



MANUAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
CERTIFICADO VOCACIONAL
1ª Edição

Edson Guiongo • Gabriel Gassner • Christian Gratz



Implementado por:



MANUAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
CERTIFICADO VOCACIONAL
1ª Edição

Edson Guiongo • Gabriel Gassner • Christian Gratz

Janeiro de 2026



Implementado por:



RESUMO

A energia é como todos sabem, um bem escasso e não inesgotável que tem vindo a preocupar a comunidade nacional e internacional, no que respeita às suas reservas e à procura de novas fontes alternativas. Em termos de fontes de energias fósseis (petróleo e carvão), a sua produção e utilização têm um impacto ambiental que deve ser reduzido, numa óptica de não comprometer o equilíbrio climático do planeta. Por isso, assiste-se hoje a investigação e a grandes investimentos na área das energias renováveis e no seu desenvolvimento, especificamente a solar fotovoltaica.

As energias renováveis, como alternativa, são ainda um assunto que deve receber mais atenção, tendo em conta a sua importância para a actual e futura geração. Desta feita, tem-se assistindo a sua gradual disseminação, em instituições de formação técnica-profissional ao longo do país, onde cursos desta área são leccionados.

Neste contexto e no que respeita à leccionação deste tipo de formação, existe a necessidade da produção de materiais didáticos, focados no dimensionamento e execução de sistema fotovoltaicos, tanto para o formador como para o formando.

Este manual fotovoltaico de formação de formadores, resulta sobretudo da necessidade de capacitar os formadores e seus respectivos formandos na matéria de energias renováveis, especificamente, dimensionamento e execução de sistemas solares fotovoltaicos.

Durante o seu desenvolvimento, foram seguidos os referenciais da Autoridade Nacional do Ensino Profissional (ANEP), referente ao curriculum vocacional e vem responder às necessidades dos seguintes cursos:

- Curso Profissional “Técnico Básico de Energia Solar Fotovoltaica”

O manual está direccionado aos formadores e seus respectivos formandos, nos cursos profissionais de energia solar fotovoltaica, constituindo uma mais-valia para os formandos, profissionais do sector, empresas e engenheiros, sob uma óptica de resolução de problemas de dimensionamento e instalação de sistemas fotovoltaicos.

O manual permitirá também que, os formadores e seus respectivos formandos, procurem, de forma autónoma e crítica, o saber e os conhecimentos práticos relativos a esta área específica, consolidando e sedimentando as competências necessárias

para a sua correcta aplicação. Ao longo das suas páginas, são abordados os seguintes módulos:

- Contextualizar da energia fotovoltaica;
- Calcular, ligar e medir em circuitos de corrente contínua de sistemas fotovoltaicos;
- Seleccionar e montar componentes de geração e armazenagem de energia eléctrica fotovoltaica;
- Seleccionar e montar componentes para circuitos de consumo de energia eléctrica fotovoltaica;
- Verificar o dimensionamento dos componentes numa instalação fotovoltaica autónoma;
- Instalar, operar e manter sistemas fotovoltaicos autónomos.

Palavras-chave: formação, energia solar, dimensionamento.

ABSTRACT

Energy, as everyone knows, is a scarce and inexhaustible resource that has been a concern for the national and international community, regarding its reserves and the search for new alternative sources. In terms of fossil fuel energy sources (oil and coal), their production and use have an environmental impact that must be reduced, in order not to compromise the planet's climate balance. Therefore, today we are witnessing research and large investments in the area of renewable energies and their development, specifically photovoltaic solar energy.

Renewable energies, as an alternative, are still a subject that should receive more attention, given their importance for current and future generation. Thus, we have been witnessing their gradual dissemination in technical-professional training institutions throughout the country, where courses in this area are taught.

In this context and with regard to the provision of this type of training, there is a need for the production of teaching materials focused on the execution of photovoltaic solar systems, both for the trainer and for the trainee.

This photovoltaic training manual for trainers stems primarily from the need to train trainers and their trainees in the field of renewable energies, specifically, the design and implementation of photovoltaic solar systems.

During its development, the guidelines of the National Authority for Professional Education (ANEP), regarding vocational curriculum, were followed, and it addresses the needs of the following courses:

- Professional Course “Basic Technician in Photovoltaic Solar Energy”

The manual is aimed at trainers and their respective trainees in professional photovoltaic solar energy courses, constituting a benefit for trainees, professionals in the sector, companies, and engineers, from the perspective of solving problems related to the sizing and installation of photovoltaic systems.

The manual will also allow trainers and their respective trainees to autonomously and critically seek knowledge and practical skills related to this specific area, consolidating

and solidifying the necessary competencies for its correct application. Throughout its pages, the following modules are addressed:

- Contextualizing photovoltaic energy;
- Calculating, connecting, and measuring in direct current circuits of photovoltaic systems;
- Selecting and assembling photovoltaic electrical energy generation and storage components;
- Selecting and assembling components for photovoltaic electrical energy consumption circuits;
- Verify the sizing of components in a stand-alone photovoltaic installation;
- Install, operate, and maintain stand-alone photovoltaic systems.

Keywords: training, solar energy, sizing.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

1. INTRODUÇÃO	6
1.1. ESTUDO DE CASO	7
2. RECURSOS.....	7
2.1. Radiação solar	7
2.1.1. Tipos de radiação solar	8
2.2. Constante solar S.....	9
2.3. Coordenadas geográficas	10
2.3.1. Latitude.....	10
2.3.2. Longitude.....	10
2.3.3. Ângulo de inclinação	10
2.4. Sombreamentos – inclinação dos colectores em função do uso.....	11
2.5. Orientação e inclinação de superfícies absorvedoras.....	11
2.6. Captação máxima de energia solar.....	12
2.7. Módulos fotovoltaicos ou painéis solares	12
2.8. Tecnologia de sistemas fotovoltaicos.....	14
2.9. Sistemas isolados	14
2.9.1. Com armazenamento	14
2.9.2. Sem armazenamento	17
2.10. Sistema fotovoltaico acoplado	17
2.11. Conceitos eléctricos e fotovoltaicos	18
2.11.1. Fórmulas de potência.....	19
2.11.2. Fórmulas de energia	20
2.11.3. Resistência de um conductor	21
2.11.4. Ligações de resistências	21
2.11.5. Aumento da resistência de um conductor com a temperatura	22
2.11.6. Ligação de baterias	23

2.12.	Medição em circuitos de corrente contínua	24
2.12.1.	Funções e selecções do multímetro digital	26
2.12.2.	Procedimento de medição de corrente (amperímetro)	27
2.12.3.	Procedimento de medição de tensão (voltímetro)	27
2.12.4.	Considerações técnicas importantes.....	27
2.13.	Símbolos e ícones aplicáveis em esquemas solares.....	28
2.14.	Normas e regras técnicas para sistemas fotovoltaicos	30
2.14.1.	Normalização	30
2.15.	Organismos de normalização	31
2.15.1.	Internacionais	31
2.15.2.	Nacionais	31
2.16.	Características dos cabos CC.....	31
2.16.1.	Tensão nominal.....	31
2.16.2.	Corrente admissível	31
2.16.3.	Condições ambientais	31
2.16.4.	Queda de tensão em CC, permitida para as instalações fotovoltaicas	32
2.17.	Dispositivos da caixa combinatória (string box)	32
2.17.1.	Limites da corrente do fusível CC e DPS	32
2.18.	Conversão	32
2.19.	Equipotencialização	32
2.20.	Painéis solares.....	33
2.21.	Cablagem	34
2.22.	Chave principal CC	35
2.23.	Caixa de junção combinatória CC (string box ou PV box)	35
2.24.	Protecção contra descargas atmosféricas e sobretensões.....	36
2.25.	Site visit (visita ao local).....	37

2.25.1.	Principais aspetos de uma visita ao local da instalação fotovoltaica.	37
2.25.2.	Exposição solar e sombreado	37
2.25.3.	Condição e material do telhado.....	38
2.25.4.	Sistema eléctrico	38
2.25.5.	Espaço e orientação.....	38
2.25.6.	Factores económicos	38
2.25.7.	Importância das visitas à instalações fotovoltaicas	38
2.25.8.	Projecto e orçamento precisos	38
2.25.9.	Desempenho ideal	38
2.25.10.	Segurança e viabilidade	38
2.25.11.	Conformidade com as normas	38
	Verificar a área fotovoltaica disponível.....	39
	Verificar sombreamentos entre fileiras e advindos de obstáculos	39
	Verificar a potência do gerador fotovoltaico.....	39
3.	VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES NUMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA AUTÓNOMA	40
3.1.1.	Levantamento de dados	40
3.2.	Insolação em Moçambique	41
3.2.1.	Cálculo da área fotovoltaica disponível	42
3.2.2.	Sombreamentos entre fileiras e advindos de obstáculos a volta	43
3.2.3.	Cálculo das perdas no sistema fotovoltaico.....	45
3.2.4.	Perdas por aquecimento em sistemas fotovoltaicos.....	46
3.3.	Cálculo da potência do gerador fotovoltaico	47
3.4.	Cálculo da quantidade total dos painéis solares que pretende-se instalar..	47
3.4.1.	Cálculo da quantidade dos painéis solares que podem ser instalados na área fotovoltaica disponível.....	47
3.5.	Cálculo da capacidade de suporte da cobertura	48

3.5.1.	Peso do sistema fotovoltaico	48
3.5.2.	Cargas de vento	48
3.5.3.	Materiais da cobertura	49
3.5.4.	Quantidade de fieiras por inversor	49
3.5.5.	Quantidade de painéis solares por fileira	49
3.5.6.	Condutores de conexão dos painéis solares	49
3.6.	Conexão dos painéis solares	51
3.6.1.	Conexão em série de painéis solares	51
3.6.2.	Conexão em paralelo de painéis solares	51
3.7.	Orientação dos painéis solares	52
3.8.	Inclinação dos painéis solares	52
3.9.	Protecção do lado de corrente contínua CC	53
3.9.1.	Fusíveis gPV	53
3.10.	Dispositivo de protecção contra surtos no lado CC	55
3.10.1.	Tensão máxima de funcionamento contínuo, UC	55
3.10.2.	Classes	55
3.10.3.	Corrente de descarga	56
3.10.4.	Chave seccionadora CC	57
3.10.5.	Queda de tensão nos condutores CC	58
3.11.	Estrutura de suporte dos painéis solares	58
3.11.1.	Estrutura de sustentação no solo	58
3.11.2.	Estrutura de sustentação no poste	59
3.11.3.	Estrutura de sustentação sobre a edificação	60
3.11.4.	Estrutura de suporte com seguidor solar	60
3.12.	Equipotencialização	61
3.13.	Tipos de aterramento	62
3.13.1.	Aterramento TT (Terra-Terra)	62

3.13.2.	Aterramento TN-S (Terra-Neutro Separado)	63
3.14.	Exercícios de aplicação	64
3.15.	Procedimento de montagem	65
3.15.1.	Planeamento e estrutura de suporte	65
3.15.2.	Instalação dos painéis solares	65
3.15.3.	Ilustrações de montagem	66
3.16.	Caracterização técnica detalhada dos principais componentes de uma estrutura de fixação em telhados.....	67
3.16.1.	Fixação ao telhado	67
3.16.2.	Parafusos para placas onduladas de fibrocimento	68
3.16.3.	Pontos críticos de uma instalação em telhado	70
3.16.4.	Vídeo explicativo	70
3.17.	Notas de formação.....	71
4.	VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DAS BATERIAS E DA CABLAGEM DE TODA A INSTALAÇÃO	73
4.1.	Baterias de acumuladores	73
4.1.1.	Constituição e princípio de funcionamento	73
4.1.2.	Modelo eléctrico de uma bateria.....	74
4.1.3.	Baterias de chumbo-ácido	75
4.2.	Sintomas de falhas em baterias de chumbo-ácido.....	77
4.2.1.	Sinais de desempenho	78
4.2.2.	Sinais eléctricos e químicos	78
4.2.3.	Sinais físicos – alertas de segurança	78
4.2.4.	Ferramentas de diagnóstico recomendadas.....	79
4.2.5.	Baterias de iões de lítio	79
4.2.6.	Capacidade da bateria, Cn	80
4.2.7.	Tempo de descarga, tn.....	80

4.2.8.	Densidade energética, em Wh	81
4.2.9.	Ciclos de vida	81
4.2.10.	Autodescarga	81
4.2.11.	Profundidade de descarga (DOD – Deep of Discharge)	82
4.3.	Estratégias de protecção contra descargas profundas	83
4.3.1.	Utilização de controladores de carga	83
4.3.2.	Precauções na instalação de baterias	84
4.3.3.	Manutenção das baterias	84
4.4.	CASO DE ESTUDO	86
4.5.	RECURSOS	86
4.6.	Cablagem do banco de baterias	88
4.6.1.	Regra prática	89
4.7.	Protecção das baterias	90
4.8.	Controlador de carga MPPT	90
4.9.	Limites do controlador de carga MPPT	91
4.9.1.	Corrente máxima de saída (lado da bateria)	91
4.9.2.	Corrente máxima de entrada (lado do módulo fotovoltaico)	91
4.9.3.	Tensão máxima de entrada	92
4.9.4.	Funcionamento	92
4.9.5.	Diferença entre o controlador de carga MPPT e PWM	93
4.10.	Exercícios de aplicação	95
4.11.	Procedimento de montagem	95
4.11.1.	Preparação e segurança	96
4.11.2.	Montagem física	96
4.11.3.	Sequência de ligação e desligação	97
4.11.4.	Instalação de fusíveis	97
4.11.5.	Pós-instalação	97

4.11.6. Vídeo explicativo	97
4.12. Notas de formação.....	98
5. VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR E DE SEUS RESPECTIVOS COMPONENTES.....	100
5.1. Inversores CC/CA para sistemas autônomos	100
5.2. Características dos inversores para instalações autônomas	101
5.2.1. Capacidade de sobrecarga.....	101
5.2.2. Rendimento	102
5.3. Diferença entre inversores de baixa e alta frequência	102
5.3.1. Inversores de baixa frequência (LF)	102
5.3.2. Inversores de alta frequência (HF)	103
5.3.3. Marcas de inversores disponíveis no mercado.....	104
5.4. Inversor híbrido	106
5.4.1. Diferença entre inversor híbrido e inversor de fileira	106
5.4.2. Inversor de fileira (string)	106
5.4.3. Inversor de híbrido.....	107
5.5. Estabilidade de tensão.....	107
5.5.1. Distorção harmónica THD	108
5.5.2. Regulação em frequência.....	108
5.6. Possibilidade de ligar inversores em paralelo	108
5.6.1. Arranque automático	108
5.6.2. Auto-consumo	108
5.6.3. Segurança	109
5.7. ESTUDO DE CASO	110
6. RECURSOS.....	110
6.1. Dimensionamento	110
6.2. Análise minuciosa dos parâmetros de entrada do inversor.....	111

6.3.	Cálculo minucioso dos parâmetros de saída do inversor CA	112
6.3.1.	Saída do inversor até as cargas	113
6.3.2.	Entrada da rede CA (EDM) no inversor	115
6.4.	Dispositivo de protecção contra surtos no lado CA	115
6.4.1.	Tensão máxima de funcionamento contínuo, UC	115
6.4.2.	Classe	115
6.4.3.	Corrente de descarga	116
6.5.	Casa de máquinas	116
6.6.	Exercícios de aplicação	116
6.7.	Procedimento de montagem	117
6.7.1.	Preparação e escolha do local	117
6.7.2.	Fixação do inversor	118
6.7.3.	Ligações eléctricas	118
6.7.4.	Inicialização e testes	118
6.8.	Vídeo explicativo	119
	Vídeo explicativo: https://www.youtube.com/watch?v=BADJ9IjmVPY	119
6.9.	Notas de formação	120
	Realizar manutenção de um sistema fotovoltaico autónomo	121
6.10.	Instalar um sistema fotovoltaico autónomo	122
6.10.1.	Planificar o trabalho de instalação de um sistema fotovoltaico autónomo	122
6.11.	1. Análise e dimensionamento (fase de projecto)	122
6.11.1.	Dimensionamento	122
6.11.2.	Componentes essenciais	122
6.12.	Projecto técnico e logística	122
6.12.1.	Esquema eléctrico	122
6.12.2.	Logística	122

6.13.	3. Instalação Física (passo a passo).....	123
6.14.	4. Ensaaios e colocação em serviço.....	123
6.15.	5. Monitorização e manutenção	123
6.15.1.	Equipamentos a utilizar na instalação de sistemas fotovoltaicos	124
6.15.2.	Descrição dos equipamentos	125
6.15.3.	Cronograma de actividades	128
6.16.	Operar um sistema fotovoltaico autónomo (HST)	129
6.17.	Medidas de segurança para os trabalhadores da área de sistemas fotovoltaicos.....	129
6.17.1.	Evite trabalhar em condições climáticas adversas	129
6.17.2.	Elevação e movimentação de painéis solares	130
6.17.3.	Trabalhar com painéis solares	130
6.17.4.	Trabalho em telhados.....	130
6.17.5.	Trabalho com electricidade	131
6.17.6.	Regras adicionais.....	132
6.17.7.	Equipamento de proteção individual	133
6.17.8.	Arnês e anti-queda (retráctil ou não)	133
7.	MANUTENÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	133
7.1.	Manutenção preditiva.....	134
7.2.	Manutenção preventiva.....	134
7.3.	Manutenção correctiva.....	134
7.4.	Frequência de realização da manutenção no sistema fotovoltaico	135
7.5.	Realização da manutenção do sistema fotovoltaico	135
7.5.1.	Estrutura de fixação.....	135
7.5.2.	Caixa combinatória (string box)	135
7.5.3.	Cabos e conectores.....	136
7.5.4.	Inversor.....	136

7.5.5. Painéis solares	136
7.5.6. Segurança	137
7.5.7. Equipamentos.....	137
7.6. Horário para limpeza dos painéis solares	138
7.7. Plano de manutenção	138
Monitorização de desempenho	142
8. COMMISSIONAR O SISTEMA FOTOVOLTAICO	143
8.1. ESTUDO DE CASO	143
8.2. Comissionamento do sistema fotovoltaico	144
8.2.1. Verificação da instalação.....	144
8.2.2. Testes do sistema	144
8.2.3. Ligação à rede.....	144
8.2.4. Documentação e entrega	145
8.2.5. Monitorização de desempenho.....	145
9. MAPA DE QUANTIDADES E CUSTO	146
9.1.1. Exemplo de cotação de um sistema fotovoltaico.....	147
10. CONCLUSÃO	148
11. RECOMENDAÇÕES.....	150
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
12.1. Sites acedidos.....	153
13. ANEXOS	154
14. 8 FALHAS COMUNS – SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS DE PEQUENA DIMENSÃO.....	166
15. NORMA MÍNIMA DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS DE BAIXO ORÇAMENTO.....	173
16. LISTA DE VERIFICAÇÃO DE COMISSIONAMENTO CV2 (MÍNIMA)	180
17. CC – CONECTOR DE LIGAÇÃO.....	184

18. REGULADOR DE CARGA PWM (MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO).....	186
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Radiação incidente na Terra	8
Figura 2. Tipos de radiação incidente na Terra.....	9
Figura 3. Constante solar S.....	9
Figura 4. Inclinação de um módulo fotovoltaico	11
Figura 5. Sombreamentos.....	11
Figura 6. Variação angular da absorptância e reflectância	12
Figura 7. Energia total transportada pela radiação incidente	12
Figura 8. Funcionamento de célula solar fotovoltaica	13
Figura 9. Célula fotovoltaica.....	13
Figura 10. Sistema FV isolado com armazenamento de 24 V	15
Figura 11. Sistema fotovoltaico isolado com armazenamento de 48 V	16
Figura 12. Sistema fotovoltaico isolado com armazenamento de 12 V	16
Figura 13. Sistema autónomo sem armazenamento e com comutação.....	17
Figura 14. Sistema híbrido com comutação programável	18
Figura 15. Sentidos real e convencional da corrente eléctrica	18
Figura 16. Sentido do fluxo dos electrões	19
Figura 17. Multímetro digital	25
Figura 18. Descrição das funções do multímetro digital	25
Figura 19. Normalização	30
Figura 20. Cabos devem ser resistentes à radiação UV e flexíveis	34
Figura 21. Caixa de junção CC	35
Figura 22. Notas do site visit	37
Figura 23. Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP	41
Figura 24. Potencial solar de Moçambique	42
Figura 25. Regra a aplicar em fileiras de painéis quando existem sombreamentos	43
Figura 26. Distância entre painéis solares e obstáculos	44
Figura 27. Distância mínima de 10 mm entre a cobertura e o painel solar	46

Figura 28. Conexão série dos painéis solares	51
Figura 29. Conexão paralelo dos painéis solares	52
Figura 30. Fusível gPV de 1000 VDC, 32 A	53
Figura 31. Dispositivo de protecção contra surtos	57
Figura 32. Chave seccionadora CC	57
Figura 33. Estrutura de sustentação no solo	58
Figura 34. Estrutura de sustentação no poste.....	59
Figura 35. Estrutura de sustentação sobre a edificação	60
Figura 36. Estrutura de suporte com seguidor solar	60
Figura 37. Esquema de aterramento TT	63
Figura 38. Esquema de aterramento TN-S	63
Figura 39. Instalar a estrutura de suporte e os respectivos painéis solares Fonte: CAPROSOL, 2023	65
Figura 40. Estrutura fixa para telhado plano	66
Figura 41. Colocação de um gancho de telhado	67
Figura 42. Parafuso M10x200 conector painel solar telha fibrocimento	68
Figura 43. Montagem em telhas.....	68
Figura 44. Montagem em telhas onduladas com feltro.....	69
Figura 45. Montagem em telhado plano.....	69
Figura 46. Símbolos eléctricos representativos de uma bateria	73
Figura 47. Esquema básico de um acumulador de energia eléctrica.....	73
Figura 48. Circuito eléctrico equivalente de uma bateria.....	74
Figura 49. Pormenor em corte de uma bateria de chumbo-ácido	76
Figura 50. Constituição de uma bateria de chumbo-ácido	77
Figura 51. Bateria de ião de lítio	80
Figura 52. Profundidade de descarga e o número de ciclos de carga	83
Figura 53. Modelos de baterias de Lítio	86
Figura 54. Influência da variação da tensão do sistema CC	88
Figura 55. Esquema eléctrico do controlador de carga MPPT	90
Figura 56. Design do controlador de carga MPPT	91
Figura 57. Etapas de carregamento do MPPT	92
Figura 58. Instalar o banco de baterias	96
Figura 59. Inversor autónomo DC/AC	100

Figura 60. Gráfico da potência fornecida por um inversor de 550 W	101
Figura 61. Inversores de baixa frequência (LF).....	102
Figura 62. Inversores de alta frequência (HF).....	103
Figura 63. Inversor autônomo da Victron Energy	104
Figura 64. Inversor autônomo da GROWATT	105
Figura 65. Inversor híbrido da Deye	105
Figura 66. Inversor de fileira e híbrido.....	106
Figura 67. Equipamentos a usar durante a instalação a	124
Figura 68. Equipamentos a usar durante a instalação b	124
Figura 69. HST em sistemas fotovoltaicos	129
Figura 70. Vasoura limpadora de painéis solares	137
Figura 71. Comissionamento do sistema fotovoltaico	144

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Potência de consumo em função da tensão do sistema fotovoltaico	14
Tabela 2. Lei de ohm.....	19
Tabela 3. Ligação em série de resistências ou receptores	21
Tabela 4. Ligação em paralelo de resistências ou receptores	22
Tabela 5. Características dos conductores	23
Tabela 6. Ligação em série de baterias	23
Tabela 7. Ligação em paralelo de baterias	24
Tabela 8. Ligação mista de baterias.....	24
Tabela 9. Símbolos e elementos fotovoltaicos	28
Tabela 10. Levantamento de dados	40
Tabela 11. Valores da latitude, ângulo óptimo, altura máxima e mínima do Sol	45
Tabela 12. Método de referência de cabos CC	50
Tabela 13. Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30°C e temperatura no condutor em regime de 90°C	50
Tabela 14. Corrente nominal de disjuntores e fusíveis.....	54
Tabela 15. Tensão UC do DPS (Vdc)	55
Tabela 16. Vantagens e desvantagens da estrutura de sustentação no solo	59
Tabela 17. Vantagens e desvantagens da estrutura de sustentação no poste	59

Tabela 18. Vantagens e desvantagens da estrutura de sustentação sobre a edificação	60
Tabela 19. Vantagens e desvantagens da estrutura de suporte com seguidor solar	61
Tabela 20. Tipos de montagem dos painéis solares e sua fixação à estrutura	66
Tabela 21. Características do tempo de descarga da bateria	81
Tabela 22. Limites superiores preferenciais da potência do inversor	89
Tabela 23. Corrente máxima admissível em cabos de baterias	89
Tabela 24. Potências de inversores CC/CA	110
Tabela 25. Método de referência	114
Tabela 26. Intensidade de corrente máxima admissível na canalização	114
Tabela 27. Operações de manutenção para sistemas	138
Tabela 28. Acções a realizar para a manutenção preventiva.....	138
Tabela 29. Periodicidade de manutenção de sistemas ligados a rede	140
Tabela 30. As características das baterias de chumbo-ácido (VRLA), Gel / AGM, Íon-lítio (LFP) e Íon-lítio (NMC)	161
Tabela 31. Tabela comparativa das baterias húmidas, Gel e AGM	163
Tabela 32. Comparação entre baterias de arranque chumbo-ácido e baterias de lazer (relevantes para sistemas fotovoltaicos)	164
Tabela 33. Tensão da célula versus estado de carga (SOC).....	165

Símbolos

m^2 – metro quadrado

W/m^2 – Watt por metro quadrado

α – inclinação do painel solar

V – Volts

ρ – resistividade do conductor

l – comprimento

Ω – ohm

$^{\circ}C$ – graus celsius

Wh – Watt-hora

V_{oc} – tensão de circuito aberto

VA – Volt-ampere

VRMS – tensão quadrática média, valor eficaz da tensão em CA, representando a tensão CC equivalente que produziria a mesma potência ou efeito de aquecimento

s – segundos

ms – milisegundos

$\cos \alpha$ - factor de potência, define a qualidade de energia, quanto mais próximo da unidade estiver, melhor qualidade a energia possui

THD – taxa de distorção harmónica

U_c – tensão máxima de funcionamento contínuo

mm^2 – milímetro quadrado

kA – quilo-ampere

GW – giga-watt

MW – mega-watt

$kWh/m^2/ano$ – energia em quilo-watt hora por metro quadrado por ano

kWp – quilo-watt pico

kW/m^2 – quilowatt por metro quadrado

σ – condutividade eléctrica

Siglas e abreviações

FV – fotovoltaico

CFP – centro de formação profissional

CV – Cavalo Vapor

HP – Horse Power

h – horas

HSP – Horas de Sol Pleno

CC – Corrente contínua

CA – Corrente alternada

On-grid – conectado à rede eléctrica

Off-grid – isolado da rede eléctrica

R – resistência eléctrica

I – corrente eléctrica

t – tempo

R_T – resistência total

R_1, R_2 e R_3 – resistências 1, 2 e 3

U_1, U_2 e U_3 – tensões 1, 2 e 3

I_T – corrente total

I_1, I_2 e I_3 – correntes 1, 2 e 3

R_{Final} – resistência final

E_T – tensão total

E_1, E_2 e E_3 – tensões 1, 2 e 3

I_{carga} – corrente de carga

I_{gerada} – corrente gerada

$I_{consumida}$ – corrente consumida

$I_{descarga}$ – corrente de descarga

MPPT (Rastreador do Ponto de Máxima Potância)

PWM (Modulação por Largura de Pulso)

EDM – Electricidade de Moçambique

V_{NOM} – tensão nominal

REN – rede eléctrica nacional

DPS – dispositivo de proteção contra surtos

I_{FUSE} – corrente nominal do fusível

I_{SC} – corrente de curto-circuito

V_{OC-GFV} – tensão de circuito aberto do gerador fotovoltaico

P_{INV} – potencial do inversor

UV – ultravioleta

FUNAE – Fundo Nacional de Energia

$G_{TI_{opta}}$ – irradiação total global no ângulo ótimo

A_{Disp} – área fotovoltaica disponível

C – comprimento

L – largura

d_{Min} – distância mínima entre o início de duas fileiras

$d_{PV-Obst}$ – distância entre os painéis solares e obstáculos à volta

h_{PV} – altura do painel solar

η_{Sist} – eficiência do sistema

Δ_{PV} – perdas nos painéis solares

Δ_{Cabo} – perdas nos cabos

Δ_{INV} – perdas no inversor

Δ_{Somb} – perdas por sombreamento

P_{GFV} – potência do gerador fotovoltaico

$E_{CON.}$ – energia consumida

$QTD_{PV-total}$ – quantidade total dos painéis solares

P_{PV} – potência do painel solar

A_{PV} – área do painel solar

QTD_{PV-AD} – quantidade de painéis solares que podem ser instalados na área disponível

C_{SP} – capacidade de suporte da cobertura

$P_{PV-total}$ – peso total dos painéis solares

$P_{PV-parcial}$ – potência parcial do painel solar

$QTD_{FIL-INV}$ – quantidade de fileiras por inversor

$I_{INV-Max}$ – corrente máxima de entrada do inversor

I_{SC-Fil} – corrente de curto-circuito da fileira

QTD_{PV-FIL} – quantidade de painéis solares por fileira

I_{IDEAL} – inclinação ideal dos painéis solares

$V_{OC-Total}$ – tensão de circuito aberto total

$V_{OC-Parcial}$ – tensão de circuito aberto parcial

I_S – corrente de serviço

$I_{N\ Chave}$ – corrente nominal da chave seccionadora

ΔU_{-DC} – queda de tensão no cabo DC

l_{CABO} – comprimento do cabo

$I_{SC-Total}$ – corrente de curto-circuito total

S_{CABO} – secção nominal do cabo

$BRAC_{Final}$ – braçadeira final

$BRAC_{Intermedia}$ – braçadeira intermediária

$BRAC_{Intermedia-Total}$ – braçadeira intermediária total

$BAR_{Unica-FIL}$ – barra única por fileira

$Largura_{PV}$ – largura do painel solar

$Comprimento_{BAR\ Unica}$ – comprimento da barra única

$BAR_{Unica-Total}$ – barra única total

$S_{CABO-DC}$ – secção nominal dos cabos dos painéis solares

$S_{CABO-Terra}$ – secção nominal do conductor de terra

Informações institucionais e do curso			
Instituição			
Curso	Energia Fotovoltaica		
Nível	CV		
Horas			
Formador(s)			
UC 1	CALCULAR, LIGAR E MEDIR EM CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS		
Conteúdo analítico do módulo	ESTUDO DE CASO		
	RECURSOS		
	Identificar grandezas eléctricas em circuitos CC		
	Calcular resistência e quedas de tensão em cabos eléctricos destinados para instalações de corrente contínua de baixa voltagem		
	Seleccionar cabos eléctricos para componentes e sistemas fotovoltaicos		
	Ligar módulos solares fotovoltaicos em paralelo e em série		
	Ligar baterias em paralelo e em série		
	Medir tensão em componentes e circuitos de corrente contínua para equipamento e sistemas fotovoltaicos		
	Distinguir entre fontes de energia eléctrica de corrente contínua e de corrente alternada		
	Medir resistência em componentes e cablagem para sistemas fotovoltaicos		
	Exercícios de aplicação		
Tipo de aula	Distribuição de responsabilidades no processo de ensino e aprendizagem		
	Orientação de género e inclusão		
	Aula teórica	Aula prática	Estudo individual
	Formador(a)	Formador(a) e formandos(as)	Formando(a) em regime autónomo
Bibliografia recomendada	MANUAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA		

1. INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica é considerada uma das forças motoras na transição para energia limpa, pois oferece algumas das opções de mitigação de emissões de CO₂ (dióxido de Carbono) mais rápidas e económicas, ao mesmo tempo em que garante o contínuo fornecimento de energia eléctrica para instalações domésticas, de escritórios e industriais, reduz e fortalece a segurança energética em sistemas eléctricos e pontos de aplicação.

A energia fotovoltaica é uma fonte de energia que, através das suas células, converte directamente a radiação solar em energia eléctrica. Esta fonte de energia para produção de electricidade (que tem como base as células fotovoltaicas), apresenta as seguintes vantagens:

- É uma fonte de energia renovável;
- Não é poluidora;
- É economicamente competitiva e permite rápidos períodos de retorno de investimento;
- Contribui para a redução da dependência energética externa;
- A tecnologia existente no mercado está já suficientemente madura;
- Não exige grandes manutenções.

1.1. Igualdade de género e inclusão na formação

A implementação deste manual deve assegurar a participação equitativa de mulheres e homens em todas as actividades teóricas e práticas. As tarefas devem ser distribuídas de acordo com as competências, condições de segurança e objectivos de aprendizagem, evitando estereótipos de género. Os equipamentos de protecção individual devem estar disponíveis em tamanhos adequados a todas as pessoas. O ambiente de formação deve ser seguro, respeitoso e livre de discriminação, assédio ou qualquer forma de violência.

1.2. ESTUDO DE CASO

O IFPELAC CFP, localizado na Machava, possui reservatórios de água posicionados a altura de 1 metro do solo e pretende migrar a alimentação destas bombas da rede da EDM para fonte de energia fotovoltaica, para alimentar de 4 bombas de água, dentre as quais uma é submersível e três electrobombas convencionais para bombear a água para os diferentes pontos de aplicação ($1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$ / $1 = 746 \text{ W}$, área da cobertura: 15 m^2).

A utilização de água ocorre nos seguintes intervalos de tempo do dia: bomba submersível: 6.5 HP – 8 horas, electrobombas: 2.5 CV – [6:00-8:00h, 12:00-14:00h, 16:00-18:00h], na partida a bomba demanda 25% acima da potência nominal.

Hoje você(s) foi(ram) convidados(as) a elaborar e submeter uma proposta técnica para o cálculo e dimensionamento do gerador fotovoltaico, calcule a demanda, quantidade, orientação, inclinação, secção de condutores, conexão, proteções, estrutura de suporte dos painéis solares, verifique se os painéis solares cabem na área disponível e se a cobertura possui capacidade de suporte para receber o peso dos painéis solares.

Considere a eficiência do sistema, o pico de consumo de potência na partida do motor eléctrico, latitude do local, HSP, painéis solares da JA SOLAR, dentre outros.

“Durante a realização da actividade, as tarefas técnicas e de liderança devem ser distribuídas de forma equitativa entre mulheres e homens, garantindo que todas as pessoas utilizem as ferramentas, realizem os cálculos e participem na apresentação dos resultados”

2. RECURSOS

2.1. Radiação solar

As radiações electromagnéticas são ondas que se podem propagar no ar, água, vidro e também no vazio. Dependem de uma grandeza importante que é a frequência (f) (unidade no Sistema Internacional: Hertz - Hz).

A natureza da radiação electromagnética é ondulatória.

2.1.1. Tipos de radiação solar

O resultado da decomposição da radiação solar incidente sobre um receptor pode ser dividido em três componentes:

- Radiação directa: constituída por todos os raios que são recebidos pelo receptor em linha recta com o Sol;
- Radiação difusa: é a luz solar recebida indirectamente, proveniente da acção da difracção nas nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos presentes na atmosfera;
- Radiação albedo: parte da energia recebida sobre a superfície terrestre é reenviada para o espaço sob a forma de energia reflectida. As nuvens, as massas de gelo e neve, e a própria superfície terrestre são razoáveis reflectores, reenviando para o espaço cerca de 30 a 40% da radiação recebida. A esta razão entre a radiação reflectida e incidente chama-se albedo.

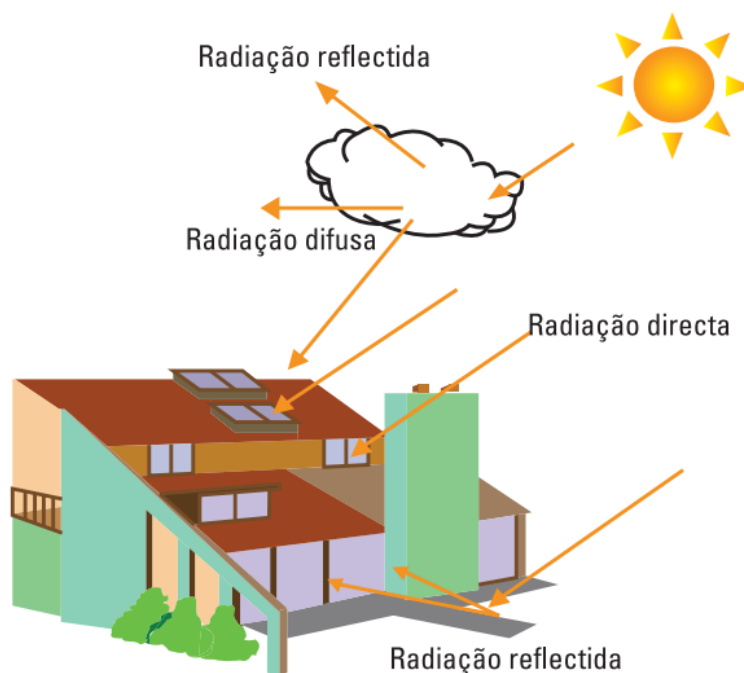


Figura 1. Radiação incidente na Terra

Fonte: Pereira & Oliveira, 2015

A radiação directa é a radiação solar que incide directamente na superfície. A radiação difusa advém da dispersão da radiação ao passar pela atmosfera. A radiação de albedo é a parte da radiação solar reflectida pela superfície terrestre.

Chamamos de radiação total à soma global das três radiações:

Radiação total = Radiação directa + Radiação difusa + Radiação de albedo

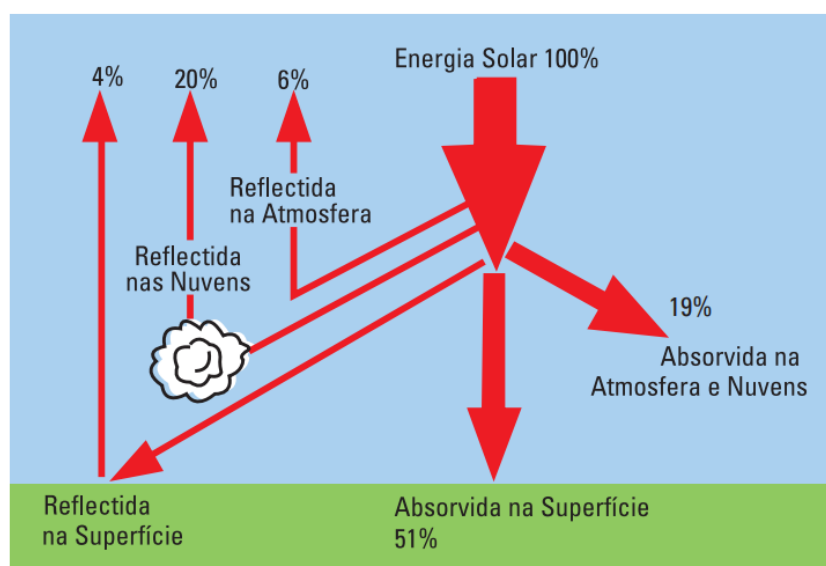


Figura 2. Tipos de radiação incidente na Terra

Fonte: <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/18/30/>

2.2. Constante solar S

A constante solar é a potência de radiação solar incidente num plano perpendicular à direcção desta radiação, quando a Terra está à distância média do Sol. A esta constante solar que alcança a unidade de área da superfície da Terra chamamos de Constante Solar S.

Constante Solar, $S = 1367 \text{ W/m}^2$.

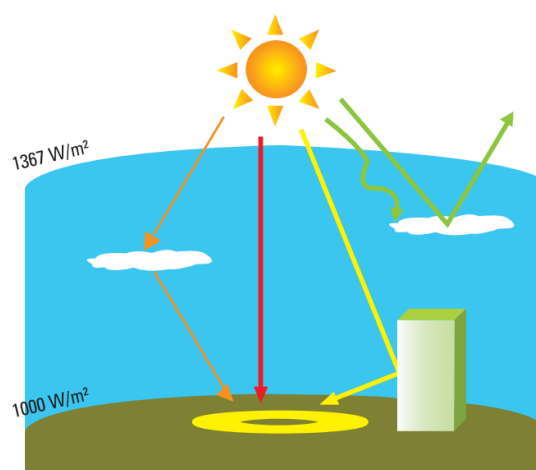


Figura 3. Constante solar S

Fonte: <http://solaris02.blogspot.com/2010/01/heliotecnia.html>

Exercício 1

De acordo com as grandezas e definições apresentadas abaixo, interligue-as de forma correcta.

Radiação solar	Emissão de energia, proveniente do sol, sob forma de ondas electromagnéticas
Radiação directa	Quantidade de energia que recebe, por segundo, cada metro quadrado de superfície exposta perpendicularmente aos raios do Sol, na camada superior da atmosfera.
Constante solar	Energia recebida na Terra, directamente do sol.
Radiação terrestre	Parte da radiação solar dispersa, que acaba por atingir, indirectamente, a Terra
Radiação difusa	Radiação de grande comprimento de onda emitida pela Terra.

Exercício 2

A quantidade de 1367 W/m² recebe o nome de:

a. Constante de Einstein; b. Declinação; c. Afélio; d. Constante Solar.

2.3. Coordenadas geográficas

Com base na rede geográfica, podemos determinar as coordenadas, ou seja, a latitude e a longitude de qualquer ponto situado sobre a superfície terrestre. Para determinação da latitude, são considerados os paralelos, enquanto que para a longitude levamos em consideração os meridianos.

2.3.1. Latitude

É o valor angular do arco de meridiano compreendido entre o equador e o paralelo do lugar de referência. Será sempre norte (N) ou sul (S).

2.3.2. Longitude

É o valor angular, junto ao eixo da Terra, do plano formado pelo prolongamento das extremidades do arco de paralelo compreendido entre o meridiano de Greenwich e o meridiano do lugar de referência, considerando-se este plano sempre o paralelo ao plano do equador. A longitude será sempre leste (E) ou oeste (W).

2.3.3. Ângulo de inclinação

É o ângulo formado pelo plano da superfície captadora (por ex.:, um painel solar) e a horizontal do ponto que se considera. Existem diferentes ângulos ideais de inclinação conforme a latitude do local de montagem do sistema de energia solar.

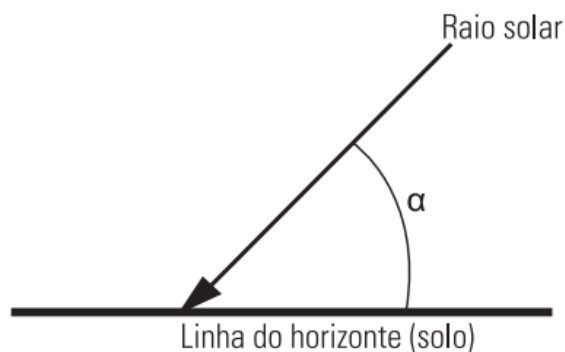


Figura 4. Inclinação de um módulo fotovoltaico

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

2.4. Sombreamentos – inclinação dos colectores em função do uso

O sombreamento da instalação pode existir sempre que haja obstáculos em seu redor e depende da sua orientação, distância e altura face à mesma. No dia mais desfavorável do período de utilização:

- A instalação não deve ter mais de 5% da superfície sombreada;
- É praticamente inoperante com 20% da superfície coberta por sombras.

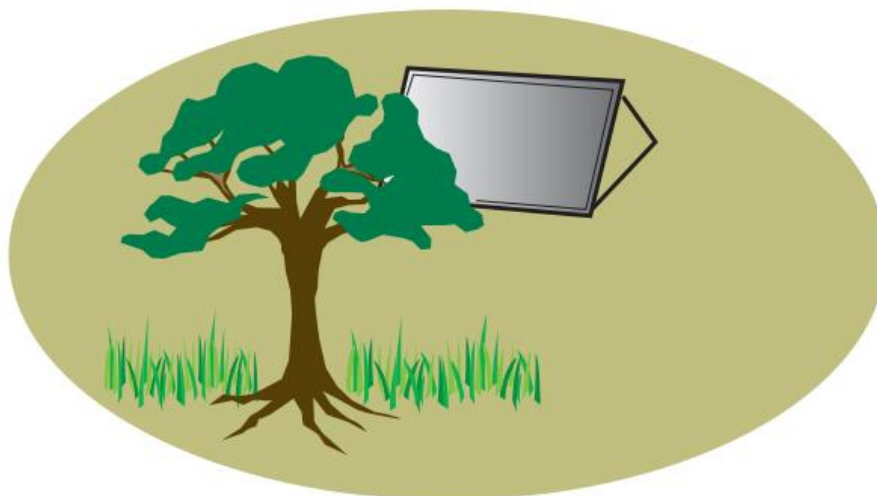


Figura 5. Sombreamentos

Fonte: CAPROSOL, 2023

2.5. Orientação e inclinação de superfícies absorsoras

A quantidade de radiação solar que é captada numa superfície é máxima quando esta se encontra posicionada perpendicularmente à radiação devido a variação angular da absorptância α , e reflectância ρ .

