



**UNIVERSIDADE POLITÉCNICA
A POLITÉCNICA**

Tema:

Dimensionamento e electrificação de uma residência numa zona recôndida do País. A rede do sistema fotovoltaico autónomo como alternativa.

Trabalho de fim de curso para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Eléctrica

de

José Manuel Macassa

Estudante nº: 442117

Maputo, Julho de 2021

JOSÉ MANUEL MACASSA

DIMENSIONAMENTO E ELECTRIFICAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA NUMA ZONA RECÔNDIDA DO PAÍS. A REDE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO COMO ALTERNATIVA.

Monografia apresentada a área científica de engenharia eléctrica do Instituto Superior de Gestão e tecnologias da Universidade Politécnica como requisito para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Eléctrica.

Supervisor: _____

Engº. Eugénio Fernando Mandlate

Maputo, Julho 2021

APROVAÇÃO DO JÚRI

Este trabalho foi aprovado com _____ valores no dia _____ de _____ de 2021 por nós membros de júri Instituto Superior de Gestão, Ciências e Tecnologia da Universidade Politécnica.

(Presidente do Júri)

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, José Manuel Macassa declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô Vissone Manguana, aos meus pais Alfredo Macassa e Marta Mapanga, aos meus irmãos Amélia Macassa, Sebastião Macassa, Gilberto Nhalungo, Catarina Macassa, Reginaldo Matsinhe, Alice Macassa, aos meus amados sobrinhos Neto, Dulce, Luísa, Emília, aos meus amigos Eng^o Miguel, Eng^o Nhavene e os demais conhecidos muito próximos de mim, o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e motivação durante o período de graduação.

Ao Eg. Mandlate por ter aceite ser meu orientador e aos conhecimentos que me foram passados nesse período de término da graduação.

Agradeço à minha família, que mesmo longe fez o possível para que eu alcançasse meus objetivos, em especial minha mãe, a Marta.

Agradeço à minha namorada pela paciência e apoio em todas as situações.

Aos amigos que ganhei durante todo o período de graduação.

Agradeço a todos que de alguma maneira ajudaram-me e incentivaram: Silvia, Nhavene, Cláudio, Miguel, Nadinho, Levy.

PARECER DO SUPERVISOR

RESUMO

Na actual matriz energética nacional, as energias renováveis (ER) têm maior relevância, por serem menos poluentes, “inesgotáveis”, acessíveis, fonte de inserção econômica e social, e pela possibilidade de substituir os combustíveis fósseis em algumas aplicações, tornando-se ideal para minimizar parte dos problemas ambientais que o País enfrenta. Este trabalho consiste na electrificação e dimensionamento dos componentes de um sistema fotovoltaico autónomo, e um sistema de bombeamento de água, para beneficiar uma residência na localidade de Nguzene, zona recôndida onde a energia eléctrica da rede nacional ainda deixa a desejar. Para a selecção dos equipamentos ideais a instalar, recorreu-se ao dimensionamento dos mesmos, nomeadamente painéis fotovoltaicos, controlador de carga, inversor, baterias, cabos, bomba submersível, drive, onde demonstrou-se todos passos de dimensionamento. Além disso, também é feita uma análise dos principais componentes do sistema projectado, de modo a gerar o embasamento necessário para dimensionar o projecto.

Através dos resultados e análises realizadas foi possível observar que apesar do elevado investimento inicial, como forma de solucionar o problema de falta de energia eléctrica na residência, sugere-se adoptar um gerador solar fotovoltaico “off-grid”, porque as demais opções formas de produzir energia são mais dispendiosas ao longo do tempo.

Palavra chave: sistema solar, componentes fotovoltaicos, geração de energia eléctrica, carga de uma residência, dimensionamento energético.

