaneamente correntes (capacidades) e tensões mais elevadas.

2.4. Inversor bidirecional (*Sunny Island*)

O inversor bidirecional (inversor carregador de baterias) é um inversor que tem um carregador de bateria e um relé de transferência interno. Quando os terminais do inversor recebem energia de uma fonte exterior em AC verificam se existe carga disponível nas baterias. Caso não, passam diretamente a energia da rede pública carregando simultaneamente as baterias. Este tipo de inversores possui contatos que podem ser programados para muitas aplicações. Estes reagem muito rapidamente, por exemplo, na disponibilidade da rede, na tensão da bateria, etc.

Também podem ser programados com temporizador, ou ligados em horários concretos (durante a noite, o fim de semana, etc.). O gerador de apoio poderá ser a *diesel*, um aerogerador, a rede elétrica, etc.

Este tipo de inversores permite ligações em monofásico, monofásico em paralelo e trifásico.

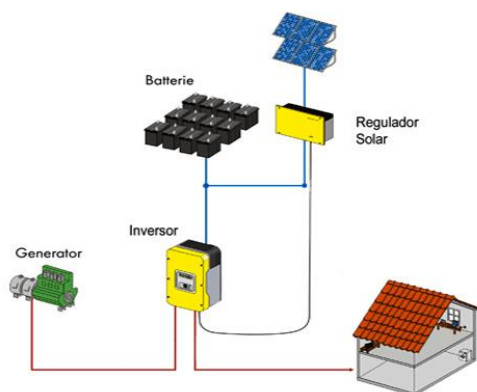


Figura 38 – Esquemática de sistema híbrido com inversor bidirecional
(Fonte: www.solarta.com)

2.5. Grupo eletrogéneo

Denominamos grupo diesel-gerador ao conjunto motor-gerador de corrente alternada, aqui denominado alternador, convenientemente montados, dotado dos componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo *diesel*. Em função dos consumidores de energia elétrica a que se destinam, os grupos geradores são construídos com características especiais que os tornam apropriados para diversas aplicações. São muitos os fatores a serem considerados antes da aquisição do equipamento adequado. Os fornecedores de grupos geradores tendem a padronizar os seus produtos, evitando os fornecimentos especiais sob encomenda, o que na prática é inviável, pois há situações em que alguns requisitos do ambiente e dos consumidores não podem deixar de ser atendidos. É o caso, por exemplo, dos equipamentos de telecomunicações, que necessitam de tensão e frequência sem oscilações, com baixos fatores de interferência, que somente se consegue, em grupos geradores, com alternadores especialmente fabricados para esta finalidade. Outro exemplo são os grupos geradores para uso naval, fabricados sob fiscalização das sociedades classificadoras, que em tudo diferem do que seria considerado um grupo gerador de uso industrial. Outros fatores, como nível de ruído, capacidade de operar em paralelo com outro grupo ou com a rede local, tempo de partida, capacidade de partida e parada automática, telemetria e controle remoto, durabilidade estendida do óleo lubrificante, em muitos casos, são exigências inerentes aos consumidores a serem atendidas pelo equipamento. Em todas

as situações, uma avaliação criteriosa deve ser feita como parte do projeto da instalação de um grupo gerador [7].

2.5.1. Motor *diesel*

São máquinas térmicas alternativas, de combustão interna, destinadas ao suprimento de energia mecânica ou força motriz de acionamento. O nome é devido a *Rudolf Diesel*, engenheiro francês nascido em Paris, que desenvolveu o primeiro motor em Augsburg - Alemanha, no período de 1893 a 1898. Oficialmente, o primeiro teste bem sucedido foi realizado no dia 17 de fevereiro de 1897, na *Maschinenfabrik Augsburg*.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes. Os sistemas que constituem os motores *diesel* são:

1. Sistema de Admissão de ar;
2. Sistema de Combustível, aí incluindo-se os componentes de injeção de óleo *diesel*;
3. Sistema de Lubrificação;
4. Sistema de Arrefecimento;
5. Sistema de Exaustão ou escapamento dos gases;
6. Sistema de Partida.

O motor, propriamente dito, é composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos acionados, como, por exemplo, um gerador de corrente alternada, que denominamos alternador.

Os componentes internos estão sujeitos a desgastes inevitáveis, porém sua durabilidade e performance dependem unicamente dos cuidados que forem dispensados aos sistemas [7].

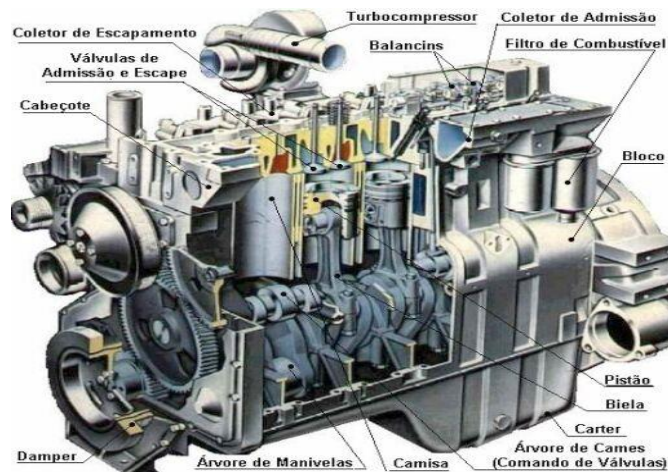


Figura 39 – Motor de combustão interna
 (Fonte: motordecombustaoexterna.blogspot.com)

Princípios de funcionamento

Os motores de combustão interna, segundo o tipo de combustível que utilizam, são classificados em motores do ciclo Otto e motores do ciclo *diesel*, nomes devidos aos seus descobridores.

- **Motores do ciclo Otto**

Motores que aspiram a mistura ar-combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão da mistura é provocada por centelha produzida numa vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás, ou metanol, que são utilizados, em geral, nos automóveis [7].

- **Motores do ciclo *diesel***

Motores que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por autoignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar, na maioria dos motores do ciclo *diesel* é o óleo diesel comercial, porém outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo *diesel* não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores segundo o processo Diesel podem ser utilizados também carvão em

pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível no processo Diesel, nos motores conhecidos como de combustível misto ou conversíveis, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

Para os combustíveis líquidos, as diferenças principais entre os motores do ciclo *otto* e do ciclo *diesel* são [7]:

Tabela 5 - Diferenças entre ciclos de motores

Motores de Combustão Interna a Pistão		
Característica	Ciclo Otto	Ciclo Diesel
Tipo de Ignição	Por centelha (Vela de ignição)	Autoignição
Formação da mistura	No carburador	Injeção
Relação de Compressão	6 até 8 : 1	16 até 20 : 1

(No motor Otto de injeção o combustível é injetado na válvula de admissão, ou diretamente na tomada de ar do cilindro antes do término da compressão.)

- **Regulação da velocidade**

A rotação de trabalho do motor Diesel depende da quantidade de combustível injetada e da carga aplicada à árvore de manivelas (potência fornecida à máquina acionada). Também é necessário limitar a rotação máxima de trabalho do motor, em função da velocidade média do pistão, que não deve induzir esforços que superem os limites de resistência dos materiais, bem como da velocidade de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escapamento, que a partir de determinados valores de rotação do motor, começam a produzir efeitos indesejáveis. Nas altas velocidades, começa haver dificuldade no enchimento dos cilindros, devido ao aumento das perdas de carga e a inércia da massa de ar, fazendo cair o rendimento volumétrico.

Como a quantidade de combustível injetada é dosada pela bomba injetora, por meio da variação de débito controlada pelo mecanismo de aceleração, limita-se a quantidade máxima de combustível que pode ser injetada. Dependendo do tipo de motor, essa limitação é feita por um batente do acelerador, que não permite acelerar o motor além daquele ponto. O mecanismo de aceleração, por si só, não é capaz de controlar a rotação do motor quando ela

tende a cair com o aumento da carga ou a aumentar com a redução da mesma carga. É necessário então outro dispositivo que assegure controlo da dosagem de combustível em função das solicitações da carga. Na maioria dos motores, este dispositivo é constituído por um conjunto de contrapesos girantes, que por ação da força centrífuga, atua no mecanismo de aceleração de modo a permitir o suprimento de combustível sem variações bruscas e respondendo de forma suave às solicitações da carga. Conhecidos como reguladores ou governadores de rotações, são utilizados em todos os motores Diesel e, dependendo da aplicação, como visto no início deste trabalho, tem características distintas e bem definidas. No caso específico dos motores para grupos Diesel-geradores, a regulação da velocidade é um item particularmente crítico, uma vez que a frequência da tensão gerada no alternador necessita ser mantida constante, ou seja, o motor Diesel deve operar em rotação constante, independente das solicitações da carga. Isto significa que a cada aparelho elétrico que se liga ou desliga, o governador deve corrigir a quantidade de combustível injetada, sem permitir variações da RPM, o que é quase impossível, dado o tempo necessário para que as correções se efetivem [7].



Figura 40 – Controlo do GG analógico e digital respectivamente
(Fonte: FG Wilson)

2.5.2. Alternador

Denominamos alternador ao gerador de corrente alternada, assim como denominamos dínamo ao gerador de corrente contínua. Os geradores são máquinas destinadas a converter energia mecânica em energia elétrica. A transformação de energia nos geradores fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Faraday. Esta lei afirma que "quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o

campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz."

Os alternadores pertencem a categoria das máquinas síncronas, isto é, máquinas cuja rotação é diretamente relacionada ao número de polos magnéticos e à frequência da força eletromotriz. Não há, basicamente, diferenças construtivas entre um alternador e um motor síncrono, podendo um substituir o outro sem prejuízo de desempenho. Assim, um alternador quando tem seu eixo acionado por um motor, produz energia elétrica nos terminais e, ao contrário, recebendo energia elétrica nos seus terminais, produz energia mecânica na ponta do eixo, com o mesmo rendimento.

A indução magnética ocorre sempre que há movimento relativo entre um condutor e um campo magnético. O gerador elementar, concebido por Michael Faraday em 1831, na Inglaterra e mais ou menos na mesma época por Joseph Henry, nos Estados Unidos, era constituído por uma espira que girava entre os polos de um ímã, semelhante à figura 42 [7]:

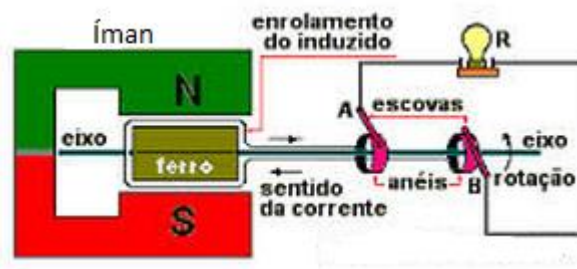


Figura 41 - Gerador electrico de corrente alternada de Faraday
(Fonte: <http://dc436.4shared.com/doc/Y4GpfJlJ/preview.html>)

Maxwell estabeleceu, ainda, que os valores instantâneos da força eletromotriz (ou tensão) podiam ser calculados pela relação [7]:

$$e = B \times l \times v \times \sin \theta \quad (2.26)$$

Em que:

e = Força eletromotriz;

B = Indução do Campo Magnético;

l = Comprimento do condutor;

v = Velocidade linear de deslocamento do condutor e

θ = Ângulo formado entre os vetores B e v .

O campo magnético da figura 41 é constituído por ímãs permanentes. Para que seja possível controlar tensão e corrente em um alternador, o campo magnético é produzido por ímãs artificiais, formados por bobinas alimentadas com corrente contínua suprida por uma fonte externa e controlada por um regulador de tensão.

Mecanicamente, o alternador é constituído por duas partes principais: parte fixa, o *estator* e a parte móvel, o *rotor*.

Eletricamente, também, são duas partes principais. Uma delas é responsável pelo campo magnético, onde estão localizados os pólos do alternador, que chamamos de campo (ou indutor). A outra parte é onde aparece a força eletromotriz, a qual chamamos de induzido.



Figura 42 - Alternador
(Fonte: www.tellhowpower.com.pt)

O posicionamento do campo e do induzido dão origem a dois tipos de máquinas diferentes. Quando o campo está localizado no estator, temos o que chamamos de máquina de polos fixos (ou de polos externos) e, ao contrário, quando o campo se encontra no rotor, temos o que chamamos de máquina de polos girantes (ou de polos internos). As máquinas de polos fixos são pouco utilizadas devido ao inconveniente da necessidade de escovas para retirar a energia gerada. As máquinas de polos girantes são as mais utilizadas por permitirem a retirada da energia diretamente dos terminais das bobinas [7].

Número de fases

Pode-se ainda distinguir os alternadores segundo o número de fases, que, no caso presente, são:

- **Alternadores monofásicos**

São aqueles que possuem as bobinas do enrolamento induzido de tal forma que a tensão de saída é obtida em dois pontos terminais [7].

- **Alternadores trifásicos**

Possuem três grupos independentes de bobinas, montadas desfasadas em 120° entre si, sendo ligadas de tal maneira que podemos ter três ou quatro pontos de ligação para os consumidores. Em geral, cada grupo independente de bobinas tem duas bobinas separadas, para permitir que, com o fechamento das ligações externas, se obtenha valores diferentes de tensão, como veremos adiante. O tipo de fechamento normalmente utilizado é o "estrela com neutro acessível", onde existe um ponto de ligação para cada fase mais um ponto denominado "neutro", que é constituído pelo fechamento das extremidades das bobinas. A tensão entre os três pontos terminais de cada fase é sempre a mesma, que deve corresponder ao tipo de fechamento escolhido. A tensão medida entre cada fase e o neutro é menor, sendo, numericamente, igual ao valor da tensão entre fases dividida pela raiz quadrada de 3. O neutro é para ser ligado ao eléctrodo de terra da instalação eléctrica local.

No sistema trifásico ligado a carga equilibrada não deve haver circulação de corrente pelo condutor neutro, o que na prática resulta muito difícil, razão pela qual, os alternadores chamados industriais são construídos para suportar um desequilíbrio de carga entre fases máximo de 15%, valor que não deve ser excedido, pois além de provocar funcionamento irregular e diferenças de tensão entre fases, pode danificar o alternador [7].

2.5.3. Poência do alternador

A potência do alternador é definida em S (potência aparente) e que a potência ativa é definida em P , sendo o fator de potência ($\cos\phi$). Existe ainda a potência reativa, Q , que surge nos circuitos eléctricos com cargas indutivas, especialmente motores eléctricos.

A potência ativa, P , é calculada, para circuitos trifásicos com cargas equilibradas, conhecidos os valores de tensão composta (U_c), da corrente (I) e do fator de potência ($\cos\phi$), pela relação [8]:

$$P = \sqrt{3} \times U_c \times I \times \cos\phi \quad (2.27)$$

A potência reativa, Q , é calculada, para circuitos trifásicos, pela relação [7]:

$$Q = \sqrt{3} \times U_c \times I \times \sin \varphi \quad (2.28)$$

Sendo:

S: Potência aparente, em kVA;

P: Potência activa, em kW;

Q: Potência reactiva, em kVAr;

U_c : Tensão trifásica, em volt;

U_o : Tensão monofásica, em volt;

I: Corrente eléctrica, em ampere.

Na realidade, a potência aparente é a soma vetorial das potências activa e reactiva. No triângulo de potências abaixo, pode-se visualizar as relações que existem entre as três potências:

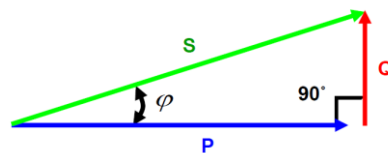


Figura 43 - Triângulo de potências

(Fonte: Utilização Racional de Energia, ISEP)

Das relações geométricas do triângulo retângulo, obtem-se a equação seguinte:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.29)$$

É fácil perceber que, mantendo-se constante o valor de P, quanto maior for o valor de Q, menor será $\cos\varphi$ e maior será S. Por isso o fator de potência é universalmente denominado $\cos\varphi$.

Tipos de potência

- **Potência de Emergência**

A máxima potência que um grupo eletrogéneo pode fornecer durante uma falha de rede trabalhando a baixa carga variável durante um tempo de operação não superior a 200 horas por ano. A potência média, em períodos de 24 horas, não deve ultrapassar os 70%, salvo indicação contrária do fabricante do motor. Não é permitido nenhum tipo de sobrecarga.

- **Potência Principal**

A potência máxima que um grupo eletrogéneo pode fornecer em funcionamento contínuo a uma carga variável durante um período de tempo ilimitado de horas por ano. A potência média, em períodos de 24 horas, não deve ser superior a 70%, salvo indicação contrária dos fabricantes dos motores Diesel.

- **Potência em Contínuo**

A máxima potência que um grupo eletrogéneo pode fornecer em contínuo trabalhando a carga contínua durante um número ilimitado de horas por ano.

2.5.4. Rendimento mecânico do alternador

O rendimento do alternador é definido em termos percentuais pela relação entre a potência elétrica por ele fornecida aos consumidores e a potência mecânica absorvida do motor acionador. É sempre menor que 1 [7].

$$\eta = \frac{P_{elet}}{P_{mec}} \quad (2.30)$$

O rendimento do alternador (η) não é constante e se aproxima do seu valor máximo com a carga entre 80 e 100% da potência máxima. Alternadores pequenos tem rendimento mais baixo do que os alternadores maiores. Deve ser informado pelo fabricante para cálculos mais seguros. Quando se tratar de cálculos estimativos, pode ser tomado igual 90% (ou 0,9), que é o valor adotado pelos montadores de grupos geradores, em geral.

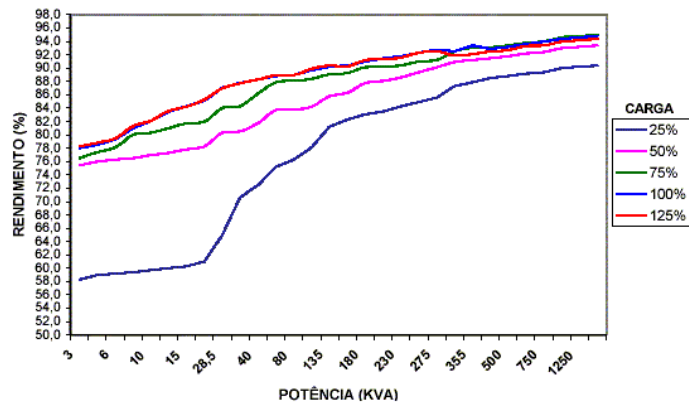


Figura 44 – Rendimento de alternador
(Fonte: www.joseclaudio.eng.br)

2.5.5. Frequência

Como dissemos anteriormente, o alternador é uma máquina síncrona cuja velocidade de rotação e frequência estão relacionadas com o número de pólos [7].

$$f = \frac{N \times N_p}{120} \quad (2.31)$$

Sendo:

f = frequência (em Hz);

N = velocidade de rotação (em rpm) e

N_p = número de pólos.