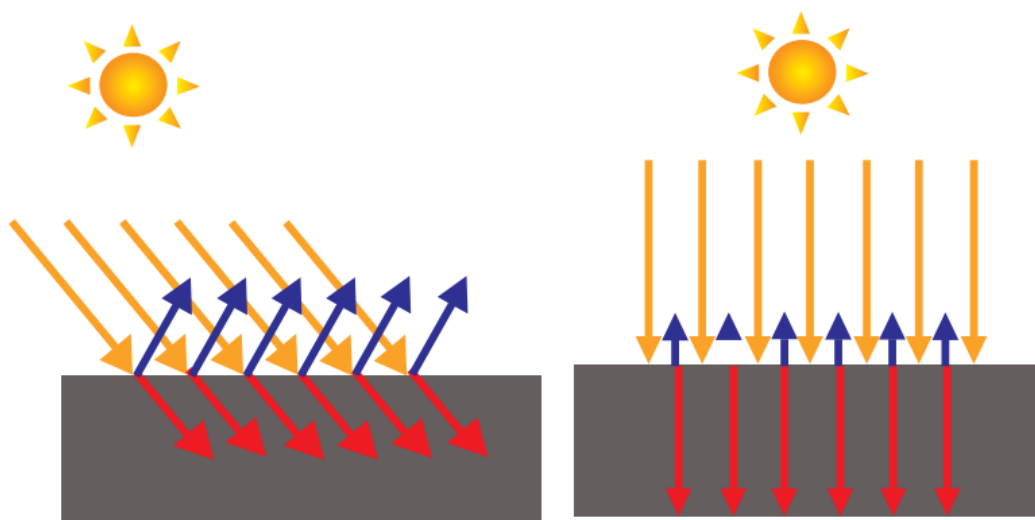


Figura 6. Variação angular da absortância e reflectância

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

2.6. Captação máxima de energia solar

A radiação solar que atinge um corpo pode ser absorvida, reflectida ou transmitida, verificando-se a Lei da Conservação de Energia:

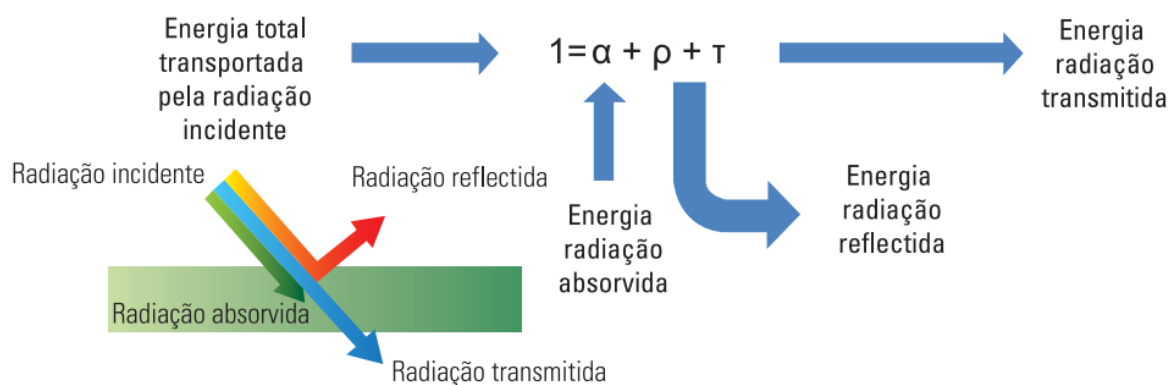


Figura 7. Energia total transportada pela radiação incidente

Fonte: Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

2.7. Módulos fotovoltaicos ou painéis solares

O efeito fotovoltaico é um fenómeno que transforma a energia luminosa em energia eléctrica recorrendo a células fotovoltaicas.

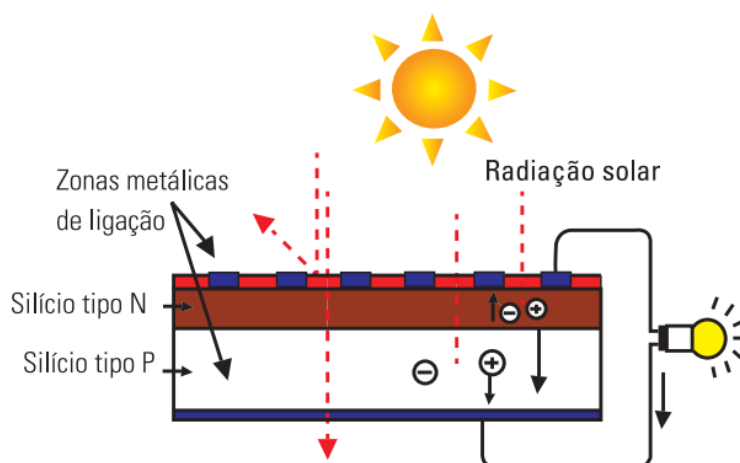


Figura 8. Funcionamento de célula solar fotovoltaica

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

É importante referir que uma célula fotovoltaica não armazena energia eléctrica. A célula fotovoltaica permite a conversão directa de energia luminosa em energia eléctrica e o seu funcionamento é semelhante ao de um díodo fotossensível, baseando-se nas propriedades dos materiais semi-condutores.

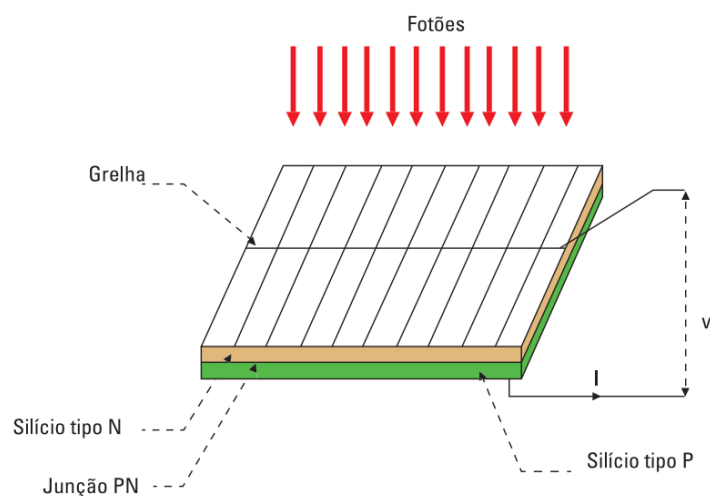


Figura 9. Célula fotovoltaica

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

A célula é composta por duas camadas de material semiconductor dopadas de forma diferente:

- Na camada N existe um excesso de electrões periféricos;
- Na camada P existe um défice de electrões.

Existe uma diferença de potencial entre estas duas camadas. Os electrões periféricos (camada N), ao captarem a energia dos fotões, saltam a barreira de potencial, criando

assim uma corrente contínua. Para a condução desta corrente existem dois eléctrodos nas camadas do semiconductor.

2.8. Tecnologia de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos:

- Sistemas isolados ou autónomos com e sem armazenamento;
- Sistemas híbridos em conjugação com mais uma fonte de energia para além da fotovoltaica;
- Sistemas de ligados à rede.

2.9. Sistemas isolados

2.9.1. Com armazenamento

Os sistemas isolados são sistemas constituídos por um conjunto de painéis solares, um regulador de carga MPPT, uma ou mais baterias e um inversor. Os reguladores de carga são os responsáveis pelo controlo da carga das baterias. Por sua vez, as baterias deverão ter capacidade suficiente para alimentar as cargas durante a noite ou durante dias com baixos valores de radiação.

Aos sistemas isolados podemos ter associada outra fonte de energia e, nesse caso, estamos perante um sistema híbrido. Esta energia é considerada muitas das vezes como uma energia de apoio. A grande desvantagem destes sistemas para grandes potências reside na utilização de imensas baterias, o que vai elevar o custo da instalação e também da própria manutenção das mesmas.

Os módulos solares fotovoltaicos produzem energia eléctrica em corrente contínua a partir da energia obtida pela exposição solar. A tensão contínua a utilizar deverá ser escolhida tendo em conta a potência do sistema.

De seguida é apresentada uma tabela que indica qual o valor da tensão a utilizar no sistema em função da potência total a instalar.

Tabela 1. Potência de consumo em função da tensão do sistema fotovoltaico

Potência de consumo (W)	Tensão nominal do sistema fotovoltaico (V)
< 1500	12
1500 – 5000	24 ou 48
> 5000	48 (off-grid/híbridos) e 370 ou mais (on-grid)

Somado aos dados apresentados na tabela acima, abaixo estão alistados os níveis típicos de tensão em CC:

- **Baixo nível de tensão CC**, é caracterizado por valores de tensão relativamente baixos, geralmente na faixa de 0 a 5 volts. Esse tipo de nível de tensão é comumente encontrado em dispositivos eletrônicos de baixa potência, como sensores, microcontroladores e circuitos integrados;
- **Nível médio de tensão CC**, é caracterizado por valores de tensão que variam de 5 a 50 volts. Esse tipo de nível de tensão é comumente encontrado em dispositivos eletrônicos de potência média, como fontes de alimentação, motores elétricos e sistemas de iluminação;
- **Alto nível de tensão CC**, é caracterizado por valores de tensão acima de 50 volts. Esse tipo de nível de tensão é comumente encontrado em dispositivos eletrônicos de alta potência, como transformadores, inversores e sistemas de energia.

São também apresentados esquemas de instalações fotovoltaicas isoladas com armazenamento.

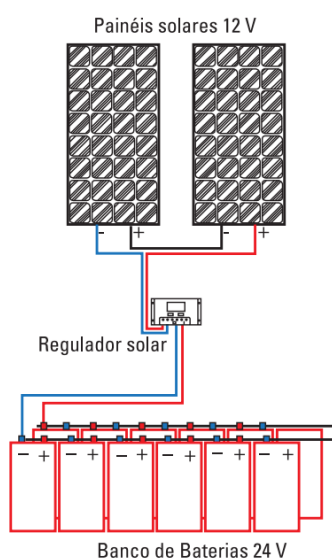


Figura 10. Sistema FV isolado com armazenamento de 24 V

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

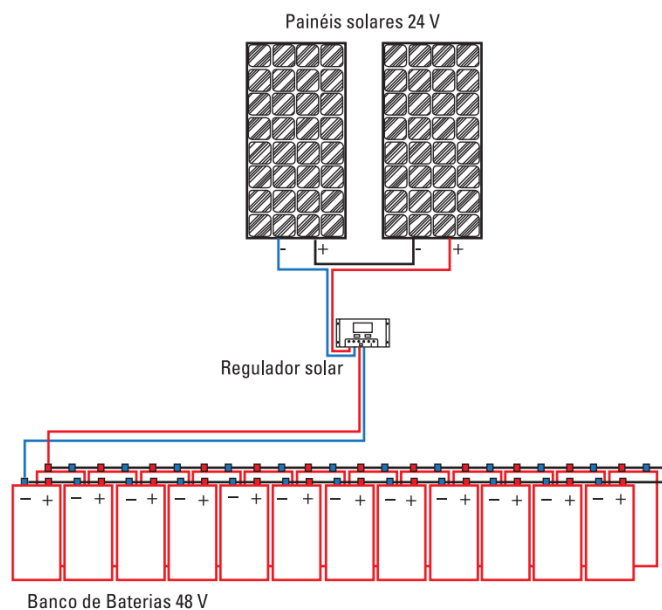


Figura 11. Sistema fotovoltaico isolado com armazenamento de 48 V

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

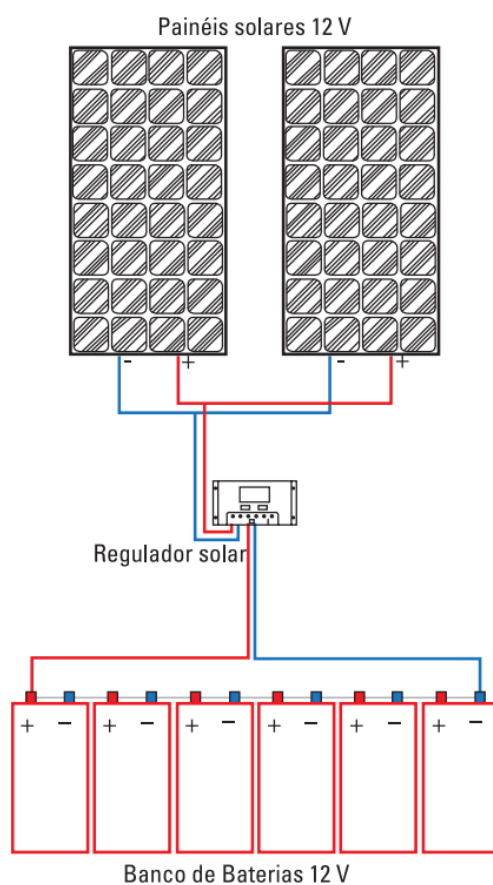


Figura 12. Sistema fotovoltaico isolado com armazenamento de 12 V

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

2.9.2. Sem armazenamento

Num sistema autónomo sem armazenamento de energia com cargas em CC ou CA (corrente contínua e/ou alternada), os receptores consomem de imediato a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos. Este tipo de sistemas é muito usual em bombeamento de água.

Têm a vantagem de serem mais baratos, pois não utilizam as baterias para armazenamento de energia. Como solução em algumas indústrias e edifícios, poderá ser utilizado um sistema de comutação à rede eléctrica, caso não exista radiação no momento, que se torna mais eficaz e que permite uma redução de custos aos particulares ou empresas.

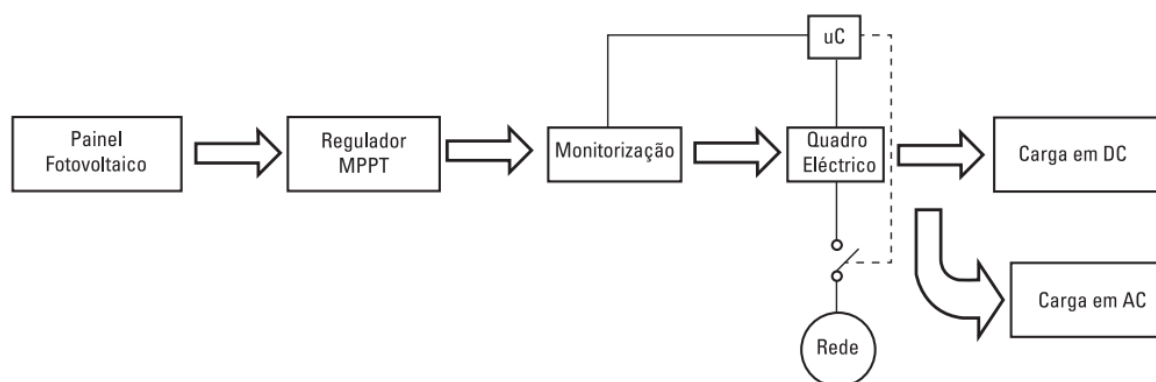


Figura 13. Sistema autónomo sem armazenamento e com comutação

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

2.10. Sistema fotovoltaico acoplado

Os sistemas solares fotovoltaicos híbridos combinam as funcionalidades dos sistemas conectados à rede (on-grid) e dos sistemas isolados (off-grid), permitindo a geração de eletricidade a partir de painéis solares, o armazenamento em baterias e a interação com a rede eléctrica convencional. Possuem a característica de assegurar a carga das baterias na ausência da radiação solar. As fontes de energia de auxílio podem ser a rede eléctrica, gerador a diesel, gás ou mesmo geradores eólicos. Estes sistemas têm de estar equipados com sistemas de controlo mais eficientes do que os modelos isolados de pequena dimensão.

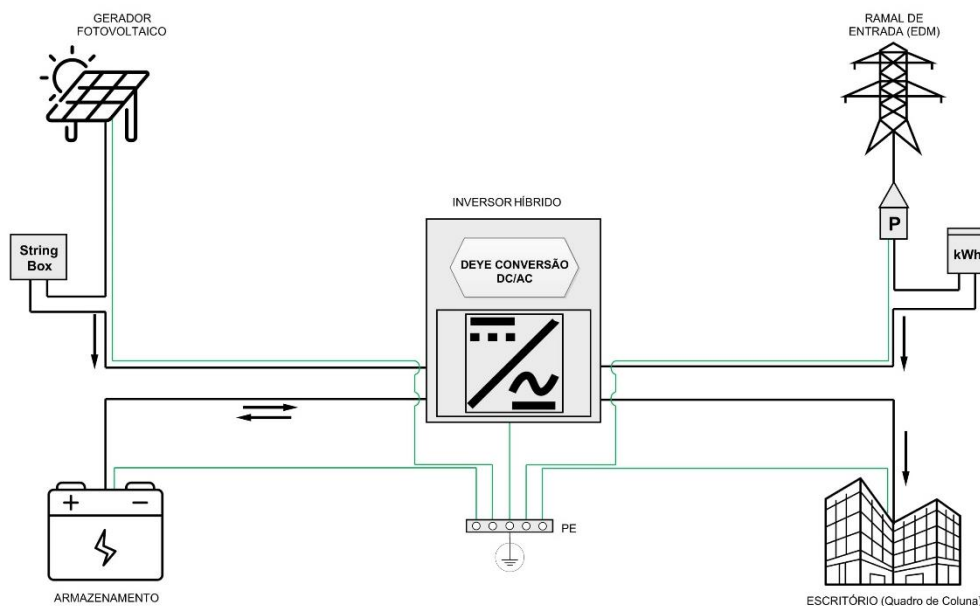


Figura 14. Sistema híbrido com comutação programável

Fonte: CAPROSOL, 2023

2.11. Conceitos eléctricos e fotovoltaicos

A electricidade é o fluxo de electrões que circulam através de materiais condutores (como por exemplo o cobre ou o alumínio). Os electrões obtêm energia através de uma fonte (gerador, módulo fotovoltaico, bateria, etc.) e transferem-na para uma carga (lâmpada, motor, resistência, etc.). De seguida, esses mesmos electrões regressam à fonte de energia, que lhes deu energia, para repetirem todo o ciclo. O gerador não cria cargas eléctricas.

Consideremos o seguinte circuito, que exemplifica como se processa o sentido destes electrões que originam a passagem de corrente eléctrica.

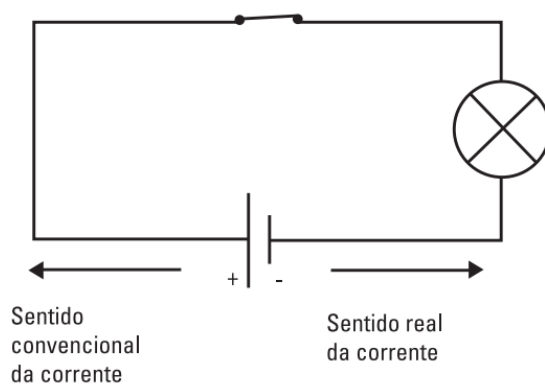


Figura 15. Sentidos real e convencional da corrente eléctrica

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

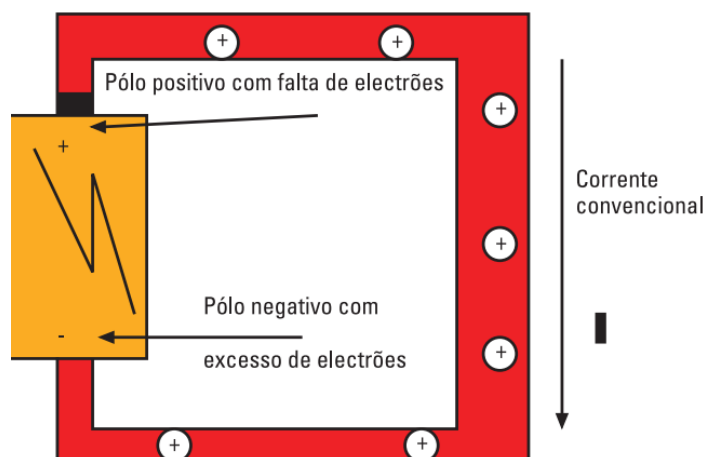


Figura 16. Sentido do fluxo dos electrões

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

A força electromotriz é a energia transformada de uma forma não eléctrica em eléctrica. Tem como unidade de grandeza o Volt e é o que normalmente chamamos de tensão. Analisemos de seguida os conceitos eléctricos e as fórmulas mais importantes.

Tabela 2. Lei de ohm

Tensão (U)	Intensidade (I)	Resistência (R)
$U = R \times I$	$I = U / R$	$R = U / I$
Unidade: Volt (V)	Unidade: Ampere (A)	Unidade: Ohm (Ω)

2.11.1. Fórmulas de potência

A potência é uma das unidades mais importantes para determinar a capacidade de produção do elemento fotovoltaico de uma instalação. Esta é igual ao produto da tensão pela intensidade de corrente.

a) Num circuito de corrente contínua (CC):

$$P = V \times I \text{ (W)}$$

$$P = R \times I^2 \text{ (W)}$$

$$P = V^2 / R \text{ (W)}$$

Onde:

- P: é a potência, em Watt;
- V: ou U é a tensão aplicada, em Volt;
- I: é a corrente que circula, em Ampere.

b) Num circuito monofásico de corrente alternada CA resistivo:

Utilizam-se as mesmas fórmulas do circuito de corrente contínua.

c) Num circuito monofásico de corrente alternada (CA) indutivo:

Potência activa: $P = U \times I \times \cos\alpha$ (W)

Potência reactiva: $Q = U \times I \times \sin\alpha$ (VAr)

Potência aparente: $S = U \times I$ (VA)

d) Num circuito trifásico de corrente alternada (CA) resistivo:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \text{ (W)}$$

e) Num circuito trifásico de corrente alternada (CA) indutivo:

Potência activa: $P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\alpha$ (W)

Potência reactiva: $Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin\alpha$ (VAr)

Potência aparente: $S = \sqrt{3} \times U \times I$ (VA)

2.11.2. Fórmulas de energia

A unidade de energia é o Joule, mas como é muito pequena utiliza-se o quilo-Watt-hora (kWh)

a) Num circuito de corrente contínua CC

$$W = \frac{U \times I}{1000} \times t \text{ (kWh)}$$

b) Num circuito monofásico de corrente alternada CA resistivo:

$$W = \frac{U \times I}{1000} \times t \text{ (kWh)}$$

c) Quantidade de energia:

$$W = P \times t \text{ (Wh)}$$

Exercício 1

Calcule a potência total instalada numa casa alimentada em corrente contínua, que tem instaladas 7 lâmpadas de 18 W e 5 de 20 W, determine também a energia consumida durante 6 horas ao longo de um mês.

Exercício 2

Determinar a intensidade de corrente absorvida por um receptor monofásico de potência 2500 W, ligado a 220 V.

2.11.3. Resistência de um conductor

Para que os condutores eléctricos conduzam bem a corrente eléctrica, devem ter uma resistência muito pequena. O valor da resistência de um condutor é directamente proporcional ao coeficiente de resistividade (ρ) do material, e inversamente proporcional à sua secção.

$$R = \frac{\rho \times l}{S} (\Omega)$$

Onde:

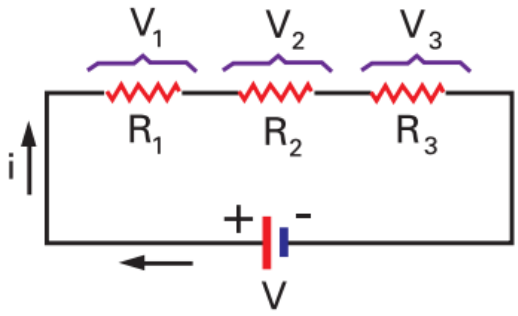
- ρ : coeficiente de resistividade, em $\Omega \times \text{m}/\text{mm}^2$;
- l : comprimento, em metros;
- S : Secção nominal, em mm^2 .

2.11.4. Ligações de resistências

As resistências ou receptores podem ser ligados de três formas. A saber:

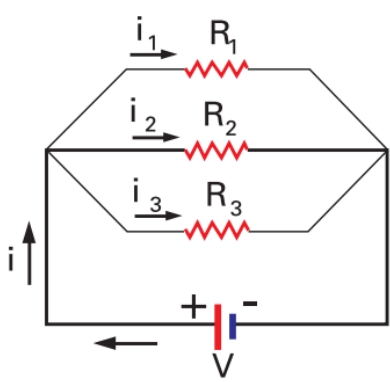
- Ligação em série;
- Ligação em paralelo;
- Ligação mista.

Tabela 3. Ligação em série de resistências ou receptores

Ligação em série de resistências ou receptores	
Fórmulas	Circuito
$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ $U = R_T \times I$ $I = U/R_T$ $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$ $U_1 = R_1 \times I$ $U_2 = R_2 \times I$ $U_3 = R_3 \times I$	
Características: • Várias tensões;	

- Uma só intensidade;
- A resistência total é igual à soma das resistências parciais.

Tabela 4. Ligação em paralelo de resistências ou receptores

Ligação em paralelo de resistências ou receptores	
Fórmulas	Circuito
$1/R_T = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) + \dots$ $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ $I_1 = U/R_1$ $I_2 = U/R_2$ $I_3 = U/R_3$	
Características: • Uma só tensão; • Várias intensidades de corrente; • O inverso da resistência total é igual à soma dos inversos das resistências parciais.	

2.11.5. Aumento da resistência de um conductor com a temperatura

O movimento de electrões num conductor dá lugar a um aquecimento como consequência da sua própria resistência. Este efeito, denominado efeito de Joule, tem os seguintes resultados:

- Aquecimento do conductor;
- Aumento da sua resistência;
- Queda de tensão com a temperatura.

O aquecimento do condutor tem como aplicação efectiva o uso nas resistências dos aquecedores que transformam a energia eléctrica em energia calorífica. Ao subir a temperatura do conductor, também aumenta o valor da sua resistência, determinada pela seguinte equação:

$$R_{Final} = R_{20} \times [1 + \alpha \times (t - 20)] (\Omega)$$

Onde:

- R_{20} : Resistência a 20°C, em Ω ;

- t : temperatura final, em °C;
- α : coeficiente de temperatura do material.

Tabela 5. Características dos conductores

Materiais	Resistividade (ρ) a 20 °C ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)	Coeficiente de temperatura (α)
Alumínio (Al)	0.029	0.00037
Cobre (Cu)	0.018	0.00039
Ferro (Fe)	0.120	0.00047
Prata (Ag)	0.016	0.00037
Constantan	0.50	–
Níquel	0.40	–
Manganina	0.43	–

2.11.6. Ligação de baterias

Há várias formas de ligar as baterias em função da grandeza que se quer aumentar, ou seja, a tensão (U) ou a intensidade (I). De acordo com os vários tipos de ligação, poderemos ter:

- Ligação em série para aumentar a tensão;
- Ligação em paralelo para aumentar a intensidade;
- Ligação mista (série/paralelo) para aumentar a tensão e a intensidade.

Tabela 6. Ligação em série de baterias

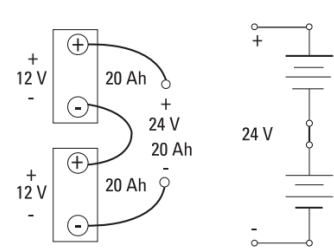
Ligação em série de baterias	
Fórmulas	Circuito
$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$ $I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$	
Características: • A finalidade deste tipo de ligação é aumentar a tensão da instalação; • Mantém-se o valor da intensidade que cada bateria fornece à instalação; • Todas as baterias ligadas em série deverão ter as mesmas características.	

Tabela 7. Ligação em paralelo de baterias

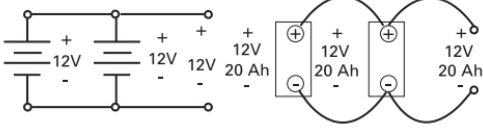
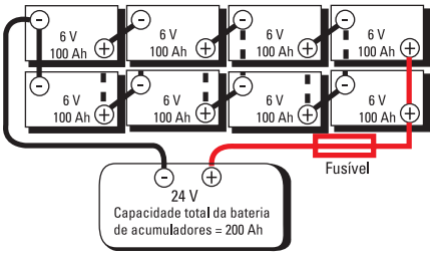
Ligação em paralelo de baterias	
Fórmulas	Circuito
$E_T = E_1 = E_2 = E_3 = \dots$ $I_T = I_1 + I_2 + I_3 = \dots$	
Características: - A tensão disponível nos bornes de cada bateria é igual; - O valor total da intensidade total é igual à soma das intensidades de corrente parciais fornecidas por cada bateria; - Este tipo de ligação utiliza-se quando se pretende aumentar o valor da corrente fornecida à instalação.	

Tabela 8. Ligação mista de baterias

Ligação mista de baterias	
Fórmulas	Circuito
$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$ $I_T = I_1 + I_2 + I_3 = \dots$	
Características: A finalidade deste tipo de ligação é aumentar os valores da tensão e corrente a fornecer às cargas.	

2.12. Medição em circuitos de corrente contínua

A realização de medições em circuitos de corrente contínua CC é efectuada com recurso a um multímetro, correctamente configurado de acordo com a grandeza eléctrica a medir: corrente ou tensão.

- A medição de corrente eléctrica deve ser realizada com o multímetro configurado como amperímetro, sendo obrigatória a sua ligação em série com o circuito;

- A medição de tensão eléctrica deve ser realizada com o multímetro configurado como voltímetro, sendo obrigatória a sua ligação em paralelo com o circuito.
- A medição de resistência eléctrica deve ser realizada com o multímetro configurado para medição de ohms, liga-se o multímetro com o circuito desligado da fonte de alimentação (tensão igual a 0 Volts).



Figura 17. Multímetro digital

Fonte: CAPROSOL, 2023

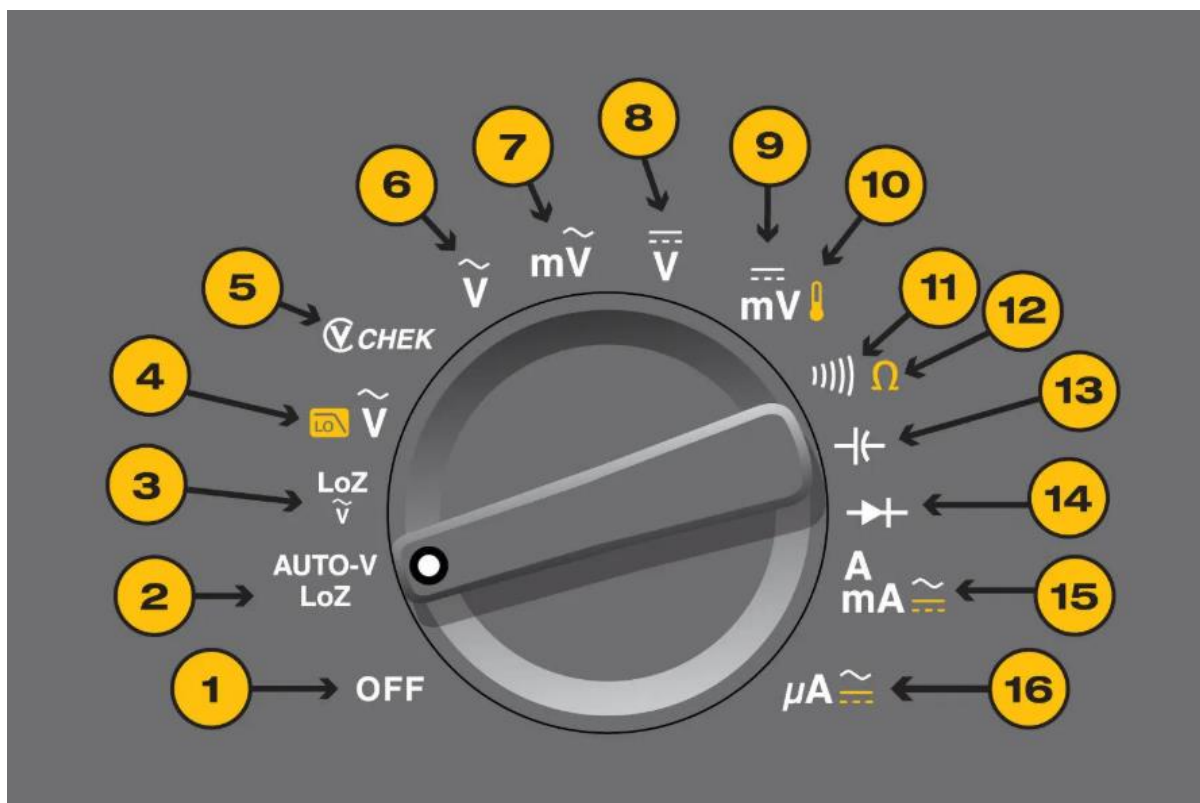


Figura 18. Descrição das funções do multímetro digital

Fonte: CAPROSOL, 2023

2.12.1. Funções e selecções do multímetro digital

1. **Interruptor LIGAR/DESLIGAR**, permite a activação e desactivação do multímetro, assegurando economia de energia e segurança operacional.
2. **AUTO-V/LoZ, baixa impedância de entrada**, função que evita leituras erróneas causadas por tensões fantasmas ou induzidas.
3. **Medição de tensão CA com LoZ**, utiliza baixa impedância de entrada para eliminar tensões parasitas, sendo indicada para ambientes industriais.
4. **Tensão CA com filtro passa-baixo**, permite medições mais fiáveis em sinais de CA com componentes de alta frequência, como os provenientes de variadores de velocidade.
5. **VCHEK™**, função que possibilita a verificação simultânea de tensão e continuidade, sem necessidade de mudar o selector.
6. **Tensão alternada CA, $\sim V$** , medição de tensão em circuitos de corrente alternada.
7. **Milivolts CA, $\sim mV$** , medição de tensões alternadas de baixa amplitude.
8. **Tensão contínua CC, $= V$** , medição de tensão em circuitos de corrente contínua.
9. **Milivolts CC, $= mV$** , medição de pequenas tensões contínuas, adequada para sensores e circuitos electrónicos.
10. **Temperatura, $^{\circ}$** , medição de temperatura através de sonda apropriada, conforme o modelo do multímetro.
11. **Continuidade (com sinal sonoro)**, verificação da continuidade eléctrica de conductores e ligações, com indicação acústica quando activada através do botão de som.
12. **Resistência eléctrica**, medição do valor óhmico de resistências e componentes passivos.
13. **Capacitância, F**, medição da capacidade eléctrica de condensadores.
14. **Teste de diodo, $\rightarrow|$** , permite verificar o estado e a polaridade de díodos e junções semicondutoras.
15. **Medição de corrente CA e CC (A / mA)**, medição de corrente eléctrica em amperes e miliamperes, tanto em corrente alternada como contínua.
16. **Microamperes CA e CC, μA** , medição de correntes muito reduzidas em circuitos de elevada sensibilidade, em CA e CC.

2.12.2. Procedimento de medição de corrente (amperímetro)

1. Desligar o circuito antes de efectuar qualquer ligação.
2. Configurar o multímetro para a função de corrente contínua, iniciando sempre pela escala mais elevada, de forma a proteger o fusível interno do equipamento.
3. Abrir o circuito no ponto onde se pretende medir a corrente e intercalar o multímetro, garantindo que toda a corrente circule através do instrumento.
4. Ligar o circuito e, se necessário, reduzir gradualmente a escala até obter uma leitura estável, precisa e dentro dos limites nominais do multímetro.

2.12.3. Procedimento de medição de tensão (voltímetro)

1. Configurar o multímetro para a função de tensão contínua.
2. Ligar as pontas de prova em paralelo aos terminais do componente ou entre os dois pontos do circuito onde se pretende medir a diferença de potencial, sem necessidade de interromper o circuito.
3. Garantir a polaridade correcta, ligando a ponta de prova vermelha ao ponto de maior potencial (mais próximo do polo positivo da fonte) e a ponta preta ao ponto de menor potencial.

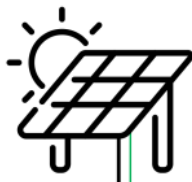
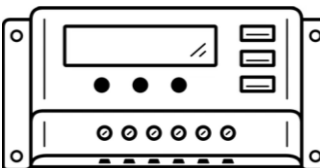
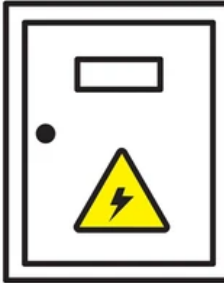
2.12.4. Considerações técnicas importantes

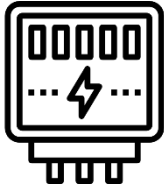
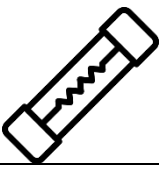
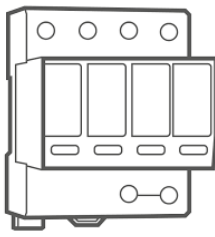
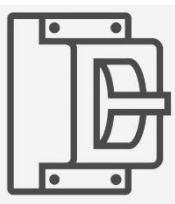
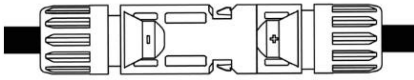
- Efeito de carga, o amperímetro apresenta resistência interna muito baixa, enquanto que o voltímetro possui resistência interna elevada (da ordem dos 20 M Ω), de modo a minimizar a interferência no funcionamento do circuito, embora introduzam sempre um pequeno erro de medição.
- Segurança e fiabilidade, nunca altere a função ou as ligações das pontas de prova com o circuito energizado. Comece sempre pela escala máxima, especialmente nas medições de corrente, para evitar danos no instrumento e garantir medições seguras e fiáveis.

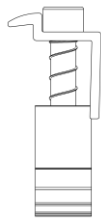
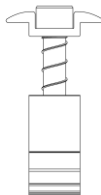
2.13. Símbolos e ícones aplicáveis em esquemas solares

Em esquemas de sistemas solares, são utilizados símbolos padronizados para representar componentes como painéis solares (geralmente quadrados ou rectângulos), inversores (rectângulos ou caixas com símbolos de conversão), baterias (rectângulos com sinais + e -) e tubulações (linhas sólidas ou tracejadas para diferentes fluídos) são essenciais, com símbolos eléctricos para CC e CA.

Tabela 9. Símbolos e elementos fotovoltaicos

Símbolos e elementos	Descrição	Ícone
	Painel solar	
	Bateria ou acumulador	
	Inversor CC/CA	
	Controlador de carga MPPT	
	Quadro eléctrico de distribuição de circuitos CA	

	Contador de energia	
	PV Box (Caixa combinatória de protecção CC)	
	Fusível	
	DPS (Dispositivo de Protecção Contra Surto)	
	Portinhola	
	Sistema de ligação à terra	
	Disjuntor	
	Conector MC4 (macho e fêmea)	

	End-clamp (braçadeira final)	
	Middle-clamp (braçadeira intermediária)	

2.14. Normas e regras técnicas para sistemas fotovoltaicos

2.14.1. Normalização

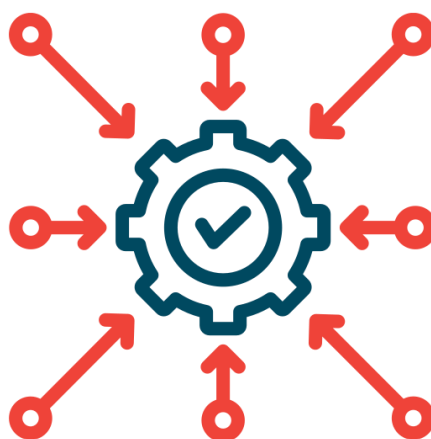


Figura 19. Normalização

Fonte: CAPROSOL, 2023

A normalização na engenharia é o processo de estabelecer e aplicar regras, directrizes e características comuns para actividades ou seus resultados, com o objectivo de alcançar o grau óptimo de ordem em um determinado contexto. Isso envolve a criação e uso de normas técnicas que garantem a *uniformidade*, qualidade, segurança e eficiência de produtos, processos e serviços.

2.15. Organismos de normalização

2.15.1. Internacionais

- **ISO** (International Organization for Standardization): desenvolve e publica uma vasta gama de normas internacionais (ex.: ISO 9001 para gestão da qualidade).
- **IEC** (International Electrotechnical Commission): responsável pela normalização de tecnologias eléctricas, electrónicas e relacionadas.

2.15.2. Nacionais

- **Lei de Electricidade: Lei nº 12/2022**, publicada em Julho de 2022, que actualizou a anterior Lei nº 21/97. Esta nova lei rege a produção, transmissão, distribuição, consumo, armazenamento e comercialização de energia eléctrica no país, com ênfase nas energias renováveis e na atracção de investimento privado.
- **Regulamento de interligação de mini – redes**: aplica-se a todas as pessoas colectivas de direito publico e privado, que realizam actividades de fornecimento de energia eléctrica, participando num processo de interligação de uma rede a REN.
- **Resumo tarifário**: tem como objectivo padronizar a regulação tarifaria da actividade de fornecimento de energia eléctrica, através de mini – redes nas zonas fora da rede (EDM).
- **Resumo das renováveis Moçambique**: objectiva fornecer dados gerais, enquadramento legal e institucional do sector, e o estado de projectos como produtores independentes de energia, mini-redes e sistemas solares caseiros.

2.16. Características dos cabos CC

2.16.1. Tensão nominal

- Normalmente até 1500 Vdc;

2.16.2. Corrente admissível

- De acordo com a Norma **IEC 60364-7-712**, esta deverá ser: $I_Z = 1.25 \times I_{SC}$ e protegida contra falhas à terra e curto-circuitos.

2.16.3. Condições ambientais

- Devem suportar temperaturas superiores a 70°C;
- Resistir aos raios ultravioletas se instalados no exterior.

2.16.4. Queda de tensão em CC, permitida para as instalações fotovoltaicas

- Quedas de tensão no sistema fotovoltaico estão limitadas em 3%.

2.17. Dispositivos da caixa combinatória (string box)

2.17.1. Limites da corrente do fusível CC e DPS

A corrente de curto-circuito I_{SC} do painel solar é a corrente total que fluirá em cada fileira (se os painéis solares forem conectados em série), visto que os painéis solares serão conectados em série. O fusível de protecção contra sobrecorrente, deve estar dimensionado de tal forma que a corrente nominal, obedeça a condição:

$$1.5 \times I_{SC} < I_{FUSE} < 2.4 \times I_{SC}$$

O DPS de protecção dos painéis solares contra descargas atmosféricas, deve estar dimensionado de tal forma que a tensão nominal, possua uma margem mínima de 20% a 25% sobre a tensão de circuito aberto dos painéis solares associados (Norma IEC 61643-32):

$$U_C > V_{OC-GFV}$$

2.18. Conversão

Segundo a (Norma Europeia IEC 62548), o inversor fotovoltaico deve estar dimensionado, de tal forma que sua potência nominal possua uma margem mínima de 15% a 25% sobre a potência da carga a ser alimentada:

$$P_{INV} = 1.25 \times P_{CARGA} \text{ (W)}$$

Se a distância entre as cargas e o inversor for superior a 4 metros, deverá existir um quadro de protecções CA após o inversor.

2.19. Equipotencialização

- Segundo a (Norma IEC 364-5-54), uma das condições para a protecção de instalações eléctricas internas contra descargas atmosféricas é a ligação equipotencial dos elementos conductores, sendo esta condição aplicada aos sistemas fotovoltaicos.
- Os sistemas fotovoltaicos expostos a descargas atmosféricas deverão ter cabos protegidos contra curtos-circuitos. É essencial o uso de cabos de descida blindados de cobre, com secção mínima a 16 mm², sendo o extremo superior da blindagem ligado à subestrutura metálica de apoio e às armações

dos painéis solares fotovoltaicos, segundo o traçado mais curto possível, **(Pereira e Oliveira, 2015)**.

- Se a exposição das estruturas dos painéis solares requerer uma protecção contra descargas atmosféricas directas, é obrigatória a ligação à terra mesmo que exista um transformador de isolamento e que este esteja fora da zona equipotencial;
- Os inversores sem transformador de isolamento devem ter instalado um dispositivo universal sensível à corrente residual tanto do lado CA como CC. Nestes casos devem ser ligadas à terra de equipotenciais todas as armações e estruturas da instalação;
- Os inversores de Classe II não devem ser ligados à terra;
- O conductor geral de protecção ou de terra deve ser dirigido através da via mais curta para o eléctrodo de terra, preferencialmente em linha recta e vertical;
- Devido aos riscos de descarga laterais e de indução, deve ser separado dos restantes cabos eléctricos e dever-se-á evitar as ligações que possam vir a gerar correntes de retorno (loops);
- Devido a um possível mau funcionamento do inversor e a defeitos internos que possam surgir, o condutor negativo não deverá ser ligado à terra;
- Os condutores de protecção dos módulos fotovoltaicos, localizados em prédios que não tenham sistema de protecção contra descargas atmosféricas, deverão ter obrigatoriamente a mesma secção transversal que o cabo principal DC ou 4 mm², conforme a maior secção.

2.20. Painéis solares

As instalações eléctricas fotovoltaicas devem respeitar as **RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão)**.

Os módulos fotovoltaicos deverão estar certificados, de forma a garantir a protecção das pessoas contra choques eléctricos. Esta protecção deve ser garantida através da protecção de Classe II;

- Para uma tensão inferior a 120 V, é possível instalar material eléctrico de protecção de Classe III, mas é recomendável a utilização de painéis solares com protecção de Classe II;

- Os equipamentos da instalação fotovoltaica deverão ser dimensionados para sustentar em funcionamento normal, no mínimo 1,15 vezes a tensão VCA e 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do gerador;
- As regras anteriores, sobre valores máximos de tensão e corrente, são aplicáveis para módulos monocristalinos ou policristalinos.