ABSTRACT

In the current national energy matrix, renewable energies (RE) have more relevance, for being less pollutant, "inexhaustible", accessible, source of economic and social insertion, and for the possibility of replacing fossil fuels in some applications, becoming ideal to minimize part of the environmental problems that the country faces. This work consists in the electrification and dimensioning of the components of an autonomous photovoltaic system, and a water pumping system, to benefit a residence in the locality of Nguzene, a remote area where the electric power of the national network still leaves something to be desired. For the selection of the ideal equipment to install, it was used the dimensioning of the same, namely photovoltaic panels, charge controller, inverter, batteries, cables, submersible pump, drive, where all the dimensioning steps were demonstrated. Moreover, an analysis of the main components of the projected system is also made, in order to generate the necessary basis for sizing the project.

Through the results and analysis carried out, it was possible to observe that, despite the high initial investment, as a way of solving the problem of the lack of electrical energy in the residence, it is suggested to adopt an "off-grid" photovoltaic solar generator, because the other options for producing energy are more expensive over time.

Key words: solar system, photovoltaic components, generation of electrical energy, load of a residence, energy sizing.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1: diagrama de sistema fotovoltaico em função da carga utilizada	7
Figura 2: exemplo de sistema híbrido	8
Figura 3: sistema de esquema interligada a rede	9
Figura 4: configuração de sistema fotovoltaica com 1 e com 3 inversores.....	10
Figura 5: célula de silício monocristalina	12
Figura 6. célula de silício policristalino	13
Figura 7: célula de silício amorfo.....	13
Figura 8: associação de células em paralelo.....	14
Figura 9: associação de módulos em série	15
Figura 10: representação de célula, módulo e painel fotovoltaico	16
Figura 11: baterias especiais para sistemas fotovoltaicos.	18
Figura 12: controlador de carga de baterias para sistemas fotovoltaicos.....	20
Figura 13: unidade inversora de cc para ca	22
Figura 14: camadas do fio condutor	23
Figura 15: exemplo de curva i-v	24
Figura 16: efeito da temperatura no módulo	26
Figura 17: efeito da incidência solar no módulo fotovoltaico.....	27
Figura 18: curva teórica da incidência solar durante o dia.....	28
Figura 19: ângulo de inclinação solar	30
Figura 20: fluxograma de etapas de dimensionamento.....	42
Figura 21: gráfico da capacidade de cabos epr.	43
Figura 22. tipos de cabos eléctricos	44
Figura 23: cabos a utilizar na instalação solar.....	45
Figura 24: apresentação de uma radiação global em moçambique.....	47
Figura 25: sistema de bombeamento isolado sem baterias: acumula-se directamente a água.	48
Figura 26: níveis de interesse em um sbfv	50
Figura 27: gráfico para escolha da potencia do gerador fv.	55
Figura 28: gráfico para escolha da bomba submercível.....	56
Figura 29: chapa De Característica De Unidade De Controlo Cu 200 Sqflex.	57

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1: cronograma das actividades para a instalação do sistema	4
Tabela 2: classificação de cada inversor consoante o tipo de onda produzida com as suas características.	21
Tabela 3: ângulo de inclinação	31
Tabela 4: levantamento das cargas em AC na infra-estrutura	36
Tabela 5: Irradiação solar diária média mensal.	37
Tabela 6: estimativa de consumo médio de água por uso final.	49
Tabela 7: estimativa de consumo médio de água por uso final.	52
Tabela 8: eficiências de SBFVs.	54
Tabela 9: orçamento do projecto	58

LISTA DE ABREVIATURAS

- CA- Corrente alternada
- CC- Corrente contínua
- EDM- Electricidade De Moçambique
- EE- Energia Eléctrica
- PT- Transformador de Potência
- SFV- Sistema Fotovoltaico
- SFCR- Sistemas Fotovoltaicos Conectados á Rede eléctrica
- SRSC- Sistema de Regulação Supervisão e Controle
- TIA- Trabalho de Investigação Aplicada
- U- Tensão
- WD-Consumo diário
- Wp- Watt pico
- c-Si – SilícioCristalino
- m-Si - Silício Monocristalino
- CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Eléctrica
- SFI - Sistemas fotovoltaicos isolados
- HSP - Horas de Sol Pleno
- SBFV - Sistema fotovoltaico de bombeamento
- L– litro
- SBFV – Sistema de bombeamento de água fotovoltaico
- he- Altura estática
- hd - Altura dinâmica
- hr - Altura do reservatório
- hm - Altura manométrica
- ht - Perda de carga nas tubulações
- hmc - Altura manométrica corrigida
- HTE - Altura total equivalente
- EH - Energia hidráulica
- Qm -Vazão média