Assim, um alternador de 50 Hz que trabalha a 1500 rpm tem 4 polos.



Figura 45 – Grupo eletrogêneo (não canopiado)
(Fonte: produto.mercadolivre.com.br)

2.6. Sistema de bombagem de água

Em Moçambique, apenas 30% da população rural tem acesso à água potável, contra 72% nas zonas urbanas, revelam dados da Direção Nacional de Águas (Ministério das Obras Públicas e Habitação). O acesso à água potável continua a estar muito aquém das necessidades da população moçambicana. Os mais penalizados são os que vivem nas zonas rurais.

Segundo o Ministro das Obras Públicas e Habitação, a cobertura nacional em abastecimento de água às comunidades rurais passou de 15%, em 1997, para 58,6%, em 2011.

Este crescimento deveu-se à contínua implementação de vários projetos, com destaque para o projeto de Água e Saneamento para as províncias nortenhas de Nampula e Niassa que contribuiu com mil fontes de água.

Mais ainda, o programa “Iniciativa um Milhão” em curso abriu 1.600 fontes de água nas províncias de Tete, Manica e Sofala, Centro de Moçambique.

Há outros projetos de vulto em implementação nas províncias de Gaza (Sul), Zambézia (Centro) e Cabo Delgado (Norte do país).

Está ainda em curso o Programa Nacional de Água e Saneamento Rural (PRONASAR) que criou um mecanismo de financiamento através de um fundo comum dedicado exclusivamente ao desenvolvimento das atividades de abastecimento de água e saneamento rural.

Com este programa, serão construídas até 2015, em todo o país, 12 mil fontes dispersas de água e 120 pequenos sistemas de abastecimento do precioso líquido, servindo mais de 4,5 milhões de pessoas.

A figura 46 apresenta dois sistemas de bombeamento e abastecimento de água, nomeadamente: o manual e o solar.



Figura 46 – Sistemas de bombeamento de água (manual e solar, respetivamente)
(Fonte: Estratégia de Desenvolvimento do Sector de Águas de Moçambique)

3. Dimensionamento do Sistema Híbrido para Alimentação de Energia Elétrica da Escola Rural de Nangade

3.1. Avaliação das necessidades energéticas

O correto dimensionamento de uma instalação é fundamental, tanto para o perfeito funcionamento da mesma, como para o prolongamento da sua vida útil. Como tal, os elementos que fazem parte desta instalação (em particular o painel fotovoltaico, o banco de baterias, gerador eólico e o grupo eletrógeno) devem guardar entre si um espaço justo e equilibrado, evitando ocupar mais ou menos espaço do que o recomendado.

Quanto maior for a potência do sistema maior será a capacidade das baterias a instalar para que sejam satisfeitas as necessidades energéticas do sistema com o conseqüente aumento dos custos económicos e menores serão as possibilidades de falha no sistema.

O objetivo do dimensionamento é o de calcular os constituintes deste (potência dos geradores, capacidade das baterias, potência dos inversores, secções de cabos, as proteções, etc.) para garantir o melhor funcionamento e redução de custos em consumo elétrico.

Geralmente, o procedimento básico de dimensionamento divide-se em três partes fundamentais:

- Estimativa das necessidades energéticas a serem abrangidas;
- Avaliação da energia solar disponível;
- Cálculo e escolha dos componentes da instalação.

Segundo o programa do governo, todas as infraestruturas escolares das zonas rurais (e não só) têm que ter, entre outros, um centro de saúde e um sistema de bombagem de água para a escola e para toda população circunvizinha.

Antes se apresentam as principais infraestruturas que constituem a Escola Rural de Nangade.

Tabela 6 - Infraestruturas da Escola Rural de Nangade

Item	Designação	Designação
1	Bloco de 2 salas de aula	Bloco S2
2	Bloco de 2 salas de aula com gabinetes	Bloco S2G
3	Bloco de 3 salas de aula	Bloco S3
4	Bloco de 3 salas de aula com gabinetes	Bloco S3G
5	Bloco administrativo	Bloco Ad
6	Residência do diretor da escola	Bloco CA-1
7	Residência do diretor adjunto da escola	Bloco CA-2
8	Residência do diretor do C. de Saúde	Bloco CA-3
9	Residência do diretor adjunto do C. Saúde	Bloco CA-4
10	Centro de Saúde	Bloco CS
11	Bloco sanitário	Bloco L2
12	Bloco do sistema de bombeamento de água	Bloco SBA

Na tabela 7 apresenta-se os principais equipamentos de utilização da escola, com as respectivas figuras.

Tabela 7 - Características dos equipamentos de utilização

Item	Equipamento	Tipo	Potência (W)
1	Lâmpada fluorescente	TL5	28
2	Lâmpada fluorescente	TL5	14
3	Lâmpada fluorescente	PLS	9
4	TV	LCD	100
5	PC	LCD	100
6	Frigorífico	Baixo consumo	200
7	Eletrobomba submersível	(em AC)	1.100



Figura 47 – Lâmpadas de baixo consumo TL5 e PLS
(Fonte: Philips)



Figura 48 – Televisor LCD e Computador LCD
(Fonte: www.hiwtc.com)



Figura 49 – Frigorífico e eletrobomba submersível
(Fontes: www.ikea.com e www.planob.pt, respetivamente)

3.2. Estimativa das necessidades energéticas

Qualquer que seja o dimensionamento é necessário identificar as principais cargas da infraestrutura de modo a prever os respetivos consumos.

Cálculo luminotécnico

No cálculo do número de luminárias a instalar nos diversos compartimentos da escola foi aplicado o *software* luminotécnico da *DIALUX* disponível na *internet* (Anexos 10-15).

Na tabela 8 estão representados os dados utilizados no cálculo luminotécnico de alguns compartimentos da escola.

Tabela 8 – Cálculo luminotécnico

Item	Designação	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura montagem luminária (m)	Plano de uso (m)	Coeficientes de reflexão da luz (%)			Fator de manutenção	Luminária	N. luminárias
						solo	teto	paredes			
1	Sala de professores	4,4	4,3	2,8	0,8	20	50	80	0,90	ELBA FIA-11-228 T5	3
2	Sala de aula	8	7	2,8	0,8	20	50	80	0,90	ELBA FIA-11-228 T5	6
3	Gabinete de diretor	3,62	2,7	2,8	0,8	20	50	80	0,90	ELBA FIRA-07-228	2
4	Secretaria da escola	3,62	2,65	2,8	0,8	20	50	80	0,90	ELBA FIA-11-228 T5	2

Nas tabelas de 9 a 20 apresentam-se as quantidades dos equipamentos (cargas) instalados e suas potências P_i , as horas de consumo diário e a energia consumida (W_i), a potência total (P_D) e a energia total de cada bloco escolar (W_D).

Tabela 9 - Necessidades de consumo do bloco S2

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P_i (W)	W_i (Wh)
1	Lâmpadas salas de aula	12	8	68	816	6528
2	Lâmpadas iluminação exterior	2	8	12	24	192
3	PC	2	3	100	200	600
4	TV	1	3	100	100	300
5	Vídeo	1	5	100	100	500
	Total				1240	8120

Tabela 10 - Necessidades de consumo do bloco S2G

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P_i (W)	W_i (Wh)
1	Lâmpadas sala de aula	12	8	68	816	6528
2	Lâmpadas gabinetes	4	8	68	272	2176
3	Lâmpadas iluminação exterior	3	8	12	36	288
4	PC	2	3	100	200	600
5	TV	1	3	100	100	300
6	Vídeo	1	5	100	100	500
	Total				1524	10392

Tabela 11 - Necessidades de consumo do bloco S3

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas sala de aula	18	8	68	1224	9792
3	Lâmpadas iluminação exterior	3	8	12	36	288
4	PC	3	3	100	300	900
5	TV	1	3	100	100	300
6	Vídeo	1	5	100	100	500
	Total				1760	11780

Tabela 12 - Necessidades de consumo do bloco S3G

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas sala de aula	18	8	68	1224	9792
2	Lâmpadas gabinetes	4	8	68	272	2176
3	Lâmpadas iluminação exterior	4	8	12	48	384
4	PC	20	8	100	2000	16000
5	TV	1	3	100	100	300
6	Vídeo	1	5	100	100	500
	Total				3744	29152

Tabela 13 - Necessidades de consumo do bloco Ad

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas sala professores	3	8	68	204	1632
2	Lâmpadas gabinete diretor	2	8	68	136	1088
3	Lâmpadas gabinete pedagógico	2	8	68	136	1088
4	Lâmpadas secretaria	2	8	68	136	1088
5	Lâmpada arrumos	1	2	12	12	24
6	PC	3	8	100	300	2400
7	TV	1	3	100	100	300
8	Vídeo	1	5	100	100	500
9	Frigorífico	1	8	200	200	1600
	Total				1324	9720

Tabela 14- Necessidades de consumo do bloco CA-1 (Diretor da Escola)

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas quartos	1	8	68	68	544
2	Lâmpadas sala comum	2	8	68	136	1088
3	Lâmpadas varanda	1	8	68	68	544
4	Lâmpadas exterior	2	8	12	24	192
5	Lâmpadas arrumo	1	1	12	12	12
6	Lâmpadas cozinha	1	2	68	68	136
7	Lâmpada WC	1	2	12	12	24
8	PC	1	8	100	100	800
9	TV	1	3	100	100	300
10	Vídeo	1	5	100	100	500
11	Frigorífico	1	8	200	200	1600
	Total				888	5740

Tabela 15 - Necessidades de consumo do bloco CA-2 (Diretor adjunto)

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas quartos	1	8	68	68	544
2	Lâmpadas sala comum	2	8	68	136	1088
3	Lâmpadas varanda	1	8	68	68	544
4	Lâmpadas exterior	2	8	12	24	192
5	Lâmpadas arrumo	1	1	12	12	12
6	Lâmpadas cozinha	1	2	68	68	136
7	Lâmpada WC	1	2	12	12	24
8	PC	1	8	100	100	800
9	TV	1	3	100	100	300
10	Vídeo	1	5	100	100	500
11	Frigorífico	1	8	200	200	1600
	Total				888	5740

Tabela 16 - Necessidades de consumo do bloco CA-3 (Diretor C. Saúde)

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas quartos	1	8	68	68	544
2	Lâmpadas sala comum	2	8	68	136	1088
3	Lâmpadas varanda	1	8	68	68	544
4	Lâmpadas exterior	2	8	12	24	192
5	Lâmpadas arrumo	1	1	12	12	12
6	Lâmpadas cozinha	1	2	68	68	136
7	Lâmpada WC	1	2	12	12	24
8	PC	1	8	100	100	800
9	TV	1	3	100	100	300
10	Vídeo	1	5	100	100	500
11	Frigorífico	1	8	200	200	1600
	Total				888	5740

Tabela 17 - Necessidades de consumo do bloco CA-3 (Enfermeiro C. Saúde)

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas quartos	1	8	68	68	544
2	Lâmpadas sala comum	2	8	68	136	1088
3	Lâmpadas varanda	1	8	68	68	544
4	Lâmpadas exterior	2	8	12	24	192
5	Lâmpadas arrumo	1	1	12	12	12
6	Lâmpadas cozinha	1	2	68	68	136
7	Lâmpada WC	1	2	12	12	24
8	PC	1	8	100	100	800
9	TV	1	3	100	100	300
10	Vídeo	1	5	100	100	500
11	Frigorífico	1	8	200	200	1600
	Total				888	5740

Tabela 18 - Necessidades de consumo do C. Saúde

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas sala espera	3	8	68	204	1632
2	Lâmpadas gabinete diretor	2	8	68	136	1088
3	Lâmpadas triagem	2	8	68	136	1088
4	Lâmpadas secretaria	2	8	68	136	1088
5	Lâmpada arrumos	1	2	12	12	24
6	Lâmpadas iluminação exterior	2	5	12	24	120
7	PC	3	8	100	300	2400
8	TV	1	3	100	100	300
9	Vídeo	1	5	100	100	500
10	Frigorífico (vacinas)	1	8	200	200	1600
	Total				1348	9840

Tabela 19 - Necessidades de consumo do bloco L2

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Lâmpadas	1	2	12	12	24
	Total				12	24

Tabela 20 - Necessidades de consumo do bloco SBA

Item	Equipamentos	Quant.	Horas.dia ⁻¹	Pot.unid ⁻¹ (W)	P _i (W)	W _i (Wh)
1	Bombas de água	1	8	1100	1100	8800
2	Lâmpadas	1	8	56	56	448
3	Lâmpadas exterior	2	8	12	24	192
	Total				1180	9440

Na tabela 21 estão sintetizadas as necessidades energéticas diárias de cada infraestrutura e o total das necessidades energéticas.

Tabela 21 - Necessidades energéticas da Escola Rural da Nangade

Item	Designação	P_D (W)	W_D (Wh)
1	Bloco S2	1240	8120
2	Bloco S2G	1524	10392
3	Bloco S3	1760	11780
4	Bloco S3G	3744	29152
5	Bloco Ad	1324	9720
6	Bloco CA-1 (Diretor da Escola)	888	5740
7	Bloco CA-2 (Diretor adjunto)	888	5740
8	Bloco CA-3 (Diretor C. Saúde)	888	5740
9	Bloco CA-4 (Dir. Adjunto C. Saúde)	888	5740
10	C. Saúde	13144	92124
11	Bloco L2	40	320
12	Bloco SBA	1180	9440
13	TOTAL	27 508,0	194108,0

A tabela 21 apresenta os resultados seguintes:

Potência instalada: 27,51 kW;

Energia diária calculada: 194,1 kWh.

A prática mostra que as cargas duma instalação dificilmente funcionam em simultâneo, pelo que se vai aplicar um coeficiente de simultaneidade teórico de (K_s) de 75% para a potência e 60,3% para energia diária, resultando no seguinte:

- Potência diária estimada (P_{DE}): 20,6 kW;
- Energia média diária estimada (W_{DE}): 117,0 kWh.

3.3. Avaliação da energia solar disponível

Para estimativa energética solar disponível naquela área recorreu-se ao *software PVGIS Africa* (figura 50).

Na figura 50 apresentam-se a localização da Escola Rural de Nangade (província de Cabo Delgado), a eficiência do módulo FV (de silício cristalino), tipo de montagem (fixa), o ângulo ótimo de inclinação do sistema FV (de 13 graus) e o azimute (de 0 graus).

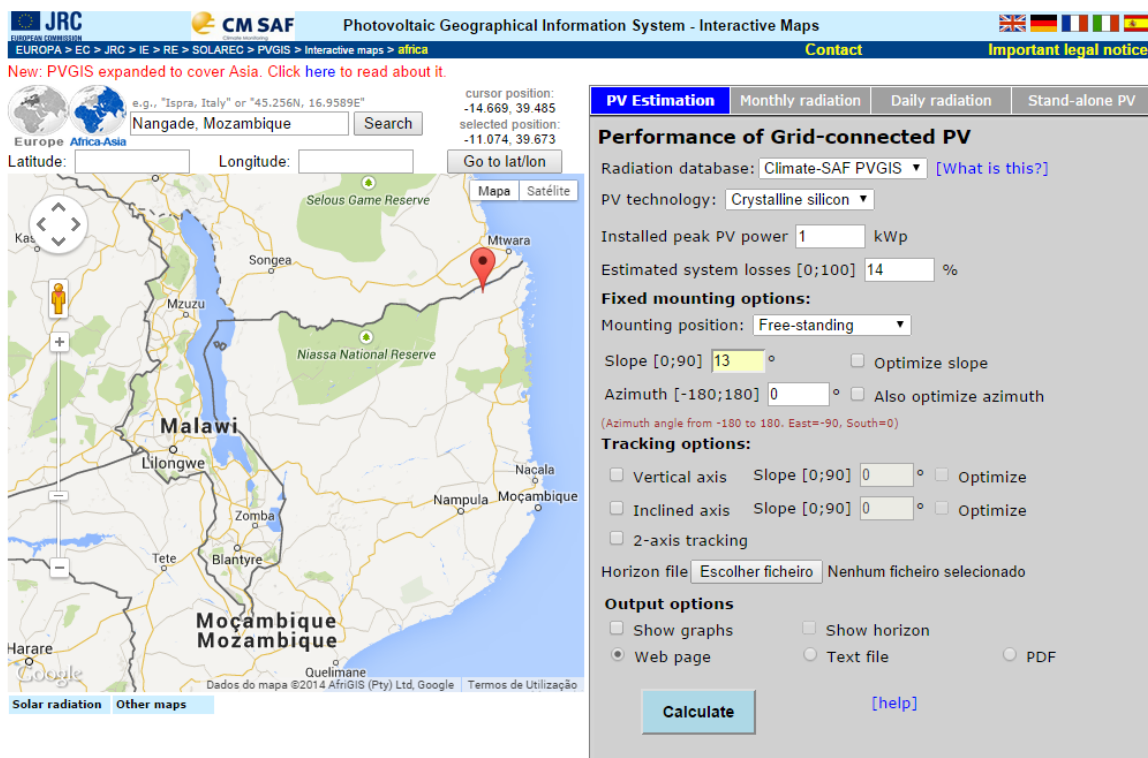


Figura 50 – Mapa da localização da Nangade
(Fonte: PVGIS)

A figura 51 apresenta-se, para além dos dados da figura anterior, uma tabela com estimativas da energia média diária produzida por 1 kWp pelo sistema FV, a energia média mensal produzida por 1 kWp pelo sistema FV, o valor médio diário da irradiância global e o valor médio mensal de irradiância global.

Para este trabalho interessa mais a estimativa da energia média diária produzida por 1 kWp do sistema FV referido na tabela e, por ser variável ao longo dos dias do ano, vai-se adoptar o valor da energia média diária produzida por 1 kWp do gerador FV.

Neste estudo adoptar-se-á 3,90 kWh (coluna E_d da tabela da figura 51) e, nestas condições, para os dias com necessidades energéticas superiores à média diária, será acionado o grupo eletrogéneo da escola.