2.21. Cablagem

- Os cabos utilizados na parte posterior dos painéis devem suportar no mínimo uma temperatura de 80°C;
- Os cabos devem ser resistentes à radiação UV e flexíveis;
- Para uma eficaz protecção de terra e de curto-circuito, são recomendados cabos isolados monopolares para os condutores positivos e negativos;
- Para as instalações fotovoltaicas localizadas em lugares onde existe o risco de descargas atmosféricas, deverão ser usados cabos com ecrãs/blindagens.
- De acordo com a norma europeia **IEC 60364-7-712**, o cabo da fileira tem de ser capaz de transportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do gerador, e estar protegido contra falhas de terra e curto-circuitos;
- Os cabos devem ser dimensionados de tal forma que a queda de tensão entre o gerador fotovoltaico e o inversor seja inferior a 1,5%;

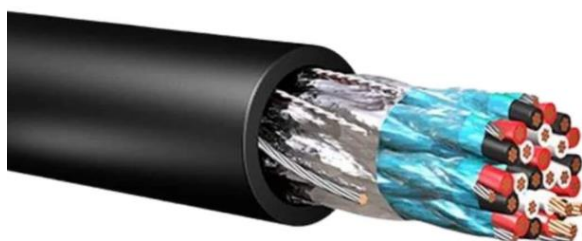


Figura 20. Cabos devem ser resistentes à radiação UV e flexíveis

Fonte: CAPROSOL, 2023

- As tomadas de encaixe de sistemas FV devem ter isolamento do tipo Classe II e protecção não inferior ao IP54. As tomadas de encaixe não constituem uma alternativa ao interruptor CC, pois não devem ser usadas como interruptores de corte. Deverão ser instaladas apenas com um único propósito: funcionarem como isoladores sem carga.

2.22. Chave principal CC

- A **norma IEC 60364-7-712**, determina a necessidade da instalação de um aparelho de corte da ligação acessível entre o gerador fotovoltaico e o inversor;
- A chave principal CC deve ser bipolar, de forma a separar o circuito positivo do negativo;
- Deverá ter um poder de corte razoável para permitir a abertura do circuito CC em riscos de segurança;
- A chave principal CC deverá ser instalado antes do inversor;
- A chave principal CC não deverá ser manuseado em carga. É recomendável operar preferencialmente a chave principal CC após o isolamento do circuito em CA;
- É aconselhável a aplicação de interruptores CC com bloqueio e de um aviso com instruções de operação junto do interruptor, de acordo com as regras estabelecidas para a sinalização de instalações fotovoltaicas de pequena dimensão.

2.23. Caixa de junção combinatória CC (string box ou PV box)



Figura 21. Caixa de junção CC

Fonte: CAPROSOL, 2023

- A ligação equipotencial ou o conductor de terra deverão ser ligados à caixa de junção geral;
- Esta caixa deve ser de protecção de Classe II, em que os terminais positivo e negativo deverão estar isolados uns dos outros no interior da caixa de junção;
- Aquando da sua instalação no exterior, a caixa deverá ter no mínimo protecção IP 54 e ser resistente aos raios UV;

- A ligação equipotencial ou o condutor de terra deverão ser ligados à caixa de junção geral;
- Esta caixa deve ser de protecção de Classe II, em que os terminais positivo e negativo deverão estar isolados uns dos outros no interior da caixa de junção;
- Aquando da sua instalação no exterior, a caixa deverá ter no mínimo protecção IP 54 e ser resistente aos raios UV.

2.24. Protecção contra descargas atmosféricas e sobretensões

Os sistemas fotovoltaicos estão sujeitos ao efeito de descargas atmosféricas directas ou a sobretensões causadas por descargas indirectas na proximidade da instalação, induzidas na instalação CC do gerador fotovoltaico ou através da instalação CA do edifício. Assim sendo, dever-se-á ter em conta as seguintes regras:

- Se já existir um sistema de protecção contra descargas atmosféricas no prédio, o gerador fotovoltaico deverá ser ligado ao mesmo;
- Os sistemas fotovoltaicos que estão situados em locais favoráveis ao aparecimento de descargas atmosféricas devem possuir uma protecção própria contra descargas atmosféricas;
- Deverá evitar-se a instalação dos componentes do sistema fotovoltaico (painéis, inversores, etc.) afastados das estruturas de escoamento da descarga;
- As edificações devem possuir protecção externa (para-raios) contra descargas atmosféricas e os sistemas solares devem possuir protecção interna (DPS) contra descargas atmosféricas, onde é obrigatória a ligação equipotencial dos elementos condutores (**Norma IEC 364-5-54**);
- Todos os elementos condutores (tais como as canalizações metálicas de água, gás, aquecimento, etc.), devem ser ligados ao eléctrodo de terra;
- Aconselha-se o uso de cabos isolados blindados nos sistemas fotovoltaicos que estão expostos a descargas atmosféricas, que devem ter como mínima de secção o valor de 16 mm² (cobre);
- Se não forem usados cabos blindados, terão de ser ligados aos condutores activos descarregadores de sobretensões com uma corrente nominal mínima de descarga de 10 kA.

- Caso os cabos sejam blindados, é satisfatório usar descarregadores de sobretensão com uma corrente nominal de fugas aproximada de 1 kA;
- Os descarregadores de sobretensões de Tipo C, Classe II (**Norma IEC 61643-1**), deverão ser utilizados nos lados CC e CA, com correntes nominais de descarga de 1 kA por cada unidade de potência instalada (kWp).

2.25. Site visit (visita ao local)

A visita ao local da instalação solar ou levantamento do local da instalação solar é uma etapa crucial no processo de instalação, na qual um especialista inspeciona uma propriedade para avaliar a sua adequação à instalação do sistema solar. Isto envolve a avaliação de factores como a exposição solar, as condições do telhado, o sombreamento e o sistema eléctrico para garantir a viabilidade, eficiência e segurança do sistema.



Figura 22. Notas do site visit

Fonte: CAPROSOL, 2023

2.25.1. Principais aspetos de uma visita ao local da instalação fotovoltaica

2.25.2. Exposição solar e sombreamento

Avaliar a quantidade de luz solar que a propriedade recebe e identificar possíveis obstruções, como árvores ou edifícios próximos, que possam projetar sombras sobre os painéis solares.

2.25.3. Condição e material do telhado

Avaliar a integridade estrutural do telhado, a idade e o tipo de material de cobertura para garantir que pode suportar o peso dos painéis solares e que a instalação é segura e fiável.

2.25.4. Sistema eléctrico

Examinar o quadro eléctrico, a cablagem e a caixa de disjuntores existentes para determinar o tamanho e a capacidade do sistema eléctrico e como pode acomodar o novo sistema fotovoltaico.

2.25.5. Espaço e orientação

Medir o espaço disponível no telhado ou no solo e determinar a orientação ideal dos painéis solares para maximizar a produção de energia.

2.25.6. Factores económicos

Avaliar o potencial de poupança de custos e o retorno do investimento do sistema fotovoltaico com base no consumo de electricidade e na potencial produção de energia do local.

2.25.7. Importância das visitas à instalações fotovoltaicas**2.25.8. Projecto e orçamento precisos**

Fornecem as informações necessárias para um projeto preciso e uma estimativa de custos para a instalação solar.

2.25.9. Desempenho ideal

Ajudam a garantir que o sistema solar é posicionado e projetado para maximizar a produção de energia e minimizar potenciais problemas como o sombreamento ou danos no telhado.

2.25.10. Segurança e viabilidade

Ajudam a identificar quaisquer potenciais riscos ou preocupações de segurança relacionados com a instalação, tais como condições do telhado ou problemas com a cablagem eléctrica.

2.25.11. Conformidade com as normas

Ajudam a garantir que a instalação cumpre os códigos de construção locais e as normas de segurança eléctrica.

Informações institucionais e do curso			
Instituição			
Curso	Energia Fotovoltaica		
Nível	CV		
Horas			
Formador(s)			
UC 2	VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES NUMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA AUTÓNOMA		
Conteúdo analítico do módulo	ESTUDO DE CASO		
	RECURSOS		
	Verificar o desenho de um sistema fotovoltaico autónomo		
	Verificar a insolação média e a potência dos módulos solares		
	Verificar a área fotovoltaica disponível		
	Verificar sombreamentos entre fileiras e advindos de obstáculos		
	Verificar perdas no sistema fotovoltaico		
	Verificar a potência do gerador fotovoltaico		
	Verificar a quantidade dos painéis solares		
	Verificar o ângulo de inclinação e orientação dos módulos solares		
	Exercícios de aplicação		
	Procedimento de montagem		
	Verificar o dimensionamento das baterias e da cablagem de toda a instalação		
	Exercícios de aplicação		
	Procedimento de montagem		
	Verificar o dimensionamento do inversor e de seus respectivos componentes		
	Exercícios de aplicação		
	Procedimento de montagem		
Tipo de aula	Distribuição de responsabilidades no processo de ensino e aprendizagem		
	Orientação de género e inclusão		
	Aula teórica	Aula prática	Estudo individual
	Formador(a)	Formador(a) e formandos(as)	Formando(a) em regime autónomo
Bibliografia recomendada	MANUAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA		

3. VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES NUMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA AUTÓNOMA

3.1.1. Levantamento de dados

O levantamento de dados para um projecto fotovoltaico é uma etapa crucial, que envolve a colecta de informações sobre o consumo de energia, as condições do local de instalação e os aspectos técnicos e comerciais, nomeadamente:

- Medição de área disponível (telhado ou solo);
- Análise de sombreamento com ferramentas computacionais ou análise manual;
- Avaliação estrutural (capacidade do telhado, cargas admissíveis);
- Verificação da disponibilidade eléctrica: quadro geral, transformador, distância ao ponto de conexão;
- Colecta de dados de consumo de energia (facturas dos últimos 12 meses).

Abaixo está apresentada a tabela em forma de exemplo para o levantamento da demanda no local de interesse:

Tabela 10. Levantamento de dados

Receptor	Quantidade (un)	Potência parcial (W)	Potência total (W)	Tempo de operação	Consumo de energia (Wh/dia)
Lâmpada LED	2	12	24	8	192
Tv 50 polegadas	1	110	110	6	660
Geleira	1	780	780	24	18 720
Fogão	1	2000	2000	4	8 000
Tomadas	5	300	1500	2	3 000
Totais			4 414		30 572

Nas estimativas de produção de energia eléctrica, é útil ignorar os efeitos da variação da irradiância a cada instante e considerar a energia eléctrica total convertida em intervalos horários (de tempo). Como existe uma linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, este conceito pode ser estendido, gerando a forma conveniente para expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflecte o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a $I = 1 \text{ kW/m}^2$ (1.000 W/m^2),

de forma que a energia resultante seja equivalente a energia disponibilizada pelo Sol no local de interesse, acumulada ao longo do dia.

$$HSP = \frac{GTI_{opta}}{I}(h)$$

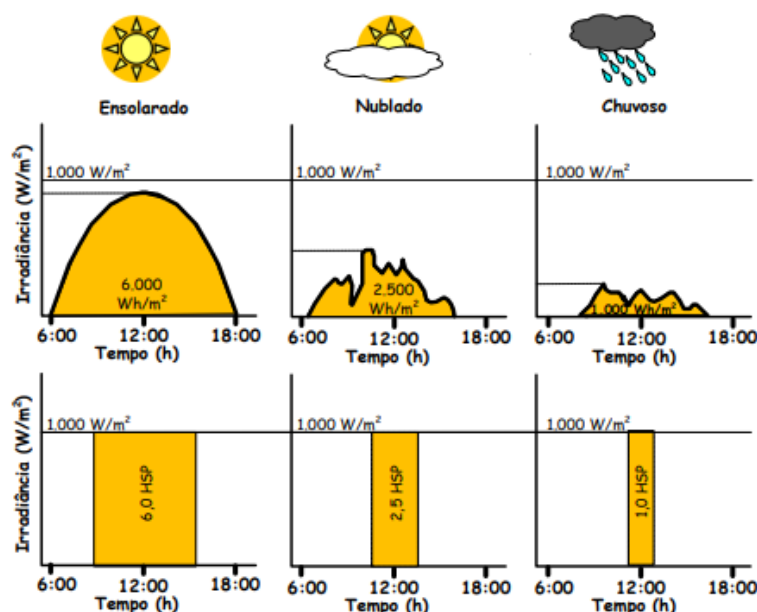


Figura 23. Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP

Fonte: Pinho e Galdino, 2014

A GTI_{opta} e as HSP são obtidas a partir da ferramenta digital GSA (Global Solar Atlas), a ser acedida aqui <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.173828,3>

3.2. Insolação em Moçambique

A energia solar é o principal recurso renovável de Moçambique. O Atlas das Energias Renováveis de Moçambique, publicado pelo FUNAE em 2014, indica um potencial total de 23.026 GW que corresponde a 7.537 MW de projectos prioritários, entre os quais se destacam 599 MW de solar, 5.645 MW de hídrica e 1.146 MW de eólica.

A irradiação global no país varia entre 1.785 e 2.206 kWh/m²/ano, o que se traduz num potencial estimado em 23.000 GW. Este recurso é bastante abundante e consistente em grande parte do país, com as Províncias de Tete, Niassa, Nampula, Cabo Delgado e Zambézia a serem as que apresentam maior irradiação, conforme pode ser visualizado no mapa. Este mapa, também mostra o potencial para projectos de energia fotovoltaica em Moçambique numa escala de produção total anual

específica de energia fotovoltaica de 1,534 a 1,753 kWh/kWp. As zonas marcadas na sombra mais escura mostram o potencial mais elevado (SOLARGIS, 2025).

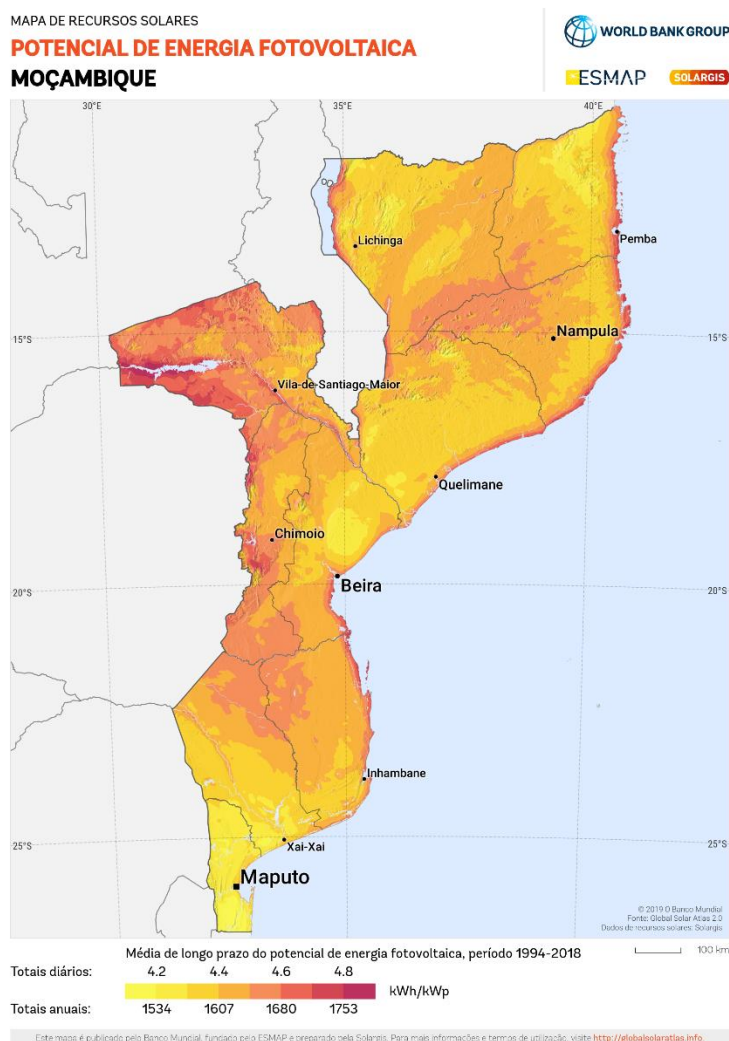


Figura 24. Potencial solar de Moçambique

Fonte: <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=mozambique>

3.2.1. Cálculo da área fotovoltaica disponível

Calcular a área disponível para instalação dos painéis solares é crucial, pois dessa forma, teremos a estimativa da potência a ser gerada pelo gerador fotovoltaico e também, poderemos verificar se a área possui dimensões suficientes para instalar 50%, 75% ou 100% da quantidade dos painéis solares. Para tal, realiza-se a medição do comprimento e largura do espaço e de seguida, o cálculo da área.

$$A_{Disp} = C \times L \text{ (m}^2\text{)}$$

Para garantir o espaçamento para circulação segura, em volta dos painéis solares a serem instalados na área, deve-se reduzir o valor calculado da área disponível em pelo menos 10%, o resultado deste cálculo, será a área a utilizar para instalar os painéis solares.

3.2.2. Sombreamentos entre fileiras e advindos de obstáculos a volta

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

Os efeitos dos sombreamentos estão directamente relacionados com factores como:

- A distância mínima entre fileiras de módulos fotovoltaicos. Os próprios módulos poderão provocar sombreamentos uns nos outros;
- Perdas por orientação e inclinação;
- Perdas por sombreamentos.

Outra situação a ter conta em questões de sombreamento, é, em grandes instalações, a distância a manter entre fileiras de colectores, de modo a que as da frente não provoquem sombreamento nas de trás. Por vezes, tal constitui um problema. Determinadas instalações são limitadas em termos de espaço. Uma das soluções prende-se com a disposição dos colectores numa superfície inclinada.

Para resolver esta questão, deve-se realizar a seguinte montagem, de acordo com a figura 25.

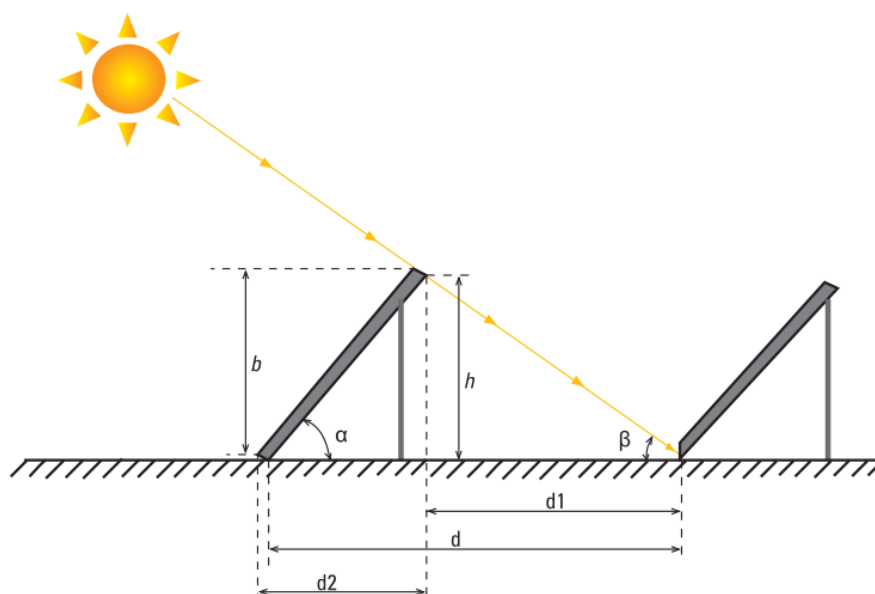


Figura 25. Regra a aplicar em fileiras de painéis quando existem sombreamentos

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

No **excel** (*planilha a ser fornecida via electrónica*), determine a distância mínima d_{Min} (na figura 25, esta distância equivale ao “**d**”) entre fileiras de painéis solares, considere:

- Painel solar posicionado verticalmente, em relação ao single-rail (barra única de suporte);
- Comprimento do painel solar disposto na *folha de dados*;
- Ângulo óptimo de inclinação, disposto no *Global Solar Atlas*;
- O ângulo mínimo de inclinação do Sol é encontrado consultando a tabela 11.

Se a distância de separação entre fileiras for elevada, e haver défice de área disponível, opte por posicionar os painéis solares, horizontalmente, em relação ao single-rail (barra única de suporte) e recalcule a distância mínima.

Para se obter o valor da distância **d**, entre os painéis solares e obstáculos a volta, teremos de obter os valores da altura do objeto e da latitude geográfica do local da instalação do sistema fotovoltaico.

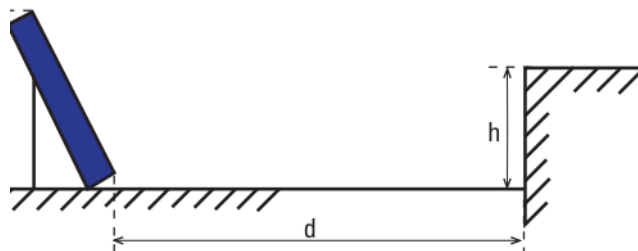


Figura 26. Distância entre painéis solares e obstáculos

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

A fórmula para a obtenção dessa distância é dada pela seguinte expressão:

$$d_{PV-obst} = \frac{h}{\text{tg}(67^\circ - \text{Latitude})} (m)$$

Tabela 11. Valores da latitude, ângulo óptimo, altura máxima e mínima do Sol

Cidade	Latitude (°)	Ângulo Ótimo (°)	Alt. Sol Máx. (°)	Alt. Sol Mín. (°)
Maputo	25.97	24	87.5 (Dez)	40.6 (Jun) latitudelongitude+2
Xai-Xai	25.05	23	88.4 (Dez)	41.5 (Jun) latitudelongitude+2
Inhambane	23.87	22	89.6 (Dez)	42.7 (Jun) latitudelongitude+2
Beira	19.84	18	86.4 (Dez)	46.7 (Jun) latitudelongitude+2
Chimoio	19.12	18	85.7 (Dez)	47.4 (Jun) latitudelongitude+2
Tete	16.16	15	82.7 (Dez)	50.4 (Jun) latitudelongitude+2
Nampula	15.12	13	81.7 (Dez)	51.4 (Jun) latitudelongitude+2
Quelimane	17.88	17	84.4 (Dez)	48.7 (Jun) longitude-latitude-maps+2
Pemba	12.97	12	79.5 (Dez)	53.6 (Jun) geodatos+2
Lichinga	13.31	13	79.9 (Dez)	53.2 (Jun) latitudelongitude+1

3.2.3. Cálculo das perdas no sistema fotovoltaico

As perdas representam a redução da energia solar gerada e não convertida em electricidade útil, causadas por factores ambientais (sombreamento e sujidade), eléctricos (resistência de cabos, ineficiência do inversor, perdas por díodos) e de degradação (perda gradual de eficiência dos painéis solares ao longo do tempo). A identificação das perdas, permite-nos calcular a eficiência do sistema.

As perdas no sistema fotovoltaico variam, mas os principais factores que contribuem para isso incluem:

- Calor: 0,3-0,5% por cada °C acima de 25°C;
- Reflexão ou sujidade (aproximadamente 2-5%);
- Resistência dos conductores (aproximadamente 1-2%);

- Ineficiência do inversor (aproximadamente 1-2%);
- Perdas por sombreamento (aproximadamente 5%).

3.2.4. Perdas por aquecimento em sistemas fotovoltaicos

Ocorrem porque as temperaturas elevadas reduzem a eficiência das células fotovoltaicas, diminuindo a tensão gerada. Isto pode originar perdas significativas na produção de energia até 15% ou mais, uma vez que os painéis solares perdem cerca de 0,45% a 0,5% de potência por cada 1°C acima da temperatura de ensaio de 25°C (STC), afectando a conversão da radiação solar em electricidade.

Para minimizar estas perdas, recorre-se a uma ventilação adequada, à manutenção, limpeza e à escolha de tecnologias mais tolerantes ao calor, como os painéis solares N-Type (Tipo-N). O calor aumenta a condutividade dos semicondutores, mas reduz a tensão de saída do painel solar, diminuindo a potência total gerada e provocando queda de tensão.

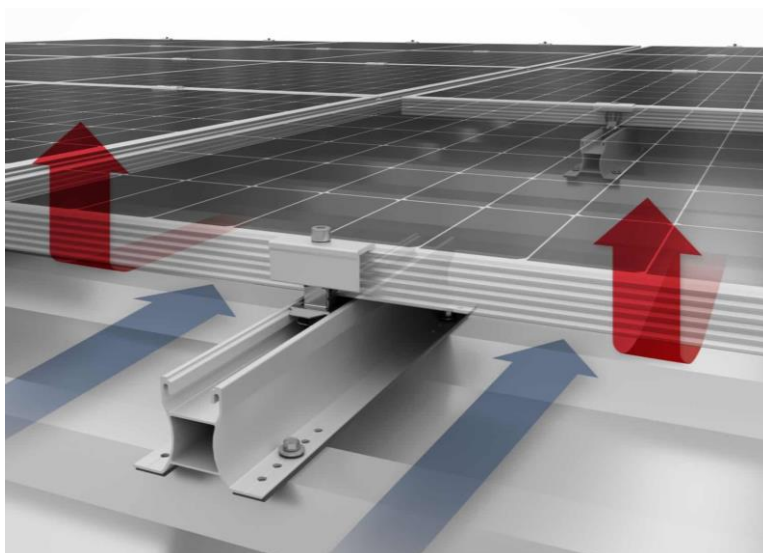


Figura 27. Distância mínima de 10 mm entre a cobertura e o painel solar

Fonte: CAPROSOL, 2023

Os painéis solares N-Type (Tipo-N) são uma tecnologia avançada que utiliza silício dopado com fósforo (carga negativa), resultando numa maior pureza do material, mais electrões e, consequentemente, maior eficiência e melhor desempenho em condições de baixa luminosidade (manhã, final da tarde e dias nublados), em comparação com os painéis P-Type (Tipo-P) (boro) tradicionais.

Apresentam ainda maior resistência à degradação induzida pela luz (LID), embora sejam, regra geral, mais caros, representando a nova geração de módulos fotovoltaicos com maior potência por metro quadrado.

*De forma geral, sistemas fotovoltaicos de ponta chegam a perder cerca de 10-20%, embora em alguns cenários extremos como neve intensa, as perdas possam atingir 20-70%, os sistemas residenciais típicos, possuem uma perda total média de cerca de 14%.

Temos dois caminhos a seguir, aplicar as perdas parcialmente, isto é, buscar a perda de cada elemento, somá-las e subtraí-las através da fórmula abaixo ou assumir os valores médios totais alistados acima*.

$$\eta_{Sist} = 1 - (\Delta_{PV} + \Delta_{Cabo} + \Delta_{INV} + \Delta_{Somb}) (\%)$$

3.3. Cálculo da potência do gerador fotovoltaico

A potência do gerador fotovoltaico, é a soma da potência nominal dos painéis solares que o compõem e indica sua capacidade máxima em condições ideais, variando de pequenos sistemas residenciais à grandes centrais solares, sendo calculada com base no consumo de energia, irradiação solar local, horas de Sol pleno e eficiência do sistema.

$$P_{GFV} = \frac{E_{CON.}}{HSP \times \eta_{Sist}} (Wp)$$

3.4. Cálculo da quantidade total dos painéis solares que pretende-se instalar

Através da potência do gerador fotovoltaico, e da potência nominal do painel solar a ser utilizado, para formar o gerador fotovoltaico, calcula-se a quantidade total de painéis solares.

$$QTD_{PV-total} = \frac{P_{GFV}}{P_{PV}} (un)$$

3.4.1. Cálculo da quantidade dos painéis solares que podem ser instalados na área fotovoltaica disponível

Com o conhecimento da área fotovoltaica disponível, agora, calcula-se a área do painel solar a ser utilizado, para formar o gerador fotovoltaico. Para tal, recorre-se a sua ficha técnica (segundo o anexo 3), obtém-se suas dimensões e calcula-se a área, segundo a fórmula:

$$A_{PV} = C \times L \text{ (m}^2\text{)}$$

Com o conhecimento da área do painel solar, agora calcula-se a quantidade de painéis solares, que podem ser instalados na área disponível, segundo a fórmula:

$$QTD_{PV-AD} = \frac{A_{Disp}}{A_{PV}} \text{ (un)}$$

Agora é crucial verificar se a quantidade de painéis solares, que podem ser instalados na área fotovoltaica disponível QTD_{PV-AD} , é maior que a quantidade de painéis solares que pretende-se instalar $QTD_{PV-total}$. Caso $QTD_{PV-AD} > QTD_{PV-total}$, a condição é verificada.

3.5. Cálculo da capacidade de suporte da cobertura

A capacidade de suporte da cobertura para sistemas fotovoltaicos é crucial e envolve o cálculo do peso total do sistema (módulos + estrutura, cerca de 20–30 kg/m² ou mais), bem como a verificação se que a estrutura da cobertura do edifício suporta a carga adicional que lhe será imposta, para além das acções do vento. Para tal, devem ser utilizados materiais adequados e sistemas de fixação seguros e certificados, de modo a evitar danos e garantir a segurança do investimento.

3.5.1. Peso do sistema fotovoltaico

- Painéis solares, cada painel solar pesa, em média, entre 20 e 30 kg ou mais, dependendo do modelo;
- Estrutura de fixação, acrescenta cerca de 3 a 5 kg/m² ao peso total;
- O valor mínimo de carga que uma cobertura (placa/betão) deve suportar para sistemas fotovoltaicos varia, mas uma estimativa comum é de 15 kg/m², podendo chegar a 30 kg/m² ou mais, dependendo do tipo de cobertura, norma local e das cargas de vento;
- O sistema fotovoltaico residencial pode acrescentar centenas de quilogramas à estrutura da cobertura, sendo necessária uma avaliação da sua capacidade estrutural original.

3.5.2. Cargas de vento

As estruturas de fixação devem ser dimensionadas para resistir a ventos fortes (por exemplo, até 120 km/h, consoante a região), de modo a evitar que os painéis solares se soltem e provoquem acidentes.

3.5.3. Materiais da cobertura

As estruturas devem ser adaptadas a diferentes tipos de telhados, como telha cerâmica, betão, fibrocimento e coberturas metálicas, garantindo a correcta distribuição do peso e a estanquidade.

Para verificar a capacidade de suporte da cobertura, deve-se considerar o factor **k** (kg/m²), que representa o peso por metro quadrado, que determinada cobertura pode suportar. Desta forma, calcula-se a capacidade de suporte segundo a fórmula:

$$C_{SP} = k \times A_{Disp} \text{ (kg)}$$

Agora calcula-se o peso total dos painéis solares a serem instalados, segundo a fórmula:

$$Peso_{PV-total} = Peso_{PV-parcial} \times QTD_{PV-total} \text{ (kg)}$$

3.5.4. Quantidade de painéis solares por fileira

A quantidade de painéis solares por fileira, conectados em série é determinada através da seguinte fórmula:

$$QTD_{PV \text{ serie na Fil.-MPPT (victron)}} = \frac{V_{OC \text{ Max-MPPT}}}{V_{OC-parcial PV} \times 1.1} \text{ (un)}$$

3.5.5. Quantidade total de fileiras por MPPT

Dependendo do tipo e capacidade do MPPT, este pode possuir **n** números de fileiras. Desta feita, o cálculo da quantidade total de fileiras, é feito segundo a fórmula:

$$QTD_{Fil.-MPPT-total (victron)} = \frac{QTD_{PV-total}}{QTD_{PV \text{ serie na Fil.-MPPT (victron)}}} \text{ (un)}$$

3.5.6. Conductores de conexão dos painéis solares

Os cabos responsáveis pela ligação dos painéis solares apresentam as seguintes características técnicas:

- Tensão nominal: classificados para 1,5 kV CC (corrente contínua) entre condutores, suportando um máximo de 1,8 kV CC;
- Norma de conformidade: fabricados de acordo com a norma europeia harmonizada EN 50618 e com a norma internacional IEC 62930;
- Conductor: composto por cobre eletrolítico estanhado, classe 5 (flexível), oferecendo elevada resistência à corrosão e facilitando a instalação;

- Isolamento e cobertura: dupla camada de material reticulado (XLPO ou borracha LSZH), livre de halogénios e com baixa emissão de fumo.

Tabela 12. Método de referência de cabos CC

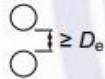
Cabo instalado ao ar livre	
Modo de instalação 1: dois cabos unipolares enconstados um ao outro, na horizontal	
Modo de instalação 2: dois cabos unipolares encostados um ao outro, na vertical	
Modo de instalação 3: dois cabos unipolares espaçados em, pelo menos 0.75*diâmetro externo, na horizontal	
Modo de instalação 4: dois cabos unipolares espaçados em, pelo menos um diâmetro externo, na vertical	
D_e é o diâmetro externo do cabo, expresso em milímetros. Todos os cabos devem estar a uma distância equivalente a pelo menos meio diâmetro externo do cabo, de superfícies como paredes, tetos, muros e similares. No caso dos cabos expostos ao Sol, foi considerada uma intensidade de radiação de 1000 W/m².	

Tabela 13. Capacidade de condução de corrente para cabos instalados em temperatura ambiente de 30°C e temperatura no condutor em regime de 90°C

Secção mm ²	Instalação ao ar livre protegida do Sol				Instalação ao ar livre exposta ao Sol			
	Modo de instalação				Modo de instalação			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1.5	26	26	30	26	23	22	27	23
2.5	35	35	40	35	31	30	36	31
4	47	46	53	47	41	40	48	41
6	60	59	68	60	51	51	61	52
10	83	82	95	84	71	71	85	73
16	110	110	125	113	93	93	112	97
25	146	147	166	151	123	124	147	129
35	181	183	207	189	151	153	182	161
50	229	232	260	240	189	193	228	204
70	285	290	325	301	234	239	283	254
95	343	349	390	364	279	287	339	306
120	402	410	458	428	325	335	396	359
150	463	473	527	495	371	384	453	413
185	528	540	600	566	420	435	513	470
240	633	647	719	681	499	518	612	563
300	732	749	831	789	573	596	705	650
400	880	901	998	952	682	710	842	780

3.6. Conexão dos painéis solares

3.6.1. Conexão em série de painéis solares

A conexão em série de painéis solares consiste em ligar o polo positivo (+) de um painel solar ao polo negativo (-) do painel solar seguinte, somando as tensões e mantendo a corrente constante.

Assim, forma-se uma cadeia que permite aumentar a tensão total do sistema, sendo uma solução ideal para inversores que operam com tensões elevadas. No entanto, exige que todos os painéis solares tenham a mesma corrente e que a tensão total não ultrapasse o limite máximo do inversor. O cabo positivo do primeiro painel e o cabo negativo do último são ligados ao sistema.

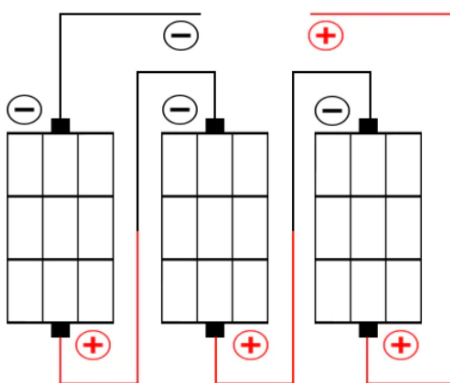


Figura 28. Conexão série dos painéis solares

Fonte: CAPROSOL, 2023

3.6.2. Conexão em paralelo de painéis solares

A ligação em paralelo de painéis solares soma as correntes e mantém a tensão constante, ligando todos os polos positivos (+) entre si e todos os polos negativos (-) entre si, idealmente através de conectores MC4 em Y para unir os cabos da mesma polaridade.

Desta forma, obtém-se um único ponto de saída positivo (+) e negativo (-) para o sistema. É fundamental garantir a correcta polaridade e, preferencialmente, utilizar painéis solares com tensões semelhantes, de modo a assegurar um melhor desempenho do sistema.

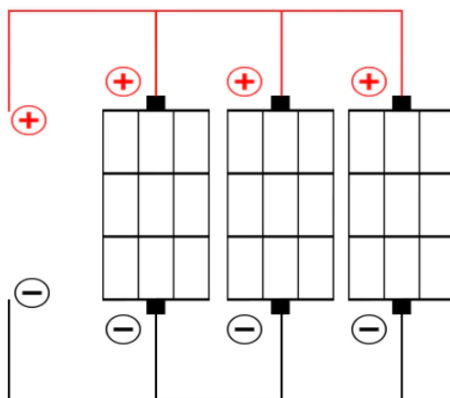


Figura 29. Conexão paralelo dos painéis solares

Fonte: CAPROSOL, 2023

3.7. Orientação dos painéis solares

Hemisfério Norte: América do Norte, América Central, Parte de África, Europa, Ásia e Polo Norte, nos países deste hemisfério, os painéis solares devem ficar instalados virados para o Sul.

Hemisfério Sul: Parte de África, *Mozambique*, América do Sul, Antártida e Oceânia, nos países deste hemisfério, os painéis solares devem ficar instalados virados para o Norte.

3.8. Inclinação dos painéis solares

Para determinar a inclinação do painel solar, deve-se considerar as horas de radiação solar durante o dia, que dependem da estação do ano em que nos encontramos, pois durante o verão não temos as mesmas horas de Sol disponíveis que as de inverno.

A inclinação dos painéis solares será ser feita de forma que sombreamentos advindo de prédios, chaminés, árvores e outros elementos ao redor não atinjam a superfície dos painéis solares, através de um ângulo anual fixo ideal.

Recorre-se a latitude do local para determinar a inclinação dos painéis solares, desta feita, os painéis são instalados com um ângulo equivalente a latitude do local de instalação, pois o objectivo é posicionar o painel solar perpendicularmente ao Sol, para maximizar a captação de irradiação durante todo ano.

$$I_{IDEAL} \approx \text{Latitude}$$

Somado ao método acima, como viu-se anteriormente, recorreremos ao Global Solar Atlas, introduzimos as coordenadas geográficas do local e obtemos a inclinação ideal, tendo em conta a irradiação total global.

3.9. Protecção do lado de corrente contínua CC

Os aparelhos de protecção têm como função proteger todos os elementos que constituem uma instalação eléctrica CC/CA, contra os diferentes tipos de defeitos que podem ocorrer, nomeadamente: curto-circuito, sobrecargas e descargas atmosféricas.

Para tal, dispositivos de protecção são dimensionados e de seguida aplicados nos diferentes circuitos, sejam CC/CA, para que em situações de defeito, prontamente protejam o sistema e os seus respectivos usuários.

3.9.1. Fusíveis gPV

O fusível gPV é um componente de segurança essencial em sistemas fotovoltaicos, concebido especificamente para proteger os painéis solares contra sobrecorrentes e curtos-circuitos em corrente contínua CC. Apresenta características como elevada capacidade de interrupção em CC, resposta rápida e resistência a picos de corrente. É um fusível sacrificial, pois interrompe o circuito quando actua e necessita de ser substituído após a sua actuação, garantindo assim a segurança e a durabilidade da instalação.



Figura 30. Fusível gPV de 1000 VDC, 32 A

Fonte: Shihlin Electric, 2025

A corrente de curto-circuito I_{SC} do painel solar é a corrente total que fluirá em cada fileira, visto que os painéis solares serão conectados em série. O fusível de protecção

contra sobrecorrente, deve estar dimensionado de tal forma que sua corrente nominal, obedeça a condição:

$$1.5 \times I_{SC} < I_{FUSE} < 2.4 \times I_{SC}$$

Agora recorre-se a ficha técnica do painel solar selecionado (segundo o anexo 3), onde obtém-se a sua corrente de curto-circuito I_{SC} . Com este dado, substitui-se na fórmula acima, determina-se o intervalo da corrente nominal do fusível de protecção, tensão nominal e o poder de corte.

Para determinar a secção nominal dos conductores dos painéis solares, deve-se levar a corrente de curto-circuito com um sobredimensionamento de 50% ($1.5 \times I_{SC}$), para as tabelas 12 e 13, de seguida escolher a corrente máxima admissível e através desta, seleccionar a secção nominal correspondente.

Tabela 14. Corrente nominal de disjuntores e fusíveis

Corrente nominal IN (A)	
Disjuntores termomagnéticos	Fusíveis
6	6
10	10
16	16
20	20
25	25
32	32
40	40
50	50
63	63
100	80
125	100
160	125
	160
	200
	250
	315
	400
	500
	630
	800
	1000

Durante a selecção do disjuntor termomagnético, caso a corrente de serviço indique que a corrente nominal deve ser maior que 160 A, pode-se adoptar os valores

dispostos na coluna dos fusíveis, visto que estes dispositivos de protecção, apresentam correntes nominais próximas.

3.10. Dispositivo de protecção contra surtos no lado CC

3.10.1. Tensão máxima de funcionamento contínuo, U_c

Distinguem-se, no entanto, pela elevada tensão de funcionamento de 500 V a 1500 V ou superior, e pela utilização de varistores específicos para CC, garantindo a protecção contra surtos provenientes do lado da geração CC ou da rede (EDM).

Estes dispositivos são essenciais nas caixas combinatórias (string box), permitindo desviar as descargas atmosféricas para o sistema de aterramento.

Tabela 15. Tensão UC do DPS (Vdc)

Tensão U_c do DPS (Vdc)
500
600
800
1000
1200
1500

3.10.2. Classes

Em corrente contínua CC, as classes de DPS seguem a mesma lógica de protecção por níveis, desde: classe I, II e III, sendo aplicadas em sistemas fotovoltaicos e de telecomunicações.

- **Classe I:** limita surtos de tensão, nos quais parte da corrente do raio está associada, ou seja, esta classe é utilizada no quadro principal, ou em ambientes em que possa ocorrer descargas directas (áreas urbanas ou rurais). A secção nominal mínima para o conductor de aterramento para esta classe é de 16 mm².
- **Classe II:** limita surtos de tensão que chegam a penetrar na edificação, dessa forma, um DPS de classe II está destinado a proteger equipamentos que possam vir a danificar ao receber tensões superiores. A secção nominal mínima para o conductor de aterramento para esta classe é de 4 mm².
- **Classe III:** limita surtos de tensão que penetram equipamentos mais sensíveis, dessa forma, um DPS de classe III está destinado a proteger somente um equipamento, geralmente aparelhos electroeletrónicos.

3.10.3. Corrente de descarga

A corrente máxima de descarga do DPS é medida em milhares de Amperes (kA) e corresponde ao “maior surto” que o DPS consegue suportar pelo menos uma vez, sem ser danificado. Este valor é escolhido de acordo com o nível de exposição do local à incidência de raios, pois estes são os principais causadores dos surtos eléctricos.

Lugares com alta incidência de raios requerem DPS com maior capacidade. Em geral, são utilizados os seguintes valores:

- **Áreas urbanas**, próximas à região central, com prédios equipados com para-raios no entorno: DPS de 12 kA a 20 kA;
- **Periferia de áreas urbanas**, com poucos prédios sem para-raios no entorno: DPS de 30 kA a 45 kA;
- **Áreas rurais ou edificações afastadas (isoladas)**: DPS de 60 kA ou maior.

Sob o ponto de vista técnico, nada impede que seja instalado um DPS com capacidade em kA maior que a recomendada para o local. E neste caso, a tendência é que a vida útil do DPS seja prolongada.

Ainda em função da ficha técnica do painel solar, selecciona-se a sua tensão de circuito aberto parcial e de seguida determina-se o seu valor total, segundo a fórmula:

$$V_{OC-Total} = V_{OC-Parcial} \times QTD_{PV-FIL} (V)$$

Uma vez com a $V_{OC-Total}$, realiza-se a determinação das características técnicas do DPS (Dispositivo de Protecção Contra Surtos), nomeadamente: U_c (tensão de máxima de funcionamento contínuo), corrente de descarga e classe.



Figura 31. Dispositivo de protecção contra surtos

Fonte: CAPROSOL, 2023

Para a protecção completa dos equipamentos, deve haver pelo menos um DPS entre os painéis solares e o inversor. O DPS de protecção dos painéis solares contra descargas atmosféricas, deve estar dimensionado de tal forma que a tensão nominal, possua uma margem mínima de 20% a 25% sobre a tensão de circuito aberto dos painéis solares associados.

$$U_C > V_{OC-Total}$$

3.10.4. Chave seccionadora CC

A chave seccionadora do lado CC é o dispositivo de segurança essencial em sistemas fotovoltaicos, utilizado para interromper fisicamente a corrente contínua, proveniente dos painéis solares, isolando o circuito para efeitos de manutenção ou em situações de emergência.

É fundamental para evitar arcos eléctricos perigosos, existindo modelos que variam quanto à tensão até 1500 Vdc, corrente e número de pólos de unipolar a tetrapolar.



Figura 32. Chave seccionadora CC

Fonte: CAPROSOL, 2023

Este dispositivo garante a segurança do sistema ao permitir um seccionamento seguro e fiável, mesmo sob carga, protegendo tanto o inversor como os utilizadores. O seu dimensionamento deve respeitar a seguinte condição:

$$I_S \leq I_{N\ Chave} \leq I_Z$$

3.10.5. Queda de tensão nos condutores CC

A queda de tensão máxima admissível, ΔU nos circuitos condutores de CC não deve ser superior a 3% da tensão de trabalho do sistema, este critério limita em 3% a queda de tensão nos cabos do sistema fotovoltaico.