EPÍGRAFE

“Se transformares a energia solar em eléctrica, serás iluminado a dobrar”

Por Alexandre. E. Becquerel

INDICE GERAL

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.2. Problema da Investigação.....	2
1.2.1. Pergunta a Investigar.....	2
1.2.2. Hipóteses.....	3
1.3. Constrangimentos na Investigação	3
1.3.1. Limitação do Trabalho	3
1.3.2. Delimitação do Trabalho.....	3
1.4. Objectivos	3
1.4.1. Objectivo Geral.....	3
1.4.2. Objectivos Específicos.....	3
1.5. Cronograma de Actividades.....	4
1.6. Justificativa	4
1.7. Estrutura do Trabalho.....	5
CAPÍTULO II	6
REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1.1. Energia eléctrica.....	6
2.2. Sistema fotovoltaico.....	6
2.2.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	6
2.2.2. Sistemas isolados.....	7
2.2.3. Sistemas híbridos.....	8
2.2.4. Sistemas conectados á rede de distribuição	9
2.2.5. Sistemas fotovoltaicos conectados a rede eléctricas	9
2.2.6. Grandes Centrais	10
2.3. Efeito fotovoltaico.....	10
2.4. Célula fotovoltaica	12
2.4.1. Célula de Silício monocristalino	12
2.4.2. Célula de Silício policristalino	12

2.4.3. Célula de Silício amorfo.....	13
2.5. Módulos fotovoltaico	14
2.6. Associação paralelo.....	14
2.6.1. Associação em série	15
2.6.2. Características dos módulos fotovoltaicos	15
2.7. Componentes de um sistema fotovoltaico.....	16
2.7.1. Painéis fotovoltaicas.....	17
2.7.2. Sistema de regulação supervisão e controle	17
2.7.3. Baterias.....	18
2.7.3.1. Baterias de Chumbo-Ácido	19
2.7.3.2. Baterias de Níquel-Cádmio	19
2.7.4. Reguladores (controladores) de carga	19
2.7.5. Inversor.....	21
2.7.6. Condutores elétricos	22
2.8. Caracterização de um sistema fotovoltaico	23
2.8.1. Corrente de curto-circuito	24
2.8.2. Tensão de circuito aberto	25
2.8.3. Potência máxima	25
2.8.4. Corrente de carga.....	25
2.9. Factores que influenciam num sistema fotovoltaico.	25
2.9.1. Temperatura.....	26
2.9.2. Irradiação.....	26
2.9.3. Localização geográfica.....	28
2.10. Planificação de uma instalação solar.....	29
2.10.1. Direcção e inclinação da instalação fotovoltaica.....	29
2.10.2. Perda da potência nas instalações fotovoltaicas	29
2.10.3. Direcção dos módulos solares	29
2.10.4. Ângulo de inclinação.....	30
2.11. Situação dos sistemas Fotovoltaicos no mundo.	31
2.12. Situação dos sistemas Fotovoltaicos em África.	32
2.13. Situação dos sistemas Fotovoltaicos em Moçambique.	33
CAPÍTULO III	34
3. METODOLOGIA	34