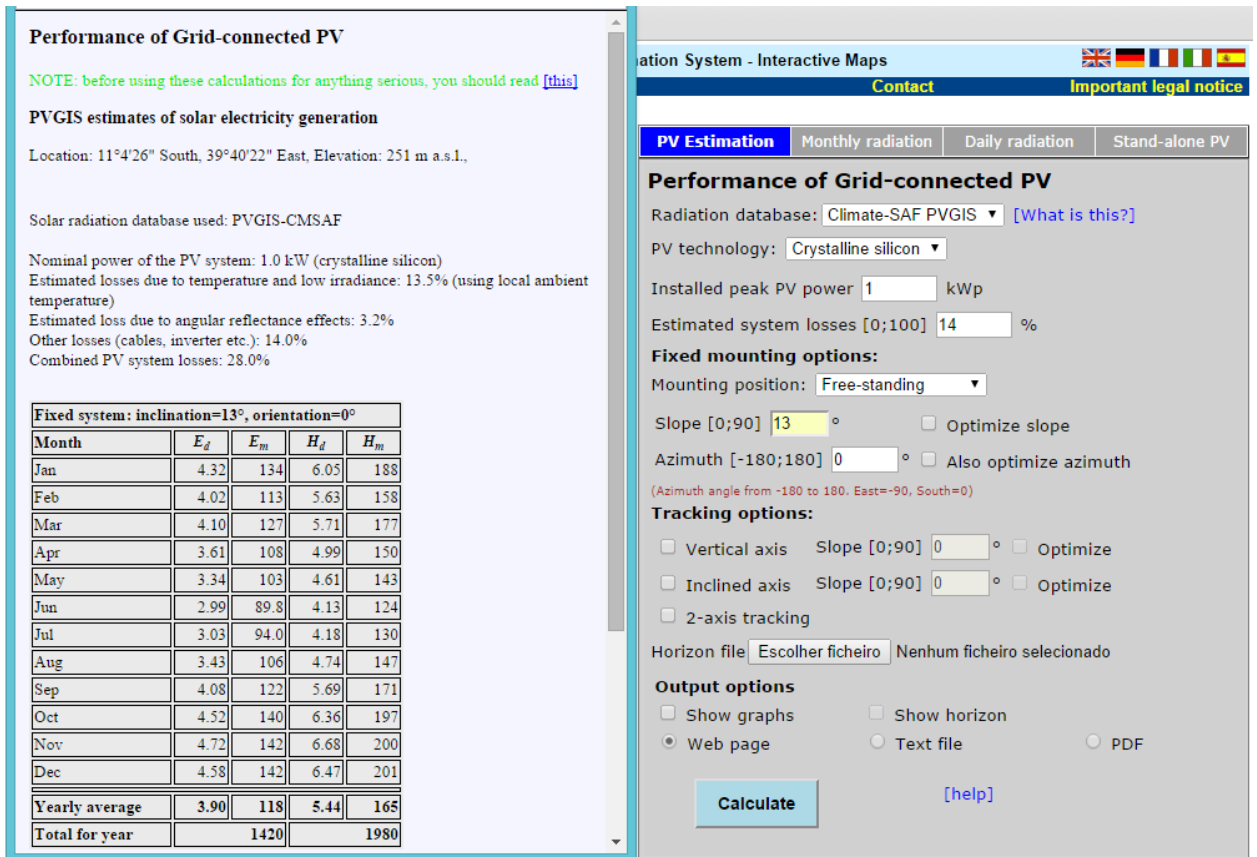


Figura 51 – Mapa da estimativa energética solar de Nngade
(Fonte: PVGIS)

Legenda:

E_d : Energia média diária produzida por cada kWp do gerador FV, em kWh.(kWp)⁻¹;

E_m : Energia média mensal produzida por 1 kWp do sistema FV, em kWh.(kWp)⁻¹;

H_d : Valor médio diário de irradiação global recebida por metro quadrado pelos módulos FV, em kWh.m⁻²;

H_m : Valor médio mensal de irradiação global recebida por metro quadrado pelos módulos FV, em kWh.m⁻².

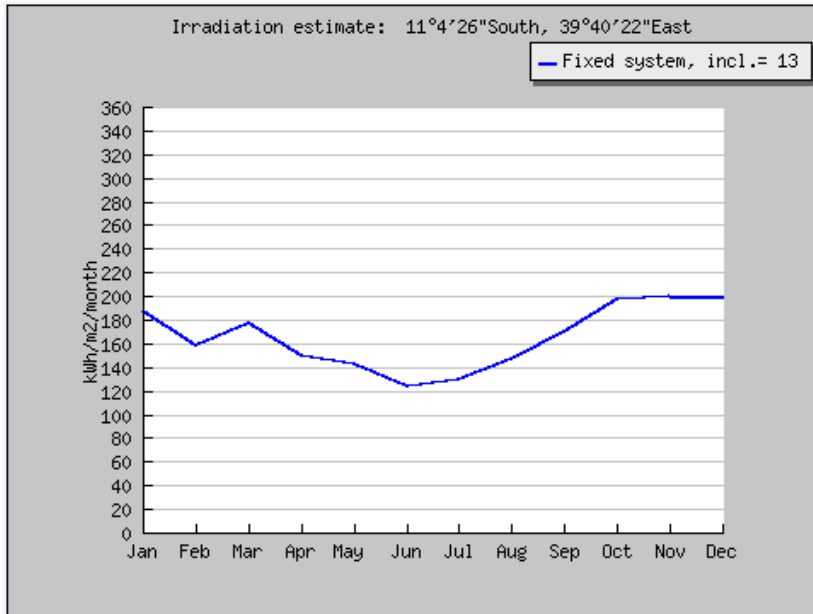


Figura 52 – Variação mensal da Irradiância de Nangade (Norte de Moçambique)
(Fonte: PVGIS)

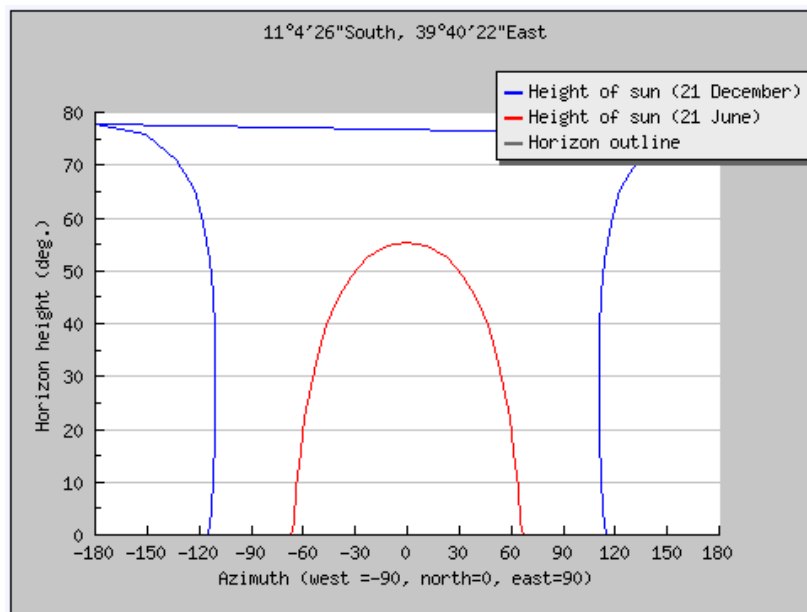


Figura 53 – Altura solar e Azimute de Nangade (Norte de Moçambique)
(Fonte: PVGIS)

Tanto a altura solar como o azimute, num momento determinado, serão diferentes para dois observadores que se encontrem em locais distintos da Terra, pelo que tem que se ter em conta a latitude geográfica em que foram calculados.

3.4. Cálculo e escolha dos componentes da instalação

3.4.1. Escolha do módulo FV

Neste dimensionamento, escolheu-se o módulo SPR-333NE-WHT-D, cujas características constam do Anexo 4.



Figura 54 – Módulo FV SPR-333NE-WHT-D
(Fonte: SUNPOWER)

3.4.2. Cálculo da potência do gerador FV

Para o cálculo considerar-se-ão os 3,90 kWh da tabela da figura 51 e a energia diária estimada (calculada) para o funcionamento pleno da escola, de 117,0 kWh.

$$P_{GFV} = \frac{W_{DE}}{E_d} \quad (3.1)$$

Sendo:

P_{GFV} : Potência do gerador FV;

W_{DE} : Energia diária estimada, em kWh;

E_d : Energia média diária produzida por cada kWp do gerador FV, em kWh.(kWp)⁻¹.

Tabela 22 - Potência do gerador FV do complexo escolar

Item	W_{DE}	E_d	P_{GFV} (kWp)
1	117,0	3,90	30,0

Do cálculo feito, o gerador FV terá uma potência de 30,0 kWp.

3.4.3. Cálculo do número de módulos do FV

O número de módulos do sistema será calculado conhecendo-se a potência do gerador FV, P_{GFV} (kW_p), calculada na tabela 23 e a potência de pico do módulo escolhido, P_{MFV} (kW_p).

$$N_{MFV} = \frac{P_{GFV}}{P_{MFV}} \quad (3.2)$$

Sendo:

P_{GFV} : Potência do gerador FV, em kW_p;

P_{MFV} : Potência do módulo FV, em kW_p;

N_{MFV} : Número de módulos FV.

Tabela 23 – Cálculo do número de módulos do sistema FV

Item	P_{GFV} (kW _p)	P_{MFV} (kW _p)	N_{MFV}
1	30,0	0,333	90,1

O gerador FV será constituído por 90 módulos SPR-333NE-WHT-D (valor corrigido).

3.4.4. Escolha do inversor FV

Os inversores são utilizados quando existem cargas que funcionam em AC e para que sistema não dependa de um único inversor, a potência do gerador FV será repartida por 3 painéis FV de 10,0 kW_p cada (correspondente a um terço de 30 kW, que é a potência total do gerador FV).

Sendo 10,0 kW_p a potência do painel FV ligado ao inversor, a do inversor, P_{Inv} , será calculada de acordo com a relação abaixo:

$$0,7 \times P_{PFV} < P_{Inv} < 1,2 \times P_{PFV} \quad (3.3)$$

Tabela 24 – Potência do inversor Sunny Tripower

Item	$0,75 \times P_{PFV}$ (kW _p)	P_{PFV}	$1,2 \times P_{PFV}$	P_{Inv} (kW _p)
1	7,5	10,0	12,0	12,0

A escolha recai sobre o inversor *Sunny Tripower* 12000TL.



Figura 55 – Inversor Sunny Tripower 12000TL
(Fonte: SMA)

A corrente do painel FV será injectada em 3 inversores trifásicos *Sunny Tripower 12000TL* ligados em paralelo.

Número máximo de módulos em série

A amplitude da tensão no inversor resulta do somatório das tensões individuais dos módulos ligados em série numa fileira. Uma vez que a tensão do módulo e a tensão total do painel FV dependem da temperatura, são determinantes no dimensionamento as situações operacionais extremas do Inverno (equivalente à época seca e fria, no caso de Moçambique) e do Verão (equivalente à época quente e chuvosa, no caso de Moçambique).

Ao dimensionar-se o sistema FV, o intervalo de operação do inversor deve ser ajustado em função da curva característica do painel FV. O intervalo MPP do inversor deve incorporar os pontos MPP da curva característica do gerador FV para diferentes temperaturas. Para além disso, deve-se ter em conta a tensão limite de operação e a tensão máxima admissível do inversor.

Para obter o número máximo de módulos que se devem ligar em série, a característica a que tem de se recorrer é a que resulta do seu comportamento na estação fria, tomando como referência uma temperatura do módulo de -10°C (263,16 K). Para baixas temperaturas, a tensão de funcionamento do módulo aumenta até ao limite máximo da tensão de circuito aberto, U_{OC} , ou seja, uma temperatura baixa está associada a um aumento de tensão. Se o inversor for desligado (por exemplo devido à falha da rede), a tensão do circuito aberto será demasiado elevada para se poder voltar a ligar o sistema com segurança. Assim o inversor tem de admitir uma tensão DC máxima superior à tensão em circuito aberto do módulo a -10°C , pois, se assim não for, o inversor poderá ficar danificado.

A tensão de circuito aberto dos módulos para uma temperatura de -10°C , a partir da tensão do circuito nas condições de referencia STC ($U_{OC(STC)}$), é calculada pela fórmula seguinte:

$$U_{OC(-10^{\circ}\text{C})} = \left(1 - \frac{35[^{\circ}\text{C}] \times \Delta U[\text{mV}]}{100}\right) \times U_{OC(STC)} \quad (3.4)$$

Tabela 25 – Tensão do módulo FV a (-10°C)

Item	$U_{OC(STC)}$ (V)	ΔU (%/K)	$U_{OC(-10^{\circ}\text{C})}$ (V)
1	65,3	-0,38	73,53

A tensão de circuito aberto dos módulos para a temperatura de -10°C é de 73,53 V.

Sendo a tensão máxima de entrada DC do inversor (U_{MaxInv}) de 1000 V (dados do inversor), o número máximo de módulos ligados em série é calculado pela fórmula seguinte:

$$N_{Max} = \frac{U_{MaxInv}}{U_{OC(-10^{\circ}\text{C})}} \quad (3.5)$$

Tabela 26 – Número máximo de módulos em série

Item	U_{MaxInv} (V)	$U_{OC(STC)}$ (V)	N_{MaxFil}
1	1000	73,53	13,6

O número máximo de módulos SPR-333NE-WHT-D em série é de 13 unidades por cada entrada DC do inversor *Sunny Tripower 12000TL*.

Número mínimo de módulos

O número mínimo de módulos em série é calculando tendo em conta a tensão mínima DC (U_{MinInv}) do inversor *Sunny Tripower 12000TL*, que é de 150 V.

No verão, os módulos instalados podem estar sujeitos a temperaturas superiores a 70°C . Esta temperatura serve geralmente de referência para determinar o número mínimo de módulos de uma fileira. Com um bom sistema de ventilação, pode estimar-se uma temperatura máxima de 70°C em Moçambique.

O cálculo da tensão mínima de funcionamento verifica-se normalmente para a temperatura máxima de funcionamento que é prevista para 70°C , no verão ($U_{MPP(70^{\circ}\text{C})}$) que se calcula pela seguinte fórmula:

$$U_{OC(70^{\circ}\text{C})} = U_{OC(STC)} \times \left(1 + \frac{45[^{\circ}\text{C}] \times \Delta U[\%]}{100}\right) \quad (3.6)$$

Tabela 27 - Tensão do módulo FV a (70°C)

Item	U _{MPP (STC)} (V)	ΔU (%/K)	U _{MPP (70°C)} (V)
1	54,7	-0,38	53,8

A tensão mínima de funcionamento do inversor nestas condições será de 53,8V. Assim, o número mínimo de módulos em série será determinado por:

$$N_{\text{Min}} = \frac{U_{\text{Min Inv}}}{U_{\text{MPP (70° C)}}} \quad (3.7)$$

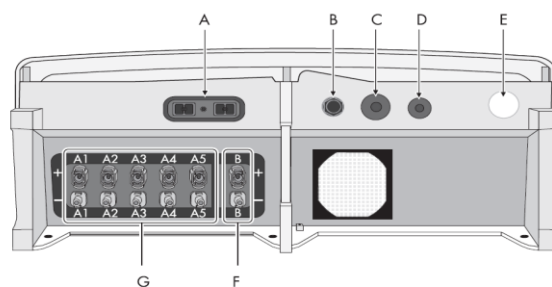
Tabela 28 – Número mínimo de módulos em série

Item	Entradas DC	U _{MinInv} (V)	U _{MPP (70°C)} (V)	N _{MinInv}
1	1	150	53,8	2,8

O número mínimo de módulos ligados em série por entrada do inversor é de 3 unidades.

Número de fileiras por inversor

O inversor *Sunny Tripower 12000TL* tem 5 (cinco) entradas A (A1, A2, A3, A4, A5) e 1 (uma) B.



Object	Description
A	Electronic Solar Switch (ESS) socket
B	Cable entry for the multi-function relay (M20, 5 mm ... 13 mm)
C	Cable entries for communication via RS485 (M32) (optional)
D	Additional cable entry (M20)
E	Cable entry for grid connection (AC) (M32, 14 mm ... 25 mm)
F	DC plug connectors for connecting the strings (input area B)
G	DC plug connectors for connecting the strings (input area A) (for Sunny Tripower 8000TL/10000TL/12000TL only 4 units)

Figura 56 – Entradas DC do inversor *Sunny Tripower 12000TL*
(Fonte: SMA)

Corrente máxima por fileira:

$$I_{\text{MaxFil}} = 1,25 \times I_{\text{CS}} = 1,25 \times 6,46 \text{ A} = 8,1 \text{ A} \quad (3.8)$$

Número de fileiras por entrada DC do inversor:

$$N_{\text{Fil}} = \frac{I_{\text{MaxInv}}}{I_{\text{MaxFil}}} \quad (3.9)$$

Tabela 29 – Número de fileiras por inversor *Sunny Tripower 12000TL*

Item	I_{MaxInv}	I_{MaxFil}	N_{Fil}	N_{Fil} (corrigido)
A1	22	8,1	2,72	2
A2	22	8,1	2,72	2
A3	22	8,1	2,72	2
A4	22	8,1	2,72	2
A5	22	8,1	2,72	2
B	11	8,1	1,36	1

O gerador FV será ligado a 3 inversores *Sunny Tripower 12000TL*, cada um ligado a um máximo de 11 fileiras.

Os 90 módulos FV serão distribuídos por 3 painéis de 30 módulos SPR-333NE-WHT-D cada.

Tabela 30 – Módulos FV por fileira por inversor *Sunny Tripower 12000TL*

Item	I_{MaxInv}	I_{MaxFil}	N_{Fil} (corrigido)	N_{ModFil}
A1	22	8,1	2	6
A2	22	8,1	2	6
A3	22	8,1	2	6
A4	22	8,1	2	6
A5	22	8,1	2	6
B	11	8,1	1	0

A tabela 30 apresenta o número de módulos SPR-333NE-WHT-D por fileira por inversor *Sunny Tripower 12000TL*.

3.4.5. Configuração do gerador FV

- Número de módulos do gerador FV: 90 (ajustados)
- Número de painéis FV: 3
- Número de módulos por painel FV: 30

- Número de inversores *Sunny Tripower* 12000TL por painel FV: 1
- Número de fileiras por inversor *Sunny Tripower* 12000TL: 5
- Orientação dos painéis FV: Norte geográfico;
- Ângulo de inclinação ótimo (figura 52): 13 graus.
- Azimute (figura 53): 0 graus.