A queda de tensão em condutores CC é verificada segundo a fórmula:

$$\Delta U_{DC} = \frac{2 \times l_{CABO} \times I_{SC-Total}}{S_{CABO} \times V_{OC-Total} \times \sigma}$$

3.11. Estrutura de suporte dos painéis solares

A estrutura de suporte dos painéis solares tem como função posicioná-los de maneira estável, além disso, ela deve assegurar a ventilação adequada, permitindo dissipar o calor que normalmente é produzido devido a acção dos raios solares e ao processo de perdas na conversão de energia. Em função do tipo de cobertura, as estruturas de suporte dos painéis solares diferem uma das outras, como esta descrito nas figuras a seguir.

3.11.1. Estrutura de sustentação no solo

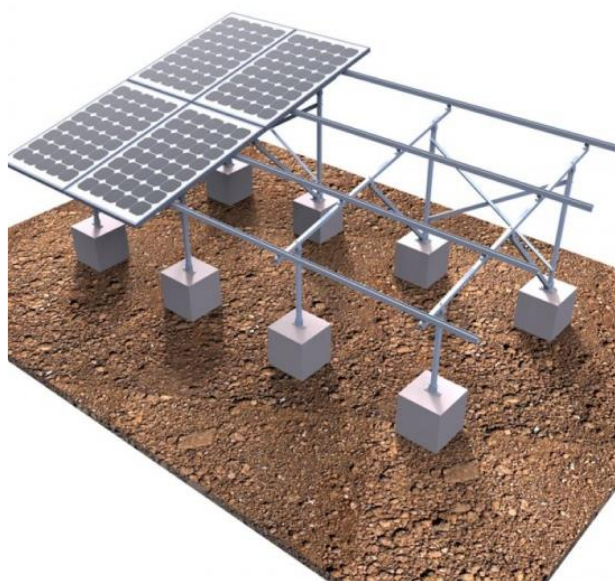


Figura 33. Estrutura de sustentação no solo

Fonte: CAPROSOL, 2023

Tabela 16. Vantagens e desvantagens da estrutura de sustentação no solo

Estrutura de sustentação no solo	
Vantagens	Desvantagens
• Fácil instalação; • Fácil manutenção; • Estrutura robusta; • Indicada para de qualquer porte.	• Mais propícia a situações de sombreamento; • Mais sujeita a poeira e contacto com pessoas, objectos e animais.

3.11.2. Estrutura de sustentação no poste*Figura 34. Estrutura de sustentação no poste*

Fonte: CAPROSOL, 2023

Tabela 17. Vantagens e desvantagens da estrutura de sustentação no poste

Estrutura de sustentação no poste	
Vantagens	Desvantagens
• Fácil instalação • Menos propícia a situações de sombreamento; • Mais segura contra contacto de pessoas, objectos e animais.	• Estrutura menos robusta; • Maior dificuldade de manutenção; • Indicada apenas para sistemas de pequeno porte.

3.11.3. Estrutura de sustentação sobre a edificação



Figura 35. Estrutura de sustentação sobre a edificação

Fonte: CAPROSOL, 2023

Tabela 18. Vantagens e desvantagens da estrutura de sustentação sobre a edificação

Estrutura de sustentação sobre a edificação	
Vantagens	Desvantagens
• Menos propícia a situações de sombreamento; • Mais segura contra contacto de pessoas, objectos e animais; • Estrutura de suporte mais simples.	• Instalação mais trabalhosa; • Maior dificuldade de manutenção; • Riscos associado ao trabalho em altura.

3.11.4. Estrutura de suporte com seguidor solar

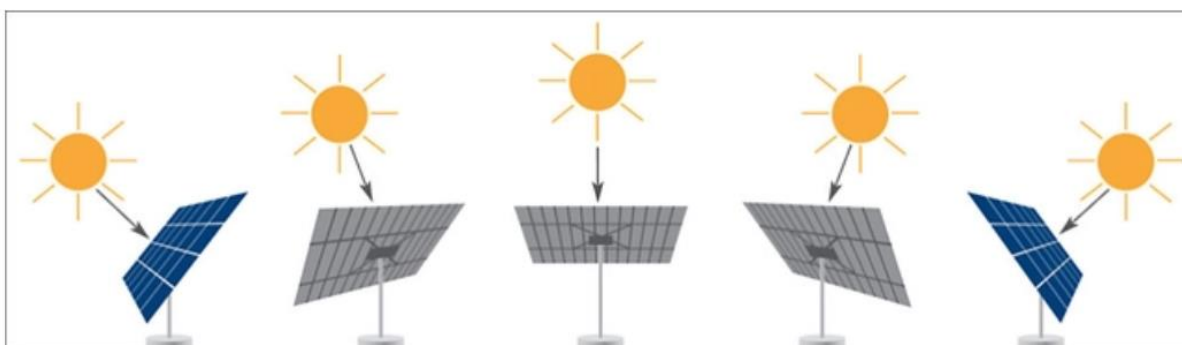


Figura 36. Estrutura de suporte com seguidor solar

Fonte: CAPROSOL, 2023

Tabela 19. Vantagens e desvantagens da estrutura de suporte com seguidor solar

Estrutura de suporte com seguidor solar	
Vantagens	Desvantagens
Sistemas com seguidores solares geram mais energia do que os sistemas fixos. Isso ocorre devido ao aumento da exposição directa aos raios solares, e esse ganho pode alcançar valores de 25 a 45%.	Sistemas com seguidores solares são ligeiramente mais caros devido ao uso de tecnologias mais complexas e de peças móveis para seu funcionamento.

Os painéis solares devem ser montados sobre uma estrutura de suporte, que deve ser rígida e de geometria adequada, para dar a orientação e o ângulo de inclinação fixo necessário, a fim de assegurar a máxima captação da luz solar durante o período de interesse, e dotar o conjunto de uma rigidez mecânica que permita suportar o peso dos painéis solares e os ventos fortes.

Através das fórmulas abaixo, procede-se com o cálculo da quantidade dos elementos da estrutura de suporte:

Braçadeiras finais (end-clamp), intermediárias (middle-clamp) e barra única suporte (single-rail):

$$BRAC_{Final} = 4 \times QTD_{FIL-INV} \text{ (un)}$$

$$BRAC_{Intermedia} = (QTD_{PV-FIL} - 1) \times 2 \text{ (un)}$$

As barras únicas de suporte disponíveis no mercado fotovoltaico, apresentam os seguintes comprimentos: 2.5 m, 3.65 m, 4.8 m e 5.95 m.

$$BRAC_{Intermedia-Total} = BRAC_{Intermedia} \times QTD_{FIL-INV} \text{ (un)}$$

$$BAR_{Unica-FIL} = \frac{Largura_{PV} \times QTD_{PV-FIL}}{Comprimento_{BAR\ Unica}} \times 2 \text{ (un)}$$

$$BAR_{Unica-Total} = BAR_{Unica-FIL} \times QTD_{FIL-INV} \text{ (un)}$$

3.12. Equipotencialização

O aterramento é essencial para a protecção contra choques eléctricos, além de fazer parte do sistema de protecção contra descargas atmosféricas das instalações e dos equipamentos, principalmente o inversor, que é o componente mais sensível do sistema fotovoltaico, garante que todas as massas do sistema solar estejam

equipotencializadas. Se a secção nominal dos conductores CC for menor ou igual a 16 mm^2 , o conductor de terra deverá ter a mesma secção que os conductores CC.

Desta feita, em função da secção nominal dos conductores de conexão dos painéis solares, determina-se a secção nominal do condutor de terra. Este condutor fará a interconexão entre as molduras dos painéis solares e dos demais dispositivos do sistema fotovoltaico, e por fim, será conectado ao conductor que faz a conexão com o electrodo de terra de cobre (este conductor deve ter secção nominal maior ou igual a 16 mm^2).

$$S_{CABO-DC} \leq 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{CABO-Terra} = S_{CABO-DC}$$

3.13. Tipos de aterramento

Ao deparar-se com a necessidade de instalar um sistema fotovoltaico num local onde não existe qualquer tipo de aterramento, não pode-se encarar a ausência de aterramento como um problema alheio ao nosso sistema ou como algo que não seja da nossa responsabilidade.

Deste modo, não é admissível instalar um sistema fotovoltaico numa residência ou local que não disponha de aterramento ou em que este seja deficiente.

3.13.1. Aterramento TT (Terra-Terra)

É um sistema eléctrico em que o neutro da concessionária (EDM) é ligado à terra num ponto, enquanto as massas (carcaças dos equipamentos) da instalação do utilizador são ligadas a um eléctrodo de terra separado e independente do da concessionária, recorrendo a hastes de terra próprias para o efeito.

Este sistema exige a utilização obrigatória de um dispositivo diferencial residual (DR) para garantir a protecção contra choques eléctricos, uma vez que a corrente de fuga retorna pelo solo e não pelo neutro. Em situações de falha, é considerado mais seguro do que o sistema TN, embora seja mais complexo e dispendioso.

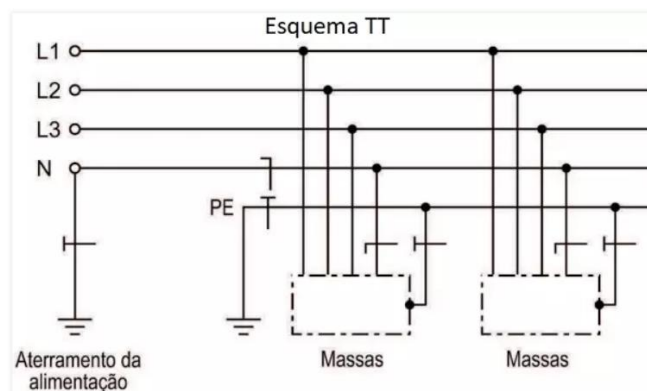


Figura 37. Esquema de aterramento TT

Fonte: CAPROSOL, 2023

3.13.2. Aterramento TN-S (Terra-Neutro Separado)

É um sistema eléctrico em que os conductores de neutro (N) e de protecção (PE – Terra) são separados e distintos desde o ponto de alimentação (quadro de entrada) até ao quadro de distribuição e, conseqüentemente, por toda a instalação.

Este esquema garante segurança ao fornecer um caminho dedicado para correntes de fuga e interferências, sendo um dos sistemas mais seguros e fiáveis, exigindo a utilização de um dispositivo diferencial residual (DR) em circuitos específicos.

Neste esquema, o neutro e a terra estão ligados no mesmo ponto de origem (geralmente no quadro de entrada ou no transformador), mas seguem como condutores distintos (fios separados) por toda a instalação.

O condutor de protecção (PE) é ligado ao neutro da rede logo na entrada (BEP – Barramento de Equipotencialização Principal), mas nunca voltam a entrar em contacto após esse ponto.

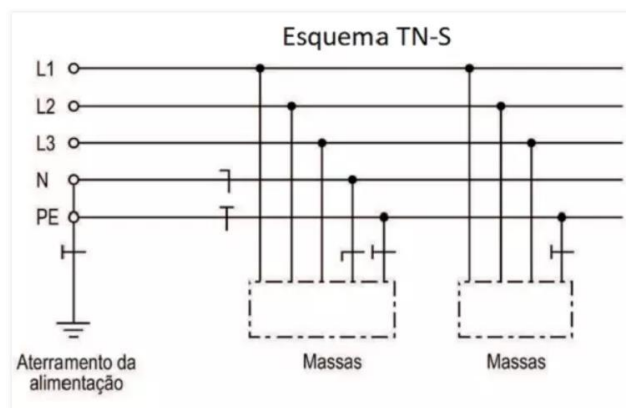


Figura 38. Esquema de aterramento TN-S

Fonte: CAPROSOL, 2023

3.14. Exercícios de aplicação

1. A família Ampere, residente em Maputo, tem plantações de eucaliptos a 45 km da zona com acesso à energia eléctrica e atualmente encontra-se a busca de especialistas no dimensionamento & montagem de sistemas solares.

Seu objectivo é alimentar os electrodomésticos que estão na dependência de suas plantações, que são, 10 lâmpadas LEDs: 20 W cada – 9 horas, quatro carregadores de telemóvel: 20 W – 6 horas, duas TV LCD 32': 120 W – 7 horas, um fogão: 1500 W – 3 horas, um ventilador: 130 W – 8 horas e um rádio com leitor de mp3: 200 W – 5 horas.

Hoje você(s) foi(ram) contratados(as) por esta família para realizar o dimensionamento completo do gerador fotovoltaico. Considere a latitude de Maputo, localização de Moçambique em relação ao equador, HSP a serem encontradas no Global Solar Atlas, profundidade de descarga da bateria de 80-90%. Caso seja necessário, baixe datasheets (folha de dados) dos equipamentos na internet, eis aqui algumas marcas sugestivas: Victron Energy, Canadian Solar, JA Solar, Deye, Kuiper, dentre outras.

2. A família Tesla, residente em Gaza, tem criação de gado bovino a 20 km da zona com acesso à energia eléctrica e atualmente encontra-se a busca de especialistas no dimensionamento & montagem de sistemas solares. Seu objectivo é alimentar os electrodomésticos que estão na dependência de sua criação, que são, 25 lâmpadas LEDs: 18 W cada – 10 horas, 10 carregadores de telemóvel: 20 W – 6 horas, três TV LCD 32': 120 W – 4 horas, dois fogões: 2000 W – 4 horas, dois ventiladores: 200 W – 8 horas e um rádio com leitor de mp3: 300 W – 6 horas.

Hoje você(s) foi(ram) contratados(as) por esta família para realizar o dimensionamento completo do gerador fotovoltaico. Considere a latitude de Maputo, localização de Moçambique em relação ao equador, HSP a serem encontradas no Global Solar Atlas, profundidade de descarga da bateria de 80-90%. Caso seja necessário, baixe datasheets (folha de dados) dos equipamentos na internet, eis aqui algumas marcas sugestivas: Victron Energy, Canadian Solar, JA Solar, Deye, Kuiper, dentre outras.

3.15. Procedimento de montagem

Para painéis solares instalados em telhados, a fixação deve ser feita com parafusos no topo das vigas. Para painéis solares montados no solo, devem ser instalados suportes sobre uma fundação em betão.

- Consulte o manual do fabricante para obter informações detalhadas sobre a forma correta de ligar os painéis às respectivas estruturas de montagem.
- Ligue os seus painéis solares entre si e certifique-se de que o percurso não restringe o acesso a nenhum componente do sistema fotovoltaico.

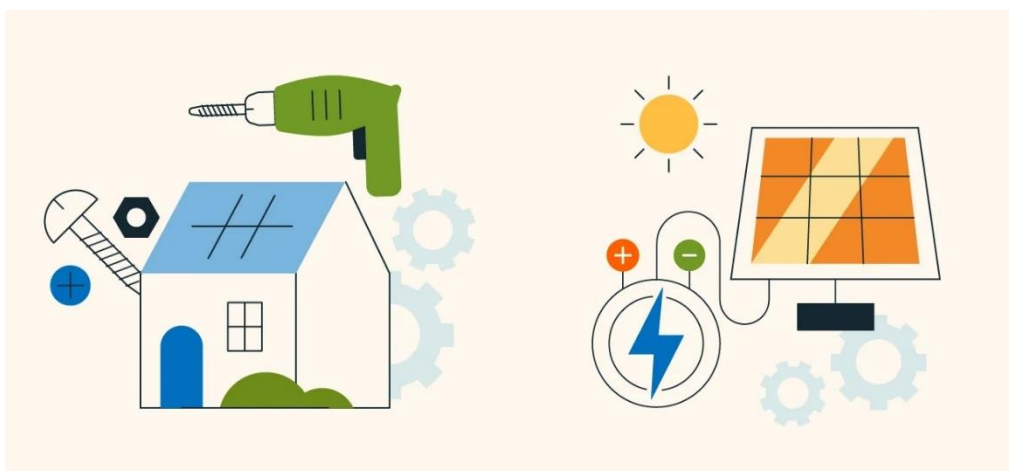


Figura 39. Instalar a estrutura de suporte e os respectivos painéis solares

Fonte: CAPROSOL, 2023

3.15.1. Planeamento e estrutura de suporte

- Defina o layout e a quantidade de painéis solares a serem instalados;
- Prepare o local, organize o telhado ou o solo, identificando o melhor local para a máxima captação solar;
- Fixe os suportes, instale os pés e suportes no telhado ou solo, garantir firmeza e resistência;
- Instale os trilhos, encaixe os trilhos de alumínio nos suportes.

3.15.2. Instalação dos painéis solares

- Fixação, coloque os painéis solares nos trilhos, alinhando os furos de montagem com os suportes, e fixe-os com parafusos e fixadores adequados, sem modificar a estrutura do painel solar;
- Conexão eléctrica, conecte os painéis solares entre si usando os conectores MC4, montando os painéis solares em série ou em paralelo, conforme definido

no acto de dimensionamento, para atingir a tensão e corrente desejadas, verificando sempre a polaridade.

3.15.3. Ilustrações de montagem

Tipos de estrutura fixa – telhado plano (cobertura plana) – Horizontal (Tipo 3)

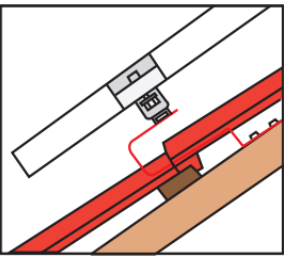
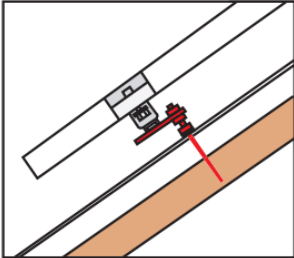
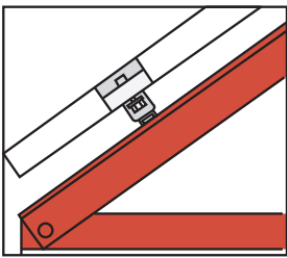


Figura 40. Estrutura fixa para telhado plano

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

Existem várias opções de montagem disponíveis para os painéis solares em telhados. A seguir estão as formas de montagem de estruturas de suporte em telhados inclinados e telhados planos.

Tabela 20. Tipos de montagem dos painéis solares e sua fixação à estrutura

Telhado inclinado - gancho	Telhado inclinado - gancho e parafuso	Telhado plano
Azulejos, telhas	Telhas onduladas para telhados, feltro	Elevações seleccionáveis
		

3.16. Caracterização técnica detalhada dos principais componentes de uma estrutura de fixação em telhados

3.16.1. Fixação ao telhado

Na superfície do telhado devem ser criados pontos de fixação que recebam os módulos fotovoltaicos. A escolha do sistema de montagem depende do tipo de cobertura. Existem soluções dependentes das vigas de suporte e outras independentes. As soluções independentes oferecem um maior leque de soluções em termos da colocação no telhado, mas estruturalmente não suportam cargas tão grandes quanto os modelos dependentes.

Ganchos

- Estes dispositivos de fixação para telhados têm a forma de um gancho, ultrapassam a cobertura do telhado e são fortemente aparafusados às vigas ou aos ripados (a), b)).
- Os ganchos de telhado são adequados para todas as coberturas com telhas, telhas betuminosas, ardósias ou telhas planas. O gancho não deve ser pressionado contra a telha. Se for necessário, a cavilha da viga deverá ser calçada com madeira (c)).
- Deve ser efectuada uma recessão na telha que cobre o gancho, no ponto em que este sobressai da cobertura, usando para o efeito uma rebarbadora (d)).

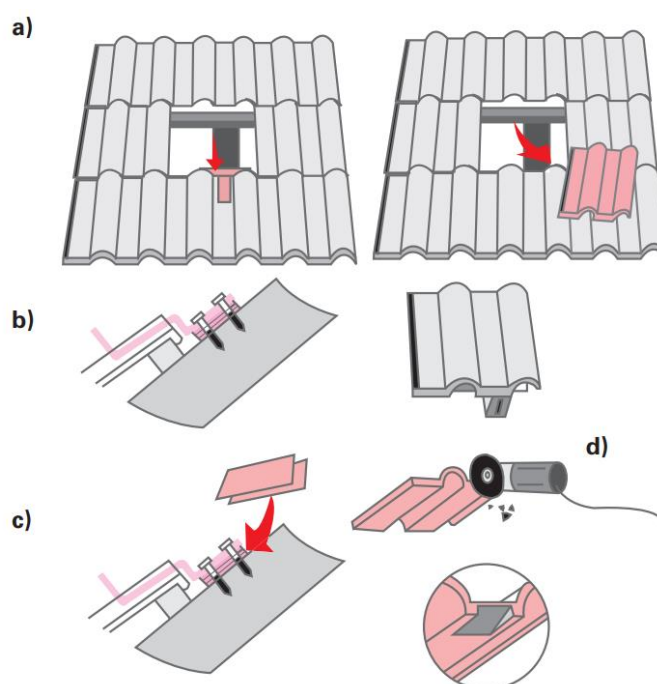


Figura 41. Colocação de um gancho de telhado

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

3.16.2. Parafusos para placas onduladas de fibrocimento

Esta fixação ao telhado, especialmente desenvolvida para lâminas onduladas ou trapezoidais de aço inoxidável, é apropriada para vários tipos de telhados perfilados.



Figura 42. Parafuso M10x200 conector painel solar telha fibrocimento

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

Analisemos em pormenor a fixação em conformidade com os três tipos de montagem e de acordo com as seguintes figuras:

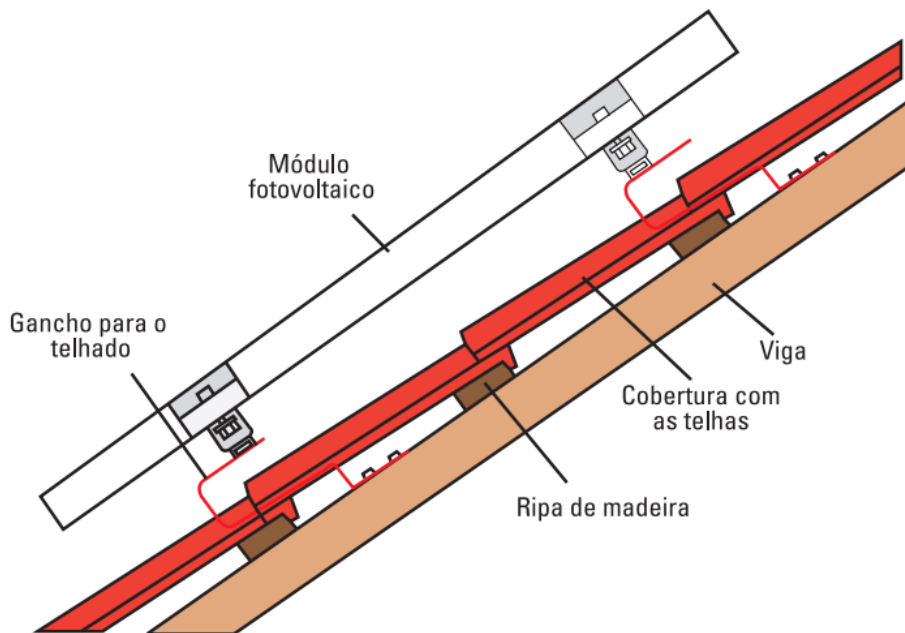


Figura 43. Montagem em telhas

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

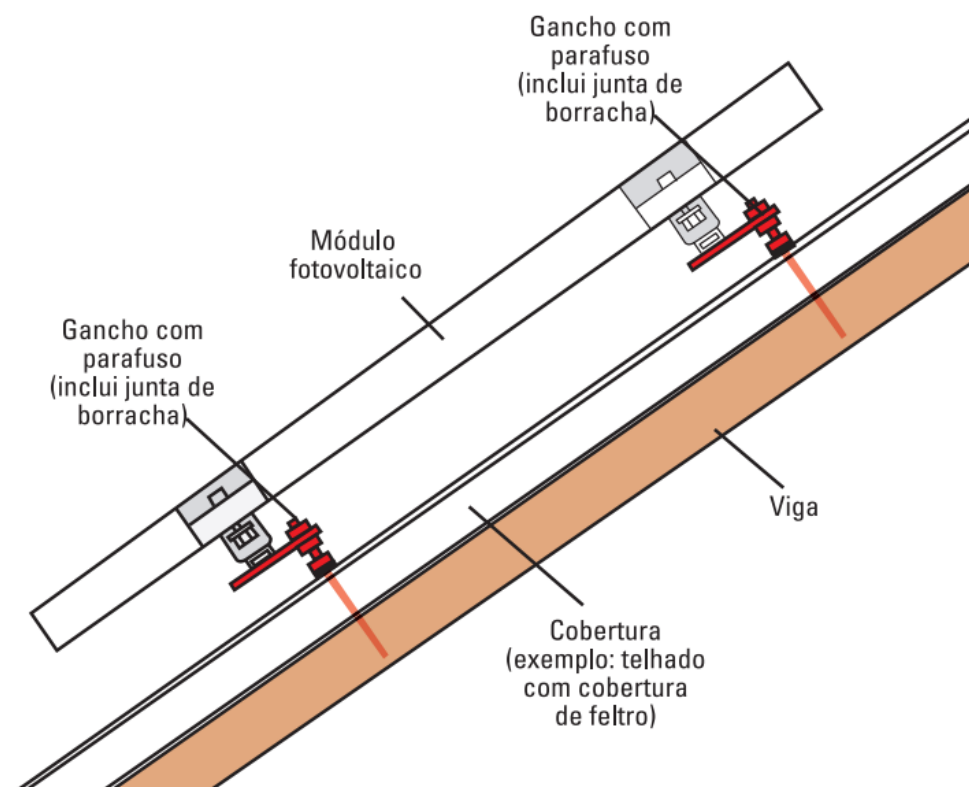


Figura 44. Montagem em telhas onduladas com feltro

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

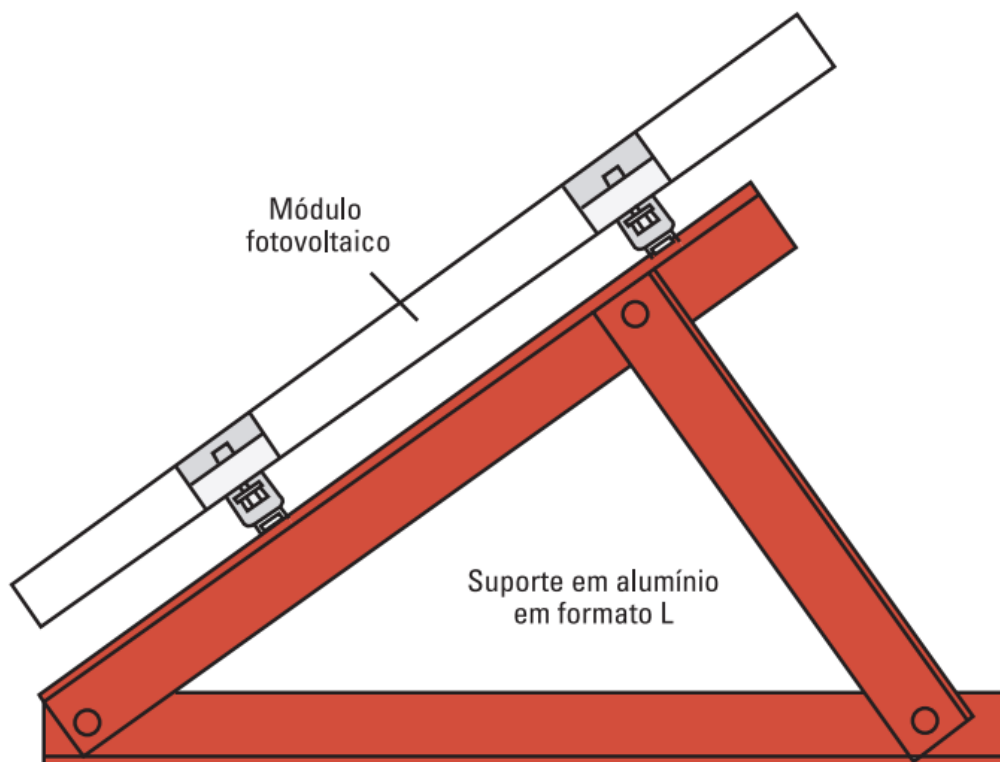


Figura 45. Montagem em telhado plano

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

3.16.3. Pontos críticos de uma instalação em telhado

- Analisar previamente o estado das telhas;
- Verificar o tipo de vigamento;
- Ter atenção aos eventuais sombreamentos (por ex.: muretes ou chaminés);
- Isolar com silicone todos os parafusos de telhado.

De modo a evitar corrosão, deve-se:

- Utilizar parafusos de inox;
- Em locais costeiros ou com elevados índices de humidade, utilizar juntas de borracha entre materiais diferentes, de modo a evitar a corrosão galvânica;
- Colocar massa consistente nas fixações (parafusos).

3.16.4. Vídeo explicativo

Vídeo explicativo 1: https://www.youtube.com/watch?v=e3Rw7_Z67ls&t=54s

Vídeo explicativo 2: <https://youtu.be/DoaqA3QygmU?si=HFwOX652d1m1H48h>

3.17. Notas de formação

[illegible]

Siglas e abreviações

$C_{ENER-Total}$ – capacidade total de energia necessária

$Auto$ – autonomia do banco de baterias

$C_{AMP-Total}$ – capacidade total das baterias

U_{SIST} – tensão do sistema

$C_{ENER-Parcial}$ – capacidade parcial da energia necessária

E_{CEL} – energia de uma bateria

QTD_{BAT} – quantidade total de baterias necessárias

$QTD_{BAT-Paralelo}$ – quantidade de conjuntos de baterias em paralelo

$QTD_{BAT-Serie}$ – quantidade de baterias em série

$U_{BAT-Parcial}$ – tensão parcial da bateria

I_{DC} – corrente de saída do banco de bateria

P_{CARGA} – potência da carga a ser alimentada

I_N – corrente nominal do dispositivo de protecção

$U_{Max MPPT}$ – tensão máxima do controlador de carga

$V_{OC-Parcial}$ – tensão de circuito aberto de um único painel solar

F_{SEG} – factor de segurança

$I_{Max MPPT}$ – corrente máxima do controlador de carga

$P_{PV-Total}$ – potência total dos painéis solares

V_{mp} – tensão de máxima potência, ponto de tensão ideal em que um painel solar entrega sua potência máxima

4. VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DAS BATERIAS E DA CABLAGEM DE TODA A INSTALAÇÃO

4.1. Baterias de acumuladores

4.1.1. Constituição e princípio de funcionamento

A bateria é um elemento essencial nos sistemas fotovoltaicos, e não só. Permitindo o armazenamento de energia eléctrica, revela-se importantíssima. Se for produzida imensa energia durante o dia, como é que a poderíamos utilizar durante a noite? E se depois de vários dias com energia, não armazenada, o que se faria nos dias seguintes sem Sol? Sem dúvida que a bateria é muitíssimo importante neste tipo de situações. A um conjunto de acumuladores ligados em série chamamos de bateria de acumuladores.

De seguida é apresentado o símbolo eléctrico de uma bateria.

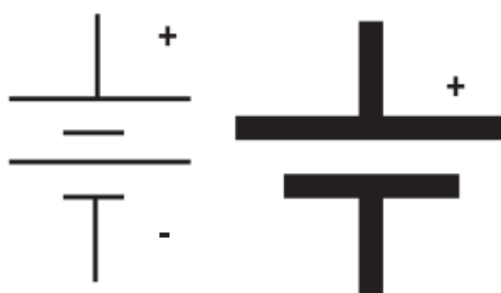


Figura 46. Símbolos eléctricos representativos de uma bateria

Fonte: Wikipédia, 2025

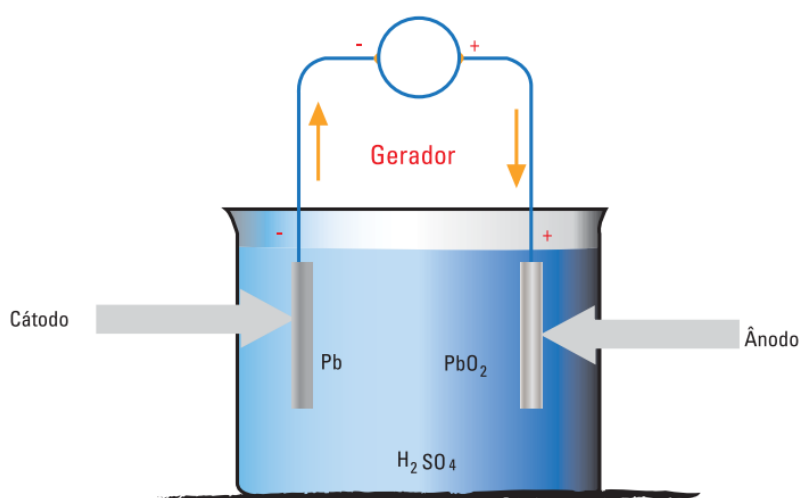


Figura 47. Esquema básico de um acumulador de energia eléctrica

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

O acumulador é de uma forma muito simplificada, um vaso com dois eléctrodos interligados por um electrólito. Um electrólito é uma substância que, quando dissolvida em água, produz uma solução capaz de conduzir a electricidade. Os eléctrodos podem ter como materiais constituintes:

- Zinco;
- Cobre;
- Prata;
- Chumbo;
- Lítio.

No circuito externo à bateria, a corrente eléctrica é proveniente da circulação dos electrões. No seu interior, a corrente é resultante da circulação dos iões de um eléctrodo para o outro. A descarga da bateria acontece quando a reacção química abrandar, até que a bateria não consiga fornecer corrente eléctrica aos eléctrodos. As baterias de acumuladores podem ter diversas aplicações, tais como: energia solar, eólica, telecomunicações, dentre outras.

A elevada qualidade das matérias-primas das formulações, dos processos de fabrico e dos componentes constitui uma garantia a nível de:

- Boa aceitação de carga;
- Pequena auto-descarga, inferior a 3%/mês;;
- Manutenção reduzida;
- Ausência de componentes metálicos no exterior para além dos terminais;
- Segurança contra curto-circuitos externos;
- Muito bom comportamento eléctrico;
- Elevada fiabilidade;
- Longa durabilidade.

4.1.2. Modelo eléctrico de uma bateria

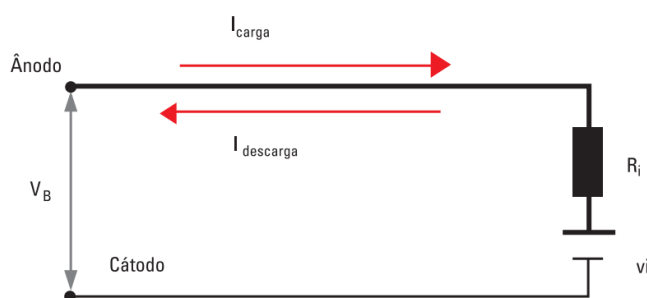


Figura 48. Circuito eléctrico equivalente de uma bateria

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

O modelo eléctrico da bateria da figura 49 é composto por uma fonte de tensão ideal V_i e por uma resistência interna R_i . Esta resistência possui um comportamento dinâmico ao longo dos processos de carga e descarga. Assim, a tensão medida nos bornes de uma bateria é influenciada pelo sentido da corrente da bateria. Quando a bateria se encontra em repouso, isto é, em circuito aberto, possui uma tensão diferente nos regimes de carga e descarga. Durante as interrupções de carga e descarga e ainda da descarga, a tensão de circuito aberto V_{CA} tem uma variação linear com o estado de carga.

Durante a carga, a tensão da bateria V_B é dada por:

$$V_B = V_{CA} + R_i \times I_{carga} \text{ (V)}$$

Sendo a corrente de carga da bateria dada por:

$$I_{carga} = I_{gerada} - I_{consumida} \text{ (A)}$$

Para a descarga, vem:

$$V_B = V_{CA} + R_i \times I_{descarga} \text{ (V)}$$

Sendo a corrente de descarga da bateria:

$$I_{descarga} = I_{consumida} - I_{gerada} \text{ (A)}$$

Analisando as equações anteriores, pode-se obter uma equação para o processo de carga e descarga de uma bateria:

$$V_B = V_{CA} + R_i \times (I_{consumida} - I_{gerada}) \text{ (V)}$$

4.1.3. Baterias de chumbo-ácido

Os elementos mais importantes de uma bateria de acumuladores de chumbo-ácido, são:

- Placa positiva: formada por chumbo esponjoso;
- Placa negativa: composta de dióxido de chumbo (PbO_2);
- Separadores: a sua missão é separar as placas de distintas polaridades;
- Electrólito: solução diluída de ácido sulfúrico;
- Carcaça: normalmente constituída de polietileno, onde estão situados todos os elementos;
- Terminais de conexão.

As baterias consistem em células, sendo que cada uma delas possui uma tensão nominal de 2 V. As células ligam-se em série e agrupam-se numa armação comum para proporcionar a tensão de saída desejada. Por exemplo, 6 células ligadas em série perfazem uma tensão nominal de 12 V.

Em sistemas fotovoltaicos de grande potência, ligam-se células individuais ou baterias de bloco em série e paralelo, segundo as necessidades do sistema.

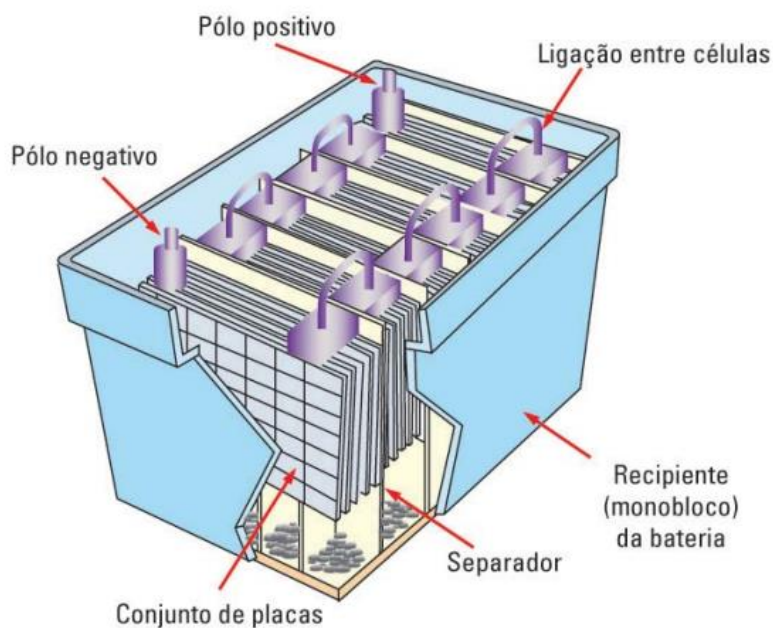


Figura 49. Pormenor em corte de uma bateria de chumbo-ácido

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

De seguida é apresentada a constituição de uma bateria de chumbo-ácido.

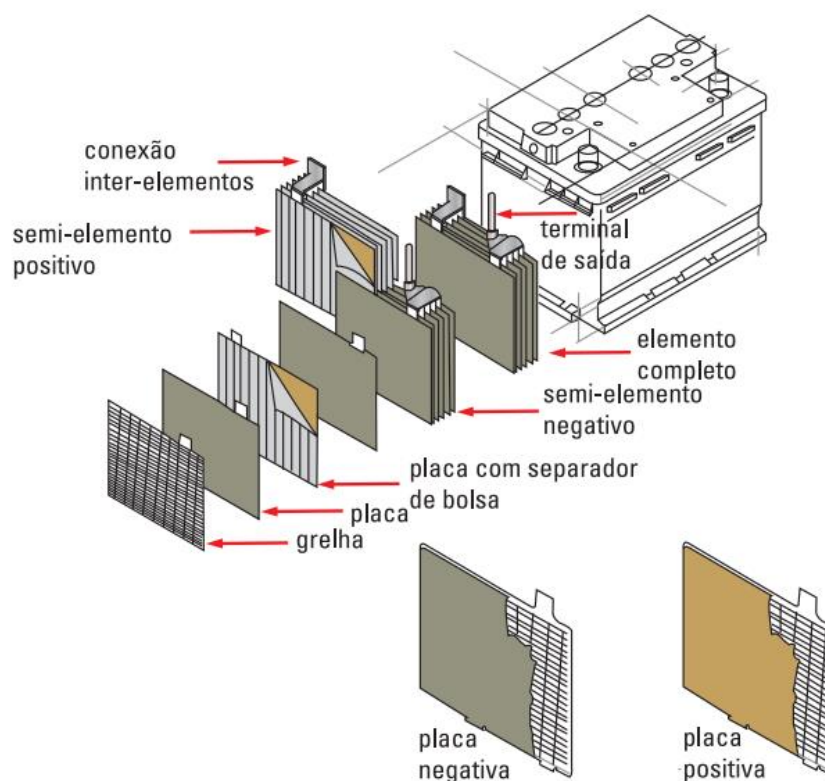


Figura 50. Constituição de uma bateria de chumbo-ácido

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

As baterias de chumbo-ácido podem ser subdivididas nos três seguintes tipos:

- Estacionárias monobloco: formadas por um só bloco com 12 V, de menor capacidade que as transparentes ou herméticas de um vaso;
- Estacionárias de 1 vaso: baterias separadas em vasos com uma tensão de 2 V;
- Estacionárias herméticas: 2, 4, 6, 12 V, denominadas também como baterias sem manutenção uma vez que são seladas. Estas não têm um bom comportamento em descargas profundas.

4.2. Sintomas de falhas em baterias de chumbo-ácido

As falhas em baterias de chumbo-ácido, manifestam-se através de sinais de desempenho, eléctricos e físicos. A identificação precoce destes sintomas pode evitar danos no inversor e no controlador de carga.

4.2.1. Sinais de desempenho

- Redução da autonomia, o sistema desliga-se muito antes do esperado após o pôr do Sol ou em dias nublados, indicando perda de capacidade de armazenamento de energia.
- Carga excessivamente rápida, a bateria atinge rapidamente a tensão de “carga completa”, mas perde essa carga quase de imediato quando entra em funcionamento, sendo este um sinal típico de sulfatação.
- Instabilidade na saída do inversor, ocorrência de quedas súbitas de tensão que levam o inversor a entrar em modo de protecção ou a desligar quando são ligados equipamentos de maior potência;
- A corrente de carga que pode ser fornecida pelo painel solar deve ser 10 a 20% da capacidade da bateria ou vice-versa, sem que um controlador de carga esteja ligado entre o painel solar e a bateria.

4.2.2. Sinais eléctricos e químicos

- **Desequilíbrio no banco de baterias**, em sistemas com várias baterias, uma unidade apresenta uma tensão significativamente inferior (ex.: 11,4 V), enquanto as restantes se mantêm em valores normais (ex.: 12,6 V).
- Baixa densidade do electrólito, em baterias não seladas, a medição com um densímetro indica que o electrólito não atinge os valores ideais, mesmo após uma carga completa.
- Elevada resistência interna, a bateria aquece excessivamente durante o processo de carregamento, como resultado da degradação dos processos químicos internos, nomeadamente a sulfatação irreversível;
- A medição da tensão da bateria deve ser feita 24 horas antes de fazer a medição da tensão da bateria.

4.2.3. Sinais físicos – alertas de segurança

- Aquecimento e deformação, caixas plásticas inchadas ou deformadas indicam situações de sobrecarga ou curto-circuito interno.
- **Corrosão excessiva**, acumulação de resíduos esbranquiçados ou esverdeados nos terminais, dificultando a correcta passagem da corrente eléctrica.

- Odores e ruídos anormais, cheiro característico a “ovo podre” (gás sulfídrico) ou ruídos de ebulição e chiado indicam que a bateria está em sobreaquecimento e pode explodir se não for imediatamente desligada.

4.2.4. Ferramentas de diagnóstico recomendadas

Para confirmar falhas nas baterias de chumbo-ácido, recomenda-se a utilização dos seguintes instrumentos:

- Multímetro, para verificar a tensão em repouso (valores inferiores a 12,4 V após 4 horas de descanso indicam desgaste da bateria).
- Densímetro, essencial em baterias de electrólito líquido, permitindo avaliar o estado de cada vaso individualmente.
- Analisador de baterias, equipamentos modernos capazes de medir a resistência interna e estimar a vida útil remanescente da bateria.

4.2.5. Baterias de íões de lítio

A bateria de íão de lítio requer uma baixa manutenção, sendo esta uma vantagem que a maioria das outras baterias não tem. Não existe o denominado efeito de memória e nenhum ciclo programado é exigido para prolongar a vida da bateria.

Características mais relevantes deste tipo de bateria:

- Densidade da energia elevada;
- Potencial para capacidades ainda maiores;
- Auto-descarga relativamente baixa;
- Manutenção reduzida: nenhuma descarga periódica é necessária, sem memória;
- Requer um circuito de protecção: o circuito da protecção limita o valor da tensão e da corrente;
- Bateria sujeita ao envelhecimento, mesmo se não estiver em uso (colocar a bateria num lugar fresco e a 40% do seu estado de carga, reduz o efeito de envelhecimento);
- Funcionam normalmente numa gama de temperaturas entre -40 e os +80°C.



Figura 51. Bateria de ião de lítio

Fonte: CAPROSOL, 2023

4.2.6. Capacidade da bateria, Cn

É a quantidade de electricidade do acumulador em Ampere-hora (Ah), em condições de temperatura standard (CTS), 25°C. O valor desta capacidade é o produto da corrente de descarga vezes o tempo de descarga (quando medida experimentalmente), e depende da corrente utilizada, da tensão final de descarga permitida e da temperatura a que foi realizado o teste.