3.1. Tipos de pesquisas usadas para elaboração do trabalho.....	34
Entrevista.....	35
CAPITULO IV.....	36
4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	36
4.1. Levantamento das cargas na infra-estrutura.....	36
4.2. Dimensionamento de equipamentos.....	38
4.2.1. Dimensionamento de Módulos Fotovoltaicos.....	38
4.2.2. Dimensionamento das baterias de acumuladores.....	40
4.2.3. Dimensionamento do controlador de carga e do inversor.....	41
4.2.4. Dimensionamento de cabos.....	42
4.2.4.1. Generalidades.....	42
4.2.4.2. Espessura Isolante.....	42
4.2.4.3. Estimativa da secção do condutor eléctrico.....	43
4.2.4.4. Dimensionamento de condutores e cabos.....	44
4.3. Montagem e funcionamento do sistema fotovoltaico.....	45
4.4. Dimensionamento do sistema de bombagem de água na residência em Nguzene.....	48
4.5. Estimativa de consumo de água.....	49
4.6. Dimensionamento do sistema de geração.....	49
4.7. Custo de implantação do projecto.....	57
CAPÍTULO V.....	59
5. RESULTADOS.....	59
CAPÍTULO VI.....	60
6. CONCLUSÃO.....	60
6.1. RECOMENDAÇÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
APÊNDICE.....	65
Apêndice 01.....	65
Apêndice 02.....	66
Apêndice 03.....	67
ANEXO.....	68
Anexo 01.....	68
Anexo 02.....	69
Anexo 03.....	70

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho de pesquisa subordina-se ao tema: **Dimensionamento e electrificação de uma residência numa zona recôndita. A rede do sistema fotovoltaico autónomo como alternativa**, enquadra-se no Trabalho de Investigação Aplicada (TIA), para a obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Eléctrica.

A energia eléctrica é uma das formas de energia que a humanidade mais utiliza na actualidade, exercendo um papel fundamental para o desenvolvimento de um País. Diante disso, questões energéticas estão cada vez mais inseridas no contexto económico mundial, principalmente no que se refere a qualidade de vida do homem.

A satisfação das necessidades energéticas, sem alterar de maneira acentuada as condições de vida no planeta tem motivado interesse crescente por formas de energias limpas e renováveis. É neste contexto que se insere a geração de energia por sistema fotovoltaico.

Áreas remotas, onde há dificuldades de instalação dos meios centralizados de distribuição de energia eléctrica devido a factores económicos e ambientais, são lugares propícios para a instalação de sistemas fotovoltaicos, aliado ao facto de poder formar uma rede isolada de energia eléctrica, também são usados como fonte alternativa em lugares que a energia eléctrica é indispensável a tempo integral, tais como hospitais, faculdades, grandes empresas entre outros.

Um sistema fotovoltaico “off-grid” pode ser projectado para alimentar qualquer tipo de carga, qualquer valor da potência e qualquer montante de energia. É claro que, quanto mais potente forem os equipamentos a serem electricamente alimentados, e quanto maior o tempo de uso, mais energia consomem, e maior deverá ser o sistema fotovoltaico “off-grid” para atender as suas necessidades energéticas. E quanto mais potente é um sistema “off-grid”, maior será o investimento financeiro para a sua implantação. Por isso é muito mais comum a alimentação de pequenas cargas, como iluminação, telecomunicação e pequenos utensílios domésticos.

A electrificação de uma residência situada em um centro urbano, através de um sistema fotovoltaico “off-grid”, apesar de ser plenamente possível, não é tão atractiva de ponto de vista financeiro. Isto porque os custos de energia eléctrica fornecida pela rede pública de distribuição é

muito menor que os custos de instalação, operação e manutenção de um sistema fotovoltaico isolado autónomo (off-grid).

Contudo, em uma residência na zona rural, ao se considerar os custos das demais opções (ex: moto gerador a combustível líquido, e os custos de combustível ao longo dos anos de operação do gerador; ou os custos de se prover a rede, incluindo os postes, os cabos, o transformador, etc.), pode ser muito mais viável adoptar um gerador solar fotovoltaico “off-grid”. É por isso que as distribuidoras escolheram essa opção, para atender ao programa LUZ PARA TODOS.