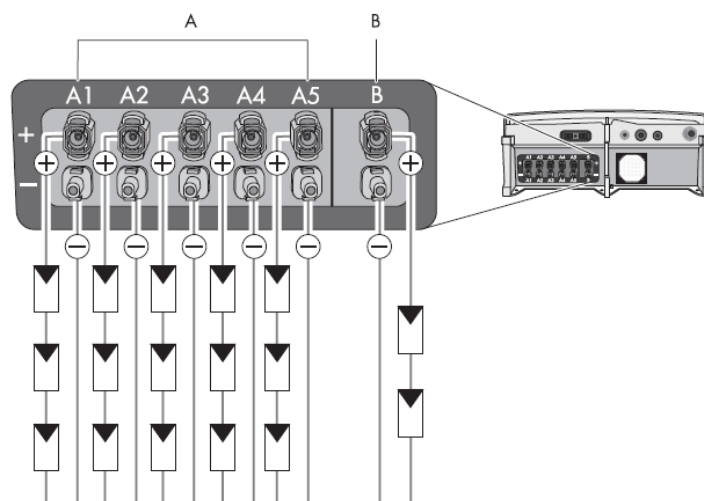


Figura 57 – Ligações DC do painel FV no inversor *Sunny Tripower* 12000TL
(Fonte: SMA)

3.4.6. Sombreamentos

No processo de captação de energia FV dever-se-ão evitar os sombreamentos ou efeito sombra. Estes efeitos se traduzem em energia perdida que poderia ser aproveitada, mas que não o é devido a obstáculos que dificultam essa recolha.

Os efeitos dos sombreamentos estão directamente relacionados com factores como:

- A distância entre fileiras de módulos FV;
- Perdas por orientação e inclinação;
- Perdas por sombreamentos.

Para resolver esta situação, deve-se realizar a seguinte montagem, que será semelhante à deste trabalho, figura 58:

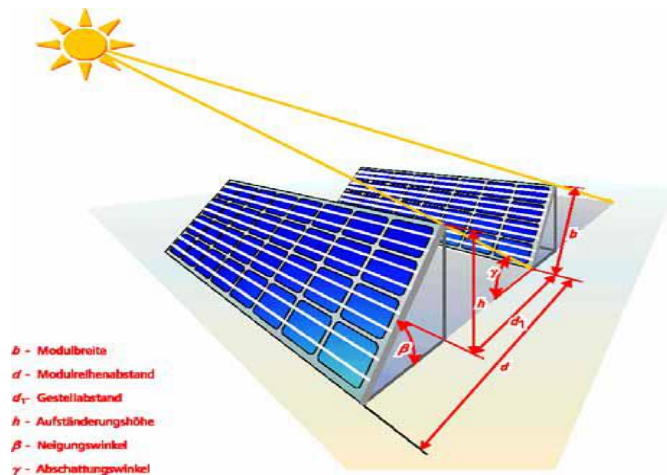


Figura 58 – Disposição de painéis FV para evitar o sombreamento [8]

O cálculo da distância entre painéis FV é feito através da fórmula seguinte:

$$d = b \times \left(\cos \beta + \frac{\text{sen} \beta}{\text{tg} \gamma} \right) \quad (3.10)$$

Onde:

β : inclinação dos módulos FV (ângulo ótimo);

γ : ângulo a que corresponde a altura mínima do sol a 21 de Junho;

d : afastamento entre os painéis FV;

b : largura do painel FV;

h : altura.

Dados do painel FV:

$$b = 5 \text{ módulos} \times \text{comprimento do módulo} = 5 \times 1,559 \text{ m} = 7,795 \text{ m}$$

$$\beta = 13^\circ \text{ (figura 52)}$$

$$\gamma = 55^\circ \text{ (figura 53).}$$

O gerador FV será constituído por 90 módulos SPR-333NE-WHT-D, distribuídos por 3 painéis com 30 módulos cada.

Cada painel será ligado a um inversor trifásico *Sunny Tripower 12000TL*.

Tabela 31 – Afastamento mínimo de painéis FV

Item	b(m)	β	γ	$\cos(\beta)$	$\text{Sen}(\beta)$	$\text{tg}(\gamma)$	d(m)
1	7,8	13	55,0	0,97	0,23	1,43	8,83

O afastamento mínimo, d , entre os painéis FV será de 8,83 metros, à semelhança ao dos painéis da figura 59.



Figura 59 – Disposição de painéis FV (semelhante à da Escola Rural da Namacha)
(Fonte: americaeconomibrasil.com.br)

3.5. Banco de baterias (sistema híbrido)

O sistema híbrido será equipado por baterias que irão alimentar cargas em corrente AC via inversor carregador (inversor bidirecional).

3.5.1. Cálculo do número de baterias

Cálculo do rendimento da bateria

Sendo K_{Bat} um fator global de rendimento da instalação, e cujo valor será [2]:

$$K_{\text{Bat}} = 1 - \left[(1 - k_b - k_c - k_v) \times k_a \times \frac{N_D}{K_D} \right] - k_b - k_c - k_v \quad (3.11)$$

Em que:

k_a : coeficiente de descarga de 0,002 (para as baterias chumbo-cadmio);

k_b : coeficiente de perdas por rendimento no acumulador de 0,05 (na ausência de dados);

k_c : coeficiente de perdas no inversor de 0,2 (para o inversor de onda sinusoidal que afeta todo o circuito de consumo);

k_v : coeficiente de outras perdas de 0,15 (valor médio razoável que se costuma assumir para potências teóricas de cada aparelho);

N_D : autonomia (1 dia);

K_D : limite máximo permitido da profundidade de carga da bateria é de 0,60.

Tabela 32 - Rendimento global das baterias (acumuladores)

Item	Designação	Valor
1	K_a	0,002
2	K_b	0,05
3	K_c	0,2
4	K_v	0,15
5	N_D	1
6	K_D (DOD)	0,6
7	K_{Bat}	0,58

O rendimento global das baterias é de 0,58.

Cálculo da capacidade das baterias

O cálculo da capacidade do banco de baterias, C_{Bat} (Ah), é efectuado através da equação seguinte [8]:

$$C_{Bat} = \frac{W_D \times N_D}{U_{Sist} \times K_{Bat} \times K_D} \quad (3.12)$$

Tabela 33 - Capacidade do banco de baterias

Item	W_{DE}	N_D	U_{Sist}	K_{Bat}	K_D	C_{Bat}
1	117.000	1	48	0,58	0,6	7.245,8

Em que:

C_{Bat} : a capacidade mínima do banco de baterias, em Ah;

W_D : a energia média diária consumida, em Wh;

N_D : o número de dias de autonomia (1 dia);

U_{Sist} : a tensão do painel FV (48V);

K_D : o limite máximo permitido da profundidade de carga da bateria (DOD: 0,6);

K_{Bat} : a eficiência da bateria.

A capacidade do banco de baterias calculada é de 7.245,8 Ah.

Pelo catálogo do fabricante de baterias HOPPECKE, a capacidade nominal que mais se aproxima do valor calculado é de 7560 Ah, tendo-se optado pela bateria do modelo 28OPzS7000.

Cálculo do número de baterias em paralelo

As baterias escolhidas são de $2V_{DC}$ para um sistema híbrido de $48 V_{DC}$. Para tal, far-se-ão associações de baterias para que o conjunto seja compatível com o sistema adoptado.

$$N_P = \frac{C_{Bat}}{C_U} \quad (3.13)$$

Sendo:

N_P : Número de baterias em série;

C_{Bat} : Capacidade do banco de baterias, em Ah;

C_U : Capacidade da bateria seleccionada, em Ah;

Tabela 34 - Número de baterias em paralelo

Item	C_{Bat}	C_U	N_P
1	7560	7560	1,0

Cada paralelo de baterias será constituído por uma única bateria de 7560 Ah.

Cálculo do número de baterias em série

$$N_S = \frac{U_{Sist}}{U_U} \quad (3.14)$$

Sendo:

N_S : Número de baterias em série;

U_{Sist} : Tensão do gerador FV, em volt;

U_U : Tensão da bateria seleccionada, em volt.

Tabela 35 - Número de baterias em série

Item	U_{Sist} (V)	U_U (V)	N_S
1	48	2	24

Para que o sistema funcione normalmente, serão necessárias 24 baterias de 7560 Ah ligadas em série, com montagem semelhante à da figura 60.



Figura 60 – Baterias OPzS ligadas em série
(Fonte: <http://www.frazaoleiloes.com.br/>)

3.6. Grupo eletrogéneo

Será projetado um grupo eletrogéneo para funcionar na situação de emergência por solicitação do inversor bidirecional *Sunny Island*. Para tal, terá que ter uma potência suficiente para injetar na rede a energia necessária a toda a instalação. Tratando-se de sistema trifásico, o gerador será também trifásico com capacidade de fornecer energia a todo o sistema.

Sendo a potência de serviço da escola calculada de 20,6 kW, a potência do grupo mais próxima deste valor será de 20,0 kVA (principal).

Assim, a seleção recai sobre o grupo gerador GEP22-6, da Olympian (Dados em anexo 9).



Figura 61 – Grupo gerador GEP22-6
(Fonte: Olympian)

3.7. Potência do inversor carregador (bidirecional)

Inversor carregador é um inversor que tem um carregador de bateria e um relé de transferência interno. Quando os terminais do inversor recebem energia de uma fonte exterior em AC verificam se existe carga disponível nas baterias. Caso não, passam diretamente a energia da rede pública carregando simultaneamente as baterias. Este tipo de inversores possui contatos que podem ser programados para muitas aplicações. Estes reagem muito rapidamente, por exemplo, na disponibilidade da rede, na tensão da bateria, etc.

Também podem ser programados com temporizador, ou ligados em horários concretos (durante a noite, o fim de semana, etc.). O gerador de apoio poderá ser a diesel, um aerogerador, a rede elétrica, etc.

Este tipo de inversores permite ligações em monofásico, monofásico em paralelo e trifásico.

3.7.1. Escolha do inversor

O inversor escolhido é o *Sunny Island 8.0H* de 6.000 W (dados em anexo).



Figura 62 – Inversor Sunny Island
(Fonte:SMA)

3.7.2. Cálculo do número de inversores

Sendo a potência de serviço da escola de 20,6 kW e sendo escolhido um inversor monofásico, para o equilíbrio terão ser ligados em paralelo 3 inversores *Sunny Island 8.0H*.

$$N_{InvSI} = \frac{P_{Serv}}{P_{InvSI}} \quad (3.15)$$

Sendo:

N_{InvSI} : Número de inversores *Sunny Island 8.0H*;

P_{Serv} : Potência de serviço da instalação escolar, em watt;

P_{InvSI} : Potência nominal do inversor *Sunny Island*, em watt.

Tabela 36 - Número de inversores *Sunny Island*

Item	P_{Serv}	P_{InvSI}	N_{InvSI}
1	20.600	6.000	3,4

Já é conhecido que este tipo inversores fornecer potências muito mais elevadas do que as nominais, pelo que serão instalados 3 inversores monofásicos *Sunny Island 8.0H*, tendo um a função de mestre (*master*) e outros de escravos (*slaves*), como ilustrado na figura 64.

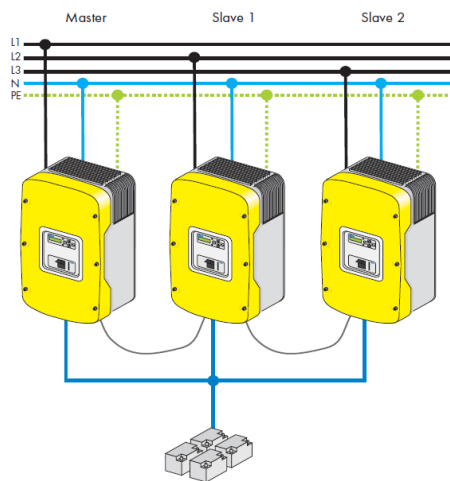


Figura 63 – Esquema de ligação em paralelo de Inversores *Sunny Island*.

(Fonte:SMA)

Cada inversor estará ligado a uma fase prefazendo uma potência total de 18 kW (que é a mais próxima da potência de serviço do complexo escolar).



Figura 64 – Inversores *Sunny Island 8.0H* ligados a um banco de baterias.
(Fonte:SMA)

3.8. Sistema de bombeamento

Será instalado, na casa das bombas, um quadro elétrico que será alimentado em AC pela rede elétrica da escola e as características destas terão que ser compatíveis com as do sistema.

Os principais fatores que determinam a configuração de um sistema de bombeamento são:

- As situações hídricas;
- A profundidade do nível de água no poço abaixo da superfície;
- A elevação da água desde o poço até ao ponto de utilização do armazenamento (altura estática);
- As perdas de pressão nas tubagens e acessórios (altura dinâmica);
- A radiação solar e condições climatológicas;
- O painel FV pode trabalhar em qualquer ponto da curva I-V, já que o ponto de funcionamento depende da carga elétrica (bomba submersível). O mais importante é conseguir que este ponto de funcionamento esteja o mais próximo do pico máximo de potência, P_{MPP} .

Analisados estes todos os fatores, deve-se eleger a configuração do sistema de bombeamento mais conveniente.

3.8.1. Cálculo da altura de bombeamento

A bomba solar será submersível, e para o cálculo da altura total (h) a que se deve bombear a água será necessário conhecer a altura estática (H_g) e a altura dinâmica (H_d).

A altura estática (ou dinâmica) é a distância desde o nível mínimo da água do poço até ao ponto mais elevado ao qual se deve bombear a água.

A altura dinâmica é o valor da queda de pressão (perdas de carga) quando um líquido circula pelo interior da tubagem. Estas perdas de carga dependem do comprimento das tubagens, do seu diâmetro interior e do coeficiente de fricção, o qual depende da rugosidade interna da tubagem e das características da circulação da água, podendo ser um regime laminar ou turbulento.

Quando num sistema de tubagens existe outro tipo de acessórios (válvulas, redutores, derivações, etc.), a perda de carga destes elementos calcula-se passando cada um deles para um comprimento de tubagem equivalente (mediante tabelas que podem ser encontradas em diversas publicações) e logo somadas ao comprimento real da tubagem do circuito. Recomenda-se que a altura dinâmica do circuito não supere os 10% da altura estática.

A equação de cálculo da altura total [5]:

$$h = H_g + H_d \quad (3.16)$$

3.8.2. Bomba submersível

Cálculo de energia hidráulica

Para calcular a energia hidráulica (E_h) necessária para mover um volume de água (V_b) até a altura total (h) utiliza-se a equação seguinte [5]:

$$E_h = \rho \times g \times h \times V_b \quad (3.17)$$

Sendo:

E_h : Energia hidráulica, em joule;

ρ : Densidade da água, em $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$;

g : Aceleração da gravidade, em $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$;

h: Altura total a que se deve bombear a água, metros;

V_b : Volume de água a bombear, em litros.

Para o cálculo da energia hidráulica será considerada a altura total (por falta de dados técnicos do furo).

Tabela 37 – Cálculo da energia hidráulica

Item	$\rho(\text{kg.m}^{-3})$	$g(\text{m.s}^{-2})$	h(m)	V_b (l)	E_h (J)
1	1	9,81	40	2000	784800
2	1	9,81	50	2000	981000
3	1	9,81	60	2000	1177200
4	1	9,81	70	2000	1373400
5	1	9,81	80	2000	1569600
6	1	9,81	90	2000	1765800
7	1	9,81	100	2000	1962000
8	1	9,81	110	2000	2158200
9	1	9,81	120	2000	2354400

A energia hidráulica necessária para mover o volume de água depende da altura total.

Cálculo da potência da bomba

No cálculo da potência da bomba temos que conhecer o número de horas durante as quais se vai bombear um volume de 2000 litros em 1 hora (correspondente a 3.600 s) e o rendimento da bomba. Neste caso supomos um rendimento de 60%.

Para tal utiliza-se a equação seguinte [4]:

$$P_b = \frac{E_h}{\eta \times t} \quad (3.18)$$

Sendo:

P_b : Potência do motor da bomba, em watt;

η : Rendimento da bomba;

t: Tempo de bombeamento de água, em segundos.

Tabela 38 - Cálculo da potência da bomba

Item	E_h (J)	η	t(s)	P_b (W)
1	784800	0,6	3600	363,3
2	981000	0,6	3600	454,2
3	1177200	0,6	3600	545,0
4	1373400	0,6	3600	635,8
5	1569600	0,6	3600	726,7
6	1765800	0,6	3600	817,5
7	1962000	0,6	3600	908,3
8	2158200	0,6	3600	999,2
9	2354400	0,6	3600	1090,0

Pela tabela 38, verifica-se que a energia hidráulica e o tempo de funcionamento da bomba (entre outros) condicionam muito a escolha da potência da própria bomba.

Partindo do princípio que, na maioria dos casos, a altura total dos sistemas de bombagem de água rural em Moçambique tem sido superior aos 80 metros, será escolhida uma eletrobomba submersível HPS 1023 de 1,1 kW, com capacidade de bombear 2.000 litros de água em 1 hora, correspondentes a 33,4 litros por minuto (Anexo 10).



Figura 65 – Eletrobomba submersível HPS 1023
(Fonte: Ideal Delta)

3.9. Distribuição de energia

A energia produzida pelo sistema será distribuída para os diversos consumidores (residências, bloco administrativo, centro de saúde, blocos de salas de aula, sistema de bombagem da água, etc.).



Figura 66 – Rede de distribuição elétrica em baixa tensão (Fonte: EDP Distribuição)

A distribuição será por via aérea (baixa tensão) através de cabos do tipo LXS de secção adequada assentes em postes de madeira tratada (eucaliptos, em Moçambique) e, dependendo do local de utilização, as entradas poderão ser aéreas ou subterrâneas protegidas por dispositivos apropriados, como fusíveis cilíndricos (Normas IEC 269-2-1) ou disjuntores de calibre adequado (Normas IEC 898).

3.10. Sistema elétrico da Escola

A energia da escola está dependente das fontes de energia (o gerador FV, baterias e grupo eletrogéneo) e para esta ser distribuída é necessário que haja cabos elétricos, caixas de derivação, quadros elétricos, proteções contra sobreintensidades de origem interna (disjuntores, fusíveis, etc) ou externa (DST, etc).

Para a proteção de pessoas contra contatos indiretos haverá um sistema de terras de protecção e os quadros terão dispositivos diferenciais.