A capacidade de uma bateria mede-se em Ampere-hora (Ah) e tem a designação de Cn , em que o índice n indica a hora de descarga.

4.2.7. Tempo de descarga, tn

- C10 – Tempo de descarga de 10 horas (baterias estacionárias);
- C20 – Tempo de descarga de 20 horas (baterias de arranque);
- C100 – Tempo de descarga de 100 horas (baterias solares).

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

$$C_n = I_n \times t_n \text{ (Ah)}$$

De seguida, é dado um exemplo e interpretação:

Tabela 21. Características do tempo de descarga da bateria

Bateria qualquer	Capacidade em Ah Descarga a 1,75 V/elemento a 25 °C				
	10h	8h	5h	3h	1h
150 Ah C10	150 Ah 15 A x 10 h	144 Ah 18 A x 8 h	129 Ah 25,8 A x 5 h	106 Ah 35,3 A x 3 h	72 Ah 72 A x 1 h

Analisando esta tabela, concluí-se o seguinte:

- Quanto maior for a corrente de descarga, menor é o valor da energia total fornecida pelo acumulador (Ah);
- Quanto menor for o tempo de descarga, menor será a carga total fornecida pela bateria e, consequentemente, mais reduzida será a sua eficiência;
- O tempo de vida útil é penalizado, quando a profundidade de descarga não é respeitada;
- Quanto mais lentas forem a carga e descarga, maior será a durabilidade da bateria.

4.2.8. Densidade energética, em Wh

É o valor da energia que uma bateria pode fornecer por unidade de volume, para uma taxa de descarga específica.

4.2.9. Ciclos de vida

É uma característica especificada pelo fabricante para determinadas condições de utilização. Indica o número de vezes que podem ser feitas as operações de carga e descarga da bateria. Quando uma bateria não consegue apresentar uma carga superior a 80% da carga nominal, poder-se-á considerar que o seu ciclo de vida terminou.

4.2.10. Autodescarga

Este efeito é causado pelo processo electroquímico interno e assemelha-se ao efeito causado por uma pequena carga ligada à bateria.

As baterias de íões de lítio perdem, tipicamente, 1.5% a 5% da carga por mês, dependendo da qualidade, idade e temperatura, sendo a média mais comum entre 2% a 3% ao mês, quando armazenadas correctamente (em local fresco e seco, com carga entre 40-60%).

De forma a reduzir o efeito de auto-descarga, recomenda-se que as baterias que não estejam a ser usadas sejam armazenadas a baixas temperaturas.

As baterias de chumbo-acido sofrem autodescarga que varia, mas em temperatura ambiente (27°C), pode ser cerca de 4% por semana, enquanto em temperaturas mais frias (18°C), cai para cerca de 3% por mês.

A altas temperaturas, a auto-descarga é elevada para todos os tipos de baterias. Tipicamente, a taxa pode ser o dobro a cada 10°C de aumento. A auto-descarga é fortemente influenciada pela presença de substâncias contaminantes no electrólito, como íões Fe (Ferro), Mg (Magnésio), dentre outros.

Por isso, a pureza dos materiais utilizados na produção das baterias é de vital importância para diminuir a auto-descarga.

4.2.11. Profundidade de descarga (DOD – Deep of Discharge)

Um parâmetro muito importante e que determina a vida útil de uma bateria de chumbo é a profundidade de descarga. Na prática, uma bateria poderia ser descarregada até que a tensão entre o terminal positivo e negativo atingisse 0 V. Nesse caso, teria sido retirada toda a energia armazenada na mesma. Mas, nestas condições de descarga, a bateria rapidamente iria perder sua vida útil.

O problema das descargas profundas é a formação de estruturas irreversíveis de cristais de sulfato de chumbo. Assim, uma forma de proteger as baterias e garantir uma elevada vida útil (de várias centenas ou até milhares de ciclos), é estabelecer um valor-limite de descarga. Este limite evita que seja retirada toda a carga presente nas placas.

A profundidade de descarga é a percentagem de carga retirada da bateria numa determinada descarga, considerando que 0% da profundidade de descarga se dá quando não se descarrega nada, ou seja, quando a bateria permanece 100% carregada – 100 % de profundidade de descarga dá-se quando retiramos toda a carga da bateria até atingir o potencial final de descarga estabelecido, geralmente 1,75

V/elemento. Esta função é realizada pelo controlador de carga que veremos em pormenor no decorrer do manual. Na figura seguinte é apresentada uma curva com a profundidade de descarga e o número de ciclos de carga.

O fabricante de baterias deve fornecer dados sobre o número máximo de ciclos (carga e descarga da bateria) durante a sua vida útil. Este valor está relacionado com a profundidade máxima de descarga da bateria.

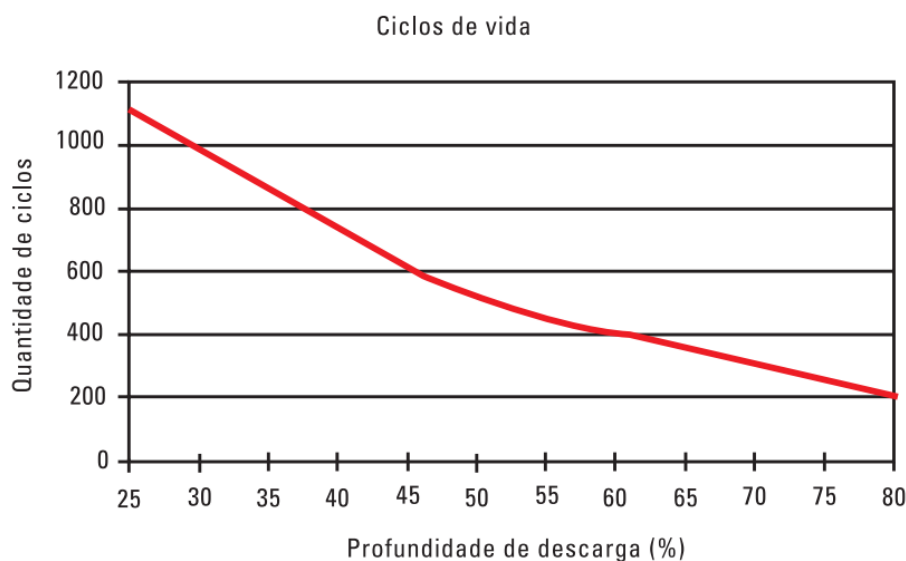


Figura 52. Profundidade de descarga e o número de ciclos de carga

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

No dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo, o número de dias de autonomia de uma bateria deverá estar compreendido entre 3 e 8, este intervalo pode variar, dependendo do custo-benefício.

4.3. Estratégias de protecção contra descargas profundas

As principais estratégias de protecção contra descargas profundas em baterias baseiam-se na utilização de dispositivos de controlo, como controladores de carga solar com função de corte por baixa tensão (LVD – Low Voltage Disconnect), bem como em práticas adequadas de dimensionamento e monitorização do sistema.

4.3.1. Utilização de controladores de carga

A estratégia mais comum e eficaz consiste na utilização de um controlador de carga solar com protecção integrada contra descargas profundas.

- Monitorização contínua, o controlador monitoriza permanentemente a tensão da bateria, garantindo um acompanhamento em tempo real do seu estado de carga.
- Corte por Baixa Tensão (LVD), quando a tensão da bateria desce até um valor predefinido e seguro (ponto de corte por baixa tensão), o controlador desliga automaticamente as cargas (equipamentos ligados ao sistema), prevenindo danos irreversíveis na bateria.
- Reconexão automática, as cargas são automaticamente reconectadas apenas quando a bateria recebe carga suficiente dos painéis solares e a tensão volta a atingir um nível seguro de recuperação.

4.3.2. Precauções na instalação de baterias

Ao efectuar a instalação de baterias dever-se-ão ter em conta as seguintes precauções:

- Instalá-las em locais ventilados;
- Protegê-las das intempéries;
- Revestir os bornes com vaselina para evitar a oxidação;
- Evitar que as baterias estejam expostas ao calor excessivo e que fiquem em locais onde se produzam faíscas ou chamas, isto porque poderiam originar explosões devido ao hidrogénio que libertam.

4.3.3. Manutenção das baterias

- Manter limpos os topos das baterias para evitar possíveis curto-circuitos resultantes da acumulação de pó húmido e de sujidade;
- Conferir se os terminais dos cabos estão bem apertados;
- Conferir o nível do electrólito. Se necessário, abrir as cápsulas de ventilação e repor o nível máximo de electrólito com água destilada;
- Medir as tensões do bloco e de cada célula, assim como a densidade do ácido das células (para a carga máxima, com uma corrente de descarga nula ou aproximadamente nula);
- Promover uma carga total e intensiva a 2,4 V por célula, mantendo a gaseificação do electrólito por várias horas (carga de equalização), de forma a misturar a solução electrolítica (com excepção das baterias de gel).

O banco de baterias solares é um sistema de baterias que armazena o excesso de electricidade gerado pelos painéis solares, fornecendo energia tanto durante o dia como durante a noite, em situações de falha de energia ou quando as tarifas de electricidade estão elevadas, permitindo maior independência energética e servindo como energia de reserva para habitações ou sistemas isolados da rede eléctrica da EDM.

Estes sistemas variam desde pequenos carregadores portáteis até grandes unidades de armazenamento residencial e industrial. O seu funcionamento baseia-se no carregamento das baterias durante as horas de Sol, em que a radiação solar está disponível, e na descarga da energia armazenada quando necessário, geralmente período da noite, recorrendo normalmente a um inversor para converter a energia em corrente contínua CC para corrente alternada CA, adequada ao uso doméstico, visto que é compatível com a maioria dos electrodomésticos usados em Moçambique.

Para os sistemas off-grid, o banco de baterias é responsável por fornecer energia de forma estável à carga através dos controladores de carga MPPT, eliminando a intermitência do fluxo de geração oriundo dos painéis solares. O seu dimensionamento deve considerar o consumo de energia da carga, energia parcial da célula, a autonomia desejada e a profundidade de descarga (DoD) da bateria.

As baterias de lítio permitem geralmente uma descarga profunda de até 80% a 90% ou mais, dependendo do modelo específico, o que representa uma vantagem significativa em relação às baterias de chumbo-ácido.

4.4. CASO DE ESTUDO

O CFP, localizado na Machava, possui reservatórios de água posicionados a altura de 1 metro do solo e pretende migrar a alimentação destas bombas da rede da EDM para fonte de energia solar fotovoltaica, para alimentar de 4 bombas de água, dentre as quais uma é submersível e três electrobombas convencionais para bombear a água para os diferentes pontos de aplicação (1 CV = 736 W / 1 = 746 W, área da cobertura: 15 m²).

A utilização de água ocorre nos seguintes intervalos de tempo do dia: bomba submersível: 6.5 HP – 8 horas, electrobombas: 2.5 CV – [6:00-8:00H, 12:00-14:00H, 16:00-18:00H], na partida a bomba demanda 25% acima da potência nominal.

Hoje você(s) foi(ram) convidados(as) a elaborar e submeter uma proposta técnica para o cálculo e selecção do armazenamento, calcule a energia total necessária, capacidade total em Ah, capacidade de energia parcial, quantidade total de baterias, quantidade de baterias em série e paralelo, cablagem, protecções, controlador de carga MPPT. Considere a profundidade de descarga e o tipo de bateria.

“Durante a realização da actividade, as tarefas técnicas e de liderança devem ser distribuídas de forma equitativa entre mulheres e homens, garantindo que todas as pessoas utilizem as ferramentas, realizem os cálculos e participem na apresentação dos resultados”

4.5. RECURSOS



Figura 53. Modelos de baterias de Lítio

Fonte: CAPROSOL, 2023

O ponto de partida é o cálculo da capacidade de energia necessária para alimentar a demanda, segundo a fórmula (para baterias inteligentes):

$$C_{ENER-Total} = \frac{E_{CON.} \times Auto}{DoD} \text{ (kWh)}$$

A capacidade parcial de cada bateria é obtida, considerando a profundidade de descarga escolhida, segundo a fórmula:

$$C_{ENER-Parcial} = E_{CEL} \times DoD \text{ (kWh)}$$

Agora, a quantidade total de baterias necessárias é obtida através da razão entre a capacidade de energia necessária total e a capacidade parcial de cada bateria, segundo a fórmula:

$$QTD_{BAT} = \frac{C_{ENER-Total}}{C_{ENER-Parcial}} \text{ (un)}$$

Caso a capacidade das baterias a utilizar, seja dada em Ah, calcula-se a capacidade total, segundo a fórmula abaixo (baterias solares convencionais), converta os kWh para Ah.



$$C_{AMP-Total} = \frac{C_{ENER-Total}}{U_{SIST}} \text{ (Ah)}$$

Com a quantidade total de baterias, em função do tipo de bateria que será utilizada e o seu respectivo fabricante, define-se como estas serão organizadas em grupos, conectados em série ou em paralelo. Abaixo mostra-se como determinar a quantidade de baterias a serem conectadas em série e a quantidade de conjuntos de baterias conectadas em paralelo.

A conexão paralela depende da capacidade total de energia necessária em Ah e da capacidade parcial da bateria a ser utilizada em Ah, como ilustra a fórmula abaixo:

$$QTD_{BAT-Paralelo} = \frac{C_{AMP-Total}}{C_{AMP-Parcial}} \text{ (un)}$$

A conexão série depende da tensão do sistema e da tensão parcial da bateria a ser utilizada, como ilustra a fórmula abaixo:

$$QTD_{BAT-Serie} = \frac{U_{SIST}}{U_{BAT-Parcial}} \text{ (un)}$$

4.6. Cablagem do banco de baterias

É importante utilizar a secção nominal correcta nos conductores do sistema de armazenamento, para seleccionar a secção nominal correcta do conductor, deve-se conhecer a corrente que fluirá neles.

A figura 68, ilustra a influência que a variação da tensão no banco de baterias, tem sobre a corrente e secção nominal dos conductores.

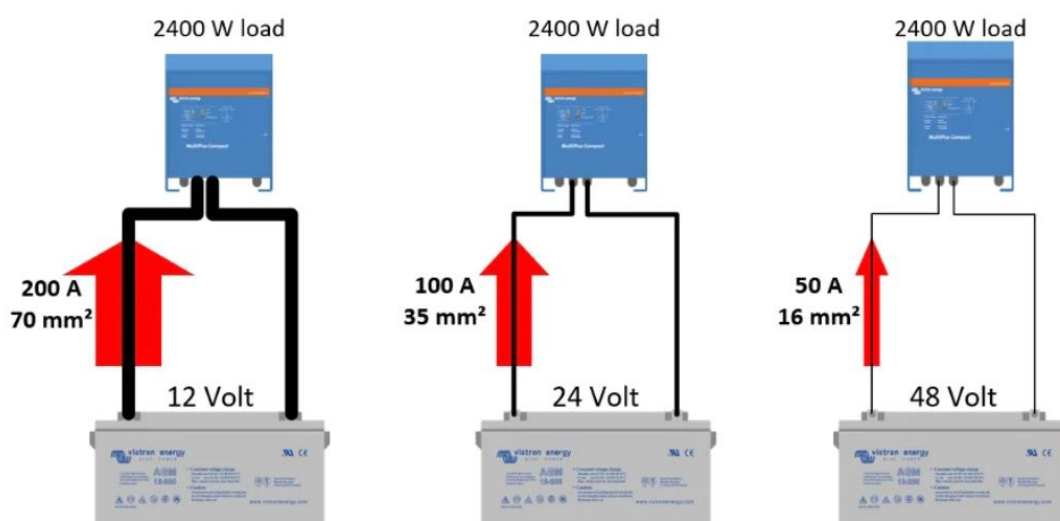


Figura 54. Influência da variação da tensão do sistema CC

Fonte: Victron Wiring Unlimited, 2019

Para evitar cabos excessivamente grossos, a primeira medida a considerar é o aumento da tensão do sistema. Um sistema com um inversor de grande potência provoca correntes CC elevadas. Ao aumentar a tensão do sistema CC, a corrente diminui, permitindo a utilização de cabos de menor secção nominal.

Os limites superiores preferenciais da potência do inversor em função da tensão do sistema estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 22. Limites superiores preferenciais da potência do inversor

Limites superiores preferenciais da potência do inversor	
12 V	até 3000 VA
24 V	até 5000 VA
48 V	acima de 5000 VA

A tabela 24 apresenta a corrente máxima para vários cabos padrão, considerando uma queda de tensão de 0,259 V. São indicados os cabos de bateria recomendados, bem como a corrente máxima admissível com perdas de tensão de 0,259 V.

As perdas nos contactos não estão incluídas. Deve ser considerado o comprimento total do cabo da bateria, incluindo os conductores positivo (+) e negativo (-), isto é, ida e volta.

Tabela 23. Corrente máxima admissível em cabos de baterias

Diâmetro do cabo (mm)	Secção (mm²)	Corrente máxima (A) para um comprimento total de cabo de até 5 metros	Corrente máxima (A) para um comprimento total de cabo de até 10 metros	Corrente máxima (A) para um comprimento total de cabo de até 15 metros	Corrente máxima (A) para um comprimento total de cabo de até 20 metros
0.98	0.75	2.3	1.1	0.8	0.6
1.38	1.5	4.5	2.3	1.5	1.1
1.78	2.5	7.5	3.8	2.5	1.9
2.26	4	12	6	4	3
2.76	6	18	9	6	5
3.57	10	30	15	10	8
4.51	16	48	24	16	12
5.64	25	75	38	25	19
6.68	35	105	53	35	26
7.98	50	150	75	50	38
9.44	70	210	105	70	53
11.00	95	285	143	95	71
12.36	120	360	180	120	90

4.6.1. Regra prática

Para o cálculo rápido e geral da secção nominal de cabos do banco de baterias, com comprimento total até 5 metros, use as seguintes fórmulas:

$$I_{DC} = \frac{P_{CARGA}}{U_{SIST}} \text{ (A)}$$

$$S_{CABO} = \frac{I_{DC}}{3} \text{ (mm}^2\text{)}$$

4.7. Protecção das baterias

Geralmente as baterias modernas (ex: Lítio), possuem protecção electrónica interna, incluindo sobrecorrente, sub e sobretensão da célula, temperatura fora da faixa, detecção de célula fraca, controle do estado de carga mínima (ou profundidade de descarga), limitação de corrente de carga baseada em tensão activa.

Caso as baterias não possuam protecção interna, procede-se com o dimensionamento da protecção, garantindo que a corrente nominal do dispositivo de protecção (segundo a tabela 14) seja maior que a corrente do banco de bateria.

$$I_N > I_{DC}$$

4.8. Controlador de carga MPPT

Quando a radiação solar diminui nos módulos fotovoltaicos, a tensão nos módulos também baixa. Os controladores de carga PWM não permitem aproveitar a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos (embora em pouca quantidade) e, sendo assim, o ponto de máxima potência, não seria alcançado.

O controlador de carga permite aproveitar a energia produzida pelo gerador fotovoltaico, situando o seu funcionamento no ponto de máxima potência, mantendo um valor de tensão superior ao da bateria que, desta forma, irá carregar. Trata-se de um controlador que não desperdiça energia. Por outro lado, e de modo a efectuar esta operação, o controlador de carga necessita também de um conversor CC/CC que ajuste o valor da tensão e pesquise o ponto de máxima potência. Na figura seguinte pode-se verificar isto mesmo.

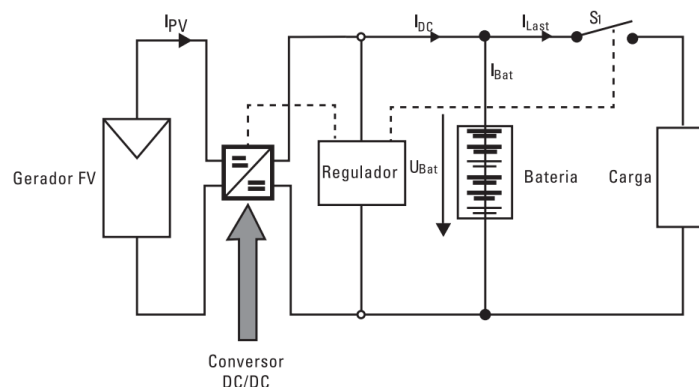


Figura 55. Esquema eléctrico do controlador de carga MPPT

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015



Figura 56. Design do controlador de carga MPPT

Fonte: CAPROSOL, 2023

O controlador de carga é classificado de acordo com a sua capacidade, o que limita a quantidade de energia que ele pode suportar.

A corrente de saída costuma ser o factor principal para o carregamento da bateria, enquanto a corrente de entrada limita o tamanho do conjunto de módulos fotovoltaicos para evitar sua danificação.

Os fabricantes especificam esses limites (por ex.:, saída de 100 A, entrada de 150 V) para uma operação segura, garantindo que o controlador de carga MPPT converta com eficiência a energia solar de alta tensão e baixa corrente em energia de baixa tensão e alta corrente para o carregamento da bateria, evitando danos por sobrecorrente.

4.9. Limites do controlador de carga MPPT

4.9.1. Corrente máxima de saída (lado da bateria)

Esta é a corrente de pico que o MPPT pode fornecer as suas baterias, geralmente indicada nos números dos modelos (por ex.:, MPPT 150 | 100, significa que a saída é de 100 A).

4.9.2. Corrente máxima de entrada (lado do módulo fotovoltaico)

A corrente máxima que o controlador de carga MPPT pode aceitar nos módulos fotovoltaicos, isto é, refere-se a corrente máxima que cada fileira do gerador fotovoltaico, pode introduzir nas entradas do controlador, para casos de controladores MPPT com mais de um entrada.

4.9.3. Tensão máxima de entrada

Refere-se a tensão máxima V_{oc} que cada fileira pode introduzir nas entradas do controlador MPPT, este limite é crítico (por ex.: 150 Vdc) e não pode ser excedido (especialmente em dias frios), pois destruirá o controlador de carga, e não apenas limitará a corrente.

4.9.4. Funcionamento

Instalado entre os painéis solares e o banco de baterias, o controlador de carga gerencia o fornecimento estável de energia para as cargas eléctricas conectadas ao circuito, ponderando os momentos de carga/descarga das baterias e o fornecimento de energia através dos painéis solares. É através do nível de tensão das baterias que o controlador consegue determinar o estado de carga do conjunto.

Com essa aferição, controla a tensão aplicada sobre o banco de baterias e a intensidade de corrente que flui para as baterias. Quanto maior a necessidade de carga, maior será o fluxo de corrente.

À medida em que as baterias se aproximam da carga máxima, a injeção de energia no banco se reduz até alcançar o estado de flutuação que mantém a carga das baterias em nível constante e seguro. Todas as funcionalidades do controlador de carga estão voltadas para a preservação das baterias, correcto uso em carga/descarga e manutenção da longa vida-útil do banco.



Figura 57. Etapas de carregamento do MPPT

Fonte: CAPROSOL, 2023

A depender do tipo, uma bateria solar tem três ou quatro etapas de carregamento, nas quais o controlador de carga também actua:

- **Etapas de carga (Bulk):** etapa na qual a bateria é carregada com energia do sistema. Durante o processo, o controlador deve fornecer a corrente necessária para o rápido carregamento da bateria estacionária ou do banco de baterias. Nesta etapa a corrente é constante e tensão da bateria aumenta conforme o dispositivo é carregado. É esperado que nessa fase a bateria solar alcance um nível de 80% a 90% do seu carregamento.
- **Etapas de absorção (Boost ou Absorption):** nesta segunda etapa de carga, a tensão se mantém constante e a corrente de carga para a bateria diminui até que ela esteja totalmente carregada (100%), mantendo a tensão limite (tensão de absorção) alcançada no processo anterior.
- **Etapas de Flutuação – manutenção de carga (Float):** é o último processo de carga. Quando o sistema de bateria já está 100% carregado, o controlador de carga actua para manter o carregamento completo durante a utilização da bateria.

Nessa fase, a bateria trabalha com corrente baixa para compensar a autodescarga e permanecer carregada. O período de flutuação pode durar horas ou meses, a depender do tipo de uso da bateria.

4.9.5. Diferença entre o controlador de carga MPPT e PWM

- Esta análise ajudará a entender melhor a diferença entre os diferentes controladores de carga, imagine um painel solar comum de 135 Wp alimentando uma bateria de 12 V. A potência de pico (Wp) deste painel solar é a potência máxima produzida por ele no ponto em que gera, por ex.:, 17,7 V e 7,63 A ($17,7 \times 7,63 = 135 \text{ W}$).
- O controlador de carga PWM, nesse momento de pico, reduzirá de 17,7 V para 12,5 V, por exemplo, mantendo os 7,63 A. Isso significa que dos 135 Wp, ele estará fornecendo para a bateria somente $12,5 \times 7,63 = 95 \text{ Wp}$, ou seja, 70% da energia fornecida pelo painel solar.
- O controlador de carga MPPT, ao mesmo tempo em que traz a tensão para 12,5 V, eleva a corrente na mesma proporção, levando-a para 10,8 A neste caso. Assim, o controlador fornecerá $12,5 \times 10,8 = 135 \text{ W}$ para a bateria, ou

seja, 100% da energia produzida pelo painel. Como a eficiência dos controladores não é de 100%, essa diferença não será de 30%, como no ex., porém pode realmente chegar a 20 ou 25%.

Para o caso de haver uma corrente ou tensão excessiva, provocada por excesso de radiação solar, o contralador de carga deve ser dimensionado, considerando um factor de segurança igual a 25% ($F_{SEG} = 1.25$). Deve-se garantir que a tensão vinda dos painéis solares seja:

$$U_{Max MPPT} = V_{OC-Parcial} \times QTD_{PV-FIL} \times F_{SEG} (V)$$

$$I_{Max MPPT} = I_{SC-fileira} \times F_{SEG} (A)$$

Os controladores de carga apresentam as seguintes tensões e correntes nominais ($U_{Max MPPT}/I_{Max MPPT}$): 75/10, 75/15, 100/15, 100/20, 100/30, 100/50, 150/35, 150/45, 150/70, 250/60, 250/100, 450/100, 450/200 e mais, dependendo da marca e modelo.

A tensão dos painéis solares V_{mp} , tem de ser significativamente superior à tensão do banco de baterias U_{SIST} , para permitir o carregamento eficiente, sendo recomendado um mínimo de 50% a 100% (ou seja, até ao dobro) a mais, dependendo do tipo de controlador de carga.

Isto garante que exista uma diferença de potencial suficiente ΔU , para que os electrões fluam, mesmo em condições de céu nublado. Um painel solar com tensão nominal U_N de 12 V, gera normalmente uma tensão V_{mp} cerca de 18 a 22 V, o que é ideal para carregar baterias com tensão nominal de 12 V.

A electricidade flui de um potencial mais elevado para um mais baixo, sem essa diferença, a bateria não carrega. A tensão do painel solar tem de ser superior à tensão da bateria, acrescida da tensão necessária ao processo de carregamento, isto é, o painel solar só consegue empurrar corrente eléctrica para a bateria, se tiver uma tensão maior do que a que a bateria exige para carregar.

Controladores de carga MPPT são mais eficientes, pois permitem utilizar painéis solares com tensões V_{mp} bastante superiores, 60 a 90 V, para carregar bancos de baterias de 12 V ou 24 V. O excesso de tensão é convertido em corrente, otimizando

o carregamento, como no caso de um painel solar de 36 V de tensão V_{mp} , a carregar uma bateria de 12 V.

4.10. Exercícios de aplicação

1. A família Ampere, residente em Maputo, tem plantações de eucaliptos a 45 km da zona com acesso à energia eléctrica e atualmente encontra-se a busca de especialistas no dimensionamento & montagem de sistemas solares.

Seu objectivo é alimentar os electrodomésticos que estão na dependência de suas plantações, que são, 10 lâmpadas LEDs: 20 W cada – 9 horas, quatro carregadores de telemóvel: 20 W – 6 horas, duas TV LCD 32': 120 W – 7 horas, um fogão: 1500 W – 3 horas, um ventilador: 130 W – 8 horas e um rádio com leitor de mp3: 200 W – 5 horas.

Hoje você(s) foi(ram) contratados(as) por esta família para realizar o dimensionamento completo do bloco de armazenamento. Caso seja necessário, baixe datasheets (folha de dados) dos equipamentos na internet, eis aqui algumas marcas sugestivas: Victron Energy, Canadian Solar, JA Solar, Deye, Kuiper, dentre outras.

2. A família Tesla, residente em Gaza, tem criação de gado bovino a 20 km da zona com acesso à energia eléctrica e atualmente encontra-se a busca de especialistas no dimensionamento & montagem de sistemas solares. Seu objectivo é alimentar os electrodomésticos que estão na dependência de sua criação, que são, 25 lâmpadas LEDs: 18 W cada – 10 horas, 10 carregadores de telemóvel: 20 W – 6 horas, três TV LCD 32': 120 W – 4 horas, dois fogões: 2000 W – 4 horas, dois ventiladores: 200 W – 8 horas e um rádio com leitor de mp3: 300 W – 6 horas.

Hoje você(s) foi(ram) contratados(as) por esta família para realizar o dimensionamento completo do bloco de armazenamento. Caso seja necessário, baixe datasheets (folha de dados) dos equipamentos na internet, eis aqui algumas marcas sugestivas: Victron Energy, Canadian Solar, JA Solar, Deye, Kuiper, dentre outras.

4.11. Procedimento de montagem

- Se estiver a utilizar um inversor central, configure-o o mais próximo possível da bateria, de forma a facilitar o fluxo de corrente;



Figura 58. Instalar o banco de baterias

Fonte: CAPROSOL, 2023

- Para montar um banco de baterias, comece por carregar todas as baterias individualmente;
- Em seguida, coloque-as num local bem ventilado e ligue-as em série, em paralelo ou numa configuração mista, utilizando cabos de secção nominal adequada;
- Garanta uma boa fixação dos terminais e instale fusíveis de protecção (se tratar-se de baterias que não vem com a protecção incorporada);
- Por motivos de segurança, ligue sempre primeiro o polo positivo e, por último, o negativo. Por fim, verifique a tensão com um auxílio de um multímetro.

4.11.1. Preparação e segurança

- Local, escolha um local limpo, seco, bem ventilado e protegido da exposição directa ao Sol, com espaço suficiente para manutenção;
- Carga inicial, carregue cada bateria individualmente até ao nível máximo antes de as montar em conjunto, garantindo um balanceamento inicial;
- Materiais, utilize cabos com secção nominal correcta (mais grossos para menor resistência), conectores adequados e fusíveis de protecção compatíveis.

4.11.2. Montagem física

- Posicionamento, organize as baterias numa estante ou no local de montagem, deixando espaço para ventilação e fácil acesso;
- Ligações em série, ligue o terminal positivo (+) de uma bateria ao terminal negativo (-) da bateria seguinte;

- Ligações em paralelo, ligue os terminais positivos (+) entre si e os terminais negativos entre si (-).

4.11.3. Sequência de ligação e desligação

- Para ligar, ligue primeiro o cabo positivo (+) e, por último, o cabo negativo (-), de modo a evitar faíscas e riscos de explosão.
- Para desligar, remova sempre primeiro o cabo negativo (-) da bateria ou do sistema.

4.11.4. Instalação de fusíveis

- Coloque fusíveis em série com os cabos, o mais próximo possível dos terminais, para maior segurança.

4.11.5. Pós-instalação

- Fixação, aperte bem todos os parafusos e terminais para evitar vibrações e maus contactos;
- Teste, utilize um multímetro para verificar a tensão total do banco de baterias e inspeccione todas as ligações;
- Priorize sempre a segurança, em bancos de baterias grandes ou mais complexos, no caso de sistemas solares, consulte um diagrama de ligação específico do fabricante, uma vez que os diferentes métodos de ligação em série e/ou paralelo alteram a tensão e a capacidade do sistema.

4.11.6. Vídeo explicativo

Vídeo explicativo 1: <https://www.youtube.com/watch?v=j8aZY-4-LDo>

Vídeo explicativo 2: <https://www.youtube.com/watch?v=aPOxoavKLUo>

Vídeo explicativo 3: <https://www.youtube.com/watch?v=gH6oqjLQAJA>

Vídeo explicativo 4: <https://youtu.be/7WMVKe9LFpQ?si=74uioMBUfBio0ViP>

[illegible]

Símbolos

Δ_U – queda de tensão

L – comprimento

I – corrente que flui no cabo

Sc – secção nominal do conductor

Siglas e abreviações

P_{INV} – potência nominal do inversor

I_N – corrente nominal

U_N – tensão nominal

I_{Max} – corrente máxima do DPS

U_{C-AC} – tensão máxima de funcionamento contínuo em CA

V_{N-REDE} – tensão nominal da rede

5. VERIFICAR O DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR E DE SEUS RESPECTIVOS COMPONENTES

5.1. Inversores CC/CA para sistemas autônomos

Um gerador fotovoltaico produz corrente contínua, em sistemas fotovoltaicos autônomos, quando temos consumos em corrente alternada, necessitamos de um dispositivo que converta a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada.



Figura 59. Inversor autônomo DC/AC

Fonte: CAPROSOL, 2023

Este dispositivo é o inversor, que é um aparelho electrónico com a função básica de transformar a corrente contínua em alternada, para além de ajustar a frequência e a tensão eficaz para os consumos da carga que pretendemos satisfazer. Nas instalações fotovoltaicas autônomas, o inversor liga-se directamente aos bornes da bateria, uma vez que as correntes solicitadas são geralmente demasiado elevadas para o controlador de carga (especialmente no arranque de uma carga de 220/230 V).

A ligação directa com a bateria implica que o inversor possua um sistema integrado de controlo de profundidade da descarga. Os inversores são geralmente monofásicos e trifásicos a 50 Hz, com tensões nominais de entrada de 12, 24 e 48 V e com um leque amplo de potências disponíveis, desde uns poucos watts até vários quilowatts.

Os inversores deverão estar obrigatoriamente identificados com a seguinte informação:

- Potência nominal (VA ou W);
- Tensão nominal de entrada (V);
- Tensão (VRMS) e frequência (Hz) nominais de saída;
- Fabricante e número de série;
- Polaridade e terminais.

5.2. Características dos inversores para instalações autónomas

5.2.1. Capacidade de sobrecarga

Um inversor deve ser capaz de proporcionar potências de pico várias vezes superiores à sua potência nominal e durante períodos de tempo limitados. Desta forma, poderá arrancar com elevados picos de corrente de arranque (por ex.: motores eléctricos), sem ter de estar sobredimensionado para o seu funcionamento normal. O inversor seleccionado para uma instalação autónoma deve arrancar e operar todas as cargas de corrente alternada da referida instalação, especialmente as que exijam correntes de arranque elevadas, sem interferir no seu correcto funcionamento nem no resto das cargas.

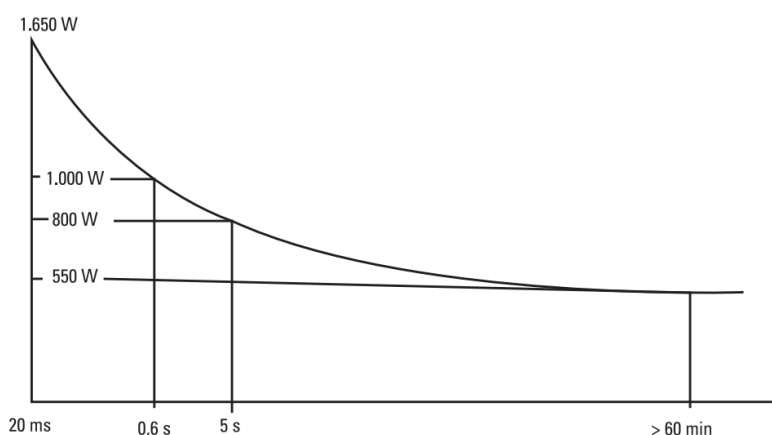


Figura 60. Gráfico da potência fornecida por um inversor de 550 W

Fonte: Pereira e Oliveira, 2015

A capacidade de sobrecarga de um inversor define-se como a capacidade do mesmo para entregar maior potência que a nominal durante certos intervalos de tempo. A potência nominal é a potência especificada pelo fabricante que o inversor é capaz de entregar de forma permanente.

5.2.2. Rendimento

O rendimento de inversor consiste na relação entre as suas potências de saída e de entrada, dependendo da potência e da temperatura de funcionamento. Há que considerar que, se um inversor com uma determinada potência nominal funciona unicamente a uma fracção da referida potência, o seu rendimento baixa de forma considerável.

O rendimento de conversão CC/CA em inversores autónomos também depende do tipo de carga (resistiva, capacitiva ou indutiva) ligada a este, ou seja, é caracterizado pelo factor de potência $\cos\alpha$. Observa-se que as curvas de rendimento para cargas indutivas (por ex.:, motores eléctricos) são diferentes das curvas para cargas resistivas ($\cos\alpha = 1$).

Com cargas indutivas, a tensão e a corrente não estão em fase, o factor de potência é diferente da unidade e a potência activa entregue pelo inversor pode ser reduzida aos 30%. O rendimento varia de acordo com o modelo, carga e tensão, mas inversores modernos atingem entre 95% e 99%, significando pouca perda (1-5%), principalmente devido ao aquecimento, um rendimento maior significa mais energia útil gerada, sendo crucial para a performance geral do sistema fotovoltaico.

5.3. Diferença entre inversores de baixa e alta frequência

5.3.1. Inversores de baixa frequência (LF)



Figura 61. Inversores de baixa frequência (LF)

Fonte: CAPROSOL, 2023

Peso: os inversores de baixa frequência são geralmente mais pesados que os de alta frequência, principalmente devido aos seus transformadores maiores e mais pesados. Seu tempo de vida útil é superior aos inversores de HF, pois sua constituição não depende muito de semicondutores.

Exemplo: O inversor de baixa frequência, 1000 W, 12 Vdc chega a pesar perto de 16 kg.

Eficiência: os inversores de baixa frequência são conhecidos por sua robustez e capacidade de lidar com altas correntes de surto, o que os torna adequados para alimentar aparelhos ou equipamentos pesados com altas correntes de partida, como motores eléctricos e compressores. Consomem muita energia no estado de standby.

Aplicações: esses inversores são mais adequados para sistemas off-grid onde cargas pesadas e condições extremas são esperadas, como em aplicações industriais ou em locais remotos com ambientes hostis, cargas indutivas como: ar condicionado, motores eléctricos, compressores e geleiras.

5.3.2. Inversores de alta frequência (HF)



Figura 62. Inversores de alta frequência (HF)

Fonte: CAPROSOL, 2023

Peso: os inversores de alta frequência são geralmente menos pesados que os de baixa frequência, principalmente devido aos seus transformadores menores e menos pesados. Seu tempo de vida útil é inferior aos inversores de LF, pois sua constituição depende muito de semicondutores.

Exemplo: O inversor de alta frequência, 1000 W, 12 Vdc chega a pesar perto de 2.7 kg.

Ele usa mosfets para comutar eletronicamente suas chaves, os mosfets precisam ser resfriados e são conectados a dissipadores de calor para efeito. Na imagem acima, vê-se os dois dissipadores de calor cinza, mas nenhum transformador possui grandes dimensões.

Eficiência: os inversores de HF consomem menos energia no estado de standby comparados com os inversores LF, sua baixa robustez impossibilita-o de ser preferencial para lidar com elevada ocorrência de surtos, baixo tempo de vida útil, dependente da qualidade de refrigeração do local onde são instalados, pois é constituído em muito por dispositivos termicamente sensíveis.

Aplicações: esses inversores são mais adequados para sistemas off-grid com cargas puramente resistivas como lâmpadas, chaleiras eléctricas, fogão e termo-acumulador.

5.3.3. Marcas de inversores disponíveis no mercado

Victron Energy: combina ambos os inversores (LF e HF), os chamados de Hybrid HFInv.



Figura 63. Inversor autônomo da Victron Energy

Fonte: CAPROSOL, 2023

GROWATT: seus inversores são na maioria de alta frequência.



Figura 64. Inversor autônomo da GROWATT

Fonte: CAPROSOL, 2023

Deye: seus inversores utilizam a tecnologia de combinação de LF e HF (Hybrid Inverter).



Figura 65. Inversor híbrido da Deye

Fonte: CAPROSOL, 2023

5.4. Inversor híbrido

O inversor híbrido tem como objetivo converter a corrente contínua em corrente alternada em um sistema fotovoltaico, porém, o que o difere de outros inversores é a sua capacidade de trabalhar simultaneamente entre sistemas on-grid & off-grid.

O grande diferencial do inversor híbrido entre o on-grid e off-grid é a sua operação simultânea entre os dois modelos, de modo que alimente as cargas estando conectado à rede “no modo Zero-Grid”, enquanto o banco de baterias está sendo carregado.

Permite definir a quantidade máxima de energia vinda da rede a ser utilizada pela carga, sendo que a carga remanescente será alimentada pelos painéis solares e banco de baterias.

5.4.1. Diferença entre inversor híbrido e inversor de fileira

A principal diferença entre um inversor solar híbrido e um inversor solar de fileira reside na capacidade de gerir e armazenar energia.

O inversor de fileira converte a energia CC dos painéis solares em energia CA para uso doméstico, o inversor híbrido, por outro lado, integra armazenamento em bateria e também pode gerir o fluxo de energia de e para a rede (EDM), oferecendo características como energia de reserva durante interrupções na rede.



Figura 66. Inversor de fileira e híbrido
CAPROSOL, 2023

5.4.2. Inversor de fileira (string)

- **Função:** converte energia CC de painéis solares em energia CA para uso doméstico, corporativo e industrial;
- **Armazenamento de energia:** não possui bateria interna, dependendo da rede eléctrica para o funcionamento e não é capaz de fornecer energia de reserva durante as interrupções;
- **Complexidade:** mais simples e mais barato que os inversores híbridos;

- **Casos de uso:** adequado para áreas com rede eléctrica fiável e sem necessidade de armazenamento de energia.

5.4.3. Inversor de híbrido

- **Função:** converte a energia CC dos painéis solares em energia CA e também gere o carregamento e descarregamento da bateria, para além da interação com a rede (EDM);
- **Armazenamento de energia:** possui recursos integrados de gestão e armazenamento da bateria, permitindo que o excesso de energia solar seja armazenado para utilização posterior;
- **Complexidade:** mais complexo e caro do que os inversores de string devido à integração da bateria;
- **Casos de uso:** ideal para zonas com falhas de energia frequentes ou para quem procura maximizar o uso de energia solar e reduzir a dependência da rede.

5.5. Estabilidade de tensão

O inversor deve manter uma tensão de saída aproximadamente constante para o circuito de consumo, e independente da potência que se exige a cada momento, para que os aparelhos ligados a este não se danifiquem. Nos inversores sinusoidais, a regulação do inversor deve assegurar que a tensão esteja nas seguintes margens, qualquer que seja a condição de funcionamento:

$$V_{NOM} \pm 15\% \text{ sendo } V_{NOM} = 220 V_{RMS} \text{ ou } 230 V_{RMS}$$

Como nota fundamental não devemos esquecer a importância da eficiência. Por exemplo, um inversor de 1500 W com um rendimento de 92%, implica que este, para fornecer esses 1500 W, vai absorver da bateria aproximadamente 1630 W.

O inversor absorve 1630 W da bateria porque ele precisa compensar a energia perdida em forma de calor durante o processo de conversão de corrente contínua (bateria) para corrente alternada (receptor). Eis abaixo a descrição:

- **Potência de saída:** o inversor entrega 1500 W para o receptor;
- **Eficiência:** com 92% de eficiência, o inversor aproveita 0.92 de cada Watt que entra nele;
- **Cálculo da entrada:** o valor que ele absorve da bateria é resultado da razão entre a potência nominal de saída e a eficiência ($1500 \text{ W} / 0.92 = 1630.4 \text{ W}$).

5.5.1. Distorção harmónica THD

A distorção harmónica é um parâmetro utilizado para indicar o conteúdo em harmónicos da onda de tensão de saída do inversor (frequências distintas de 50 Hz). Refere-se pois à qualidade da onda produzida, que será melhor quanto menor for o valor do parâmetro THD.

5.5.2. Regulação em frequência

Um inversor autónomo deve manter a frequência de funcionamento constante. No caso dos inversores sinusoidais, a regulação do inversor deverá assegurar que a frequência de saída esteja numa margem de $50 \text{ Hz} \pm 2\%$ para qualquer condição de operação.

5.6. Possibilidade de ligar inversores em paralelo

Nas aplicações onde existe uma grande variabilidade no consumo é difícil encontrar um só inversor que tenha um rendimento elevado em todas as classes de consumo. A utilização de dois ou mais inversores ligados em paralelo pode melhorar o rendimento de forma considerável, sempre e quando estejam preparados para esta ligação.

5.6.1. Arranque automático

Os inversores devem ser capazes de arrancar automaticamente quando detectarem que alguma carga foi activada e de se desligar quando detectarem que não existem cargas ligadas à sua saída. Desta forma, evita-se que o inversor esteja sempre em funcionamento na ausência de consumos que exijam energia. Isto consegue-se mediante um sistema automático de detecção de ligação de qualquer carga.

5.6.2. Auto-consumo

Quando um inversor não tem carga ligada, tem sempre um pequeno consumo de potência. Este consumo deverá ser menor ou igual a 2% da potência nominal de saída. As perdas de energia diária originadas pelo auto-consumo do inversor, serão inferiores a 5% do consumo diário de energia. A maioria dos inversores inclui um sistema standby para reduzir estas perdas quando o inversor trabalha em vazio (sem carga ligada).