No início dos anos 2000, com os incentivos a universalização da energia eléctrica, em especial através do programa LUZ PARA TODOS, as distribuidoras que atendem as zonas rurais de Moçambique, (FUNAE, EDM, SOLAR WORK) adoptaram os pequenos sistemas fotovoltaicos como fonte de energia, conseguindo atender a comunidades muito distantes dos centros urbanos, e onde o custo de levar as redes seria muito alto.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é realizado através de factores como o local de instalação e equipamentos a serem utilizados. Desta forma, é fundamental que se conte com o auxílio de uma empresa especializada ou indivíduo qualificado para efectuar o cálculo de potência, componentes de sistema fotovoltaico necessários e área mínima para instalação. Mais ainda, para dimensionar um sistema “ off grid” é necessário avaliar elementos como tensão de trabalho e número de fases, quantidades de unidades consumidoras e o período de funcionamento das cargas de consumo.

1.2. Problema da Investigação

Inexistência de energia eléctrica numa de residência unifamiliar na localidade de Nguzene.

1.2.1. Pergunta a Investigar

Será que dimensionando um sistema fotovoltaico permitirá a utilização de energia eléctrica de forma seguro e eficiente numa zona recôndida sem pessoal qualificado?

1.2.2. Hipóteses

H(0): Não será possível dimensionar um sistema fotovoltaico de modo a fornecer energia fotovoltaica de forma segura e eficiente sem pessoal qualificado.

H(1): Identificação de indivíduos qualificados para o dimensionamento e instalação de sistemas fotovoltaicos.

1.3. Constrangimentos na Investigação

1.3.1. Limitação do Trabalho

Para a realização deste projecto o proponente enfrentou as seguintes dificuldades:

- Dificuldade de encontrar equipamentos solares em zonas recôndidas, se não nas cidades.
- Extrema dificuldade em adquirir dados meteorológicos da localidade de Nguzene.
- Dificuldade em encontrar indivíduos capacitados em dimensionamento de sistemas de bombeamento de água, para consulta de alguns dados.

1.3.2. Delimitação do Trabalho

O projecto a ser desenvolvido envolve o estudo e construção de um sistema autónomo de geração de energia solar, será responsável pelo fornecimento de energia às cargas na residência situada na localidade de Nguzene, Distrito de Manjacaze, Província de Gaza.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo Geral

- Dimensionar sistema fotovoltaico, com vista a fornecer energia fotovoltaica a todas cargas numa residência localizada em Nguzene.

1.4.2. Objectivos Específicos

- Levantamento das cargas a serem alimentadas através do sistema fotovoltaico;
- Escolha dos equipamentos necessários para evitar subdimensionamento e sobredimensionamento;

- Escolha dos materiais necessários para instalação de utilização;
- Identificar indivíduos qualificados para instalação de sistemas fotovoltaicos.

1.5. Cronograma de Actividades

O Homem por raciocínio nas suas actividades procura sempre se enquadrar no tempo de modo a colocar suas actividades no mesmo, mostrando a sequência. Nessa vertente depois da aceitação do projecto do sistema fotovoltaico segue-se a sequência do período e das actividades a serem realizadas em torno de implementação.

Tabela 1: cronograma das actividades para a instalação do sistema

Item	Actividades / Ano / Mês	2020												2021					
		Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho
01	Escolha do tema	█	█																
02	Análise do problema			█	█	█													
03	Escolha da solução do problema.						█	█	█										
04	Revisão da literatura									█	█	█	█	█	█				
05	Dimensionamento do projecto									█	█	█	█	█	█	█			
06	Avaliação geral do projecto															█	█		
07	Recorrecção e aprovação do projecto															█	█	█	█

FONTE: adaptado pelo autor, 2021

1.6. Justificativa

A principal razão ao se optar pelo uso de sistemas fotovoltaicos para geração de energia é pela inexistência da REN (Rede Electrica Nacional) na localidade, custos elevados das demais opções (ex: moto gerador a combustível líquido, e os custos de combustível ao longo dos anos de operação do gerador; ou os custos de se prover a rede, incluindo os postes, os cabos, o transformador, etc), pode ser muito mais viável adoptar um gerador solar fotovoltaico “off-grid”, associado ao facto de

que não se sabe ao certo quando a concessionária de distribuição de energia eléctrica no País vai abranger todas as localidades em Moçambique até 2030, pois a forma como a energia é produzida, transportada e contabilizada pela concessionária acarreta custos elevados de retorno do investimento.