Em resumo, os principais equipamentos da Escola Rural de Nangade:

- 1 Grupo eletrogéneo GEP22-6 da Olympian;
- 3 Paineis FV de 30 módulos (cada) SPP-333NE-WHT-D da SUNPOWER;
- 3 Inversores *Sunny Tripower* 12000TL da SMA;
- 3 Inversores *Sunny Island* 8.0H da SMA;
- 1 Banco de 24 baterias 28OPzS 7000 da HOPPECKE Batterie Polska, SP;
- *Sunny Webbox* com RS 485;
- 2 Bombas submersíveis HPS 1023 (funcionamento não simultâneo);
- Cablagem de potência e de telecomunicações;

- Proteções contra sobretensões (fusíveis, disjuntores);
- Proteções contra contatos indiretos (dispositivos diferenciais);
- Sistemas de proteção contra sobretensões de origem atmosférica (DST, pára-raios, cabos, etc.).
- Sistemas de comando e de seccionamento (interruptores, contadores, etc.).

Na figura 67 está representado o esquema de princípio de instalação do sistema híbrido de geração de energia semelhante ao da Escola Rural de Nangade. Como os inversores FV dimensionados para o sistema são trifásicos, será necessário substituir os 3 (três) *Sunny Boy* (monofásicos) do esquema por inversores *Sunny Tripower 12000TL*.

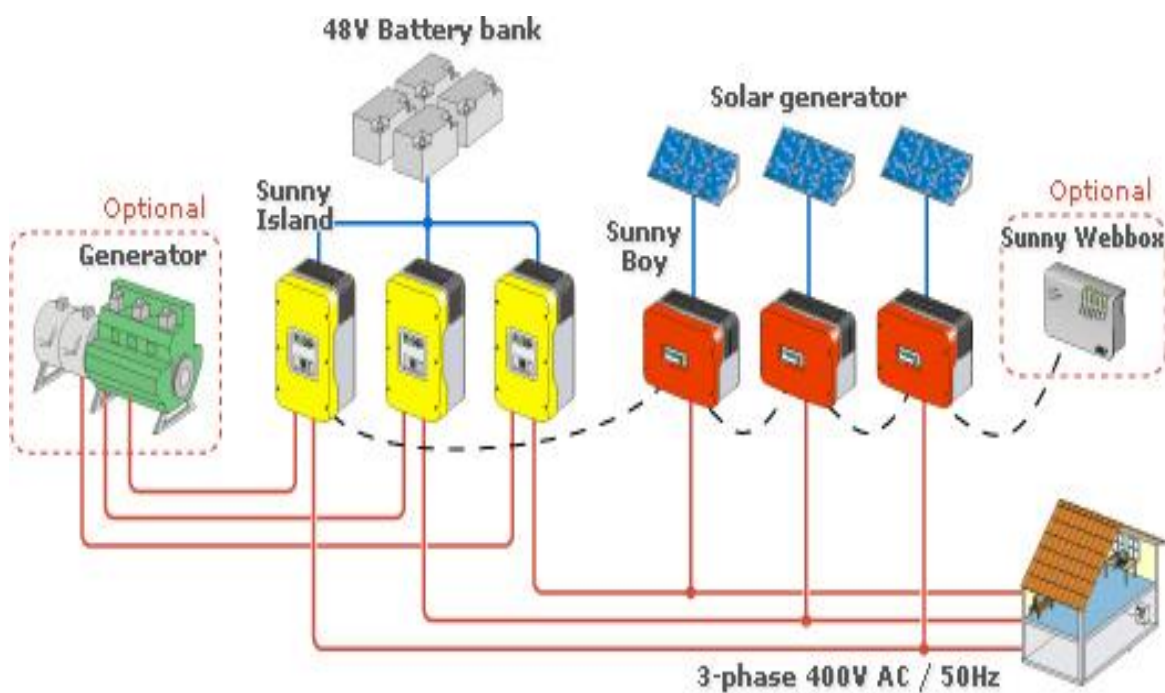


Figura 67 –Esquema de rede elétrica semelhante a da Escola Rural de Nangade
(Fonte:ecotechnologies.pl)

3.11. Custos dos principais equipamentos do sistema híbrido

A área das energias renováveis é cada vez mais competitiva e o orçamento apresenta-se como uma importante ferramenta tanto para caracterizar todos os custos de obra, como aplicar margens de lucros que satisfaçam os custos e os benefícios.

O orçamento é uma das ferramentas mais importantes no que diz respeito à competitividade de uma empresa, além de inferir sobre a viabilidade dos trabalhos a realizar o orçamento deve também ser coerente em termos de levantamentos das quantidades e necessidades desses mesmos trabalhos.

Analisando as diferentes dimensões e variáveis que se relacionam num orçamento poderemos então tirar conclusões que se poderão tornar úteis não só para a negociação da obra orçamentada, bem como informações importantes para a execução da mesma (como, por exemplo, a quantificação da mão de obra).

Esta análise reforça então a ideia que elaborar um orçamento será pois uma tarefa de grande responsabilidade. Este deverá ser criterioso, sob a penalidade de se incorrer em prejuízo para a empresa executora dos trabalhos.

No caso em apreço, trata-se duma simples avaliação do custo dos principais equipamentos do sistema híbrido para se ter a noção do peso do custo de cada equipamento.

Tabela 39 - Custos indicativos dos principais componentes do sistema

Item	Designação	Unid.	Quant.	Preço.Unid ⁻¹ (€)	Preço (€)	Fonte
1.	Módulos FV					
1.1.	Módulo <i>SPP-333NE-WHT-D</i>	un	90	557,25	50 152,50	FF Solar
2.	Gerador					
2.1.	Grupo eletrogéneo GEP22-6	un	1	8500	8 500,00	Olympian
3.	Baterias					
3.1.	Baterias 28OPzS 7000	un	24	1 850,00	44 400,00	FF Solar
4.	Inversores					
4.1.	<i>Sunny Tripower 12000 TL</i> da SMA	un	3	3 724,10	11 172,30	FF Solar
4.2.	<i>Sunny Island 8.0H</i> da SMA	un	3	4 411,69	13 235,07	FF Solar
4.3.	<i>Sunny Webbox</i> com RS 485	un	1	561,25	561,25	FF Solar
5.	Bombas submersíveis					
5.1.	Bombas HPS1023	un	2	449	898,00	Ideal Delta
6.	Sub-total				128 919,12	
7.	Outros (25% do sub-total)				32 229,78	
8.	TOTAL				161 148,90	

3.11.1. Análise de custos

Nota-se pela tabela que os custos do projeto são muito mais elevados nas rubricas “baterias” e “módulos FV” pelas quantidades requeridas. Se se olhar para os equipamentos individualmente pode-se notar que as baterias, o grupo eletrogéneo e os inversores (*Sunny island, Suny Boy* e *Windy Boy*) são dos mais caros. Para a minimização de custos, é necessário que os sistemas sejam bem dimensionados para que os custos sejam só os necessários.

3.11.2. Estudo de viabilidade económica

Sendo um projeto de investimento estratégico do Estado, não tem fins lucrativos, dirige-se a proporcionar às populações benefícios de modo a satisfazer as necessidades de melhor bem estar.

Os ganhos do Estado serão indiretos uma vez que os formandos de hoje serão os técnicos qualificados de amanhã (professores, médicos, enfermeiros, engenheiros, dirigentes, etc) que irão dinamizar a vida política, económica e social do país.

Para este tipo de projetos, não há espaço para o estudo da sua rentabilidade, como o VAL (Valor atualizado líquido), a TIR (Taxa interna de rentabilidade), Payback (Período de recuperação do investimento), o IR (Índice de rentabilidade), etc.

A tarefa do Estado é fazer uma gestão criteriosa deste bem, como a sua manutenção criteriosa segundo as indicações constantes dos manuais dos fabricantes dos materiais e equipamentos.

4. Conclusões

Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás, constituem fontes de energia que em breve se esgotarão e que são demasiado caras para serem desperdiçadas pelas centrais elétricas na produção de electricidade. Além disso, estas formas tradicionais de produção de energia prejudicam o meio ambiente e o clima.

Os custos elevados deste tipo de instalações, em relação ao baixo poder de compra dos moçambicanos, tem vindo receber a atenção de várias instituições despertando o financiamento do Governo, de várias ONGs e de alguns parceiros de Moçambique na implementação deste tipo de sistemas.

Neste sentido, a grande aposta do governo de Moçambique na área das energias renováveis é notória, como a fábrica de módulos FV no Parque Industrial de Beluluane, na província de Maputo, esperando baixar o custo das instalações, e o Atlas de Energias Renováveis de Moçambique.

Esta dissertação apresenta um estudo aprofundado para o dimensionamento de um sistema de produção de energia (FV, eólico e grupo eletrogéneo) para Escola Rural da Nangade, na província de Cabo Delgado, tomando em consideração as plantas reais dos diferentes blocos que compõem esta infraestrutura. São também descritos os diversos componentes do sistema e as tecnologias associadas a um sistema deste género.

Os dados são apresentados em tabelas de forma a facilitar a aplicação e montagem do mesmo *in loco*.

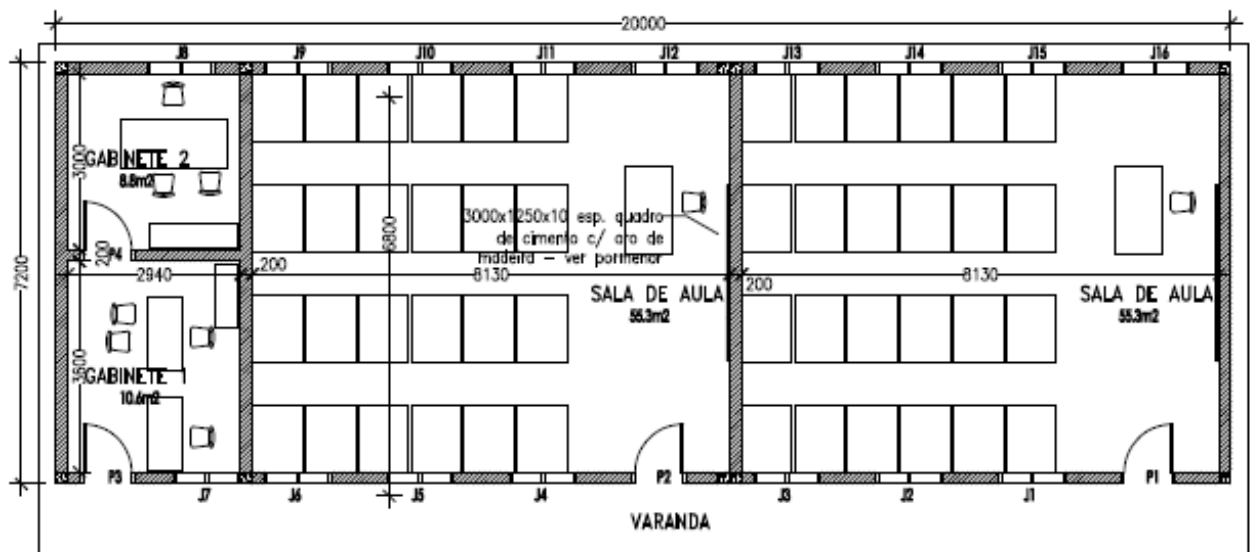
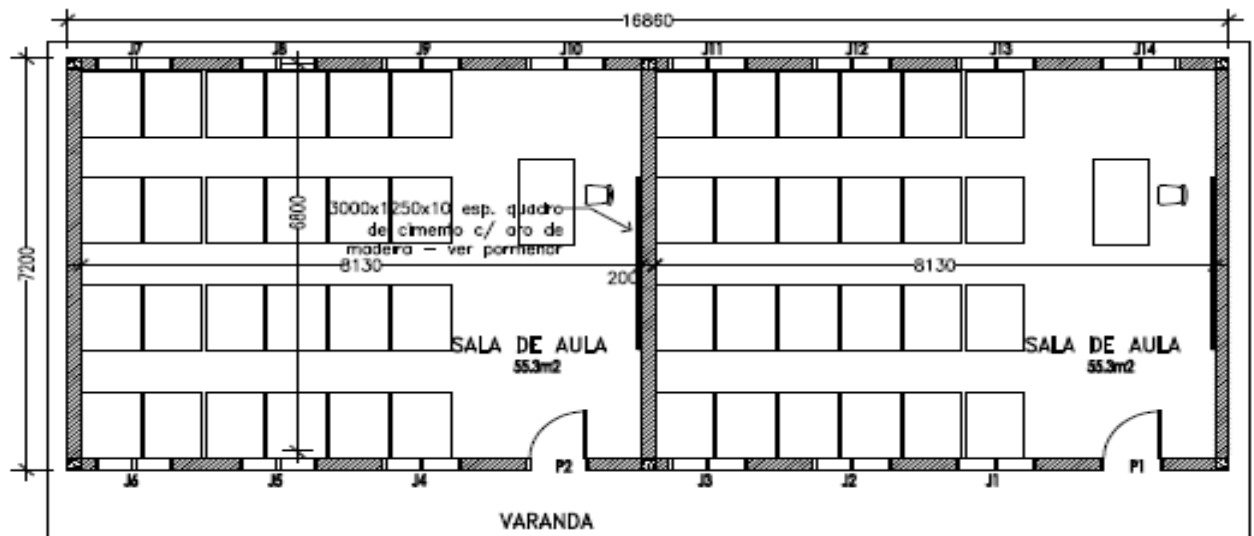
Espera-se que esta dissertação possa servir de base no futuro próximo para a implementação de sistemas híbridos necessários que permitam a melhoria da qualidade do ensino através de melhores infraestruturas, democratizando o acesso à educação para as crianças daquele distrito e doutros das várias províncias de Moçambique.

Por ser uma escola que funcionará também no período pós-laboral, fará com que as pessoas mais velhas tenham possibilidades de estudar de modo a reduzir-se o analfabetismo que é uma das apostas do governo moçambicano.

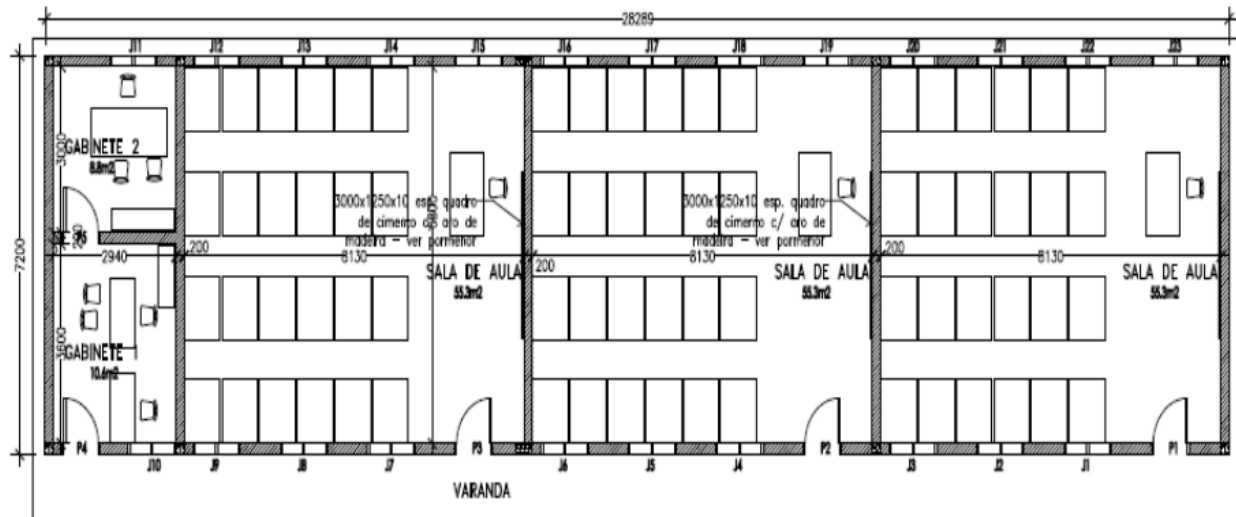
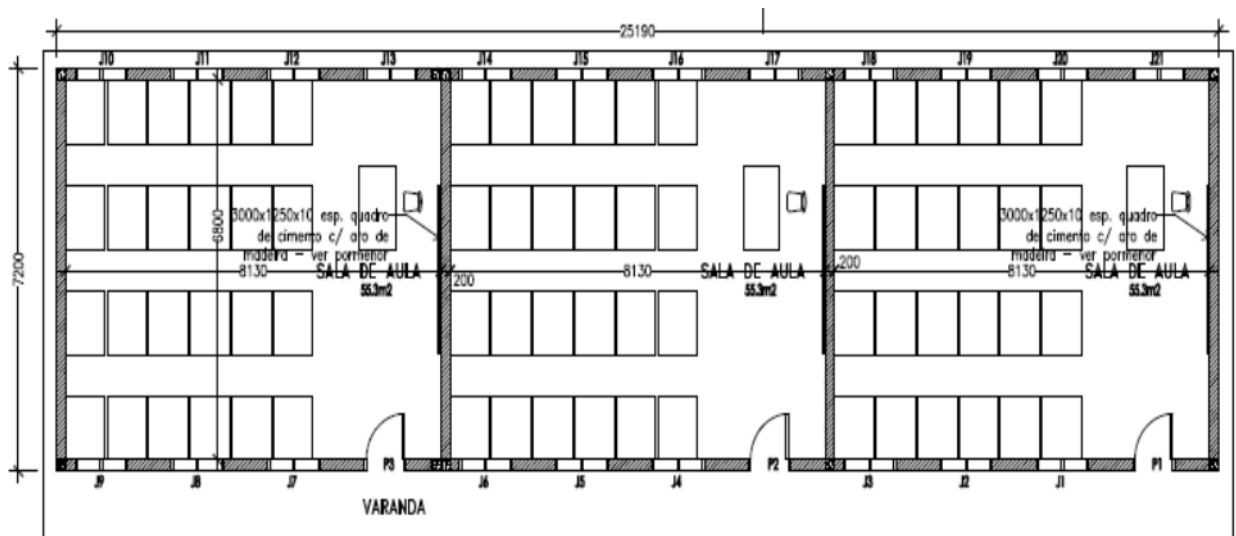
Referências Documentais

- [1] CASTRO Rui - Introdução à Energia Fotovoltaica.
- [2] EDENR - Ministério de Energia de Moçambique.
- [3] MASTER D - Energia Solar e Eólica.
- [4] PEREIRA, Filipe; OLIVEIRA, Manuel - Laboratórios de Energia Solar Fotovoltaica.
- [5] FALK, Antony; DÜRSCHNER, Christian- Photovoltaics for Professionals, June 2007.
- [6] IQBAL, M. - Introduction to Solar Radiation, Academic Press, 1983.
- [7] PEREIRA, José - Manual de grupos geradores.
- [8] ENERGIA FOTOVOLTAICA - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação (www.portal.energia.com).
- [9] Módulos FV e Características - Curso de Mestrado Integrado da Universidade do Minho.
- [10] PEREIRA Filipe; OLIVEIRA Manuel - Curso Técnico de Instalador de Energia Solar Fotovoltaica.
- [11] Solar Generation 5 - Publicações da Associação Europeia da Indústria Fotovoltaica (EPIA), (disponível em:www.epia.org – 2008).