5.6.3. Segurança

Os inversores utilizados nas instalações fotovoltaicas autónomas deverão estar protegidos face às seguintes situações:

- Desligar da bateria;
- Curto-circuito na saída da corrente alternada;
- Sobrecargas que excedem a duração e limites permitidos pelo inversor;
- Sobreaquecimento dos componentes devido a condições adversas de operação – o inversor deverá parar a operação ou limitar a potência de operação a determinados níveis de segurança;
- Inversão de polaridade: os inversores estarão protegidos contra a alteração da polaridade da entrada CC.

Só para grandes potências é que se utilizam vários inversores ligados em paralelo.

O inversor fotovoltaico é um dos componentes essenciais de um sistema fotovoltaico, responsável por converter a energia eléctrica gerada pelos painéis solares de corrente contínua CC para corrente alternada CA. Esta conversão é fundamental, uma vez que a maioria dos electrodomésticos e equipamentos eléctricos, em residências ou empresas, funciona com corrente alternada.

Sem o inversor CC/CA, a electricidade captada pelos painéis solares não poderia ser utilizada para alimentar equipamentos como máquinas de lavar, frigoríficos, sistemas de iluminação, dentre outros.

Normalmente, o inversor é instalado junto do quadro eléctrico da habitação, garantindo uma ligação eficiente ao sistema. Para proteger os seus componentes internos das condições ambientais, é geralmente colocado numa casa de máquinas, devidamente protegida e climatizada, protegendo-o da humidade, do pó e das variações de temperatura, assegurando a sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo.

5.7. ESTUDO DE CASO

O CFP, localizado na Machava, possui reservatórios de água posicionados a altura de 1 metro do solo e pretende migrar a alimentação destas bombas da rede da EDM para fonte de energia solar fotovoltaica, para alimentar de 4 bombas de água, dentre as quais uma é submersível e três electrobombas convencionais para bombear a água para os diferentes pontos de aplicação (1 CV = 736 W / 1 = 746 W, área da cobertura: 15 m²).

A utilização de água ocorre nos seguintes intervalos de tempo do dia: bomba submersível: 6.5 HP – 8 horas, electrobombas: 2.5 CV – [6:00-8:00H, 12:00-14:00H, 16:00-18:00H], na partida a bomba demanda 25% acima da potência nominal.

Hoje você(s) foi(ram) convidados(as) a elaborar e submeter uma proposta técnica para o cálculo e selecção do inversor CC/CA.

“Durante a realização da actividade, as tarefas técnicas e de liderança devem ser distribuídas de forma equitativa entre mulheres e homens, garantindo que todas as pessoas utilizem as ferramentas, realizem os cálculos e participem na apresentação dos resultados”

6. RECURSOS

6.1. Dimensionamento

O inversor fotovoltaico deve estar dimensionado, de tal forma que sua potência nominal possua uma margem mínima de 15% a 25% sobre a potência da carga a ser alimentada.

$$P_{INV} = 1.25 \times P_{CARGA} \text{ (W)}$$

Com a potência do inversor calculada, recorre-se a tabela abaixo e selecciona-se a potência nominal do inversor CC/CA.

Tabela 24. Potências de inversores CC/CA

Tipo	Potência	Aplicação
Monofásicos (residenciais)	1 kW, 1.5 kW, 2 kW, 3 kW, 4 kW, 5 kW, 6 kW, 7 kW, 8 kW e até 10 kW.	Geralmente utilizados em habitações com menor consumo de energia.
Trifásicos (comerciais e industriais)	Pequeno/médio porte: 5 kW, 6 kW, 8 kW, 10 kW,	Utilizados em grandes habitações,

	12 kW, 15 kW, 20 kW e 30 kW.	estabelecimentos comerciais e centrais solares.
	Grande porte (industrial): 40 kW, 50 kW, 60 kW, 75 kW, 100 kW, 125 kW, 150 kW, 250 kW e 500 kW.	
	Centrais de utilidade pública: podem atingir 1 MW ou mais por unidade central.	

Relação de potência com sobredimensionamento
Embora a potência nominal do inversor seja fixa (ex: 5 kW CA), este pode suportar uma carga de potência dos painéis solares significativamente superior:
• Taxa padrão: um inversor de 10 kW CA suporta frequentemente até 12-15 kWp de painéis solares (taxa de 1,2 a 1,5). • Para um inversor de 5 kW, a configuração de potência de entrada recomendada é geralmente de 6,5 a 8 kW em painéis solares.

6.2. Análise minuciosa dos parâmetros de entrada do inversor

A análise dos parâmetros de entrada de um inversor centra-se na compatibilidade da fonte de energia, sejam painéis solares ou rede da concessionária, com as especificações do equipamento, incluindo a tensão máxima e mínima de entrada, gama de tensão do MPPT, tensão nominal de entrada fotovoltaica, corrente máxima de entrada em funcionamento, corrente máxima de entrada em curto-circuito, quantidade de MPPTs, quantidade de fileiras por MPPT e a relação CC/CA.

Estes parâmetros são essenciais para garantir a eficiência, a segurança e o correcto desempenho do sistema, evitando danos no inversor e optimizando a conversão de energia, especialmente em sistemas fotovoltaicos. A seguir estão descritos cada um dos parâmetros de entrada do inversor:

- **Tensão máxima de entrada, V_{OC-Max} :** a tensão de circuito aberto dos painéis solares não deve exceder este limite, sendo um parâmetro crítico para a protecção do inversor.
- **Gama de tensão MPPT (Maximum Power Point Tracking):** intervalo de tensão em que o inversor otimiza a extracção de potência dos painéis solares, uma gama mais ampla melhora a produção de energia nas primeiras horas da manhã e ao final da tarde, visto que pode-se associar uma quantidade maior de painéis solares.
- **Corrente máxima, I_{SC} :** corrente máxima que o inversor consegue processar, tendo em conta o número de fileiras de painéis solares ligados.
- **Quantidade de painéis solares por fileira:** definida em função das gamas de tensão e corrente, de modo a garantir o funcionamento dentro dos limites especificados pelo inversor.
- **Quantidade de MPPTs por inversor:** ela varia, mas os inversores residenciais mais comuns têm 1 ou 2 MPPTs, enquanto os modelos de maior dimensão, utilizados em instalações de grande escala ou com grande demanda, podem ter 2, 3, 4 ou mais entradas de MPPTs. Esta característica permite ligar diferentes fileiras de painéis solares com orientações, inclinações ou tipos distintos, otimizando assim a produção de energia.
- **Quantidade de fileiras por MPPT:** ela varia, mas o ponto crucial é que todas as fileiras conectadas a um único MPPT devem ter o mesmo número e tipo de painéis solares, para otimizar o desempenho, e o projecto deve respeitar os limites de tensão e corrente do inversor para cada MPPT, podendo ser uma ou mais fileiras, desde que configuradas correctamente. Inversores com múltiplos MPPTs permitem diferentes configurações em cada MPPT, otimizando telhados com diversas orientações ou sombreamentos.
- **Relação CC/CA (ou DC/AC ratio):** é a relação entre a potência em CC dos painéis solares e a potência nominal em CA do inversor, idealmente situada entre 1,2 e 1,3 para um melhor desempenho do sistema.

6.3. Cálculo minucioso dos parâmetros de saída do inversor CA

O lado de corrente alternada lida com a electricidade após a sua transformação, de corrente contínua CC para corrente alternada CA. De forma a garantir o isolamento

eléctrico entre o sistema fotovoltaico e as cargas para efeitos de manutenção, uma chave de seccionamento será instalada após a saída do inversor.

A intensidade nominal do aparelho de protecção (I_n), não deverá ser superior à intensidade de corrente máxima admissível na canalização à proteger considerando-se, para efeito, nos aparelhos com regulação que a intensidade nominal é a intensidade para que estão regulados (Art. nº 577, R.S.I.U.E.E).

$$I_S \leq I_N \leq I_Z$$

A queda de tensão admissível desde a origem da instalação de utilização até ao aparelho de utilização electricamente mais afastado, supostos ligados todos os aparelhos de utilização que possam funcionar simultaneamente, não deverá ser superior a 3% ou a 5% da tensão nominal da instalação, respectivamente para circuitos de iluminação e para outros usos (Art. nº 425, R.S.I.U.E.E).

A queda de tensão nos cabos que irão alimentar as cargas, partindo do quadro de coluna, não deve ser superior a 8% da tensão nominal a partir da origem da instalação até a carga mais distante (Art. nº 9, R.S.R.D.E.E.B.T).

6.3.1. Saída do inversor até as cargas

A corrente máxima de saída do inversor depende das suas características técnicas nominais, desta feita, a corrente do dispositivo de protecção ou seccionamento do lado CA, é obtida segundo as fórmulas:

Monofásica:

$$I_S = \frac{P_{CARGA}}{U_N \times \cos\alpha} \text{ (A)}$$

Trifásica:

$$I_S = \frac{P_{CARGA}}{\sqrt{3} \times U_N \times \cos\alpha} \text{ (A)}$$

Calculada a corrente de serviço, recorre-se a condição de protecção contra sobrecarga e curto-circuito, disposta no artigo nº 577 do R.S.U.I.E.E, determina-se o intervalo e o respectivo valor da corrente nominal do dispositivo de protecção.

Em função da corrente de serviço, que é a corrente de saída do inversor para as cargas, segundo a tabela 2, onde selecciona-se o método de referência, A ou D, de

seguida, segundo a tabela 27, seleciona-se a secção nominal do cabo de alimentação do quadro de distribuição de circuitos ou quadro de coluna.

Tabela 25. Método de referência

Designação	Método de referência
Condutores isolados em condutas circulares (tubos), embebidos em elementos de construção termicamente isolantes	A
Cabos mono ou multicondutor em conduta enterrada	D

Tabela 26. Intensidade de corrente máxima admissível na canalização

Secção nominal dos condutores (mm²)	Método de referência		
	A	B	C
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	14,5	17,5	19,5
2,5	19,5	24	27
4	26	32	36
6	34	41	46
10	46	57	63
16	61	76	85
25	80	101	112
35	99	125	138
50	119	151	168
70	151	192	213
95	182	232	258
120	210	269	299
150	240	—	344
185	273	—	392
240	320	—	461
300	367	—	530

Para o garante da qualidade da energia fornecida à carga, deve-se verificar o limite de queda de tensão no cabo, segundo a fórmula:

$$\Delta_U = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times L \times I}{S_c \times U_N} \times 100\%$$

6.3.2. Entrada da rede CA (EDM) no inversor

Para casos de inversores híbridos, que permitem a combinação com outras fontes de energia, uma delas sendo a rede eléctrica (EDM), o cálculo da secção nominal do cabo e de sua respectiva protecção, é feito segundo a fórmula do cálculo da corrente de serviço I_S (dependendo do tipo de instalação, se é monofásica ou trifásica). Uma vez calculada a I_S , seguiu-se o mesmo procedimento para selecção da secção nominal do cabo e verificação da respectiva queda de tensão.

6.4. Dispositivo de protecção contra surtos no lado CA

O dimensionamento do DPS em corrente alternada, centra-se na compatibilidade de tensão, nas classes do DPS, a classe I serve para a entrada, a classe II e III servem para quadros internos, com base no risco de descargas atmosféricas.

A corrente de descarga I_N e I_{Max} devem possuir valores maiores, para o garante de maior protecção, sendo valores mais elevados, indicativos de maior nível de protecção, como 20 kA e 40 kA para instalações residenciais, e deve-se garantir a correcta instalação, com o disjuntor e os cabos de descida, que devem ter secção nominal mínima de 6 mm².

6.4.1. Tensão máxima de funcionamento contínuo, U_C

A U_C do DPS deve ser próxima da tensão nominal da rede, mas sempre superior à mesma, como 275 V para redes monofásicas de 220/230 V e 485 V para redes trifásicas de 380/400 V.

$$U_{C-AC} > V_{N-REDE}$$

6.4.2. Classe

- **Classe I:** localizada na entrada da instalação, destinada à protecção contra descargas atmosféricas directas, com elevada capacidade de descarga, como I_N igual a 12,5 kA e I_{Max} igual a 25 kA;
- **Classe II:** localizada no quadro de distribuição, destinada a protecção contra surtos induzidos ou distantes, valores típicos de I_N igual a 20 kA e de I_{Max} igual a 40 kA para instalações residenciais;
- **Classe III:** localizada no ponto de utilização, destinada a protecção específica para equipamentos sensíveis, normalmente instalada junto ao aparelho.

6.4.3. Corrente de descarga

O valor da corrente de descarga, deve ser o mais elevado possível, para maior durabilidade e nível de protecção. Quanto maior o risco de descargas atmosféricas, maior deverá ser a corrente de descarga necessária.

6.5. Casa de máquinas

É o coração do sistema, onde se encontram os inversores, as baterias em sistemas *off-grid* ou híbridos, a string box que é composta por dispositivos de protecção e os equipamentos de monitorização.

É neste espaço que a energia em corrente contínua CC, proveniente dos painéis solares é convertida em corrente alternada CA para utilização prática, onde é gerido o armazenamento e assegurada a protecção do sistema, sendo fundamental para uma operação segura e eficiente, ao transformar a radiação solar em electricidade útil.

- A casa de máquinas do sistema fotovoltaico deve ser um espaço protegido, bem ventilado e com área suficiente para alojar os inversores e os dispositivos de protecção, com a cablagem organizada em electrocalhas ou electroduto.
- Deve garantir uma ventilação adequada para o arrefecimento dos equipamentos, protecção contra a exposição solar directa e a humidade, bem como um acesso fácil para operações de manutenção.
- Idealmente, deve dispor de uma caixa de passagem no pavimento para a entrada dos cabos provenientes dos painéis solares, sendo um compartimento simples, mas fundamental para a segurança e a durabilidade dos equipamentos.

6.6. Exercícios de aplicação

1. A família Ampere, residente em Maputo, tem plantações de eucaliptos a 45 km da zona com acesso à energia eléctrica e atualmente encontra-se a busca de especialistas no dimensionamento & montagem de sistemas solares.

Seu objectivo é alimentar os electrodomésticos que estão na dependência de suas plantações, que são, 10 lâmpadas LEDs: 20 W cada – 9 horas, quatro carregadores de telemóvel: 20 W – 6 horas, duas TV LCD 32": 120 W – 7 horas, um fogão: 1500 W – 3 horas, um ventilador: 130 W – 8 horas e um rádio com leitor de mp3: 200 W – 5 horas.

Hoje você(s) foi(ram) contratados(as) por esta família para realizar o dimensionamento completo do bloco de conversão. Caso seja necessário, baixe datasheets (folha de dados) dos equipamentos na internet, eis aqui algumas marcas sugestivas: Victron Energy, Canadian Solar, JA Solar, Deye, Kuiper, dentre outras.

2. A família Tesla, residente em Gaza, tem criação de gado bovino a 20 km da zona com acesso à energia eléctrica e atualmente encontra-se a busca de especialistas no dimensionamento & montagem de sistemas solares. Seu objectivo é alimentar os electrodomésticos que estão na dependência de sua criação, que são, 25 lâmpadas LEDs: 18 W cada – 10 horas, 10 carregadores de telemóvel: 20 W – 6 horas, três TV LCD 32': 120 W – 4 horas, dois fogões: 2000 W – 4 horas, dois ventiladores: 200 W – 8 horas e um rádio com leitor de mp3: 300 W – 6 horas.
 - Hoje você(s) foi(ram) contratados(as) por esta família para realizar o dimensionamento completo do bloco de conversão. Caso seja necessário, baixe datasheets (folha de dados) dos equipamentos na internet, eis aqui algumas marcas sugestivas: Victron Energy, Canadian Solar, JA Solar, Deye, Kuiper, dentre outras.

6.7. Procedimento de montagem

Se estiver a utilizar um inversor central, configure-o o mais próximo possível da bateria, de forma a facilitar o fluxo de corrente.

A montagem prática de um inversor envolve a escolha de um local seco, bem ventilado e estável. O equipamento deve ser fixado de forma segura à parede, utilizando os suportes e parafusos fornecidos pelo fabricante.

As ligações dos cabos das baterias e da rede eléctrica ao inversor, devem ser feitas correctamente e sempre com a alimentação desligada. Por fim, devem ser realizados testes de funcionamento, respeitando a sequência de inicialização indicada no manual do inversor, de modo a garantir a segurança e o bom desempenho do sistema, bem como o cumprimento das distâncias mínimas necessárias para a ventilação.

6.7.1. Preparação e escolha do local

- Localização, seleccione um local seco, protegido da exposição directa ao Sol, da chuva e da humidade excessiva, com boa ventilação e, de preferência, próximo das baterias, de forma a minimizar perdas de energia;
- Deve ser garantido espaço suficiente para a circulação de ar, pelo menos 10 cm em redor do equipamento;
- Segurança, utilize equipamentos de protecção individual (EPI), como óculos e máscara, ao perfurar a parede, e certifique-se de que não existem canalizações ou cabos eléctricos na zona de perfuração.

6.7.2. Fixação do inversor

- Suportes, marque os pontos de furação, nivele e perfure a parede, instalando os parafusos de expansão adequados;
- Montagem, eleve o inversor, podendo ser necessário um guincho ou ajuda adicional para modelos de maiores dimensões e fixe-o nos suportes de montagem com os parafusos fornecidos, garantindo que fica bem firme e na orientação vertical correcta, ou ligeiramente inclinado, conforme indicado no manual do inversor.

6.7.3. Ligações eléctricas

- Garanta que as ligações eléctricas sejam realizadas, sempre com a alimentação desligada;
- Cabos das baterias, ligue os cabos positivo (+) e negativo (–) das baterias ao inversor, respeitando a polaridade e utilizando os conectores adequados, o pequeno estalido inicial ao efectuar a ligação é normal;
- Cabos de saída, ligue a saída CA do inversor ao quadro eléctrico de distribuição, em conformidade com as normas eléctricas locais, utilizando disjuntores ou fusíveis adequados para protecção.

6.7.4. Inicialização e testes

- Verificação, puxe ligeiramente os cabos para confirmar que estão bem fixos e verifique o aperto ou torque dos terminais;
- Sequência de ligação, ligue primeiro o disjuntor ou fusíveis de corrente contínua CC dos painéis solares, caso existam, e depois o disjuntor de corrente alternada (CA) da rede;

- Verificação visual, observe os LEDs indicadores (por ex.: vermelho inicialmente e depois verde) e o funcionamento das ventoinhas, que indicam o correcto funcionamento do equipamento;
- Teste de carga, ligue uma carga (por ex.: uma ferramenta eléctrica) para confirmar a saída de energia, testando o ligar e desligar do inversor através do botão de comando;
- Consulte sempre o manual específico do modelo de inversor utilizado, uma vez que as sequências de ligação e os detalhes de instalação podem variar consoante o fabricante.

6.8. Vídeo explicativo

Vídeo explicativo: <https://www.youtube.com/watch?v=BADJ9IjmVPY>

[illegible]

Informações institucionais e do curso			
Instituição			
Curso	Energia Fotovoltaica		
Nível	CV		
Horas			
Formador(s)			
UC 3	INSTALAR, OPERAR E MANTER SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS		
Conteúdo analítico do módulo	ESTUDO DE CASO		
	RECURSOS		
	Planificar o trabalho de instalação de um sistema fotovoltaico autónomo		
	Instalar um sistema fotovoltaico autónomo		
	Controlar qualidade e consumo de material numa instalação fotovoltaica		
	Operar um sistema fotovoltaico autónomo (HST)		
	Realizar pesquisa de falhas num sistema fotovoltaico autónomo		
	Realizar manutenção de um sistema fotovoltaico autónomo		
	Exercícios de aplicação		
	Procedimento de montagem (vídeo explicativo)		
Tipo de aula	Distribuição de responsabilidades no processo de ensino e aprendizagem		
	Orientação de género e inclusão		
	Aula teórica	Aula prática	Estudo individual
	Formador(a)	Formador(a) e formandos(as)	Formando(a) em regime autónomo
Bibliografia recomendada	MANUAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA		

6.10. Instalar um sistema fotovoltaico autónomo

6.10.1. Planificar o trabalho de instalação de um sistema fotovoltaico autónomo

Planear um sistema fotovoltaico autónomo (off-grid) envolve várias fases: análise de consumo e viabilidade, dimensionamento do sistema (painéis, baterias, regulador de carga, inversor), projecto técnico e logístico, instalação física (fixação, cablagem, ligação à terra), ensaios e colocação em serviço, bem como manutenção e monitorização para garantir a autossuficiência energética, sem dependência da rede eléctrica.

6.11.1. Análise e dimensionamento (fase de projecto)

- Análise de consumo, avaliar o consumo energético diário (kWh) para determinar a necessidade energética.
- Estudo do Local, avaliar a irradiação solar do local e a área disponível para a instalação dos painéis.

6.11.1. Dimensionamento

- Calcular o número de painéis, a capacidade do banco de baterias (autonomia), o regulador de carga e o inversor, considerando as tensões e correntes de cada componente, de modo a garantir segurança e eficiência.

6.11.2. Componentes essenciais

- Painéis fotovoltaicos, regulador de carga, banco de baterias, inversor (DC para AC), disjuntores (DC e AC), DPS (Dispositivo de Protecção contra Sobreensões) e sistema de ligação à terra.

6.12. Projecto técnico e logística

6.12.1. Esquema eléctrico

Detalhar as interligações em série e em paralelo dos painéis, bem como as ligações ao regulador de carga, às baterias e ao inversor.

6.12.2. Logística

- Definir a entrega dos equipamentos e a equipa técnica necessária para a instalação.

- Segurança, incluir protecções como disjuntores e DPS em cada parte do sistema.

6.13.3. Instalação Física (passo a passo)

- **Estrutura e fixação**, montar a estrutura de alumínio e fixar os painéis na cobertura ou no solo, garantindo a inclinação adequada.
- **Cablagem DC**, ligar os painéis em série/paralelo utilizando conectores MC4 e encaminhar os cabos através de calhas técnicas ou tubos (eletrodutos) até ao regulador de carga.
- **Instalação do inversor e das baterias**, fixar o inversor e o regulador, ligar as baterias ao regulador e, posteriormente, efectuar a ligação do regulador e das baterias ao inversor.
- **Ligação à terra**, Executar correctamente a ligação à terra da estrutura metálica e de todo o sistema.
- **Cablagem AC**, ligar a saída AC do inversor à instalação eléctrica da habitação, através de disjuntores e DPS adequados.

6.14.4. Ensaio e colocação em serviço

- **Verificação**, testar a tensão e a corrente em cada etapa (painéis, regulador, baterias e inversor).
- **Colocação em serviço**, onfirmar que o sistema está a funcionar de acordo com o projecto e que está a produzir energia de forma eficiente.

6.15.5. Monitorização e manutenção

- **Verificações periódicas**, monitorizar o desempenho do sistema e realizar manutenções preventivas para garantir a durabilidade e o bom funcionamento ao longo do tempo.

6.15.1. Equipamentos a utilizar na instalação de sistemas fotovoltaicos



Figura 67. Equipamentos a usar durante a instalação a
Fonte: CAPROSOL, 2023



Figura 68. Equipamentos a usar durante a instalação b
Fonte: CAPROSOL, 2023

6.15.2. Descrição dos equipamentos

De forma sequencial, estão descritos os equipamentos a serem utilizados em trabalhos que envolvem energia eléctrica, no caso em específico deste manual, a energia fotovoltaica.

1. As luvas isolantes para electricistas são um equipamento de protecção individual (EPI) essencial. São fabricadas em borracha ou látex e destinam-se a proteger contra choques eléctricos em circuitos sob tensão. Estas luvas são classificadas por classes de tensão, por ex.:, Classe 0, adequada para tensões até 1000 V.
2. As botas são equipamentos de protecção individual, dieléctricos, concebidos para proteger contra choques eléctricos, possuem sola isolante e certificação para utilização até 500 V em ambiente seco. Dispõem de biqueira em PVC, material compósito ou plástico.
3. O busca-pólos ou detector de tensão é uma ferramenta eléctrica, semelhante a uma chave de fendas, utilizada para verificar a presença de corrente eléctrica (tensão) em conductores, tomadas e circuitos. Permite identificar o condutor activo ou de fase de forma segura, sendo essencial em instalações e trabalhos de manutenção eléctrica para evitar choques e garantir a segurança.
4. As chaves de boca ou chaves fixas são ferramentas essenciais utilizadas para apertar ou desapertar porcas e parafusos com cabeça sextavada ou quadrada.
5. O nível de bolha é uma ferramenta de medição utilizada para verificar a inclinação de superfícies, garantindo que estas se encontram perfeitamente horizontais (ao nível) ou verticais (a prumo).
6. A pinça amperimétrica, também conhecida como alicate amperímetro, é um instrumento essencial para profissionais de electricidade. Permite medir a corrente eléctrica sem interromper o circuito, garantindo segurança e eficiência.
7. Multímetro digital é uma ferramenta essencial para eletricistas e técnicos que combina funções de voltímetro, amperímetro e ohmímetro, medindo grandezas como tensão (Volts), corrente (Amperes) e resistência (Ohms) em displays LCD, com precisão e facilidade de leitura, além de funções avançadas como teste de continuidade e díodo, sendo indispensável para diagnosticar falhas em circuitos eléctricos e electrónicos.

8. Alicates de ponta, geralmente referido como alicate de bico, é uma ferramenta versátil projectada para trabalhos que exigem precisão e acesso a áreas de difícil alcance.
9. O alicate de corte é uma ferramenta manual versátil, concebida para cortar arames e fios de diversos materiais, como cobre, alumínio e aço. Existem vários tipos, cada um optimizado para tarefas específicas, desde trabalhos de electrónica delicada até cortes mais robustos.
10. Crimpador ou alicate de cravar é uma ferramenta utilizada para criar ligações eléctricas seguras e duradouras, através da cravação de conectores em cabos e fios, como em cabos de rede (RJ45) ou terminais eléctricos. Garante um contacto firme e fiável, evitando falhas provocadas por vibração ou aquecimento, sendo essencial para profissionais de energia.
11. Aparafusadora eléctrica é uma ferramenta que facilita o aperto e o desaperto de parafusos. Está disponível em modelos com fio, a bateria (os mais comuns e versáteis) e até pneumáticos.
12. Chave sextavada é utilizada para apertar ou desapertar parafusos com cabeça sextavada interior, permitindo aplicar mais binário (torque) com menos esforço, especialmente em locais de difícil acesso.
13. As chaves para profissionais de energia da INGCO são ferramentas isoladas (VDE 1000 V), com haste em aço CR-V ou S2. Possuem pontas de fenda e Phillips, cabo ergonómico que garante segurança e conforto, e são certificadas para trabalhos em alta tensão. São ideais para intervenções eléctricas, estando disponíveis em conjuntos completos ou unidades avulsas, podendo incluir caneta de teste e outras ferramentas essenciais.
14. Soprador térmico é uma ferramenta eléctrica que lança ar quente (300°C a 600°C), semelhante a um secador de cabelo potente, usado para aquecer, secar, moldar plásticos (como canos de PVC), remover tintas/adesivos, aplicar películas (envelopamento) e até para soldar ou encolher termoencolhíveis, sendo essencial em reformas, automotivo e artesanato, mas exigindo EPIs e cuidado com a ventilação para segurança.
15. As lanternas para electricistas são potentes, geralmente sem fios e equipadas com baterias de iões de lítio de 20 V, oferecendo elevada luminosidade (por ex., até 2000 lúmens) e grande durabilidade.

- 16.** Os óculos de protecção são equipamentos de protecção individual essenciais para proteger os olhos contra riscos como poeira, partículas, respingos químicos, luz intensa e radiação em ambientes de trabalho. São obrigatórios sempre que os riscos oculares não possam ser eliminados.
- 17.** Bússola para instaladores solares serve para localizar o Norte geográfico, sendo essencial para o alinhamento ideal dos painéis solares (no hemisfério Sul, orientados para Norte), otimizando a captação solar. Permite também medir o desvio azimutal, compensando inclinações de telhados e fornecendo essa informação aos softwares de dimensionamento para cálculos mais precisos de geração de energia. Trata-se de uma ferramenta simples e acessível.
- 18.** Para profissionais de energia, é essencial um capacete de segurança com propriedades de isolamento eléctrico, especificamente da classe E (ou a antiga Classe B), que oferece protecção contra choques até 20 000 V.
- 19.** Cinto de segurança com talabarte é um equipamento de protecção individual essencial para trabalho em altura. Combina um cinturão (geralmente do tipo paraquedista) com um talabarte (corda ou fita) que o liga a um ponto de ancoragem, prevenindo quedas e permitindo mobilidade segura.

6.15.3. Cronograma de actividades

#	Actividade	Descrição	Tempo
1	Visita ao local	Realizar uma avaliação completa do local para determinar a adequação à instalação de painéis solares, incluindo a análise de sombreamento, as condições do telhado e a orientação para a instalação dos painéis	1
2	Dimensionamento do sistema	Avaliação das necessidades energéticas do cliente para determinar o tamanho adequado do sistema (capacidade em kW)	2
3	Projeto de sistema	Avaliação das necessidades energéticas do cliente para determinar o tamanho adequado do sistema (capacidade em kW)	3
4	Procurement	Obtenção de orçamentos em função do equipamento a utilizar na montagem do sistema solar fotovoltaico	2
5	Montagem e Instalação	Montagem da estrutura para suportar os painéis solares	7
		Montagem de painel solar	
6	Commissionamento	Teste e verificação de dispositivos	1
		Testes primários do sistema	
7	Formação e monitoramento	Capacitação, formação de formadores e monitorização	6
8	Entrega	Entrega do sistema ao adjudicatário	1
		Total de dias	23

6.16. Operar um sistema fotovoltaico autónomo (HST)



Figura 69. HST em sistemas fotovoltaicos

Fonte: CAPROSOL, 2023

Como todos os produtos que envolvem electricidade, a instalação do sistema fotovoltaico, apresenta os seus próprios problemas de segurança. É melhor ser proactivo na implementação de medidas preventivas que possam ajudar a evitar lesões desnecessárias no trabalho.

A OSHA (Administração de Segurança e Saúde no Trabalho) exige que os empregadores implementem formação de segurança e protecção para todos os indivíduos no trabalho, esses riscos variam de local de trabalho para local de trabalho.

Como não existem dois locais de trabalho iguais, antes do início da instalação de um sistema fotovoltaico, é essencial que o instalador visite o local (site visit). Os riscos de segurança devem ser identificados e devem ser desenvolvidos planos para lidar com eles.

6.17. Medidas de segurança para os trabalhadores da área de sistemas fotovoltaicos

6.17.1. Evite trabalhar em condições climáticas adversas

- A primeira regra de segurança a ter em conta é não trabalhar em condições meteorológicas adversas;
- Ao trabalhar com painéis solares ou outros componentes fotovoltaicos, estará a trabalhar com electricidade e poderá levar um choque eléctrico;
- Numa tempestade, o vento pode mover os painéis solares, resultando em danos no sistema fotovoltaico. Nunca trabalhe em condições de neve ou vento forte, quando estas condições são esperadas, devido ao aumento da probabilidade de escorregar ou perder o equilíbrio;
- Regra geral, não instale um sistema fotovoltaico sozinho, tenha pelo menos uma pessoa consigo, para casos de acidente ou emergência.

6.17.2. Elevação e movimentação de painéis solares

- Ao aplicar técnicas de elevação seguras, levante cada painel solar com pelo menos duas pessoas;
- Se possível, é aconselhável utilizar um empilhador para mover os painéis solares;
- Não se sente, pise ou aplique demasiada pressão sobre os painéis solares, pois pode partí-los ou danificá-los, e causar ferimentos ou choque eléctrico;
- Não deixe cair nada sobre os painéis solares, pois pode danificá-los ou partí-los;
- Certifique-se de que a área sob os painéis solares está limpa, desimpedida e livre de objectos estranhos;
- Tenha muito cuidado com a queda de objectos e nunca os atire para cima ou para baixo quando instalar um sistema fotovoltaico.

6.17.3. Trabalhar com painéis solares

- Os painéis solares devem ser cobertos com uma película opaca quando desembalados, para evitar a acumulação de calor ou energia;
- Além disso, mantenha os painéis solares fotovoltaicos cobertos com um material opaco durante a instalação para interromper ou impedir a produção de electricidade;
- Use luvas isolantes quando trabalhar com painéis solares, pois podem ter uma carga eléctrica;
- Ao instalar os painéis solares, certifique-se de que não ha pontos por onde a água entra, pois pode causar infiltrações. Isto é geralmente um problema que pode ocorrer em telhados construídos recentemente, mas também em telhados antigos, especialmente se as telhas estiverem em falta ou se tiverem sido removidas em algum momento.

6.17.4. Trabalho em telhados

- Evite subir as escadas enquanto estiver a carregar painéis solares, pelo contrário iça os painéis solares em telhados, utilize gruas, guinchos ou sistemas de guincho com base em escadas e certifique-se de que foram devidamente inspecionados;

- Os painéis solares podem ser muito pesados, certifique-se de que o telhado é suficientemente forte para suportar o peso dos painéis solares antes de os instalar;
- Ao trabalhar em telhados, certifique-se sempre de que são tomadas precauções de segurança extremas (incluindo cintos de segurança, linhas de vida e redes de segurança) para evitar escorregões, quedas e ferimentos ou morte;
- As ferramentas eléctricas devem ser inspecionadas para garantir que estão a funcionar em segurança antes de iniciar a instalação do sistema fotovoltaico;
- É aconselhável utilizar ferramentas isoladas quando se trabalha num sistema fotovoltaico. Utilize tapetes de borracha para evitar que a escada escorregue e peça a outra pessoa para segurar as escadas em segurança enquanto sobe.

6.17.5. Trabalho com electricidade

- Ao instalar um sistema fotovoltaico, está a trabalhar-se com eletricidade. É fundamental instalar sistemas fotovoltaicos de acordo com os códigos eléctricos/fotovoltaicos aplicáveis ao local e as normas de segurança;
- É aconselhável consultar os códigos locais e todas as leis e estatutos aplicáveis relativos às licenças e regulamentos necessários para a instalação e inspeção de sistemas fotovoltaicos;
- Quando trabalhar com a cablagem proveniente de um conjunto fotovoltaico, trate-a com o mesmo cuidado que uma linha de energia eléctrica, desenergize todos os circuitos antes de trabalhar neles;
- Para garantir que estão desenergizados, utilize um medidor ou dispositivo de teste de circuito e bloqueie a energia dos sistemas que podem ser bloqueados;
- Nunca desligue os conectores MC4 do painel solar ou outras cablagens fotovoltaicas associadas quando estiverem sob tensão;
- Certifique-se de que utiliza ferramentas isoladas ao trabalhar com electricidade, os contactos ou cablagens eléctricas nunca devem ser tocados sem a protecção e o equipamento de segurança adequados;
- Sistemas fotovoltaicos incluem componentes que conduzem electricidade, que foi captada do Sol, o inversor converte a corrente contínua do painel solar em corrente alternada, o controlador e outras peças essenciais do sistema. Se estes componentes estiverem energizados com a electricidade gerada pela

energia fotovoltaica, podem provocar choque eléctrico ou ferimentos associados a choque eléctrico ou arco voltaico;

- A tensão pode ser causada até por condições de baixa irradiação solar e provocar ferimentos graves, certifique-se de que todo o sistema fotovoltaico está ligado à terra de forma adequada e segura para evitar choques eléctricos e ferimentos;
- Se existirem cabos e conductores eléctricos da concessionária de serviços públicos (EDM) ligados ao telhado ou nas suas proximidades, a concessionária deve ser contactada para garantir que são implementadas medidas de protecção para evitar choques eléctricos;
- Deve ser utilizado um tubo metálico flexível para proteger os conductores ou cabos do sistema fotovoltaico ao passar a cablagem através de paredes ou fios expostos à radiação solar, chuva ou ao ar livre, o não cumprimento desta regra de segurança solar fotovoltaica pode resultar em choque eléctrico ou curto-circuito.

6.17.6. Regras adicionais

- O sistema fotovoltaico nunca deve ser instalado perto de gases inflamáveis, pois pode provocar um incêndio ou explosão;
- Não use joias metálicas ao trabalhar na execução do sistema fotovoltaico, pois pode causar choque eléctrico.
- Não é aconselhável utilizar luz artificial ou ampliada em painéis solares;
- Não instale um sistema fotovoltaico em qualquer local que esteja a menos de 0,3 milhas (482,8 metros) de oceano ou água salgada, pois isto pode causar corrosão e os vapores e névoas podem interferir com os equipamentos fotovoltaicos e causar danos ou choque eléctrico;
- Não instale equipamentos fotovoltaicos em locais corrosivos – classificados como C5 pela ISO.

6.17.7. Igualdade de género e inclusão

A formação deve garantir participação equitativa de mulheres e homens nas actividades teóricas e práticas. As tarefas devem ser distribuídas segundo as competências e condições de segurança, sem estereótipos de género. Os equipamentos de protecção devem estar disponíveis em tamanhos adequados, e o ambiente de formação deve ser seguro, respeitoso e livre de discriminação e assédio.

6.17.8. Equipamento de protecção individual

“Os equipamentos de protecção individual devem estar disponíveis em diferentes tamanhos e modelos, ser ajustados às características físicas de cada pessoa e verificados antes do início da actividade. Um EPI demasiado largo, apertado ou mal ajustado não oferece protecção adequada”

“Nenhuma pessoa deve ser excluída de uma actividade prática com base no género. Quando uma tarefa exigir esforço físico ou movimentação de cargas, devem ser utilizados meios mecânicos, técnicas de levantamento seguro ou trabalho em equipa”

“Em situações de gravidez ou amamentação, deve ser realizada uma avaliação específica dos riscos relacionados com baterias, substâncias químicas, calor excessivo, levantamento de cargas e trabalho em altura. As tarefas devem ser adaptadas de forma segura e sem discriminação”

O empregador ou especialista de energia fotovoltaica, deve garantir que o local de trabalho foi avaliado quanto aos riscos e fornecer vestuário de protecção, quando necessário, para manter a segurança do trabalhador;

Capacetes, luvas e sapatos com biqueira de aço e sola de borracha são EPI (equipamento de protecção individual) obrigatórios para trabalhos com sistemas fotovoltaicos;

Os colaboradores devem usar EPI de acordo com as instruções do empregador, mantendo-os em condições seguras e fiáveis, e devem solicitar a substituição quando necessário, quando se trata da segurança e saúde do colaborador ou especialista de energia fotovoltaica, o risco deve ser evitado a todo o custo.

6.17.9. Arnês e anti-queda (retráctil ou não)

O comprimento do cabo de suspensão do cinto de segurança não deverá permitir uma queda livre superior a 1 m, a menos que existam outros dispositivos de protecção que atenuem uma queda de maior altura, por ex.: barreiras de protecção, rede de protecção, dentre outros.

7. MANUTENÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Existem três tipos de manutenção realizados em sistemas fotovoltaicos, que englobam cuidados com os painéis solares, inversores e demais componentes do sistema.

7.1. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva de um sistema fotovoltaico consiste no monitoramento da sua produção para identificar possíveis quedas de desempenho e na inspeção visual dos equipamentos, incluindo os painéis solares, inversor e caixa combinatória (string box), de modo a detectar precocemente indícios de danos, como riscos, manchas ou fissuras nos painéis solares.

Grande parte destas verificações, pode ser feita pelo próprio proprietário do sistema fotovoltaico, para reduzir os custos com manutenção, como a inspeção visual de alguns equipamentos e o acompanhamento da produção do sistema, que pode ser realizado através do computador, telemóvel ou tablet, utilizando o software de monitorização de energia solar integrado no inversor fotovoltaico.

7.2. Manutenção preventiva

A manutenção preventiva de um sistema fotovoltaico inclui a limpeza periódica dos painéis solares, a higienização do inversor e uma inspeção completa de todos os componentes eléctricos (painéis solares, baterias, inversor, string box e conectores) e mecânicos (suportes e estrutura de fixação), com o objectivo de otimizar o desempenho, identificar ou reparar danos e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Quando não for necessário subir ao telhado, o próprio proprietário pode realizar a limpeza dos painéis solares, seguindo os cuidados necessários, caso contrário, é necessário contratar os serviços de empresas especializadas, que dispõem de equipas certificadas, equipamentos de segurança e ferramentas adequadas para executar o serviço.

7.3. Manutenção correctiva

A manutenção correctiva do sistema fotovoltaico é realizada apenas em casos de falhas ou defeitos em algum dos seus componentes, quando o proprietário detecta uma queda significativa na produção do gerador fotovoltaico ou a interrupção do seu funcionamento, sendo necessário recorrer a uma empresa especializada para efectuar o diagnóstico e reparação do problema.

7.4. Frequência de realização da manutenção no sistema fotovoltaico

No geral, a limpeza dos painéis solares deve ser realizada anualmente. Em locais onde não chove muito e existe muita poeira, recomenda-se a cada 6 meses. De forma simples, basta observar os painéis solares e verificar se estão muito sujos. Caso estejam, é altura de os limpar.

À medida que os painéis solares se vão sujando, a sua produção de energia diminui. Uma pequena quantidade de sujidade, como uma fina camada de pó, poderá causar apenas uma pequena perda na produção de energia do painel solar, até cerca de 5%.

Quando os painéis solares ficam muito sujos, por ex.: numa habitação próxima de uma avenida movimentada, numa zona agrícola ou num local que não recebe chuvas regularmente, a perda de produção de energia fotovoltaica pode ultrapassar 20%, o que não é desejável. Normalmente, a chuva intensa é suficiente para limpar os painéis solares.

- A manutenção preventiva, que inclui a higienização do inversor fotovoltaico e a inspeção dos componentes do sistema, pode ser realizada uma vez por ano.
- A manutenção mais frequente deverá ser a manutenção preditiva, de acompanhamento da produção do sistema fotovoltaico, que pode ser feita facilmente pelo proprietário através da aplicação de monitorização.

7.5. Realização da manutenção do sistema fotovoltaico

Durante a manutenção preventiva de um sistema fotovoltaico, os técnicos devem analisar os seguintes itens de cada equipamento do sistema:

7.5.1. Estrutura de fixação

- Oxidação;
- Alinhamento da estrutura;
- Grampos de fixação;
- Torque das ligações e parafusos;
- Aterramento.

7.5.2. Caixa combinatória (string box)

- Conectores dos cabos CC;

- Cabos de entrada e prensa-cabos;
- Sinais de sobreaquecimento e arco eléctrico;
- Terminais e isolamento termo-retráctil;
- Aperto correcto contra surtos;
- Aterramento;
- Reaperto de ligações.

7.5.3. Cabos e conectores

- Conectores MC4 das fileiras;
- Terminais dos cabos de baixa tensão CC;
- Inspeção termográfica dos terminais dos cabos de baixa tensão CC (string box e inversor);
- Teste de isolamento dos cabos de baixa tensão CC.

7.5.4. Inversor

- Ambiente de instalação;
- Limpeza do ventilador, grelha, trocador de calor e filtros;
- Inspeção geral quanto a danos ou fissuras;
- Vedações e presença de humidade;
- Sinais de sobreaquecimento e arcos eléctricos;
- Medição da tensão com multímetro;
- Verificação das protecções eléctricas;
- Integridade da entrada de cabos e prensa-cabos;
- Versão do firmware.

7.5.5. Painéis solares

- Parte traseira (verificar se existem danos);
- Células solares (delaminação, fissuras, oxidação, bolhas, corrosão);
- Moldura (frame);
- Protecção mecânica (vidro);
- Isolamentos e ligação dos cabos;
- Caixa de ligação e díodo bypass;
- Curva I×V (corrente e tensão do painel solar);
- Outra etapa da manutenção preventiva é a limpeza dos painéis solares, feita apenas com água e equipamentos não abrasivos, como vassouras de cerdas

macias ou rodos com pano húmido, de forma a não danificar a superfície dos painéis solares.

7.5.6. Segurança

Deve-se seguir o seguinte procedimento para desligar sistema fotovoltaico com segurança, antes da realização da manutenção.

- Desligar os disjuntores CA e CC pela seguinte ordem: primeiro as cargas, depois o inversor, em seguida o disjuntor CA e, por último, o seccionador CC da string box, de forma a interromper o fluxo de energia e evitar choques eléctricos, garantindo a segurança durante a manutenção ou limpeza.

7.5.7. Equipamentos

Por motivos de segurança, não é aconselhável subir ao telhado sozinho, a menos que disponha de equipamento de protecção e formação adequada. Usa-se pano húmido preso a um rodo com lâmina de plástico ou esponja, juntamente com uma extensão longa, permitindo que permaneça no chão e alcance o telhado.



Figura 70. Vasoura limpadora de painéis solares

Fonte: CAPROSOL, 2023

- Use este equipamento com cuidado, sem aplicar pressão e sem bater nos painéis solares;
- Não é recomendado usar mangueira, pois a posição do solo nem sempre permite o escoamento correcto da água, que deve ser de cima para baixo.

7.6. Horário para limpeza dos painéis solares

- Limpe os painéis solares num dia nublado, ao início da manhã ou à noite. Se o Sol estiver muito forte, a superfície dos painéis solares estará demasiado quente e o contacto com água fria pode causar danos por choque térmico;
- Ao amanhecer é um momento particularmente bom, pois o orvalho da noite provavelmente terá amolecido a sujidade, facilitando a limpeza e permitindo usar menos água e menos esforço para limpar os painéis solares.