1.7. Estrutura do Trabalho

Em termos de estrutura e para melhor abordagem do tema, o trabalho está dividido em seis capítulos.

No **primeiro capítulo** apresenta o tema, problema, justificativa, a própria organização do trabalho, a problematização onde tem a delimitação e limitação do trabalho, formulação do problema de partida e elucidação dos objectivos gerais e os específicos.

O **segundo capítulo** destaca-se a revisão da literatura, apresenta vários conceitos em torno do estudo e âmbito das matérias que já foram estudadas e publicadas que se relacionam ao tema em pesquisa, debruça sobre o sistema fotovoltaico, constituição, tipos, mostra o lugar ideal para a montagem do sistema fotovoltaico e as condições suportadas pelo mesmo.

O **terceiro capítulo** apresenta os procedimentos metodológicos que foram utilizados, é a parte do trabalho que demonstra as técnicas, regras e critérios científicos obedecidos para tornar a pesquisa possível. É o capítulo no qual o proponente apresenta o tipo de pesquisa usado no trabalho, métodos, os instrumentos de recolha de dados.

O **quarto capítulo** debruça sobre o desenho do projecto do sistema, ou descrição das actividades do projecto, de forma clara e detalhada mostra como os equipamentos foram dimensionados, o levantamento da carga em edifício crítico, funcionamento, o orçamento do material para a implementação, bem como mão-de-obra, para melhor organizar-se no âmbito económico.

O **quinto capítulo** é apresentado os resultados em termos de custos financeiros do projecto, para avaliação económica e aquisição de todo material para execução do projecto.

E por fim o **sexto capítulo** apresenta a conclusão, as referências bibliográficas, apêndice e os anexos do projecto.

CAPÍTULO II

REVISÃO DA LITERATURA

2. CONCEITOS

2.1. Energia

É uma grandeza que caracteriza um sistema físico, mantendo o seu valor independente das transformações que ocorre nesse sistema, Markus (2004, p.14). Para o proponente energia expressa capacidade de modificar o estado dos outros corpos com os quais interage.

2.1.1. Energia eléctrica

Segundo Markus (2004, p.14), energia eléctrica “é a forma de energia baseada na geração de diferenças de potencial eléctrico, entre dois pontos que permitem estabelecer uma corrente eléctrica entre ambos”. Mediante a transformação adequada é possível obter que tal energia se mostre de várias formas finais de uso directo.

2.2. Sistema fotovoltaico

Segundo Chuco (2007, p.15), o sistema fotovoltaico é definido como “conjunto de equipamentos reunidos cuja finalidade é transformar a energia solar em energia eléctrica, disponibilizando-a para o uso em cargas contínuas ou alternadas, seja em períodos que haja incidência solar assim como não”.

2.2.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos

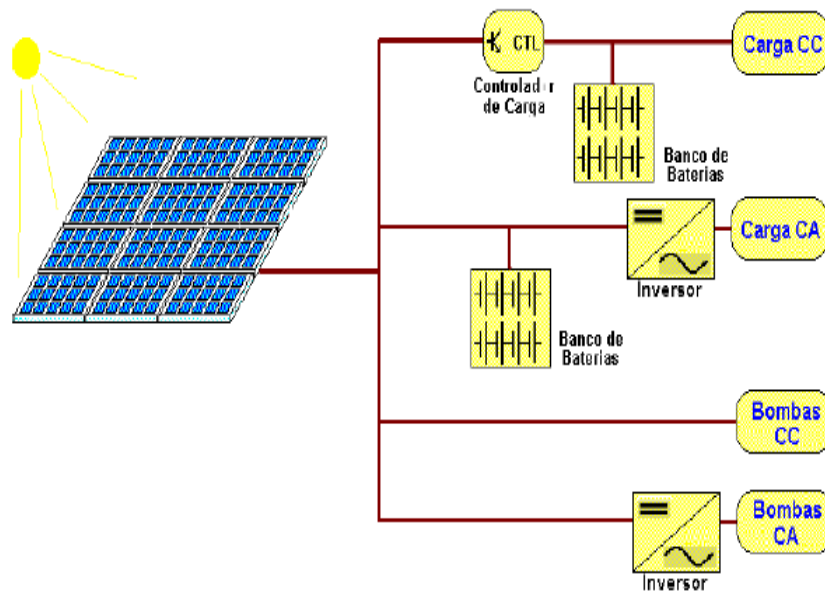
Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados a rede (Chuco,2007, p.10). Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento.