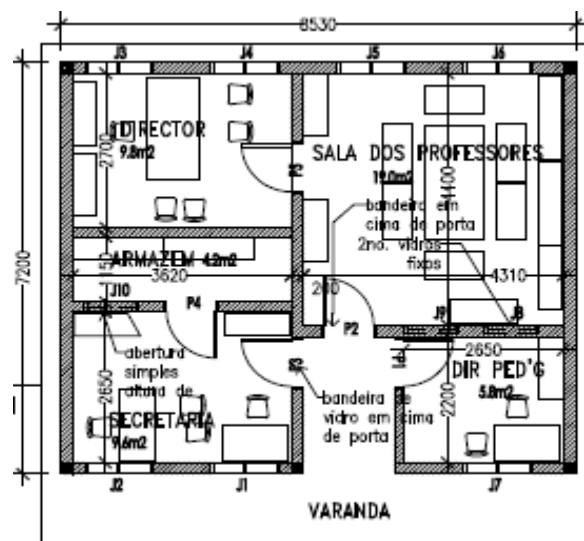
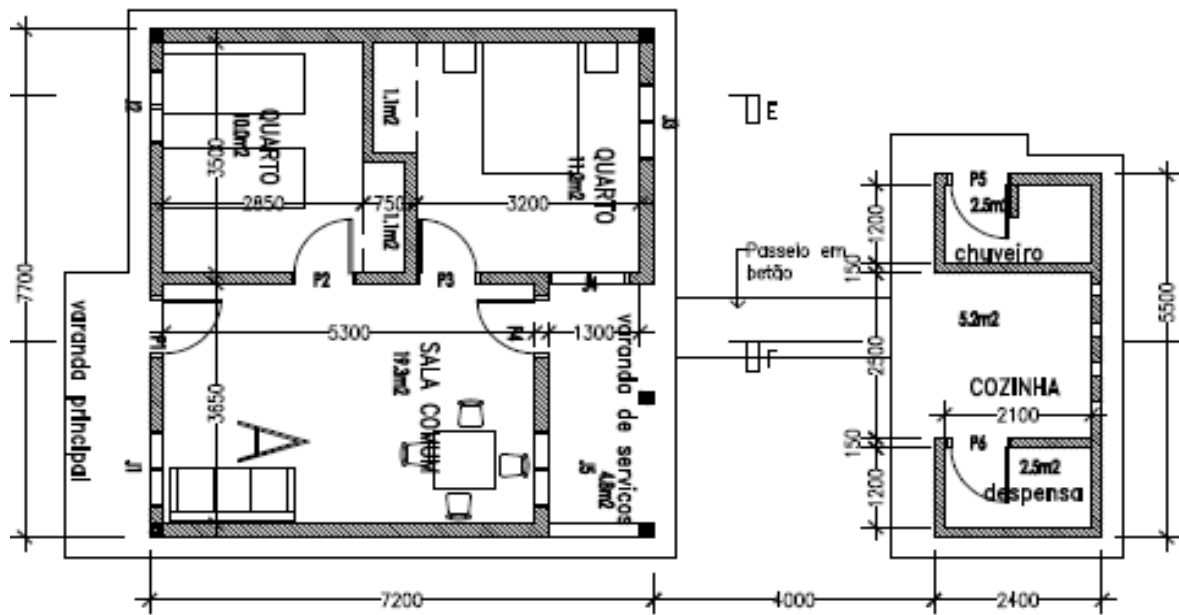
Anexo 1: Blocos S2 e S2G



Anexo 2: Blocos S3 e S3G



Anexo 3: Blocos CA e Ad (respetivamente)



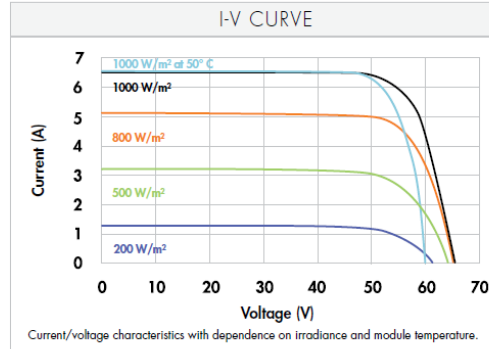
SUNPOWER

E20/333 and E20/327 SOLAR PANELS

MODELS: SPR-333NE-WHT-D, SPR-327NE-WHT-D

ELECTRICAL DATA			
Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance 1000W/m ² , AM 1.5, and cell temperature 25° C			
Nominal Power (+5/-0%)	P _{nom}	333 W	327 W
Cell Efficiency	η	22.8%	22.5%
Panel Efficiency	η	20.4%	20.1 %
Rated Voltage	V _{mpp}	54.7 V	54.7 V
Rated Current	I _{mpp}	6.09 A	5.98 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	65.3 V	64.9 V
Short-Circuit Voltage	I _{sc}	6.46 A	6.46 A
Maximum System Voltage	IEC	1000 V	1000 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K	
	Voltage (V _{oc})	- 176.6mV/K	
	Current (I _{sc})	3.5mA /K	
NOCT	45°C +/- 2°C		
Series Fuse Rating	20 A		
Limiting Reverse Current (3 strings)	I _r	16.2 A	
Grounding	Positive grounding not required		

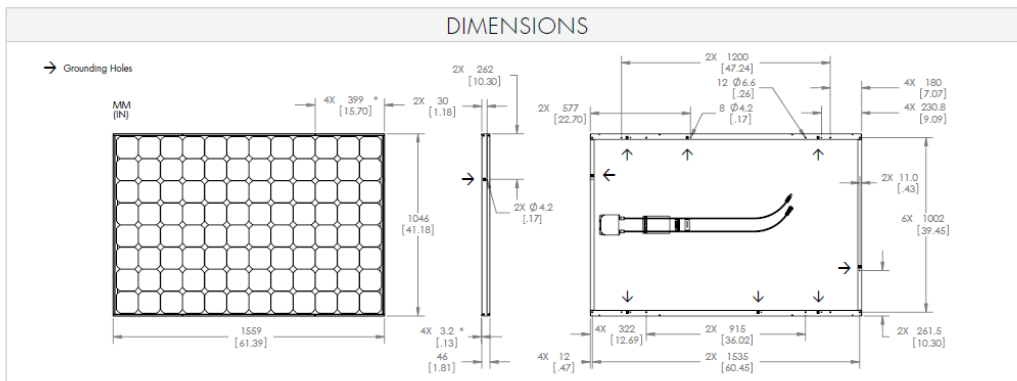
ELECTRICAL DATA			
Measured at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Irradiance 800W/m ² , 20° C, wind 1 m/s			
Nominal Power	P _{nom}	247 W	243 W
Rated Voltage	V _{mpp}	50.4 V	50.4 V
Rated Current	I _{mpp}	4.91 A	4.82 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	61.2 V	60.8 V
Short-Circuit Voltage	I _{sc}	5.22 A	5.22 A



TESTED OPERATING CONDITIONS	
Temperature	- 40° C to +85° C
Max load	550 kg/m ² [5400 Pa], front (e.g. snow) w/specifed mounting configurations 245 kg/m ² [2400 Pa] front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: 25 mm at 23 m/s

WARRANTIES AND CERTIFICATIONS	
Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 (SCII)

MECHANICAL DATA			
Cells	96 SunPower Maxeon™ cells	Output Cables	1000 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating	Frame	Anodised aluminium alloy type 6063 (black)
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes 32 x 155 x 128 mm	Weight	18.6 kg



Please read safety and installation instructions before using this product, visit sunpowercorp.com for more details.

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER, the SunPower Logo, and THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR, and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the US and other countries as well. All Rights Reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

13.3 Sunny Tripower 12000TL

DC Input

Maximum DC power at $\cos \varphi = 1$	12 250 W
Maximum input voltage*	1 000 V
MPP voltage range	380 V ... 800 V
Rated input voltage	600 V
Minimum input voltage	150 V
Start input voltage	188 V
Maximum input current input A	22.0 A
Maximum input current input B	11.0 A
Maximum input current per string input A**	33.0 A
Maximum input current per string input B**	12.5 A
Number of independent MPP inputs	2
Strings per MPP input, input A	4
Strings per MPP input, input B	1

* The maximum open-circuit voltage, which can occur at a cell temperature of $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, must not exceed the maximum input voltage.

AC Output

Rated output power at 230 V, 50 Hz	12 000 W
Maximum apparent AC power	12 000 VA
Rated grid voltage	3/N/PE, 230 V/400 V
AC voltage range*	160 V ... 280 V
AC nominal current at 230 V	17.4 A
Maximum output current	19.2 A
Maximum short-circuit current	0.05 kA
Total harmonic factor of output current at AC THD voltage < 2 %, AC power > 0.5 nominal AC power	$\leq 3.6\%$
Maximum output failure current	96 mA
Rated grid frequency	50 Hz
AC power frequency*	50 Hz/60 Hz
Operating range at AC power frequency 50 Hz	44 Hz ... 55 Hz
Operating range at AC power frequency 60 Hz	54 Hz ... 65 Hz
Displacement power factor, adjustable	0.8 _{lagging} ... 0.8 _{leading}
Feed-in phases	3
Connection phases	3
Overvoltage category as per IEC 60644-1	III

Technical Data

Technical data	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
AC output (loads / stand-alone grid)		
Rated line voltage / AC voltage range	230 V / 202 V ... 253 V	230 V / 202 V ... 253 V
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Rated power (for Unom, from / 25 °C / cos φ = 1)	4600 W	6000 W
AC power at 25 °C for 30 min / 5 min / 3 sec	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
Rated current / maximum output current (peak)	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Total harmonic distortion output voltage / power factor with rated power	< 4 % / -1 ... +1	< 4 % / -1 ... +1
AC input (PV array, grid or MC-Box)		
Rated input voltage / AC input voltage range	230 V / 172.5 V ... 264.5 V	230 V / 172.5 V ... 264.5 V
Rated input frequency / allowable input frequency range	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Maximum AC input current / adjustable	50 A	50 A
Maximum AC input power	11500 W	11500 W
Battery DC input		
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V ... 63 V	48 V / 41 V ... 63 V
Maximum battery charging current / DC rated charging current	110 A / 100 A	140 A / 115 A
Battery type / battery capacity (range)	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah
Charge control	I/O/U charging process with automatic full and equalization charge	I/O/U charging process with automatic full and equalization charge
Efficiency / self-consumption		
Maximum efficiency	95 %	95 %
Self-consumption without load / standby	< 26 W / < 4 W	< 26 W / < 4 W
Protective device (equipment)		
AC short circuit / AC overload	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -	- / -
Overtemperature / battery deep discharge	● / ●	● / ●
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III	III
General data		
Dimensions (width x height x depth)	467 mm x 612 mm x 242 mm	467 mm x 612 mm x 242 mm
Weight	63 kg	63 kg
Operating temperature range	-25°C ... +60 °C	-25°C ... +60 °C
Protection class according to IEC 62103	I	I
Climatic category according to IEC 60721	3K6	3K6
Degree of protection according to IEC 60529	IP54	IP54
Features / function		
Operation and display / multifunction relay	external with SRC20 / 2	external with SRC20 / 2
3-phase systems / parallel connection	● / ●	● / ●
Integrated bypass / multicuster operation	- / ●	- / ●
State of charge calculation / full charge / equalization charge	● / ● / ●	● / ● / ●
Integrated soft start / generator support	● / ●	● / ●
Battery temperature sensor / communication cables	● / ●	● / ●
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Warranty (5 / 10 / 15 / 20 / 25 years)	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Accessories		
Battery cable / battery fuse	○ / ○	○ / ○
Interface SI-COM5MA (RS485) / SI-SYSCAN (Multicuster)	○ / ○	○ / ○
Extended generator start "GenMan"	○	○
Load-shedding contactor / battery current measurement	○ / ○	○ / ○
Type designation	SI6.0H-10	SI 8.0H-10
<p>● Standard features ○ Optional features - not available Data at nominal conditions - provisional data, as of April 2012</p>		

SI_00000401122110 - SMA Solar Technology AG. The information about the current status of the development of the new publications is subject to technical changes. It is subject to change without notice.

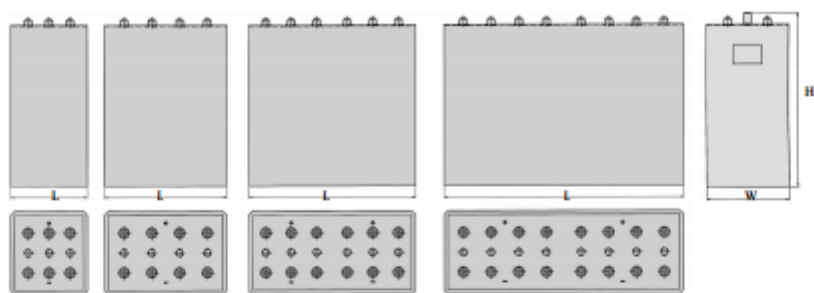
SMA Solar Technology AG
 Sonnenallee 1
 34266 Niestetal
 Germany
 Tel.: +49 561 9522-0
 Fax: +49 561 9522-100
 E-mail: Info@SMA.de
 www.SMA-Solar.com



max.power - typoszereg

Pojemności, wymiary i masy

Typ	$C_{10}/1.80$ V Ah	$C_5/1.77$ V Ah	$C_2/1.75$ V Ah	$C_1/1.67$ V Ah	Masa kg	Masa elektrolitu 1.24 kg/l kg	Dług. L mm	Szer. W mm	Wys. H mm
14 OPzS 3500	3780	3228	2799	1714	359	92.0	440	422	885
16 OPzS 4000	4320	3687	3198	1958	378	104.0	440	466	885
18 OPzS 4500	4860	4151	3597	2203	440	115.0	440	510	885
20 OPzS 5000	5400	4610	3996	2448	470	127.0	440	568	885
22 OPzS 5500	5940	5075	4395	2693	530	138.0	440	612	885
24 OPzS 6000	6480	5534	4797	2938	565	157.0	440	656	885
28 OPzS 7000	7560	6457	5595	3427	710	214.0	440	890	885
32 OPzS 8000	8640	7380	6396	3917	755	210.0	440	890	885
36 OPzS 9000	9720	8298	7194	4406	890	263.0	440	1090	885
40 OPzS 10000	10800	9221	7992	4896	935	260.0	440	1090	885
44 OPzS 11000	11880	10144	8793	5386	1060	309.0	440	1266	885
48 OPzS 12000	12960	11067	9591	5875	1110	306.0	440	1266	885



14 OPzS 3500	20 OPzS 5000	28 OPzS 7000	36 OPzS 9000
16 OPzS 4000	22 OPzS 5500	32 OPzS 8000	40 OPzS 10000
18 OPzS 4500	24 OPzS 6000		44 OPzS 11000
			48 OPzS 12000

Żywotność: do 20 lat

Hoppecke Baterie Polska Sp. z o.o.
ul. Strzeszyńska 33, 60-479 Poznań
tel. (0..61) 825 47 40, fax: (0..61) 823 97 61
<http://www.hoppecke.pl>, e-mail: info@hoppecke.pl

 **HOPPECKE**
POWER FROM INNOVATION

OLYMPIAN™



GEP22-6

*Grupo gerador a diesel
Exclusivamente do seu revendedor Cat®*

Conformidade das Emissões com Estágio III da UE.

Imagens meramente ilustrativas.

Potência de Saída		
Modo de Ajuste da Geração - Trifásico	Principal*	Geração em Emergência*
380-415V, 50Hz	20,0 kVA 16,0 kW	22,0 kVA 17,6 kW
220/127V, 60 Hz	22,5 kVA 18,0 kW	25,0 kVA 20,0 kW

* Consulte as definições de classificação na página 4.
Índice de fator de potência 0,8

Especificações técnicas do Motor		
Fabricante e Modelo do Motor:	Perkins™404D-22G	
Modelo do alternador:	LL1114M	
Painel de controle:	DCP-10	
Base:	Chassi reforçado	
Tipo do disjuntor:	3 Polos MCB	
Frequência:	50 Hz	60 Hz
Velocidade do motor: RPM	1500	1800
Capacidade do tanque de combustível: l (gal EUA)	66 (17,4)	
Consumo de combustível, Principal: l/h (gal EUA/h)	5,3 (1,4)	5,8 (1,5)
Consumo de combustível, Geração em Emergência: l/h (gal EUA/h)	5,9 (1,6)	6,5 (1,7)





CPID-1008.4

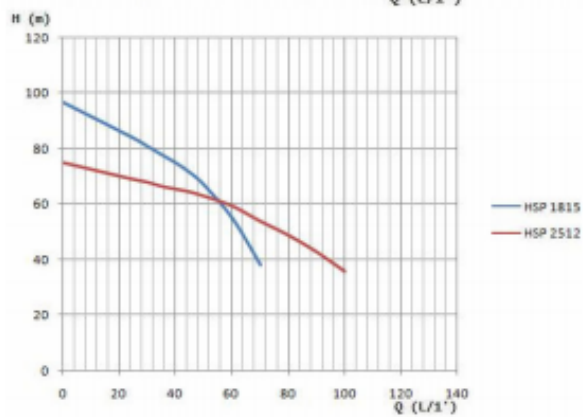
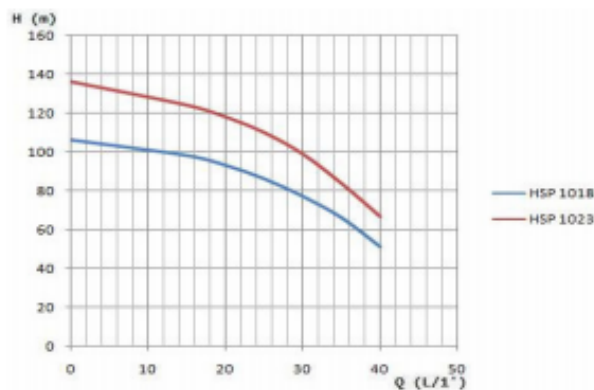
ELECTROBOMBAS SUBMERSÍVEIS DE 4" SPINOX

COMPORTAMENTO HIDRAULICO

SÉRIE HSP 10 / 18 / 25 - SAÍDA 1.1/4"