7.7. Plano de manutenção

Apesar de alguns equipamentos em instalações fotovoltaicas ligados à rede e autónomas serem comuns, como gerador fotovoltaico, os suportes dos painéis, em alguns casos, vamos distinguir as operações de manutenção para cada um dos tipos de instalação, off-grid e on-grid.

Tabela 27. Operações de manutenção para sistemas

Equipamento a analisar	Sistemas autónomos (off-grid)	Sistemas ligados a rede (on-grid)
Gerador fotovoltaico + estrutura de suporte	Sim	Sim
Controlador de carga	Sim	Nao
Baterias	Sim	Nao
Inversor	Sim	Sim
Equipamentos de protecção	Sim	Sim
Cablagem	Sim	Sim
Portinhola e contador	Sim	Sim

De seguida, é apresentado um resumo das acções a realizar para a respectiva manutenção preventiva, para os equipamentos descritos anteriormente e para as instalações autónomas e ligadas a rede.

Tabela 28. Acções a realizar para a manutenção preventiva

Instalações fotovoltaicas autónomas (plano de manutenção preventiva)		
Elemento	Acções a realizar	Periodicidade
Cablagem	• Revisão do estado da cablagem;	12 meses

	• Inspeção das ligações e terminais	
Estado dos painéis solares	• Situação face ao projecto inicial; • Limpeza e verificar a presença de danos que afectem a segurança e protecções.	12 meses
Estrutura de suporte	• Revisão de danos na estrutura; • Verificar o estado de deterioração devido aos agentes ambientais.	12 meses
Baterias	• Comprovar o nível do electrólito; • Limpeza e oleado dos terminais.	12 meses
Controlador de carga	• Medir as quedas de tensões entre terminais; • Inspeção visual do funcionamento no visor ou indicadores luminosos.	12 meses
Inversores	• Estado dos indicadores luminosos/visor e alarmes.	12 meses
Equipamentos de segurança e protecção	• Verificação dos terminais, caixa de mediação e vareta de terra; • Teste do funcionamento dos interruptores de corte; • Teste do funcionamento dos disjuntores; • Verificação do estado dos fusíveis.	12 meses
Equipamentos de monitorização	• Calibração e limpeza dos	6 meses

	aparelhos de medição; • Analisar o funcionamento e calibração do sistema de aquisição de dados; • Verificação do sistema de armazenamento de dados.	
--	--	--

A periodicidade das instalações ligadas à rede depende da potência da instalação, tal como indica a seguinte tabela.

Tabela 29. Periodicidade de manutenção de sistemas ligados a rede

Instalações fotovoltaicas ligadas à rede (plano de manutenção preventiva)			
Elemento	Acções a realizar	Periodicidade	
		< 5 kW	> 5 kW
Cablagem	• Revisão do estado da cablagem; • Inspeção das ligações e terminais; • Teste das quedas de tensão no lado CC; • Análise da cablagem de protecção à terra.	12 meses	6 meses
Estado dos painéis solares e estrutura	• Situação face ao projecto inicial; • Limpeza e verificar a presença de danos que afectem a segurança e protecções; • Revisão de danos na estrutura de suporte;	12 meses	6 meses

	• Verificar o estado de deterioração devido aos agentes ambientais.		
Inversores	• Analisar o estado de funcionamento; • Estado dos indicadores luminosos/visor e alarmes.	12 meses	6 meses
Equipamentos de segurança e protecção	• Verificação dos terminais, caixa de medição e vareta de terra; • Teste do funcionamento dos interruptores de corte; • Teste do funcionamento dos disjuntores; • Verificação do estado dos fusíveis.	12 meses	6 meses
Equipamentos de monitorização	• Calibração e limpeza dos aparelhos de medição; • Analisar o funcionamento e calibração do sistema de aquisição de dados; • Verificação do sistema de armazenamento de dados.	12 meses	12 meses

Informações institucionais e do curso			
Instituição			
Curso	Energia Fotovoltaica		
Nível	CV		
Horas			
Formador(s)			
UC 4	COMISSIONAR O SISTEMA FOTOVOLTAICO		
Conteúdo analítico do módulo	ESTUDO DE CASO		
	RECURSOS		
	Comissionamento		
	Verificação da instalação		
	Testes do sistema fotovoltaico		
	Ligação à rede		
	Documentação e entrega		
	Monitorização de desempenho		
	Mapa de quantidades e orçamento		
	Exercícios de aplicação		
Tipo de aula	Distribuição de responsabilidades no processo de ensino e aprendizagem		
	Aula teórica	Aula prática	Estudo individual
	Formador(s)	Formador e formandos	Formando em regime autónomo
Bibliografia recomendada	MANUAL DE ENERGIA FOTOVOLTAICA		

8. COMISSIONAR O SISTEMA FOTOVOLTAICO

O comissionamento do sistema fotovoltaico é a fase final e crucial de testes e verificações após a instalação, garantindo que todos os componentes dos blocos de geração, armazenamento e conversão funcionem correctamente, de forma segura e eficiente, de acordo com o projecto, as normas e regras técnicas, antes da energização e entrega ao cliente, assegurando desempenho, durabilidade e retorno do investimento.

8.1. ESTUDO DE CASO

O IFPELAC CFP, localizado na Machava, possui reservatórios de água posicionados a altura de 1 metro do solo e pretende migrar a alimentação destas bombas da rede da EDM para fonte de energia solar fotovoltaica, para alimentar de 4 bombas de água, dentre as quais uma é submersível e três electrobombas convencionais para bombear a água para os diferentes pontos de aplicação (1 CV = 736 W / 1 = 746 W, área da cobertura: 15 m²).

A utilização de água ocorre nos seguintes intervalos de tempo do dia: bomba submersível: 6.5 HP – 8 horas, electrobombas: 2.5 CV – [6:00-8:00H, 12:00-14:00H, 16:00-18:00H], na partida a bomba demanda 25% acima da potência nominal.

Hoje você(s) foi(ram) convidados(as) a elaborar e submeter uma proposta de comissionamento: elabora o plano de comissionamento, aliste as medidas de segurança a aplicar durante a montagem do sistema, elabore o mapa de quantidades dos equipamentos para a montagem do sistema solar, analise a viabilidade financeira e elabore o plano de manutenção do sistema.

“Durante a realização da actividade, as tarefas técnicas e de liderança devem ser distribuídas de forma equitativa entre mulheres e homens, garantindo que todas as pessoas utilizem as ferramentas, realizem os cálculos e participem na apresentação dos resultados”

8.2. Comissionamento do sistema fotovoltaico



Figura 71. Comissionamento do sistema fotovoltaico

Fonte: CAPROSOL, 2023

O comissionamento de um sistema fotovoltaico, implica a verificação de que está instalado correctamente e opera como esperado, garantindo segurança, desempenho e fiabilidade. Este processo inclui inspeções, testes e verificações para confirmar a conformidade com as especificações de projecto e as normas regulamentares. Este processo envolve:

8.2.1. Verificação da instalação

- Verificações de conformidade, garantir que o sistema está em conformidade com os códigos e regulamentos locais e nacionais.
- Integridade mecânica e estrutural, verificar se os painéis solares, baterias, inversores e estruturas de montagem estão bem fixos e instalados correctamente.
- Ligações eléctricas, verificar se todas as ligações eléctricas estão seguras e devidamente apertadas.

8.2.2. Testes do sistema

- Testes funcionais, verifique se os componentes individuais, como painéis solares, baterias, inversores e sistemas de monitorização, funcionam correctamente.
- Testes de desempenho, meça o desempenho do sistema em relação às especificações de projecto, incluindo a produção e a eficiência energética.
- Testes de segurança, realize testes para garantir que o sistema está seguro para operar, incluindo ligação à terra, isolamento e protecção contra sobrecorrente.

8.2.3. Ligação à rede

- Integração da rede, ligue o sistema fotovoltaico à rede eléctrica, para caso de inversores híbridos.
- Sincronização, garanta que o sistema está correctamente sincronizado com a rede, cumprindo os requisitos da rede.

8.2.4. Documentação e entrega

- Manutenção de registos, documente todos os testes, inspeções e atividades de comissionamento.
- Formação das pessoas operadoras e utilizadoras — fornecer formação às mulheres e aos homens responsáveis pela utilização, acompanhamento ou manutenção do sistema. A formação deve abranger operação segura, manutenção básica, identificação de falhas, desligamento de emergência e contactos para assistência técnica.
- Entrega do sistema — entregar o sistema à pessoa proprietária ou responsável, juntamente com a documentação, garantias, contactos de assistência e instruções de segurança. Sempre que o sistema seja utilizado por várias pessoas, todas as principais pessoas utilizadoras devem participar na sessão de entrega.

8.2.5. Monitorização de desempenho

- Monitorização contínua, monitorize o desempenho do sistema e identifique possíveis problemas.
- Análise de dados, analise os dados de desempenho para otimizar o funcionamento do sistema e identificar áreas de melhoria.

9. MAPA DE QUANTIDADES E CUSTO

Item no.	Descrição de Bens/Equipamentos	un (Unidade)	Quantidade Requerida	Informações adicionais	Moeda	Custo Parcial	Custo total
1	Painel Solar 720 W (JA)	un	56	-	MZN	19998,69	1 119 926,72
2	Conectores MC4 - Macho	un	56	-	MZN	182,63	10 227,28
3	Conectores MC4 - Femea	un	56	-	MZN	182,63	10 227,28
4	Condutor solar PV vermelho – 4 mm2	un	3x100 m	-	MZN	151,00	43 300,00
5	Deye hybrid Inverter 3.6kW/SUN-3.6K - Single Phase Hybrid InveterMPPT Voltage Range: 2-425 Vdc / N° MPPT/N° Strings por MPPT: 2/1+1	un	1	-	MZN	102 066,66	102 066,66
6	PV BOX 4 IN / 1 OUT (String Box) 250VDC	un	2	-	MZN	20 000,00	40 000,00
7	Estrutura de suporte sobre laje	un	38	-	MZN	400,00	15 200,00
9	Freedom Won eTower LiFePO4 Battery 5kWh/52V	Un	24	-	MZN	80 212,68	1 925 102,88
10	25MM² AC CABLE CORE SURFIX	un	10 m	-	MZN	977,16	9 771,60
12	10MM² GREEN & YELLOW GENERAL PURPOSE HOUSE WIRE	un	100	-	MZN	246,24	24 624,00
13	63A 4P 6kA C-CURVE MCB	un	1	-	MZN	3 516,44	3 516,44
						Subtotal MZN * * * * *	
						IVA MZN * * * * *	
						Total MZN * * * * *	

9.1.1. Exemplo de cotação de um sistema fotovoltaico

COTAÇÃO



Logos Indústrias, Lda.

NUIT 400109575 Email contabilidade@logosindustries.com
Tel +258 21 40 63 28 Email vendas@logosindustries.com

Maputo	3437/11/05/GR/2013	+258 21 406 335	Avenida da Namaacha, nº 492, Bairro Luis Cabral, Maputo
Zimpeto	12513/11/01/GR/2017	+258 20 032 368	Av. de Mocambique, nº 1789, Complexo Zimpeto Retail Park, R/C Loja 1, Zimpeto
Maxixe	507/08/01/GR/2017	+258 29 330 193	Avenida Américo Boavida, nº 208, Bairro Chambone 6, Maxixe, Inhambane
Beira	1430/07/01/RT/2017	+258 23 355 080	Rua do Algarve, nº 6406, Bairro Pioneiros, Zona Industrial, Beira
Nampula	772/03/01/GR/2016	+258 26 214 895	Rua de Unidade, nº 106, Bairro Napipine, Nampula

Conta No. CS0003
Nome GFA-CPE
Endereço MAPUTO
JAN ROGGE
833062578

COTAÇÃO NO. 00102625

Data: 04/02/2026
Vendedor: COUNTER MAPUTO
NUIT do Cliente:

Código Postal:
Referência:

Página: 1

Código	Descrição	Unidade	Qtd.	Valor Unitário	Desconto %	Valor IVA Excl	IVA 16%	Total IVA Incl
FSPJ440W	JA SOLAR PANEL 440W JAM54D40	EA	1.00	7993.10	0.00	7993.10	1278.90	9272.00
FSBHXG100K	KUIPER 12V 100AH DEEP CYCLE	EA	4.00	9969.83	0.00	39879.32	6380.69	46260.01
FSBLFP100K	KUIPER 12V 100AH LITHIUM BAT	EA	4.00	19698.28	0.00	78793.12	12606.90	91400.02
FSBC35B/1M	35MM BATTERY CABLE BLACK /ME	EA	50.00	773.28	0.00	38664.00	6186.21	44850.21
FSBC35R/1M	35MM BATTERY CABLE RED /METE	EA	50.00	773.28	0.00	38664.00	6186.21	44850.21
FELS35X8	LUG CRIMP 35MM X 8MM	EA	1.00	77.59	0.00	77.59	12.41	90.00
SCC115110411	SMARTSOLAR MPPT 150/100 - TR	EA	1.00	58842.24	0.00	58842.24	9414.76	68257.00
SCC115085411	SMARTSOLAR MPPT 150/85-TR VE	EA	1.00	32191.38	0.00	32191.38	5150.62	37342.00
PIN242201000	PHOENIX INVERTER 24/2000 230	EA	1.00	43662.07	0.00	43662.07	6985.93	50648.00
PIN241371200	INVERTER 24/375 230V VE.DIRE	EA	1.00	10906.90	0.00	10906.90	1745.10	12652.00
CBL6RBC	SOLAR CABLE PER METER - 6MM	EA	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
CBL6BBC	SOLAR CABLE PER METER - 6MM	EA	100.00	100.00	0.00	10000.00	1600.00	11600.00
BY7-40/2-1000D	40KA 2P 1000VDC PV SURGE ARR	EA	1.00	2798.28	0.00	2798.28	447.72	3246.00
KC6-LD-232	32A 2P 6KA DC M/C/BREAKER	EA	1.00	3806.03	0.00	3806.03	608.97	4415.00
MC4MF	MC4 CONNECTORS PAIR	EA	4.00	218.97	0.00	875.88	140.14	1016.02
FUSE20A	PV FUSE 1000VDC 20A 10X38	EA	1.00	335.34	0.00	335.34	53.66	389.00
FUSEH20A	FUSE HOLDER 1000VDC 20A 10X3	EA	1.00	317.24	0.00	317.24	50.76	368.00
K2-2004211	MINIRAIL MK2 SET	EA	12.00	687.93	0.00	8255.16	1320.83	9575.99

PROCESSADO POR COMPUTADOR

Continua na página: 2

APROVAÇÃO INTERNA

Assinatura do
Representante de Logos:

ACEITAÇÃO DE COTAÇÃO

Nome do Cliente:
Assinatura do Cliente:



TERMOS DE PAGAMENTO

CASH ON DELIVERY

NOTAS

Quotação válida por 5 dias.
Pagamentos a cheque não serão aceites, para clientes não registados.
Variações cambiais podem influenciar nos preços cotados.



10. CONCLUSÃO

Com o término do desenvolvimento do “**Manual de Energia Fotovoltaica CV2**”, concluiu – se que:

- Os tópicos desenvolvidos desde o início do manual até o término da fase de desenvolvimento, são essenciais tanto para a ampliação quantitativa, como qualitativa dos conhecimentos dos usuários do manual. A utilização de normas técnicas e regulamentos aplicáveis para o dimensionamento de sistema fotovoltaicos foi fundamental para a elaboração do manual com vista a garantir o bom funcionamento, a segurança dos utentes, dos electrodomésticos, do sistema fotovoltaico e eléctrico;
- O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para alimentação cargas, revelou – se ser viável pelo facto do Sol ser uma energia inesgotável, por possuir potencial para minimizar o consumo de energia eléctrica, garantir a descentralização da produção de energia eléctrica, assegurar confiabilidade no fornecimento de energia e por servir de impulsionador na implementação desta fonte de energia em Moçambique, onde os estudantes dos Institutos Técnicos de Formação Profissional, serão capacitados para trabalhar com energia fotovoltaica, assim que estudam e aplicam o conhecimento partilhado neste manual;
- A inclusão das perdas do sistema nos cálculos do sistema fotovoltaico, contribuiu para o garante da manutenção da eficiência energética durante o funcionamento do sistema fotovoltaico, visto que, a medida que o tempo passar, os equipamentos sofrerão degradação;
- Ensuma, este manual é de extrema importância para aqueles que desejam estar capacitados para o mercado de energia fotovoltaica, pois ele possibilita a transmissão, ampliação quantitativa como qualitativa dos conhecimentos de sistemas fotovoltaicos, desde a concepção até a montagem.
- A integração da igualdade de género e inclusão na formação contribui para ampliar o acesso de mulheres e homens às competências e oportunidades profissionais do sector fotovoltaico. A implementação do manual deve, por isso, assegurar participação equitativa nas actividades práticas, acesso adequado

aos equipamentos de protecção e um ambiente de aprendizagem livre de discriminação, assédio e violência.

11. RECOMENDAÇÕES

- Na fase de execução do sistema fotovoltaico, deve – se garantir que as massas da instalação fiquem inacessíveis aos utentes e devidamente ligadas à terra;
- Em caso de ocorrência de uma avaria na instalação, o técnico responsável pela reparação, deverá primeiro garantir a sua protecção pessoal e proceder com a avaliação da avaria, de modo a obter a causa e a solução da mesma, caso não chegue a uma solução em relação a avaria, deverá solicitar os esquemas do circuito com defeito para o auxiliarem no diagnóstico da avaria;
- A manutenção do banco de baterias do sistema fotovoltaico, deverá ser feita através da medição da tensão total nos terminais do banco de baterias e parcialmente em cada bateria com multímetro e com o regulador de carga desligado, de forma avaliar a autonomia das baterias;
- De forma a incentivar o uso de energias renováveis na alimentação de cargas e sistemas eléctricos, e garantia de uma fonte de energia alternativa, é fundamental que sejam traçadas estratégias inerentes a divulgação da área de energias renováveis, assim como a criação de políticas de incentivo fiscal e financeiro por parte do governo para mais exploração desta área de energias renováveis nos CFPs.
- Protecção contra contactos directos e indirectos, a protecção das pessoas contra contactos directos e indirectos com partes activas de materiais ou aparelhos, deverá ser assegurada pela ligação à terra de todas as partes activas do sistema fotovoltaico;
- Canalizações eléctricas, os condutores serão instalados em calhas (apoiando-se da estrutura de suporte, se assim julgar-se conveniente);
- Sistema de ligação à terra, a ligação das massas da instalação à terra será feita através de um conductor com alma conductora de cobre e secção nominal igual a 16 mm² conectado a um eléctrodo de terra à uma profundidade igual a 0.80 m e na fase de execução do sistema fotovoltaico, deve – se garantir que as massas da instalação fiquem inacessíveis aos utentes e devidamente ligadas à terra;
- Identificação dos condutores (sinalização), positivo (+), negativo, condutor de terra (PE) em verde/claro;

- Protecção contra vandalizações, durante a instalação do sistema fotovoltaico, deverá garantir rigidez mecânica contra vandalizações, uso de sistema de grades será crucial para o êxito.
- Os Centros de Formação Profissional devem promover o acesso equitativo de mulheres e homens aos cursos de energia fotovoltaica e assegurar que todas as pessoas formandas participem nas actividades de cálculo, medição, montagem, manutenção e utilização de ferramentas.
- Os dados de inscrição, frequência, conclusão, avaliação e participação nas actividades práticas devem ser desagregados por sexo, permitindo identificar e corrigir eventuais desigualdades.
- Os formadores devem prevenir e comunicar situações de discriminação, assédio ou violência, assegurando um mecanismo confidencial através do qual as pessoas formandas possam apresentar preocupações ou reclamações.
- Os equipamentos de protecção individual devem estar disponíveis em tamanhos e modelos adequados às diferentes características físicas das pessoas formandas.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CASISOL. *Capacitação em Sistemas Solares*. 2ª Edição. Lidhambo Energia (Javit Educação). 120 Páginas
- [2] MATIAS, J. *Dicionário de Electricidade*. Marco 2007. 19 Páginas.
- [3] PERREIRA, Filipe Alexandre de Sousa e OLIVEIRA, Manuel Angelo Sarmento. *Curso Técnico Instalador de Energia Fotovoltaica*. 2ª Edição. Porto. Publindústria, Edições Técnicas. 2015. 395 Páginas.
- [4] Norma IEC 61643-32:2017 – descreve os princípios para a seleção, instalação e coordenação de Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) em sistemas fotovoltaicos (FV) de corrente contínua (CC), até 1500 V CC. A norma também cobre o lado CA dos sistemas FV até 1000 V CA e aplica-se a instalações em telhados e no solo, como usinas solares de grande porte.
- [5] Norma alemã VDE 0100-712 – estabelece requisitos para a construção de sistemas de alimentação fotovoltaica, sendo a perda de tensão máxima admissível nos cabos DC limitada entre 1 e 3% da tensão nominal sob condições de referência (STC).
- [6] Norma europeia IEC 62548, também conhecida como EN 62548 na Europa – estabelece os requisitos de projeto para arrays fotovoltaicos (PV) e é usada para garantir a segurança e confiabilidade de sistemas solares. Ela abrange a instalação de sistemas conectados à rede e isolados, instalações em telhado e no solo, e sistemas para uso residencial, comercial e industrial.
- [7] PINHO, Joao Tavares e GALDINO, Marco Antonio. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Edição Revisada e Atualizada. Rio de Janeiro. 2014. 529 Páginas.
- [8] RSICEE – Regulamento de Segurança das Instalações Colectivas de Edifícios e Entradas.
- [9] RSIUEE – Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Eléctrica.
- [10] RSRDEEBT – Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão.

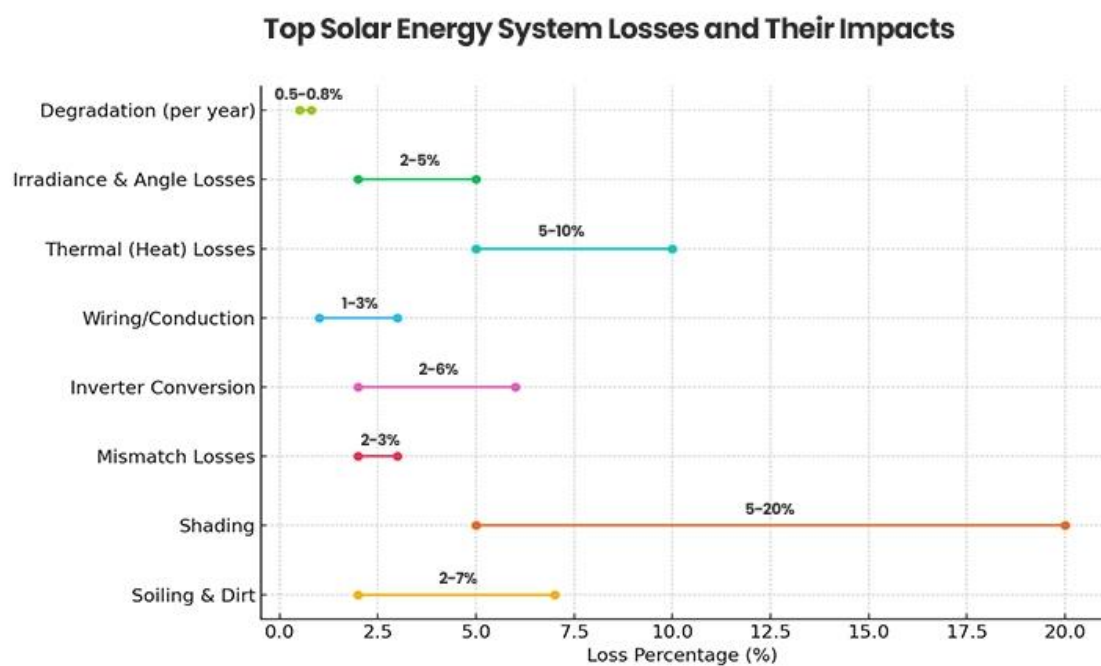
[11] RTIEBT – Regras Técnicas de Instalações Eléctricas em Baixa Tensão.

12.1. Sites acedidos

- [1] www.resumoescolar.com.br/fisica/energia-eletrica-definicao-desoberta-e-pratica/.
- [2] <https://catalogue.k2-systems.com/media/ab/1d/f3/Product-Brochure-en.pdf>
- [3] <https://canalsolar.com.br/sistema-rapido-de-aterramento-e-equipotencializacao-de-modulos-fotovoltaicos/>
- [4] <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=mozambique>
- [5] <https://www.deyeinverter.com/product/three-phase-high-voltage-hybrid-inverter/sun29-9-30-35-40-50ksg01hp3eubm3-4-29-950kw-three-phase-2-3-4-mppt-hybrid-inverter-hv-battery-supported-339.html>
- [6] <https://ratedpower.com/blog/utility-scale-pv-losses/>

13. ANEXOS

Anexo 1: Perdas no sistema solar fotovoltaico



Anexo 2: Inversor híbrido trifásico da Deye

Three Phase Hybrid Inverter

SUN-29.9/30/35K-SG01HP3-EU-BM3

SUN-40/50K-SG01HP3-EU-BM4



Deye

Stock Code: 605117.SH

- 100** 100% unbalanced output, each phase
-  AC couple to retrofit existing solar system
- 10** Max. 10 pcs parallel for on-grid and off-grid operation; Support multiple batteries parallel
- 100** Max. charging/discharging current of 100A
- H** High voltage battery, higher efficiency
- 6** 6 time periods for battery charging/discharging
-  Support storing energy from diesel generator

Technical Data

www.deyeinverter.com

Model	SUN-29.9K-SG01HP3 -EU-BM3	SUN-30K-SG01HP3 -EU-BM3	SUN-35K-SG01HP3 -EU-BM3	SUN-40K-SG01HP3 -EU-BM4	SUN-50K-SG01HP3 -EU-BM4
Battery Input Data					
Battery Type	Lithium-ion				
Battery Voltage Range (V)	160-800				
Max. Charging Current (A)	50+50				
Max. Discharging Current (A)	50+50				
Charging Strategy for Li-ion Battery	Self-adaption to BMS				
Number of Battery Input	2				
PV String Input Data					
Max. PV Input Power (W)	38870	39000	45500	52000	65000
Max. PV Input Voltage (V)	1000				
Start-up Voltage (V)	180				
MPPT Voltage Range (V)	150-850				
Rated PV Input Voltage (V)	600				
Max. Operating PV Input Current (A)	36+36+36			36+36+36+36	
Max. Input Short-Circuit Current (A)	55+55+55			55+55+55+55	
No. of MPP Trackers/ No. of Strings per MPP Tracker	3/2+2+2			4/2+2+2+2	
AC Input/Output Data					
Rated AC Input/Output Active Power (W)	29900	30000	35000	40000	50000
Max. AC Input/Output Apparent Power (VA)	29900	33000	38500	44000	55000
Rated AC Input/Output Current (A)	45.4/43.4	45.5/43.5	53.1/50.8	60.7/58	75.8/72.5
Max. AC Input/Output Current (A)	45.4/43.4	50/47.9	58.4/55.8	66.7/63.8	83.4/79.8
Max. Continuous AC Passthrough (grid to load) (A)	200				
Peak Power (off-grid) (W)	1.5 times of rated power, 10s				
Power Factor Adjustment Range	0.8 leading to 0.8 lagging				
Rated Input/Output Voltage/Range (V)	220/380V, 230/400V 0.85Un-1.1Un				
Rated Input/Output Grid Frequency/Range(Hz)	50/45-55, 60/55-65				
Grid Connection Form	3L+N+PE				
Total Current Harmonic Distortion THDi	<3% (of nominal power)				
DC Injection Current	<0.5% In				
Efficiency					
Max. Efficiency	97.60%				
Euro Efficiency	97.0%				
MPPT Efficiency	>99%				
Equipment Protection					
Integrated	DC Polarity Reverse Connection Protection, AC Output Overcurrent Protection AC Output Overvoltage Protection, AC Output Short Circuit Protection, Thermal Protection DC Terminal Insulation Impedance Monitoring, DC Component Monitoring, Ground Fault Current Monitoring Power Network Monitoring, Island Protection Monitoring, Earth Fault Detection, DC Input Switch Overvoltage Load Drop Protection, Residual Current (RCD) Detection, Surge protection level				
Surge Protection Level	TYPE II(DC), TYPE II(AC)				
Interface					
Communication Interface	RS485/RS232/CAN				
Monitor Mode	GPRS/WIFI/Bluetooth/4G/LAN(optional)				
General Data					
Operating Temperature Range (°C)	-40 to +60°C, >45°C Derating				
Permissible Ambient Humidity	0-100%				
Permissible Altitude	2000m				
Noise (dB)	≤65				
Ingress Protection(IP) Rating	IP 65				
Inverter Topology	Non-Isolated				
Over Voltage Category	OVC II(DC), OVC III(AC)				
Cabinet Size (WxHxD mm)	527×894×294 (Excluding Connectors and Brackets)				
Weight (kg)	80				
Type of Cooling	Intelligent Air Cooling				
Warranty	5 Years/10 Years the Warranty Period Depends the Final Installation Site of Inverter, More Info Please Refer to Warranty Policy				
Grid Regulation	IEC 61727, IEC 62116, CEI 0-21, EN 50549, NRS 097, RD 140, UNE 217002, OVE-Richtlinie R25, G99, VDE-AR-N 4105				
Safety / EMC Standard	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2				

Deye

Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd.

Address: No. 26 South YongJiang Road, Daqi, Beilun, NingBo, Zhejiang, China. | Tel: +86 (0)574 86228841 | E-mail: market@deye.com.cn

Anexo 3: Folha de dados do painel solar de 720 W

Harvest the Sunshine

720W





JAM66D46 LB

n-type Double Glass Bifacial Modules

Premium Cells

n-
Bycium+

18BB

MBB Half-Cell
Technology

26%

Up To

Cell Conversion
Efficiency

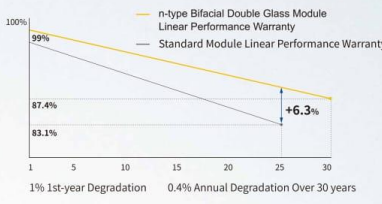
Premium Modules

Higher power generation better LCOE

Better Temperature Coefficient

n-type with very Lower LID

Better low irradiance response



1% 1st-year Degradation 0.4% Annual Degradation Over 30 years

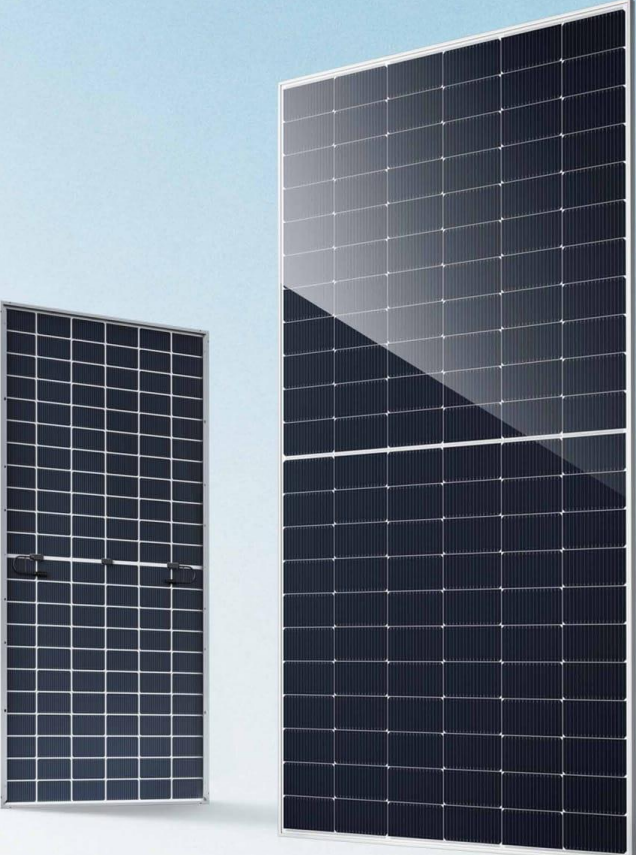
12-year product warranty

30-year linear power output warranty

*Remark: The performance warranty applies at STC condition.

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC 62941: 2019 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Quality system for PV module manufacturing

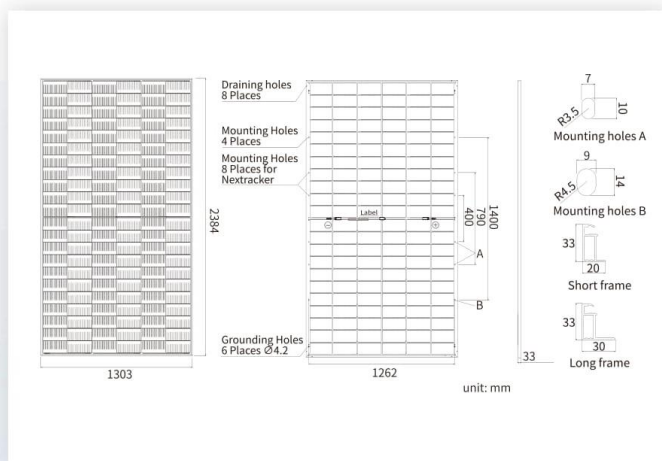







JAM66D46 LB

n-type Double Glass Bifacial Modules



MECHANICAL PARAMETERS

Cell	Mono
Weight	38.2kg
Dimensions	2384mm × 1303mm × 33mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC), 12 AWG(UL)
No. of cells	132(6 × 22)
Junction Box	IP68, 3diodes
Connector	Stäubli PV-KST4-EVO2A/xy, PV-KBT4-EVO2A/xy QC Solar QC4.10-351/ QC4.10-35
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400mm(+)/200mm(-) Landscape: 1400mm(+)/1400mm(-)
Front Glass/Back Glass	2.0mm/2.0mm
Packaging Configuration	33pcs/Pallet, 594pcs/40HQ Container
Country of Manufacturer	China/Vietnam

Remark: customized frame color and cable length available upon request

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC and BNPI

	JAM66D46 -695/LB STC BNPI	JAM66D46 -700/LB STC BNPI	JAM66D46 -705/LB STC BNPI	JAM66D46 -710/LB STC BNPI	JAM66D46 -715/LB STC BNPI	JAM66D46 -720/LB STC BNPI
TYPE						
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	695 765	700 770	705 775	710 780	715 785	720 795
Open Circuit Voltage (V _{oc}) [V]	48.00 48.00	48.20 48.20	48.40 48.40	48.60 48.60	48.80 48.80	49.00 49.00
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	40.22 40.22	40.42 40.42	40.61 40.61	40.80 40.80	41.00 41.00	41.19 41.19
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	18.39 20.24	18.43 20.27	18.47 20.30	18.51 20.33	18.55 20.37	18.59 20.52
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	17.28 19.03	17.32 19.05	17.36 19.09	17.40 19.12	17.44 19.15	17.48 19.30
Module Efficiency [%]	22.4	22.5	22.7	22.9	23.0	23.2
Short Circuit Current (I _{sc}) [A] at BSI	22.62	22.64	22.66	22.68	22.83	22.88
Power Tolerance	0~+3%					
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.250%/°C					
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.290%/°C					

STC Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5GBNPI Front Irradiance 1000W/m², rear Irradiance 135W/m²BSI Front Irradiance 1000W/m², rear Irradiance 300W/m²

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.

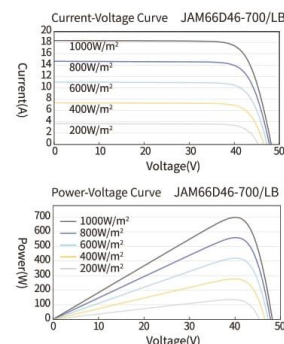
They only serve for comparison among different module types.

Measurement tolerance at STC and BNPI: P_{max}±3%, V_{oc}±3%, I_{sc}±5% and the tolerance of I_{sc} at BSI: ±5%.ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH 10% Bifacial Gains and Low Irradiance Of 200W/m²

	JAM66D46 -695/LB 10% 200W/m ²	JAM66D46 -700/LB 10% 200W/m ²	JAM66D46 -705/LB 10% 200W/m ²	JAM66D46 -710/LB 10% 200W/m ²	JAM66D46 -715/LB 10% 200W/m ²	JAM66D46 -720/LB 10% 200W/m ²
TYPE						
Rated Max Power(P _{max}) [W]	751 137	756 138	761 139	767 140	772 141	778 141
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	48.00 45.20	48.20 45.38	48.40 45.58	48.60 45.76	48.80 45.95	49.00 46.10
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	40.22 39.10	40.42 39.27	40.61 39.44	40.80 39.60	41.00 39.77	41.19 39.86
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	19.86 3.68	19.90 3.69	19.95 3.70	19.99 3.70	20.03 3.71	20.08 3.71
Max Power Current(I _{mp}) [A]	18.66 3.50	18.71 3.51	18.75 3.51	18.79 3.52	18.84 3.53	18.88 3.55
Irradiation Ratio (rear/front)	10%					
Low Irradiance	(200±2) W/m ² , module at (25±2) °C					

** For NextTracker installations, maximum static load please take compatibility approve letter between JA Solar and NextTracker for reference.

CHARACTERISTICS



OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1500V DC
Operating Temperature*	-40°C~+70°C
Maximum Series Fuse Rating	35A
Maximum Static Load, Front**	3600Pa, 1.5
Maximum Static Load, Back**	1600Pa, 1.5
NOCT	45±2°C
Bifaciality	φP _{max} (80±5)%, φV _{oc} (98±5)%, φI _{sc} (80±5)%
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 29/Class C

*PV module 98th percentile operating temperature : 70°C

JA SOLAR

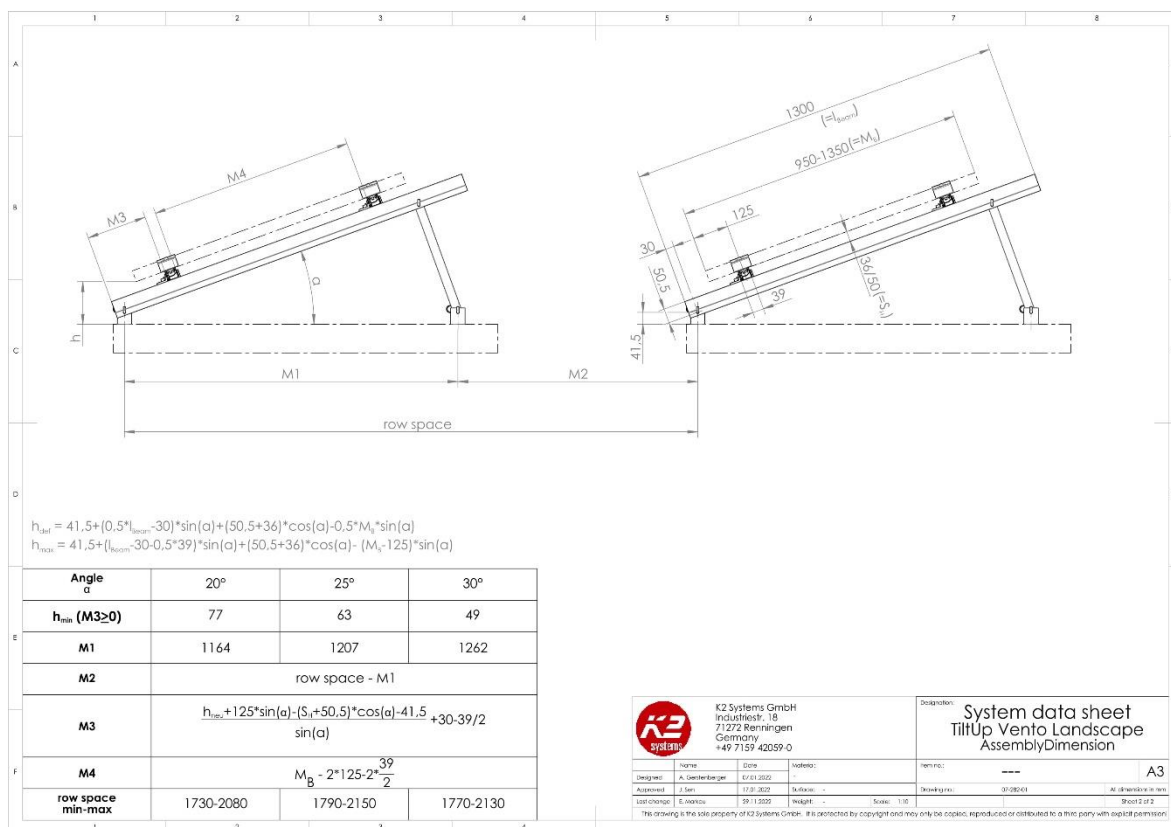
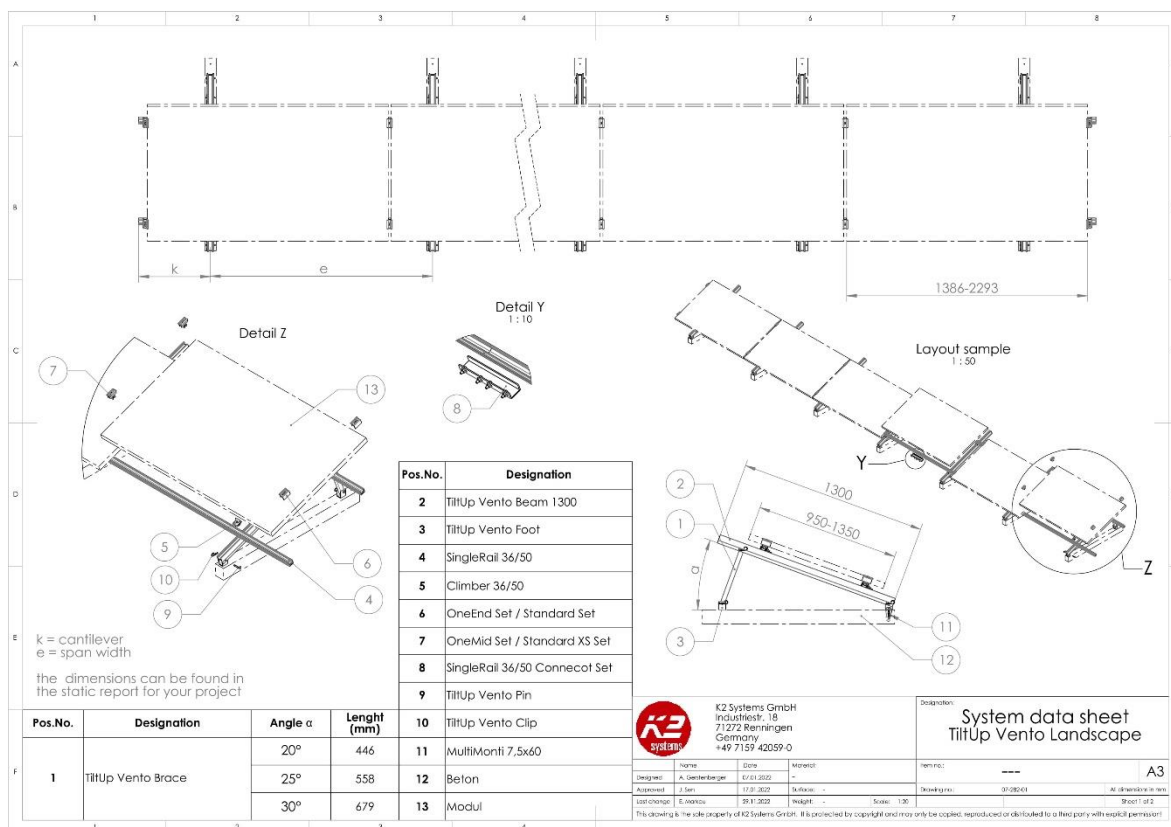
Headquarters

JA Solar Technology Co., Ltd.
No. 8 Building, Nuode Center, No.1 Courtyard, East Auto Museum Road,
Fengtai District, Beijing
Tel: +86 10 6361 1888 Fax: +86 10 6361 9999
E-mail: sales@jasolar.com marketing@jasolar.com www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests.
JA Solar reserves the right of final interpretation.

Version No. : Global-EN-20250711A

Anexo 4: Assessórios dos sistemas K2



Anexo 5: Folha de dados da bateria won e-tower

eTOWER RANGE

Range Overview Specification Sheet

The following specifications pertain to the Freedom Won eTower modular stackable LiFePO₄ battery, designed for smaller residential and light commercial applications with options of 1, 2, 3, 4, 5 or 6 modules in a tower per system.