Tipos	Equiv.	POTÊNCIA		ALTURA MANOMÉTRICA - Hm (metros)													
		Kw	Hp	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160	MAX
				CAUDAL - Q (L / 1')													
HSP 1018	B-21	0,75	1,0					40	37	33	28	21	12	0			106
HSP 1023	B-30	1,10	1,5						39	37	33	29	18	0			136
HSP 1815	C-26	1,10	1,5				70	65	56	46	32	14	0				97
HSP 2512	D-17	1,10	1,5			110	94	77	55	18	0						75

CURVAS DE FUNCIONAMENTO



ORLANDO & ARAÚJO, S. A.
Rua da Primavera S/N | 4425-786 Ragão do Monte - PORTUGAL
Telefone 22 975 6774 | Telex 22 975 6779 | www.idealdelta.com | geral@idealdelta.com

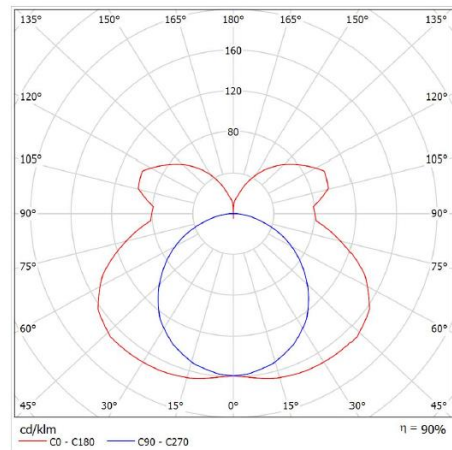
Documentação Técnica
Página 2 de 3

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

ELBA FIA-11-228 T5 / Folha de dados de luminária



Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 76
Código de Fluxo (CIE): 36 66 88 74 90

Application: General indoor lighting
Description:
Body: Steel sheet body and rail painted with white powder
Source: Tubular fluorescent lamp (T5)
Socket: G5
Ballast: Electronic
Standard: SR EN 60598-1
230V/50Hz IP20 IK07 Class I F 960C CE

Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR													
		70	70	50	50	30	30	70	70	50	50	30	
p: Tecto		50	30	50	30	30	50	30	50	30	50	30	
p: Paredes		50	30	50	30	30	50	30	50	30	50	30	
p: Solo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamanho da sala		Direcção transversal do eixo em relação ao eixo da lâmpada						Direcção longitudinal do eixo em relação ao eixo da lâmpada					
X	Y												
2H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
4H	2H	21.8	22.7	22.5	23.4	24.2	20.2	21.2	20.9	21.9	22.7		
	3H	24.2	25.0	24.9	25.7	26.6	21.9	22.7	22.6	23.4	24.3		
	4H	25.4	26.1	26.1	26.9	27.8	22.6	23.3	23.3	24.1	25.0		
	6H	26.6	27.2	27.4	28.0	28.9	23.2	23.8	23.9	24.6	25.5		
	8H	27.2	27.6	27.9	28.5	29.3	23.4	24.0	24.2	24.8	25.7		
8H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1	27.0	26.8	27.7	28.5	21.8	22.6	22.5	23.4	24.2		
12H	2H	21.3	22.4	21.9	23.1	23.8	19.2	20.3	19.8	21.0	21.7		
	3H	23.5	24.6	24.2	25.2	26.0	20.7	21.7	21.3	22.4	23.1		
	4H	24.6	25.6	25.3	26.3	27.1	21.2	22.2	21.9	22.9	23.7		
	6H	25.6	26.5	26.3	27.2	28.1	21.6	22.5	22.3	23.2	24.1		
	8H	26.1											

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

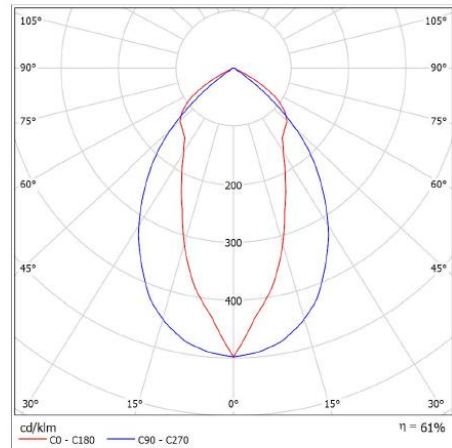
ELBA FIRA-07-228 / Folha de dados de luminária



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
Código de Fluxo (CIE): 72 97 100 100 61

Application: General indoor lighting
Description: Steel sheet body, painted with powder
Mirrored Al sheet reflector with a reflection factor > 0.85 double parabolic
Equipped with electronic ballast
May be fitted with emergency lighting kit on request.
Luminaire manufactured and certified according to SR EN 60598-1
230V/50Hz, IP40

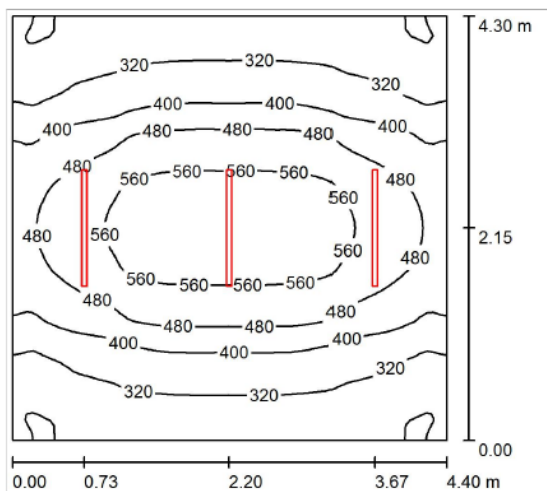
Emissão luminosa 1:



Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR																	
ρ Tecto	ρ Paredes	ρ Solo	Direcção transversal do olhar em relação ao eixo da lâmpada					Direcção longitudinal do olhar em relação ao eixo da lâmpada									
			70	50	30	30	50	70	50	30	30	50	70				
Tamanho da sala			X	Y													
2H			2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H			
4H			2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H			
8H			2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H			
12H			2H	3H	4H	6H	8H	12H	2H	3H	4H	6H	8H	12H			
Variação da posição do observador para as distâncias da luminária S			S = 1.0H					S = 1.5H					S = 2.0H				
Tabel padrão			BK00					BK00					BK00				
Adicional de correcção			-6.3					-6.3					-6.9				

Sala de professores / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.800 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:56

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	416	229	619	0.551
Solo	20	328	222	422	0.677
Tecto	80	285	83	2938	0.292
Paredes (4)	50	269	150	986	/

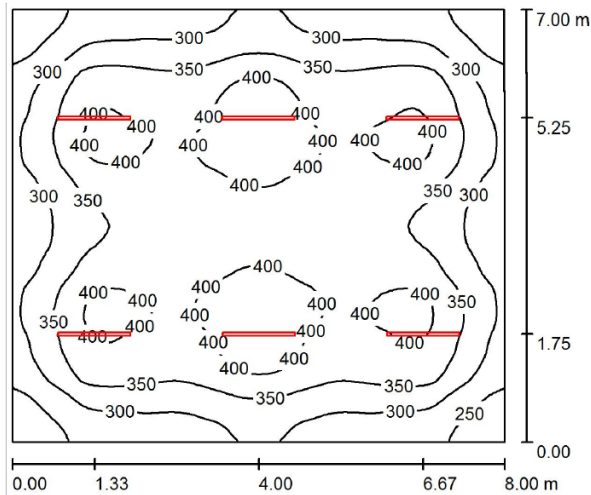
Plano de uso:
 Altura: 0.800 m
 Grelha: 64 x 64 Pontos
 Zona marginal: 0.000 m
UGR Longitudinal- Transversal em relação ao eixo da luminária
 Parede esquerda 24 21
 Parede inferior 24 21
 (CIE, SHR = 0.25.)
 Proporção de pontos com menos do que 400 lx (para IEQ-7): 48.02%.

Lista de luminárias

N°	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	3	ELBA FIA-11-228 T5 (1.000)	4664	5200	62.0
			Total: 13992	Total: 15600	186.0

Potência específica: $9.83 \text{ W/m}^2 = 2.36 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 18.92 m^2)

Sala de aula / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.800 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:90

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	349	211	444	0.606
Solo	20	299	205	359	0.683
Tecto	80	205	85	2497	0.415
Paredes (4)	50	228	153	318	/

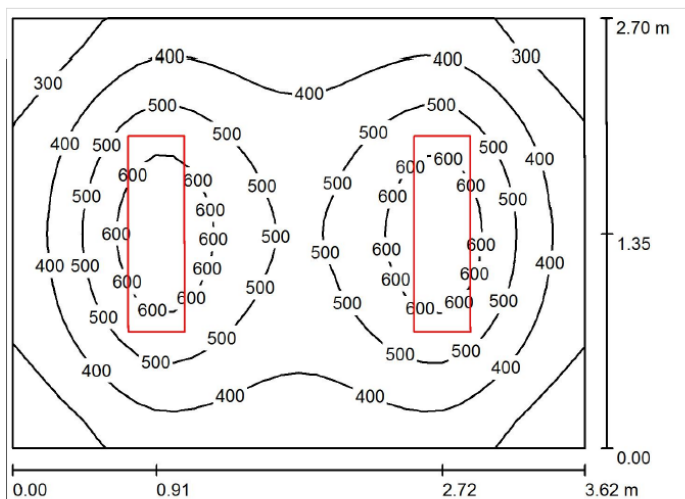
Plano de uso:	UGR	Longitudinal-	Transversal	em relação ao
Altura: 0.800 m	Parede esquerda 27	27	23	eixo da luminária
Grelha: 64 x 64 Pontos	Parede inferior 25	25	23	
Zona marginal: 0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	6	ELBA FIA-11-228 T5 (1.000)	4664	5200	62.0
			Total: 27983	Total: 31200	372.0

Potência específica: $6.64 \text{ W/m}^2 = 1.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 56.00 m^2)

Gabinete Diretor / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.800 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:35

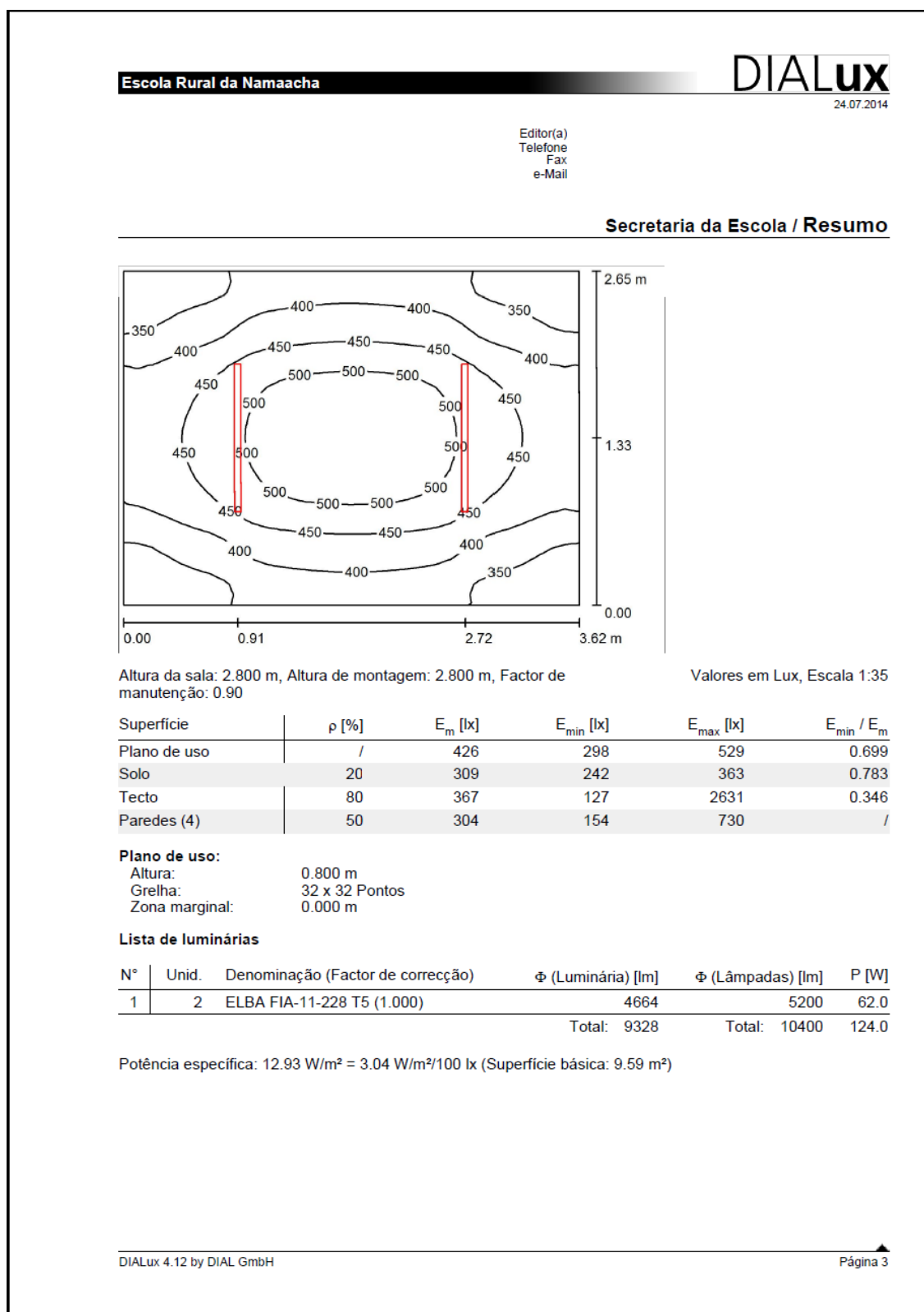
Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	445	232	683	0.521
Solo	20	345	227	430	0.658
Tecto	80	69	49	80	0.712
Paredes (4)	50	160	52	310	/

Plano de uso:
 Altura: 0.800 m
 Grelha: 32 x 32 Pontos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de luminárias

N°	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	2	ELBA FIRA-07-228 (1.000)	3147	5200	68.0
			Total: 6293	Total: 10400	136.0

Potência específica: $13.91 \text{ W/m}^2 = 3.13 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 9.77 m^2)



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

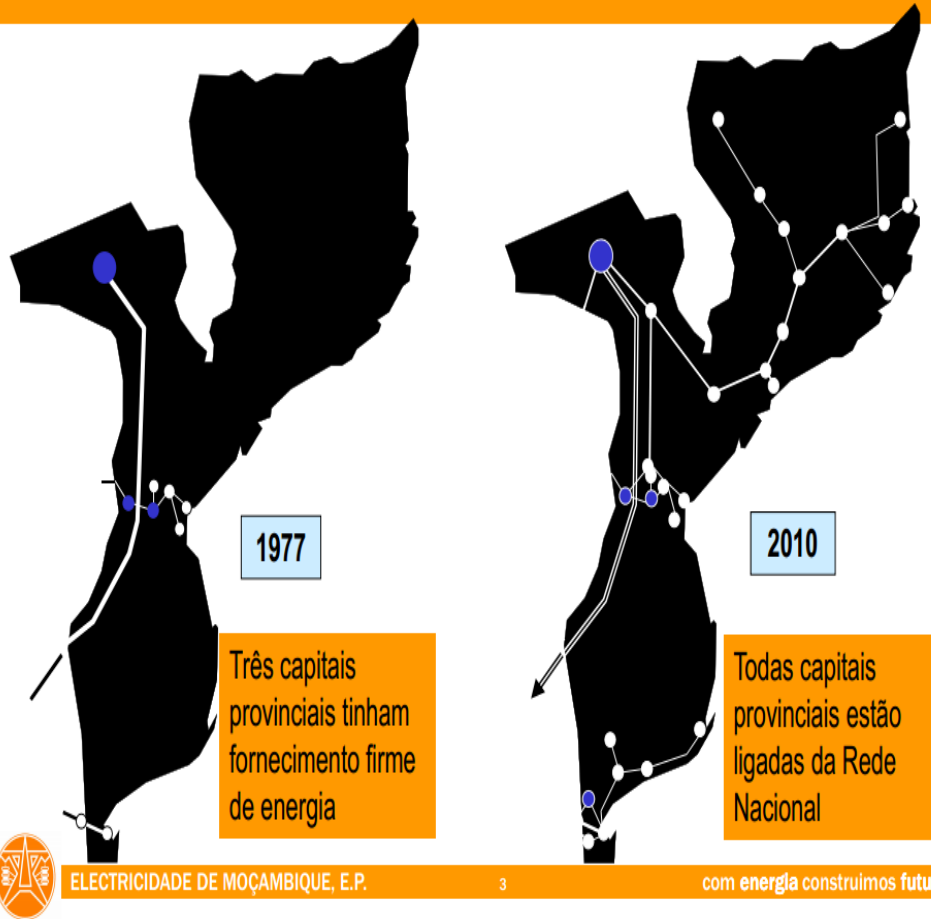
Principais Operadores do Sector Eléctrico

- **Electricidade de Moçambique (EDM)**
 - *Empresa Nacional de Electricidade, responsável pela Produção, Transporte, Distribuição e Comercialização de energia em Moçambique*
- **Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB)**
 - *Produtor Independente (IPP), com a capacidade de produção 5x415 MW para fornecer a Moçambique, África do Sul e Zimbabwe*
- **MOTRACO (ITC)**
 - *Transportador de energia (ITC): Estabelecida em 2000 com concessão para comercializar energia para a MOZAL e transportar energias para a Suazilândia e Moçambique*



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Evolução da Rede de Transporte de Energia



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

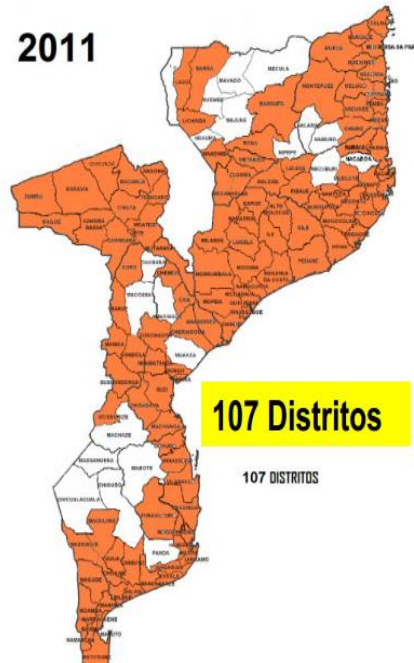
Evolução da electrificação dos Distritos (Rede de Média Tensão)

2005



55 Distritos

2011



107 Distritos

107 DISTRITOS



ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

4

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

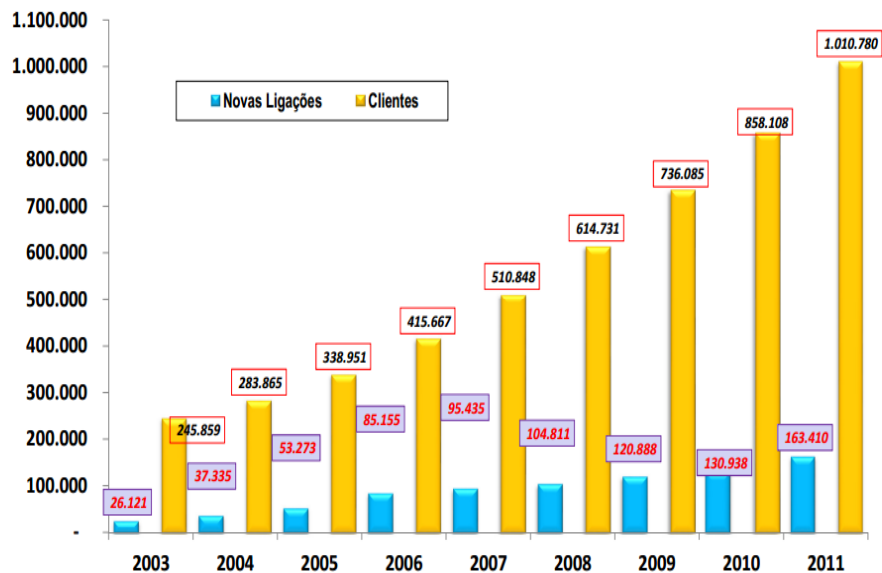
Estratégia para desenvolvimento do Sector

- Sempre que possível associar grandes projectos com use intensivo de energia com infra-estruturas eléctricas que trazem mais valia ao país
- Aposta da maximização da energia de Cahora Bassa (hídrica) como a fonte primária do programa de electrificação
- Expansão da Rede Nacional para todas a capitais provinciais numa primeira fase e para os distritos numa segunda fase



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Evolução de número Consumidores



Moçambique a seguir a África do Sul é o País com elevada taxa de novas ligações com uma média de **120 000** novas ligações por ano



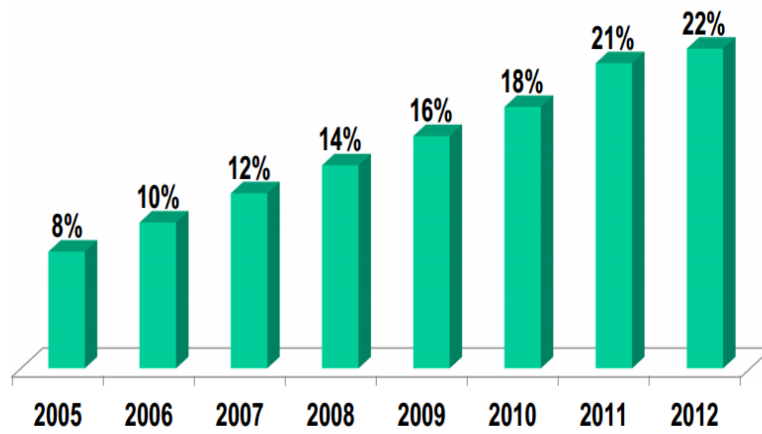
ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

6

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Evolução da taxa de acesso de energia eléctrica



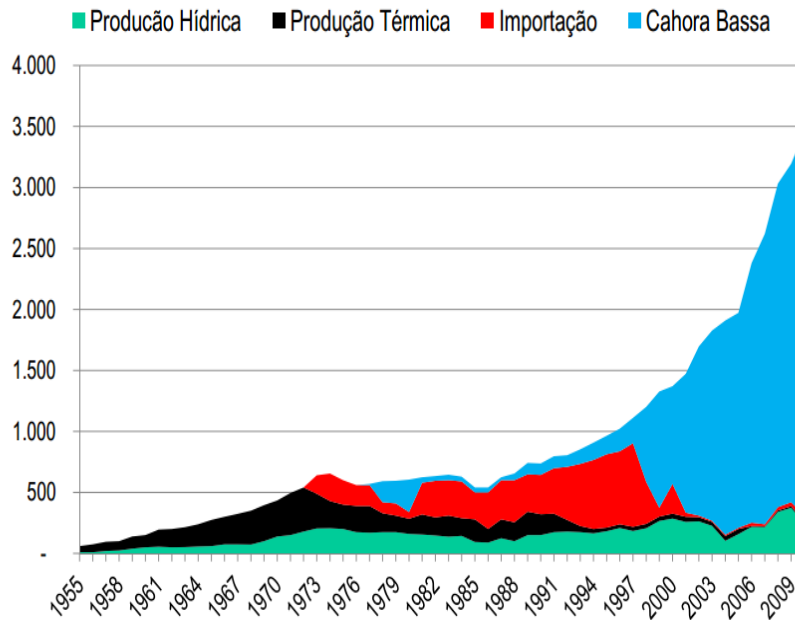
ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

7

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Balço Energético



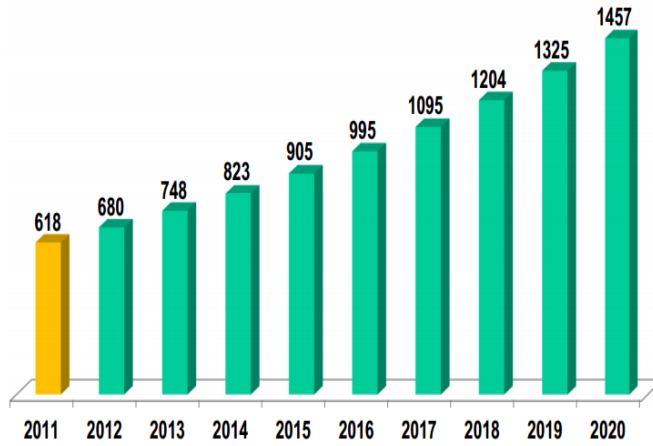
ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

8

com energia construímos futuro

Mozambique Hydropower Competences Load Forecast

Demand [MW]



ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

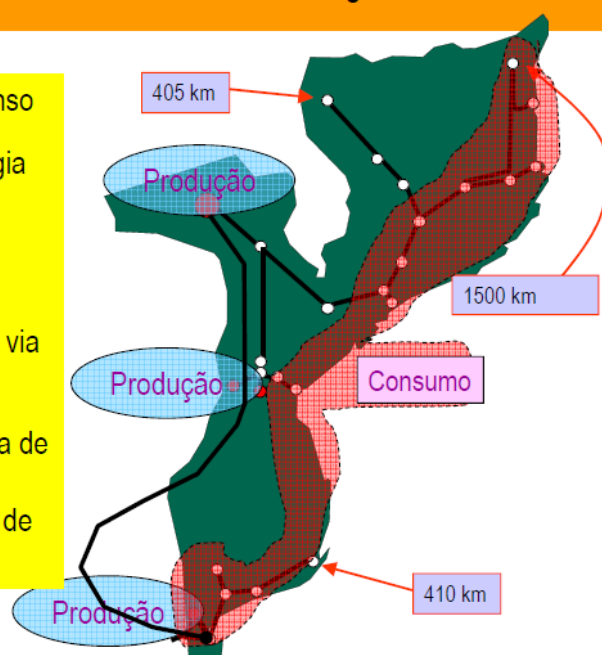
9

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Constrangimentos no fornecimento de energia

- Moçambique é um País extenso
- Para o fornecimento de energia existem três corredores de transporte de energia
- O corredor do Sul depende totalmente da linha de HVDC via África do Sul
- Cahora Bassa assegura cerca de 90% de energia do País e os restantes 10% pelas centrais de Mavuzi e Chicamba



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

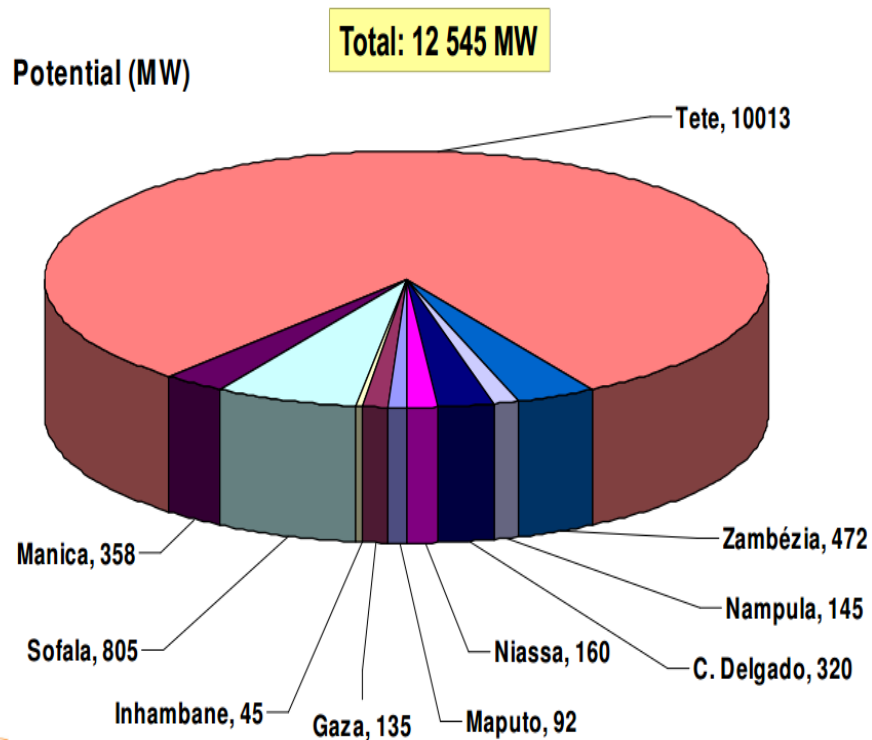
Recursos Naturais de Moçambique

- Moçambique é o segundo País na África Austral com grande potencial hídrico.
- O total do potencial hídrico por se explorar é cerca de 12 000 MW dos quais 10 000 MW estão na província de Tete
- O Vale do Zambeze tem um potencial de mais de 5 000 MW mas apenas 2075 MW na Cahora Bassa estão em exploração



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Recursos Naturais de Moçambique: **Potencial Hídrico**



ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

12

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Recursos Naturais de Moçambique: **Carvão Mineral**

- Moçambique tem uma das maiores reservas de carvão no mundo e grandes investimentos estão sendo feitos na província de Tete
- Concessões foram atribuídas a Vale e Rio Tinto que estão na fase de exploração comercial do carvão
- As reservas existentes e provadas têm a capacidade de produzir mais de 8 000 MW por um período de 30 anos



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

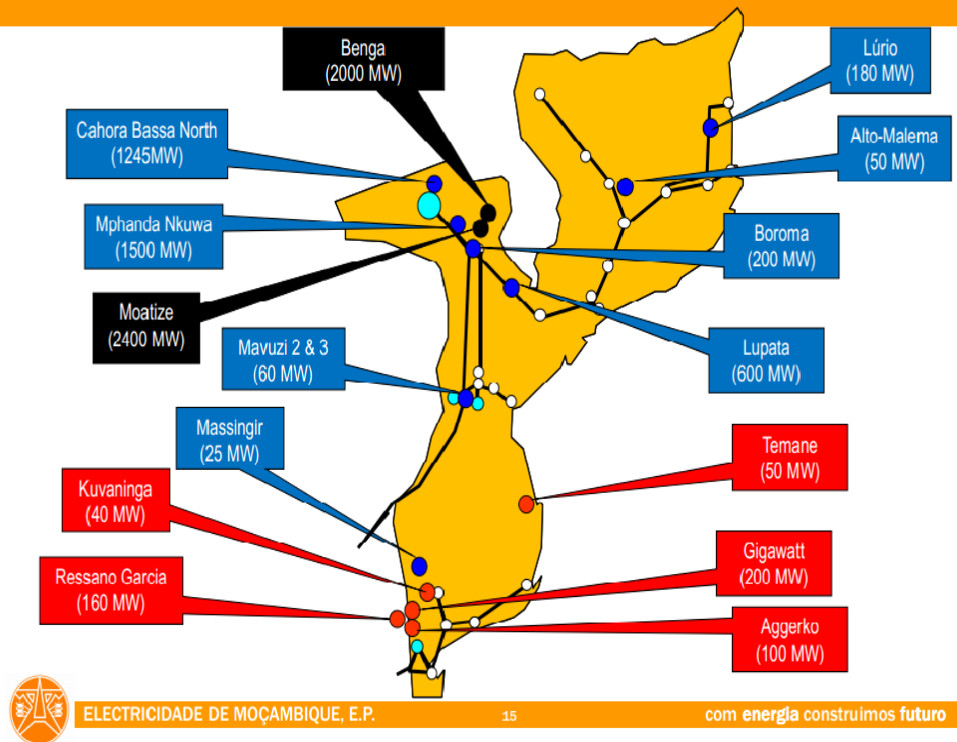
Recursos Naturais de Moçambique: **Gás Natural**

- Em fase de exploração comercial o gás natural de Temane com exportação para África do Sul e consumo interno
- Até 2014 deverão estar em operação centrais de produção de energia debitando cerca de 350 MW para o consumo local e exportação
- Mais descobertas de gás natural no Norte o que torna Moçambique País rico em recursos naturais
- Possibilidade de construção d de centrais de média e grande escala (200 a 1000 MW) para a satisfação dos consumos locais e exportação



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Projectos de Produção de energia: **Localização geográfica**



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Projecto da linha Tete – Maputo: **Ponto de Situação**

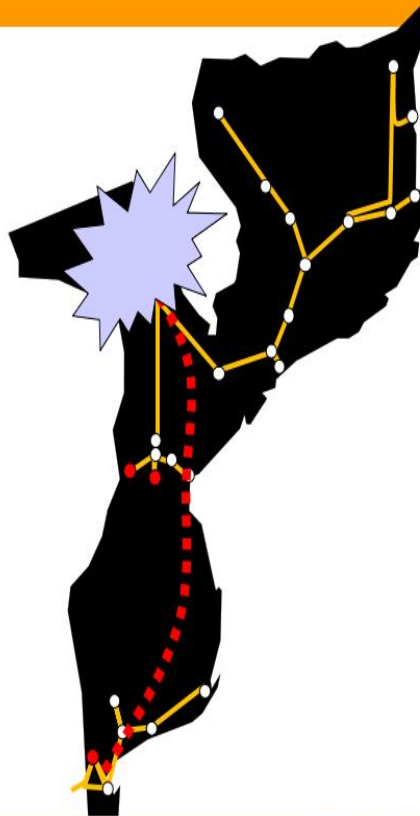
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Aggreko	107 MW							
Kuwaninga			40 MW					
Sasol/EDM			170 MW					
Gigawatt			100 MW					
CTM			80 MW					
Moatize					300 MW			
Benga					500 MW			
Massingir						28 MW		
M Nkuwa							1500 MW	



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Viabilização dos Projectos de Produção: **Projecto da linha Tete - Maputo**

- Evacuar cerca de 9200 MW a serem produzidos no vale do Zambeze
- Evacuar parte da energia para os consumidores sendo os de Moçambique com tratamento preferencial e a Região em segundo plano
- A Linha deve ser implementada por fases com base nas datas de implementação dos vários projectos de Produção de Energia
- Garantir a estabilidade técnica da linha durante a sua operação



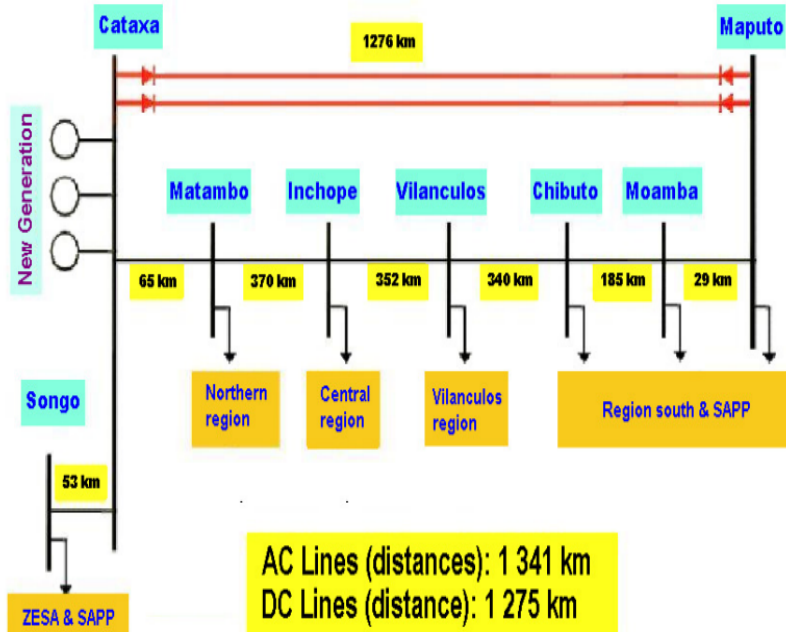
ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

17

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Projecto da linha Tete - Maputo



O projecto foi reformulado e limitado para uma capacidade de transporte de 3100 MW mantendo os requisitos mínimos e o custo reduziu em menos de 50%



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Projecto da linha Tete – Maputo: **Custo estimado**

Summary CESUL Phase 1: 400 kV 900 MW HVAC Transmission and ± 500 kV 2,650 MW HVDC Transmission (’000)		USD
Total HVAC Phase 1		950 782
Total HVDC Stage 1 of Phase 1		848 663
Total HVAC + HVDC Stage 1 of Phase 1		1 799 445
Total HVDC Stage 2 of Phase 1		319 200
Total CESUL Phase 1 (incl. Owner’s Costs & Physical Contingencies, but excl. Price Contingencies)		2 118 645



Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Projecto da linha Tete – Maputo: **Ponto de Situação**

- Criada a empresa que vai fazer a gestão do projecto “Sociedade Nacional de Transporte de Energia” (STE)
- Da estrutura accionista a EDM terá 51% e os restantes 49% pelos restantes parceiros, REN, Eskom, EDF e Eletrobrás

51%



49%



ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, E.P.

20

com energia construímos futuro

Plano de Desenvolvimento na Área da Energia em Moçambique

Projecto da linha Tete – Maputo: **Ponto de Situação**

- A EDM está a coordenar as etapas subsequentes com os parceiros
- Concluído o “Acordo de Desenvolvimento” (JDA) devendo-se assinar nos próximos tempos
- Os parceiros de cooperação da EDM já manifestaram formalmente o apoio para a implementação do projecto
- Em preparação o “Road Show” do projecto