	1 x e5000	2 x e5000	3 x e5000	4 x e5000	5 x e5000	6 x e5000
Total Energy Capacity [kWh]	5	10	15	20	25	30
Energy, 80% DoD [kWh] ¹	4	8	12	16	20	24
Energy, 90% DoD [kWh] ¹	4.5	9	13.5	18	22.5	27
Current Capacity [Ah]	100	200	300	400	500	600
Max/Cont. Charge Current [A] ²	80/70	164/126	246/189	288/252	360/335	432/378
Max/Cont. Charge Power [kW] ²	4.2/3.5	7.5/6.6	11.2/9.8	15/13.1	18.2/16.3	22.5/19.7
Max/Cont. Discharge Current [A] ²	100/90	180/160	270/240	360/320	450/400	540/480
Max/Cont. Discharge Power [kW] ²	5.2/4.7	9.4/8.4	14/12.6	18.3/16.8	23.4/21	28/25.2
Max Recommended Inverter Total Rated Power [cont.] [kVA]	5	10	15	20	25	30
Nominal Voltage [V]	52V, to suit 48V Inverters; min 47V; max 56V. *Do not connect modules in series (for high voltage batteries, refer to Freedom Won LITE HV ranges).					
Dimensions when e5000 placed horizontally: H x W x D [mm] (Front to rear)	Single unit with pedestal: 247x460x463	2 module tower with pedestals: 478x460x463	3 module tower with pedestals: 711x460x463	4 module tower with pedestals: 943x460x463	5 module tower with pedestals: 1180x460x463	6 module tower with pedestals: 1417x460x463
Dimensions (excluding busbars on front) [mm]	Single unit without pedestal: 222x460x443					
Module Height equates to 9U (U = standard 1U" rack unit) [mm]	247	478	711	943	1180	1417
Crated Dimensions - H x W x D [mm]	TBC	TBC	TBC	TBC	TBC	TBC
Combined Weight [kg]	45	90	135	180	225	270
Crated Weight [kg]	TBC	TBC	TBC	TBC	TBC	TBC
Installation Method	Stacked horizontally onto each other to form a tower with pedestals included, (one per module) or 19" rack mounted with brackets (cabinet excluded). Vertical mounting on floor or wall/shelf/bracket with terminals facing upwards also acceptable. Generally up to 4 x e5000s per system (for larger capacity requirements, see Freedom Won LITE ranges).					

eTOWER RANGE

Range Overview Specification Sheet

	1 x e5000	2 x e5000	3 x e5000	4 x e5000	5 x e5000	6 x e5000
Enclosure	Steel - painted white, rated for indoor use only, out of direct sun and away from other heat sources.					
DC Connection - Integrated Terminals on Front	2 x M6 bolts each for positive and for negative terminals for DC leads to inverter and busbars for connection of parallel e5000s in tower or rack configuration.					
Tower Interconnecting Busbars - minimum cross section area [mm²] *busbars included - see included accessories	70 (7mm x 4mm busbar available in accessories) *Note that the Freedom Won busbar accessories are designed for the pedestal tower dimensions, not for 19" rack mounting, which has different spacing.					
Communication and Control Interfaces (See manual for further details)	- CAN Bus (RS485 Socket x 1) - for interfacing with compatible inverters and system controllers (the eTower is fully compatible with all common CAN bus compatible brands). - RS485 (RS485 Socket x 1) - for interfacing with the Volttronix Agent range of inverters equipped with a RS485 lithium battery interface and the applicable firmware. - RS232 (RS485 Socket x 1) - for interfacing with a PC for firmware and setting updates (only by Freedom Won technicians). - RS485 (RS485 x 2) - for the communication connection of parallel batteries up to four in tower. - Digital Outputs x 2 - for controlling external relays based on pre-set functions.					
Protection	Internal electronic protection including overcurrent, cell under and over voltage, temperature out of range, weak cell detection, minimum SOC control, active voltage based charge current limiting. *DO NOT short circuit or connect in reverse polarity.					
Human Interface	- State of Charge Display (0 to 100% indicated by six green LEDs) - Alarm LED (red) - Run LED (green) - On LED (green) - BMS Reset Button - Main On/Off Switch - Serial RS232 plug for programming via PC (by Freedom Won only) - Dip Switch block for selecting module addresses					
Warranty ³	10 years limited warranty					
Service Life ⁴	>15 years					
Included Accessories	- Plastic pedestal for tower stacking (cleats for 19" rack not included but available from Freedom Won if required). - DC cables standard 1.8m long in 35mm² single core with M6 terminal lugs on one end, red for positive and black for negative. - Interconnecting tower busbars drilled and cut to length for single tier jumps using tower pedestals, with heat shrink covering, red for positive and black for negative. - Interconnecting RS485 parallel battery communication cables for tier connecting the tower modules (communication RS485 sockets (standard ethernet cables may also be used). - Inverter interface CAN Bus cable at 1.8m length for connecting compatible CAN bus equipped Victron inverters. - Inverter interface CAN Bus cable at 1.8m length for connecting compatible CAN bus equipped Type 1 inverters, e.g. Sunsynk, Growatt, Solis, Goodwe (see Freedom Won Interfacing Guide for full details). - Inverter interface RS485 cable at 1.8m length for connecting Volttronix Agent inverters.					
Packaging	One e5000 per cardboard box complete with above included accessories					
Certificate of Compliance	UN 38.3 / IEC 62619					

Notes to Specification Sheet

- DoD = Depth of Discharge, max recommended 90% DoD, recommended 80% DoD for average daily discharge, 70% DoD on average for optimal life. Max permissible DoD is 100%.
- Max discharge and charge (current and power) duration - 5 minutes per 30-minute cycle.
- Refer to eTower warranty document for further details.
- Assumed moderate cycling and ideal conditions of temperature, charge and discharge rates, and depth of discharge per cycle.

DISTRIBUTORS AND RESELLERS

Contact your nearest Accredited Freedom Won Distributor or Reseller Installer for further sales and technical support.

Plug into The Current Future

www.freedomwon.co.za

Last Update: 01-Dec-23 - Property of Freedom Won (Pty) Ltd

2

Anexo 6: Baterias

Tabela 30. As características das baterias de chumbo-ácido (VRLA), Gel / AGM, Íon-lítio (LFP) e Íon-lítio (NMC)

Parâmetro	Baterias de chumbo-ácido (VRLA)	Gel / AGM	Íon-lítio (LFP)	Íon-lítio (NMC)
Tensão da célula (nominal)	~2,0 V (célula única)	~2,0 V	3,2 V	3,6–3,7 V
Tensão do sistema (típica)	12 V / 24 V / 48 V	12 V / 24 V / 48 V	48 V–400 V	48 V–400 V
Descarga profunda (DOD)	30–50%	30–50%	80–90%	80–90%
Estado de carga (SOC) e tensão	100% ≈ 2,25 V/célula 50% ≈ 1,98 V/célula	Semelhante ao chumbo-ácido	100% ≈ 3,6–3,65 V/célula 50% ≈ 3,3 V/célula	100% ≈ 4,1 V/célula 50% ≈ 3,7 V/célula
Ciclos de carregamento (típicos)	300–600	300–600	3000–6000	1000–3000
Densidade energética (Wh/kg)	30–50	30–50	90–160	150–250
Eficiência (ida e volta)	70–85%	70–85%	85–95%	85–95%
Faixa de temperatura	Restrito	Restrito	Bom	Moderado
Alta a pedido (%/mês)	Alto	Alto	Baixo	Baixo
Vantagens da aplicação	Barato, resistente	Sem necessidade de manutenção	Seguro, durável	Elevada densidade de energia

Baterias de chumbo-ácido

Húmido – Gel – AGM

Todas as baterias de chumbo-ácido baseiam-se no mesmo princípio fundamental, utilizando a mesma composição química (Pb/PbO₂/ácido sulfúrico) e a mesma tensão de célula de 2,0 V. As diferenças não residem na tensão, mas sim na composição do eletrólito, na construção das placas, na vida útil e na manutenção. Dependendo do seu design, as baterias de chumbo-ácido são classificadas como baterias de eletrólito líquido, AGM e de gel.

Bateria húmida

- Simples, barato, mas requer muita manutenção;
- Clássicos em sistemas fotovoltaicos isolados da rede;
- A água precisa de ser reabastecida regularmente;
- Muito resistente a operações incorretas;
- Intoxicação por gases – ventilação necessária.

Bateria de gel

- Resistente aos ciclos, mas sensível;
- Excelente resistência à descargas profundas;
- Muito sensível à sobrecarga;
- Tensão de carregamento incorreta – danos permanentes;
- Menos comuns nos sistemas fotovoltaicos atuais, uma vez que as baterias AGM e de lítio são superiores.

Bateria AGM

- O polivalente;
- Corrente elevada – bom para inversores;
- Baixa resistência interna;
- Menos sensível que o gel;
- Solução padrão em muitos sistemas de armazenamento fotovoltaico (antes da tecnologia de lítio);

Erros típicos na prática

Carregamento de uma bateria de gel com uma curva de carregamento para baterias de chumbo-ácido/AGM

- Bolhas de gás no gel – perda de capacidade

AGM sem compensação de temperatura

- Sobreaquecimento

Bateria de eletrólito líquido sem ventilação

- Perigo de explosão (gás oxi-hidrogénio)

Tabela 31. Tabela comparativa das baterias húmidas, Gel e AGM

Recurso	Bateria de chumbo-ácido inundada	Bateria de gel	Bateria AGM
Eletrólito	Ácido sulfúrico líquido	Ácido ligado em gel	Ácido ligado em véu de vidro
Manutenção	Reabasteça a água	Sem necessidade de manutenção	Sem necessidade de manutenção
Gasação	Alto	Muito baixo	Pequena quantidade
Posição	Apenas em pé	Independentemente da localização	Independentemente da localização
Recomendado profundidade de descarga	30–50%	50–60%	50%
Ciclos (50% DOD)	400–800	600–1000	500–800
Tensão de carregamento (12 V)	14,4–14,8 V	máx. 14,1–14,4 V	14,4–14,7 V
Compatibilidade de carregamento	Robusto	Confidencial	Bom
Resistência interna	Alto	Médio	Muito baixo
Corrente de curto prazo	Médio	Baixo	Alto
Preço	Barato	Cara	Médio
Adequação fotovoltaica	Bom	Bom (com carregamento correto)	Muito bom

Baterias de arranque e baterias de lazer (Deep cycle)

As baterias de chumbo-ácido dividem-se em baterias de arranque, utilizadas nos automóveis, e baterias de ciclo profundo. As baterias de arranque não são adequadas para utilização em sistemas fotovoltaicos. Uma regra geral para as baterias de arranque é:

- Sulfatação mesmo com descarga profunda ligeira;
- Corrente elevada sim – descarga profunda não;
- Perda de capacidade após apenas alguns ciclos;
- Não é adequada para sistemas de armazenamento fotovoltaico, mesmo que sejam baratas.

Erro típico na prática

- Usar baterias de automóvel, são baratas – memória com defeito após 3 a 6 meses;

Para as baterias de lazer, a regra é:

- Menos potência, mas muitos ciclos;
- Painéis espessos – mecanicamente estáveis;
- Concebido para ciclos diários de carga/descarga;
- Solução standard para pequenos sistemas fotovoltaicos isolados da rede.

Tabela 32. Comparação entre baterias de arranque chumbo-ácido e baterias de lazer (relevantes para sistemas fotovoltaicos)

Recurso	Bateria de arranque de chumbo-ácido (SLI)	Bateria de chumbo-ácido para lazer (ciclo profundo/solar)
Tarefa principal	Corrente de arranque para motores	Fornecimento de energia durante um período mais
Uso típico	Automóveis, camiões, geradores	Sistemas fotovoltaicos isolados da rede, autocaravanas, UPS
Construção pré-fabricada	Muitas placas finas de chumbo	Poucas placas de chumbo espessas
Optimizado para	Correntes de curto prazo muito elevadas	Ciclos regulares de carga/descarga
Tensão da célula (nominal)	2,0 V	2,0 V
Tensão do sistema	12 V (6 células)	12 / 24 / 48 V
Corrente de Arranque a Frio (CCA)	Muito elevado (por exemplo, 600–900 A)	Baixo a médio
Recomendado profundidade de descarga	Máx. 10–20%	30–50% (em alguns casos até 60%)
SOC vs Tensão da Célula	100% $\approx$ 2,12-2,15V 50% $\approx$ 1,95V	Semelhante, mas mais estável sob carga.
Ciclos a 50% de DOD	Aproximadamente 50–150	400–800
Ciclos a 80% de DOD	Não permitido	Bastante reduzido, mas possível
Densidade de energia	30–40 Wh/kg	30–50 Wh/kg
eficiência	70–80%	75–85%
Vida útil em sistemas fotovoltaicos	Alguns meses	Vários anos
Custo	Barato	Superior à bateria de arranque

Adequação fotovoltaica	Inadequado	Adequado
------------------------	------------	----------

Medição da bateria

O estado de carga das baterias pode ser determinado medindo-o com um multímetro. Sob carga ou durante o carregamento, as tensões variam significativamente. Por conseguinte, é importante deixar a bateria em repouso durante 24 horas, ou pelo menos 1 a 2 horas, em modo de ralenti antes de uma medição precisa. Sob carga, a tensão medida pode ser de 0,3 V a 1,0 V inferior.

Tabela 33. Tensão da célula versus estado de carga (SOC)

SOC (%)	Tensão da célula (V)	Sistema de 12V	Sistema de 24V	Sistema de 48V
100%	2,12 V	12,7 V	25,4 V	50,8 V
90%	2,10 V	12,6 V	25,2 V	50,4 V
80%	2,08 V	12,5 V	25,0 V	50,0 V
70%	2,06 V	12,4 V	24,8 V	49,6 V
60%	2,04 V	12,2 V	24,4 V	48,8 V
50%	2,02 V	12,1 V	24,2 V	48,4 V
40%	1,99 V	11,9 V	23,8 V	47,6 V
30%	1,96 V	11,8 V	23,6 V	47,2 V
20%	1,93 V	11,6 V	23,2 V	46,4 V
10%	1,90 V	11,4 V	22,8 V	45,6 V

Anexo 7: Sequência de decisão para resolução de avarias

14. 8 FALHAS COMUNS – SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS DE PEQUENA DIMENSÃO

Falha 1: Bateria descarregada apesar de haver tempo ensolarado

Sintoma: tensão da bateria muito baixa (por exemplo, sistema de 12 V apresenta 11 V ou menos), cargas não funcionam, apesar de haver sol.

Passos de diagnóstico

Passo 1: Verificar a tensão do campo fotovoltaico (Voc) à entrada da caixa de strings – desligar primeiro do controlador de carga.

- Se a Voc estiver correcta (próxima do valor do datasheet): campo FV em bom estado, avançar para o Passo 2.
- Se a Voc for zero ou muito baixa: problema no campo FV – verificar Passo 1a.

Passo 1a: Inspeccionar módulos fotovoltaicos e cabos.

- Verificar: sombreamento (árvores, sujidade, dejectos de aves), vidro partido, conectores MC4 desligados, cabos cortados, fusível queimado na caixa de strings.
- Limpar os módulos, reconectar cabos e substituir o fusível, se necessário.

Passo 2: Verificar visor/LED do controlador de carga

- Se o visor estiver desligado ou indicar erro: o controlador pode estar avariado ou sem alimentação. Verificar ligação da bateria ao controlador.
- Se indicar carregamento mas a bateria não aumenta de tensão: avançar para o Passo 3.

Passo 3: Medir a tensão à saída do controlador de carga (lado da bateria)

- Se a tensão coincidir com a da bateria: o controlador está a transmitir energia. O problema pode ser a bateria (Passo 4).
- Se não houver tensão: controlador avariado – substituir.

Passo 4: Verificar o estado da bateria

- Medir a tensão sob carga (ligar uma carga pequena).

- Se a tensão cair rapidamente (ex.: de 12 V para 10 V em segundos): bateria sulfatada/morta – substituir.
- Se a tensão se mantiver estável: bateria em bom estado; verificar cargas excessivas ou configurações incorrectas do controlador.

Falha 2: Inversor desliga / emite alarme / indica erro

Sintoma: o inversor desliga, emite sinal sonoro ou apresenta erro por LED. As cargas AC deixam de funcionar.

Passos de diagnóstico:

Passo 1: Verificar código no visor/LED do inversor

- Códigos comuns: bateria fraca (subtensão), sobrecarga, sobreaquecimento, curto-circuito.
- Consultar o manual do inversor.

Passo 2: Se o alarme for de bateria fraca

- Medir a tensão da bateria.
- Se estiver abaixo de 11 V (12 V), 22 V (24 V) ou 44 V (48 V): bateria descarregada – recarregar ou verificar sistema de carregamento (ver Falha 1).
- Ajustar o corte de baixa tensão se estiver demasiado elevado.

Passo 3: Se o alarme for de sobrecarga

- Desligar todas as cargas AC.
- Reiniciar o inversor e ligar as cargas uma a uma.
- Quando o alarme reaparecer, identificou-se a carga problemática.
- Verificar se a potência excede a capacidade do inversor ou se existe corrente de arranque elevada (ex.: motores, bombas).

Passo 4: Se o alarme for de sobreaquecimento

- Verificar ventilação do inversor: exposição directa ao sol, funcionamento da ventoinha, entradas de ar obstruídas.
- Colocar em local mais fresco, limpar ventoinhas/grelhas e garantir 30 cm de espaço livre à volta.

Passo 5: Se o alarme for de curto-circuito

- Desligar todas as cargas AC.
- Inspeccionar cablagem AC quanto a fios expostos, isolamento danificado ou cabos esmagados.
- Reparar a instalação.
- Se o alarme persistir sem carga: inversor possivelmente avariado – substituir.

Falha 3: Módulos fotovoltaicos quentes / descolorados / com marcas de queimadura

Sintoma: pontos quentes na parte traseira do módulo, descoloração castanha/preta, caixa de junção derretida ou cheiro a queimado.

Passos de diagnóstico:**Passo 1:** Desligar imediatamente o módulo – RISCO DE SEGURANÇA

- Pontos quentes indicam dano interno das células ou falha dos díodos de bypass. Risco de incêndio.

Passo 2: Inspeccionar a caixa de junção e cabos

- Verificar ligações soltas, corrosão, entrada de água, díodos de bypass danificados.
- Se a caixa estiver derretida: o módulo deve ser substituído.

Passo 3: Verificar sombreamento parcial

- Muitas vezes causado por folhas, dejectos de aves ou objectos próximos.
- Limpar o módulo e eliminar a fonte de sombra.

Passo 4: Medir tensão e corrente do módulo

- Comparar com o datasheet.
- Se forem significativamente inferiores: módulo degradado/avariado – substituir.
- Se forem normais: o problema era externo – monitorizar após reparação.

Falha 4: Cabos ou terminais quentes ou derretidos

Sintoma: cabos quentes ao toque, isolamento descolorido, conectores derretidos ou cheiro a queimado nos terminais.

Passos de diagnóstico**Passo 1:** Desligar imediatamente a alimentação – RISCO DE INCÊNDIO

- Indica elevada resistência ou cabos subdimensionados.

Passo 2: Inspeccionar todas as ligações

- Procurar parafusos soltos, contactos corroídos, conectores MC4 mal cravados, ligações torcidas.
- Apertar terminais e substituir conectores danificados.

Passo 3: Verificar secção do cabo

- Confirmar a secção (mm²) e comparar com a corrente.
- Em sistemas de 12 V com correntes elevadas (ex.: 30 A), mínimo recomendado: 6 mm².
- Se o cabo for insuficiente: substituir.

Passo 4: Medir queda de tensão sob carga

- Medir tensão na bateria e na entrada do inversor com carga ligada.
- Se a diferença for superior a 0,5 V: resistência excessiva – usar cabos mais curtos ou mais grossos.

Falha 5: Bateria inchada / com fugas / mau cheiro

Sintoma: caixa da bateria inchada, fuga de ácido, cheiro intenso a enxofre/ovo podre ou pó branco nos terminais.

Passos de diagnóstico**Passo 1:** Desligar imediatamente a bateria – RISCO DE SEGURANÇA

- Risco de explosão, corrosão e gás hidrogénio inflamável. Ventilar o local. Não provocar faíscas.

Passo 2: Identificar a causa

- Sobrecarga: tensão excessiva do controlador.
- Descarga profunda prolongada: sulfatação.
- Idade: baterias antigas (5+ anos) degradam-se naturalmente.

Passo 3: Verificar tensão do controlador de carga

- Medir tensão de carregamento nos terminais da bateria.
- Para chumbo-ácido 12 V: 13,8–14,4 V (flutuação), máximo 14,8 V (bulk).
- Se superior: controlador avariado ou mal configurado.

Passo 4: Substituir a bateria

- Baterias inchadas ou com fugas não são reparáveis.
- Encaminhar para reciclagem. Instalar bateria nova com parâmetros correctos.

Falha 6: Sistema funciona de dia e falha à noite

Sintoma: cargas funcionam durante o dia, mas deixam de funcionar ao entardecer/noite.

Passos de diagnóstico**Passo 1:** Verificar tensão da bateria à noite (sem carga)

- Se for baixa (<12 V num sistema de 12 V): bateria não armazena energia suficiente – Passo 2.
- Se estiver normal mas cair rapidamente sob carga: bateria fraca – Passo 4.

Passo 2: Verificar carregamento durante o dia

- Medir tensão ao meio-dia. Deve ser 13–14 V (12 V) se estiver a carregar.
- Se não carregar: problema no controlador ou no campo FV (ver Falha 1).

Passo 3: Comparar capacidade da bateria com as cargas

- Calcular consumo diário (Wh).
- Comparar com capacidade da bateria ($Ah \times V$).
- Se o consumo nocturno exceder 50% da capacidade: bateria subdimensionada ou cargas excessivas.

Passo 4: Testar estado da bateria

- Carregar totalmente. Medir tensão.
- Desligar e deixar durante a noite (sem carga).
- Se cair mais de 0,5 V: bateria degradada – substituir.

Falha 7: Fusível queima repetidamente

Sintoma: fusível da caixa de strings ou circuito DC queima após substituição.

Passos de diagnóstico

Passo 1: Verificar calibre do fusível

- Deve ser $1,25 \times I_{sc}$ da string FV.
- Se for demasiado pequeno: substituir (sem exceder a capacidade do cabo).

Passo 2: Verificar curto-circuito

- Desligar o lado da carga.
- Medir resistência entre + e –.
- Se for muito baixa: existe curto – inspeccionar cabos e caixas de junção.

Passo 3: Verificar polaridade invertida

- Confirmar ligações correctas em todo o sistema.
- Corrigir inversões.

Passo 4: Verificar falha à terra

- Medir resistência entre +/- e terra.
- Deve ser muito elevada.
- Se for baixa: isolamento danificado ou entrada de água.

Falha 8: Desempenho do sistema em declínio gradual

Sintoma: o sistema funcionava bem, mas ao longo de semanas/meses a autonomia diminui.

Passos de diagnóstico

Passo 1: Verificar novas cargas

- Confirmar se foram adicionados equipamentos.
- Se o consumo aumentou: sistema subdimensionado.

Passo 2: Inspeccionar e limpar módulos FV

- Sujidade reduz a produção.
- Limpar com água e escova macia.
- Verificar novas sombras.

Passo 3: Verificar idade e estado da bateria

- Baterias chumbo-ácido degradam-se após 3–5 anos.
- Se a tensão cair rapidamente sob carga: substituir.

Passo 4: Inspeccionar todas as ligações

- Apertar terminais, remover corrosão e aplicar massa de contacto.

Passo 5: Verificar configurações do controlador

- Confirmar parâmetros adequados ao tipo de bateria.
- Reprogramar se necessário.

RESUMO

Sintoma	Causa mais provável	Primeira verificação
Bateria descarregada (tempo ensolarado)	Sombreamento, controlador de carga avariado, bateria degradada	Tensão do campo fotovoltaico, visor do controlador
Alarme do inversor	Bateria fraca, sobrecarga, sobreaquecimento	Tensão da bateria, dimensão das cargas
Módulo fotovoltaico quente	Sombreamento, falha do diódo de bypass	Aperto dos terminais, secção do cabo
Cabos quentes	Ligação solta, cabo subdimensionado	Aperto dos terminais, secção do cabo
Bateria inchada	Sobrecarga de carregamento, envelhecimento	Tensão de carregamento, idade da bateria
Funciona de dia, falha à noite	Bateria subdimensionada, ausência de carregamento	Tensão da bateria de dia/noite
Fusível queima	Curto-circuito, fusível com calibre incorrecto	Calibre do fusível, danos nos cabos
Degradação gradual do desempenho	Módulos sujos, bateria antiga, novas cargas	Limpeza dos módulos, idade da bateria
Bateria descarregada (tempo ensolarado)	Sombreamento, controlador de carga avariado, bateria degradada	Tensão do campo fotovoltaico, visor do controlador

Anexo 8

15. NORMA MÍNIMA DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS DE BAIXO ORÇAMENTO

Os requisitos mínimos de segurança para pequenos sistemas fotovoltaicos isolados (até 5 kW) em ambientes com recursos limitados. Estas normas dão prioridade à segurança e funcionalidade, em detrimento de especificações ideais ou normativas completas, reconhecendo a realidade de orçamentos reduzidos, cadeias de fornecimento informais e instalações rurais.

PARTE 1: Norma Mínima de Segurança

Cablagem DC e ligações

Requisitos mínimos

- **Dimensionamento dos cabos**, utilizar no mínimo:
 - 4 mm² para strings fotovoltaicas;
 - 6 mm² para ligação bateria–inversor (sistemas de 12 V com >20 A);
 - 10 mm² para bancos de baterias de alta corrente (>40 A);
 - Nunca utilizar cabos domésticos (ex.: 1,5 mm²) em circuitos DC.
- **Protecção dos cabos**, todos os cabos exteriores devem ser resistentes aos raios UV (cabo solar) ou protegidos em conduta. Cabos interiores podem ser flexíveis standard, mas devem estar protegidos contra danos mecânicos.
- **Marcação de polaridade**, marcar claramente todos os polos (+) e (–) com fita ou etiquetas vermelha/preta. Utilizar cabo vermelho para (+) e preto para (–), nunca misturar cores.
- **Ligações**, utilizar terminais cravados adequadamente ou conectores MC4. Ligações por torção não são aceitáveis. Ligações soldadas são aceitáveis apenas se bem isoladas com manga termo-retráctil.
- **Aperto dos terminais**, todos os terminais de parafuso devem estar bem apertados (usar chave de fendas, não os dedos). Verificar novamente após 1 semana de funcionamento (a dilatação térmica pode afrouxar ligações).

Protecção contra sobrecorrente (fusíveis/disjuntores)

Requisitos mínimos

- **Protecção das strings FV**, cada string deve ter um fusível dimensionado para $1,25 \times I_{sc}$ (corrente de curto-circuito). Utilizar fusíveis DC (tipo gPV preferencial; fusíveis automóveis aceitáveis para sistemas pequenos <30 A).
- **Protecção da bateria**, o banco de baterias deve ter fusível ou disjuntor no polo positivo, dimensionado para a corrente máxima prevista (normalmente $1,5 \times$ corrente máxima do inversor). Mínimo recomendado: 32 A para inversor de 1 kW em sistema de 12 V.
- **Acessibilidade dos fusíveis**, os fusíveis devem ser acessíveis para substituição sem ferramentas (caixa de strings ou porta-fusível), manter fusíveis de reserva no local.
- **Disjuntor DC (se disponível)**, recomenda-se fortemente um interruptor de corte DC manual entre a bateria e o inversor para desligamento de emergência. Se não existir, identificar claramente qual o fusível a remover em caso de emergência.

Ligação à Terra e Protecção Contra Descargas Atmosféricas

Requisitos mínimos

- **Ligação à terra das estruturas metálicas**, todas as armações dos módulos FV e a estrutura de suporte devem estar interligadas com condutor de terra (mínimo 6 mm² em cobre), ligar a uma estaca de terra, sempre que possível.
- **Estaca de terra**, utilizar estaca de cobre ou aço galvanizado com mínimo de 0,8 m cravado no solo. Profundidade ideal: 1,5–2 m, se o solo permitir. Em zonas rochosas, utilizar várias estacas mais curtas interligadas.
- **Resistência de terra**, inferior a 10 Ohm, se não for possível (solo seco ou rochoso), usar a maior estaca possível e humedecer o solo periodicamente. Registrar o valor real obtido.
- **Quando a ligação à terra não é viável**, em locais onde a terra eficaz é impossível:
 1. Garantir ligação equipotencial de todas as partes metálicas
 2. Isolar o sistema da estrutura do edifício
 3. Utilizar cabos com dupla isolamento

4. Documentar a limitação e informar o utilizador

- **Zonas propensas a relâmpagos**, sempre que possível, evitar instalações em telhados. Sistemas montados no solo são mais seguros, manter o campo FV a pelo menos 3 m de edifícios.

Instalação e segurança das baterias

Requisitos mínimos

- **Ventilação**

A sala ou caixa das baterias deve ter aberturas de ventilação (superior e inferior), área mínima: 100 cm² por kWh de capacidade de bateria.

- **Proibição de faíscas ou chamas**, não devem existir interruptores eléctricos, terminais expostos ou chamas abertas num raio de 1 m, proibido fumar junto às baterias.
- **Protecção contra ácido**, para baterias de chumbo-ácido: manter bicarbonato de sódio para neutralizar derrames. Usar luvas e protecção ocular, ter água disponível para lavagem.
- **Caixa das baterias**, as baterias devem estar num compartimento que impeça o acesso de crianças e animais, a caixa deve ser fechável à chave.
- **Temperatura**, instalar as baterias no local mais fresco possível, fora da exposição solar directa, temperaturas elevadas (>30°C) reduzem significativamente a vida útil.
- **Protecção dos terminais**, obrir os terminais com tampas isolantes ou fita para evitar curto-circuitos acidentais.

Fixação dos componentes e protecção ambiental

Requisitos mínimos

- **Fixação dos módulos FV**, os módulos devem estar bem fixos contra o vento. Mínimo de 4 pontos de fixação por módulo (6–8 em zonas ciclónicas). Estrutura resistente à corrosão (aço galvanizado, alumínio ou aço pintado).
- **Perfurações em telhados**, selar todas as perfurações com vedante impermeável, verificar infiltrações após a primeira chuva.

- **Localização do inversor**, instalar em local sombreado e ventilado. Garantir pelo menos 30 cm de espaço livre para arrefecimento. Proteger da chuva e do sol directo.
- **Localização do controlador de carga**, instalar próximo das baterias para reduzir o comprimento dos cabos. Proteger da chuva e garantir visibilidade dos LEDs/visor.
- **Caixas de junção**, todas as caixas exteriores devem ter classificação mínima IP65. Selar entradas de cabos com buçins ou vedante.
- **Instalações costeiras**, utilizar parafusos em aço inoxidável. Aplicar massa anti-corrosão em todas as ligações metálicas. Inspeccionar a cada 6 meses.

Rotulagem e documentação

Requisitos mínimos

- **Identificação da tensão do sistema**, indicar claramente 12 V, 24 V ou 48 V na caixa das baterias e no inversor.
- **Identificação de polaridade**, marcar (+) e (–) em todos os terminais e cabos DC.
- **Etiquetas de aviso**
 - “PERIGO – TENSÃO DC” na caixa de strings
 - “PERIGO – ÁCIDO DA BATERIA” na caixa das baterias
 - “PROIBIDO FUMAR” junto às baterias
- **Desligamento de emergência**, afixar instruções claras sobre como desligar o sistema em emergência.
- **Esquema eléctrico**, fornecer um diagrama simples (uma página) com: campo FV, caixa de strings, controlador, baterias, inversor e cargas principais. Plastificar e afixar junto ao sistema.
- **Lista de componentes**, lista escrita com potências e capacidades (módulos, baterias, inversor, fusíveis). Guardar com a documentação do sistema.

PARTE 2: Sessão de informação ao operador (instruções ao utilizador)

Confirmo que as pessoas responsáveis pela utilização deste sistema fotovoltaico receberam formação sobre a sua operação segura, manutenção básica e procedimentos de emergência, e compreendem as 10 Regras Essenciais.

1. **Manter os painéis limpos**, limpar os painéis a cada 3–6 meses (mais frequentemente em zonas poeirentas). Usar água e escova macia. Limpar de manhã cedo ou ao fim do dia, painéis sujos produzem menos 20–30% de energia.
2. **Não sobrecarregar o sistema**, não ligar cargas acima da potência máxima do inversor. Se o inversor apitar ou desligar, desligar alguns aparelhos.
3. **Evitar descargas profundas da bateria**, evitar usar a bateria abaixo de 50%. Descargas profundas reduzem drasticamente a vida útil.
4. **Verificar o nível de água da bateria (chumbo-ácido)**, de 3 em 3 meses, verificar se as placas estão cobertas. Adicionar apenas água destilada, usar protecção.
5. **Manter as baterias frescas e ventiladas**, não bloquear as aberturas de ventilação. Baterias quentes duram menos.
6. **Proibido fumar ou usar chamas perto das baterias**, hidrogénio libertado é explosivo.
7. **Não tocar em fios ou terminais expostos**, contactar o instalador se detectar cabos soltos ou expostos.
8. **Desligar o sistema durante trovoadas (se possível)**, se for seguro, desligar o sistema e religar após a tempestade.
9. **Comunicar problemas imediatamente**, cheiro a queimado, cabos quentes, bateria inchada ou alarmes persistentes exigem desligamento imediato.
10. **Manutenção anual**, um técnico qualificado deve inspeccionar o sistema uma vez por ano.

Procedimentos de emergência

Se houver cheiro a queimado ou fumo

1. Desligar todas as cargas
2. Desligar o inversor

3. Desligar o circuito DC (ou remover fusível)
4. Contactar o instalador
5. Não utilizar o sistema até inspecção

Se a bateria estiver inchada ou a verter

- Não tocar na bateria;
- Desligar o sistema;
- Ventilar o local;
- Afastar crianças e animais;
- Contactar o instalador.

Se alguém sofrer choque eléctrico

- Não tocar na pessoa;
- Desligar a energia;
- Usar objecto seco e isolante para afastar a pessoa;
- Chamar assistência médica;
- Iniciar RCP se tiver formação.

Informações e contactos do sistema

Preencha estas informações e guarde-as junto do seu sistema

Sistema instalado por: _____

Data da instalação: _____

Tensão do sistema: _____

Potência total dos painéis solares: _____

Capacidade da bateria: _____

Potência do variador: _____

Nome do contacto do instalador: _____

Telefone do instalador: _____

Contacto de emergência: _____

Próxima manutenção: _____

Data de validade da garantia: _____

Recebi formação sobre a operação segura deste sistema fotovoltaico e compreendo as 10 Regras Essenciais.

Nome da pessoa proprietária ou operadora

responsável: _____

—

Assinatura: _____

Data: _____

Nome do(a) Instalador(a): _____

Assinatura: _____

Data: _____

Anexo 9

16. LISTA DE VERIFICAÇÃO DE COMISSIONAMENTO CV2 (MÍNIMA)

Para pequenos sistemas fotovoltaicos isolados da rede em Moçambique

Inspeção visual pré-energização

Item	Verificação	OK / Notas
Estrutura de Montagem	Todos os parafusos apertados, sem ferrugem/corrosão, estrutura nivelada e segura	
Módulos FV	Sem fissuras visíveis, superfície limpa, conectores MC4 totalmente encaixados, cabos sem estrangulamentos	
Cablagem CC	Polaridade correta (+/-), sem cobre exposto, cabos protegidos contra UV/chuva, entrada adequada nas caixas de junção	
Caixa de Cordões / Caixa de Junção	Todos os terminais apertados, fusíveis/disjuntores com classificação correta, DPS (se presente) corretamente conectado, caixa selada contra água/insetos	
Controlador de Carga	Montado em local ventilado, afastado do sol/chuva direta, todas as ligações rotuladas e apertadas	
Banco de Baterias	Baterias niveladas (se chumbo-ácido), terminais limpos e apertados, configuração série/paralelo correta, ventilação adequada, sem chamas/faíscas próximas	
Inversor	Montado verticalmente, ventilação desimpedida, terminais CC e CA apertados, ligação à terra conectada	
Sistema de Aterramento	Condutor de terra (mín. 16 mm ²) ligado a todas as partes metálicas, haste de terra	

Item	Verificação	OK / Notas
	instalada (mín. 0,8 m de profundidade), verificação visual de continuidade	

Medições elétricas (antes da ligação da carga)

Ponto de Medição	Intervalo Esperado	Valor Medido	Aprovado/Falhado
Tensão de Circuito Aberto do Campo FV (Voc)	Dentro de +/-10% do Voc do datasheet x número de módulos em série		
Corrente de Curto-Circuito do Campo FV (Isc)	Dentro de 70-100% do Isc do datasheet (depende do sol)		
Tensão da Bateria (sem carga)	Sistema 12V: 12,4-13,2V; Sistema 24V: 24,8-26,4V; Sistema 48V: 49,6-52,8V		
Tensão de Saída do Controlador de Carga	Deve corresponder à tensão da bateria +/-0,5V		
Tensão de Entrada CC do Inversor	Deve corresponder à tensão da bateria +/-0,5V		
Continuidade de Terra (se multímetro disponível)	Resistência de qualquer parte metálica à haste de terra: inferior a 10 Ohm		

Testes funcionais

Teste	Procedimento	OK / Notas
Funcionamento do Controlador de Carga	Cobrir módulos FV - LED/visor mostra sem carga. Descobrir - LED/visor mostra carga. Verificar que a tensão da bateria aumenta lentamente	
Arranque do Inversor	Ligar o inversor - LED mostra pronto ou ligado. Verificar tensão de saída CA com multímetro: 220-240V CA	
Teste de Carga (Carga Ligeira)	Ligar carga pequena (ex.: lâmpada LED 10W) - funciona normalmente. Verificar que a tensão da bateria não desce excessivamente	
Proteção contra Sobrecarga	Tentar ligar carga superior à capacidade do inversor - o inversor deve desligar-se com alarme/aviso LED	
Proteção contra Bateria Fraca	Se possível, simular bateria fraca (desligar FV) - controlador de carga/inversor deve desligar a carga no limiar de tensão seguro	
Paragem de Emergência	Testar interruptor de desconexão CC - sistema desliga-se completamente. Testar disjuntor CA - cargas CA desligam-se	

Documentação e Entrega

- Esquema do sistema com etiquetas e especificações dos componentes
- Registo de todas as medições da Secção 2
- Lista de todos os componentes com números de série (painel fotovoltaico, inversor, controlador, baterias)
- Documentos de garantia e contactos do fornecedor

- Instruções básicas de utilização (consulte o documento de Instruções para o Operador em separado)
- Horário de manutenção (limpeza, intervalos de inspeção)
- Contacto de emergência (instalador/técnico)

16.1.1. Inclusão e formação das pessoas utilizadoras

“As mulheres e os homens responsáveis pela utilização do sistema receberam formação sobre operação, manutenção e segurança”

“Pelo menos duas pessoas responsáveis pelo sistema conseguem demonstrar correctamente o procedimento de desligamento de emergência”

“As instruções de utilização e os contactos de assistência foram explicados numa linguagem clara e compreensível para todas as pessoas utilizadoras”

“Foi registada a participação de mulheres e homens na sessão de formação e entrega do sistema”

5.º Assinatura

Nome do Instalador(a): _____

Assinatura: _____

Data: _____

Nome do(a) Cliente/Proprietário(a): _____

Assinatura: _____

Anexo 10

17. CC – CONECTOR DE LIGAÇÃO

Para ligar módulos fotovoltaicos a cabos CC, cabos CC entre si e cabos CC ao inversor, são normalmente utilizados conectores. Estes têm geralmente um conector macho no lado positivo e uma ficha fêmea no lado negativo. Para obter uma ligação tecnicamente correta, com boa condutividade, impermeabilidade e longa vida útil, é importante utilizar sempre pares de conectores do mesmo tipo e fabricante. Se isso não for possível, o conector existente deve ser cortado e substituído pelo sistema de conectores disponível.

Embora os conectores solares tenham certificação IP68, devem ser fixados com abraçadeiras ao trilho do módulo ou ao módulo solar, de forma a não ficarem em contacto com a cobertura do telhado e não serem expostos à luz solar direta ou à chuva.

Conector MC4

O tipo de conector mais comum é o MC4. Trata-se de um conector muito fiável. Para o montar numa extremidade do cabo, é necessário um alicate de crimpagem MC4 especial e chaves de montagem especiais de plástico para evitar o aperto excessivo dos parafusos e, ainda assim, garantir uma instalação resistente às intempéries. Com a chave, as ligações encaixadas também podem ser desligadas para fins de manutenção. Os conectores são compostos por uma manga metálica, que é crimpada na extremidade descarnada do cabo, e pelo próprio conector. Atenção, as mangas também têm uma parte macho e uma parte fêmea, sendo que, neste caso, a ficha (fêmea) é crimpada no condutor positivo e o conector (macho) no condutor negativo. As mangas crimpadas não podem ser novamente soltas.

Conector sunclix

Outro tipo comum são os conectores Sunclix. Em comparação com os conectores MC4, eles têm a vantagem de poderem ser montados sem ferramentas. A extremidade descascada do cabo é inserida no conector e fixada por um grampo de

mola. Não é necessária nenhuma ferramenta especial. Para soltar a conexão, basta uma pequena chave de fendas.



Conector MC4



Chave MC4



Conector Sunclix

Tipo	Montagem	Secção transversal do condutor	V DCmáx	I DCmáx	IP	Comprimento da extremidade do cabo descarnado
MC4 ¹	Crimpar	4mm ² – 6mm ²	1000V	39A	68	6-8mm
Sunclix	Sem ferramentas	2,5mm ² – 6mm ²	1100V	40A	68	15mm

¹ Também disponível nas versões para 2,5 mm² e 10 mm².

MC4: <https://www.youtube.com/watch?v=lzyhg4P-vdc>

Sunclix: <https://www.youtube.com/watch?v=e5Of4gNqJPU>

Anexo 11

18. REGULADOR DE CARGA PWM (MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO)

Um regulador de carga PWM é um regulador de carga simples e fiável, utilizado em pequenos sistemas fotovoltaicos autónomos económicos. É uma boa escolha para utilizadores com orçamento limitado e está disponível em quase todo o lado. A sua construção relativamente simples e robusta facilita a deteção de avarias, reparação e manutenção ao longo do tempo. Mede continuamente o estado de carga da bateria e ajusta a potência de carga ao nível de carga da bateria, ligando e desligando rapidamente a energia solar. A corrente de carga é modulada enquanto a tensão do módulo solar é regulada para a tensão de carga da bateria. A tensão excedente do módulo solar é convertida em calor no regulador de carga e é perdida, o que reduz a eficiência. Por esse motivo, os reguladores de carga PWM são adequados apenas em sistemas em que a tensão da bateria e a tensão do módulo são semelhantes; baterias de 12 V com módulos solares de 12 V ($\approx 18 \text{ VmP}$) ou baterias de 24 V com módulos de 24 V ($\approx 36 \text{ VmP}$). Portanto, se em um sistema de 12 V houver 2 ou mais módulos solares disponíveis, eles devem ser conectados em paralelo, pois assim apenas a corrente aumenta e a diferença de tensão não utilizável entre o módulo solar e a bateria é mantida baixa.

Exemplo

Módulo fotovoltaico

- Tensão do módulo: 17,5 V
- Corrente do módulo: 5 A
- Potência do módulo: $17 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 87,5 \text{ W}$

Bateria

- Tensão de carga: 13,9 V
- Corrente de carga: 5 A
- Potência de carga: $13,9 \times 5 \text{ A} = 69,5 \text{ W}$

No exemplo acima, o regulador de carga pode utilizar cerca de 80% da potência produzida.

Exemplo

Módulo fotovoltaico

- Tensão do módulo: 36 V
- Corrente do módulo: 5 A
- Potência do módulo: $36 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 180 \text{ W}$

Bateria

- Tensão de carga: 13,9 V
- Corrente de carga: 5 A
- Potência de carga: $13,9 \times 5 \text{ A} = 69,5 \text{ W}$

No exemplo acima, o regulador de carga só consegue utilizar cerca de 39% da potência produzida.

Vantagens e desvantagens do regulador de carga PWM

Vantagens	Desvantagens
O baixo custo torna-os ideais para sistemas pequenos e económicos.	Baixa eficiência (aprox. 70%), uma vez que a tensão não é utilizada de forma otimizada e há perda de energia.
Construção simples com alta robustez e baixa manutenção.	Não se adaptam a condições de iluminação variáveis, o que resulta em menor rendimento.
Confiáveis em altas temperaturas do módulo e compatíveis com sistemas de 12 V ou 24 V.	Limitados a sistemas com tensão de módulo e bateria semelhantes.

Diferenças entre MPPT e PWM

Critério	Regulador de carga PWM	Regulador de carga MPPT
Aparência	Compacto, leve, indicadores LED simples	Maior e mais pesado, inclui conversor CC/CC
Princípio de funcionamento	Ligação direta à bateria através de ciclos de comutação	Rastreia o MPP e converte a tensão de forma eficiente
Comportamento térmico	Menos eficiente em baixas temperaturas	Até 25% mais potência a baixas temperaturas
Relação tensão PV/bateria	Tensão fotovoltaica $\approx$ tensão da bateria	Eficiente com tensões fotovoltaicas mais elevadas

Sombra parcial	Menos tolerante ao sombreamento	Rastreia o melhor MPP, mesmo em condições de sombra
Ligação em série vs. ligação em paralelo	Prefere ligação em paralelo	Adequado para ligação em série com alta tensão fotovoltaica
Aplicação típica	Sistemas pequenos e simples	Sistemas maiores ou escaláveis
Eficiência do sistema	Menor rendimento energético	Rendimento máximo de potência
Compatibilidade do módulo PV	Apenas módulos independentes da rede	Também pode ser usado com módulos ligados à rede
Custos	15–50 \$ (mais simples, mais barato)	80–500 \$ (mais potente, mais caro)
Escalabilidade	Limitado, muitas vezes sem reserva para ampliações	Adequado para futuras expansões do sistema