2.2.2. Sistemas isolados

Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, o que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios(Chuco 2007, p.11).

Baseando e palavras acima, para o autor sistemas isolados, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia, este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos, ou armazenar-se na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento.

Figura 1: Diagrama de sistema fotovoltaico em função da carga utilizada



FONTE: Carlos Carmona (2011, p.18)

Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O “controlador de carga” tem como principal função não deixar que haja danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua.

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para

otimização da potência final produzida. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

2.2.3. Sistemas híbridos

Segundo Chuco (2007, p.16) “os sistemas híbridos são aqueles que, desconectado da rede convencional, apresenta várias fontes de geração de energia como por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras”.

A utilização de várias formas de geração de energia elétrica torna-se complexo na necessidade de otimização do uso das energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário.

Figura 2: Exemplo de Sistema Híbrido



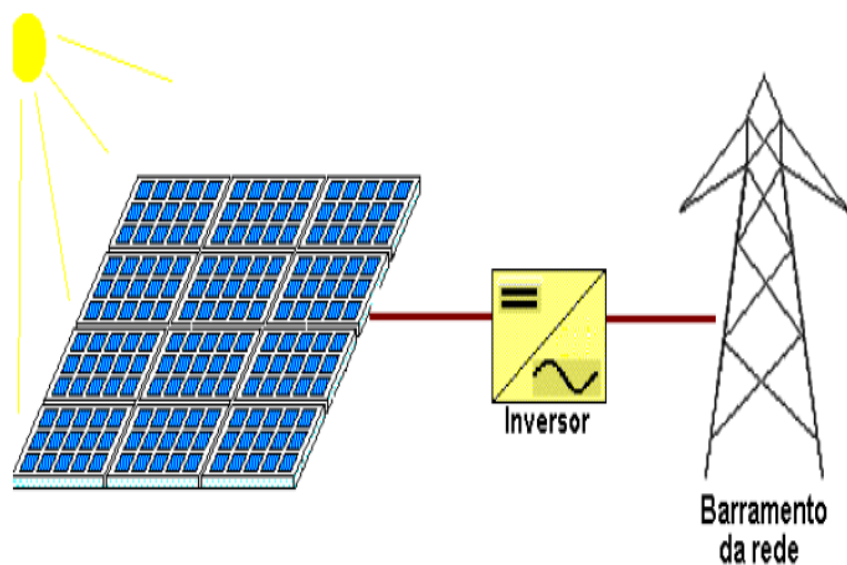
FONTE: Carlos Camara (2011, p.23)

Em geral, os sistemas híbridos são empregados para sistemas de médio a grande porte vindo a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um inversor. Devido a grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso.

2.2.4. Sistemas conectados á rede de distribuição

Estes sistemas não utilizam armazenamento de energia pois toda a geração é entregue diretamente na rede. (Chuco 2007, p.24). No pensar do autor sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. Todo o arranjo é conectado em inversores e estes fazem a interface com a rede elétrica. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada, como sistema anti-ilhamento, distorção harmônica em consonância com as normas aplicáveis, saída CA com forma de onda senoidal pura, proteções contra sobretensões e sobrecorrente, dentre outras.

Figura 3: sistema de esquema interligada a rede



FONTE: Carlos Camara (2011, p.24)

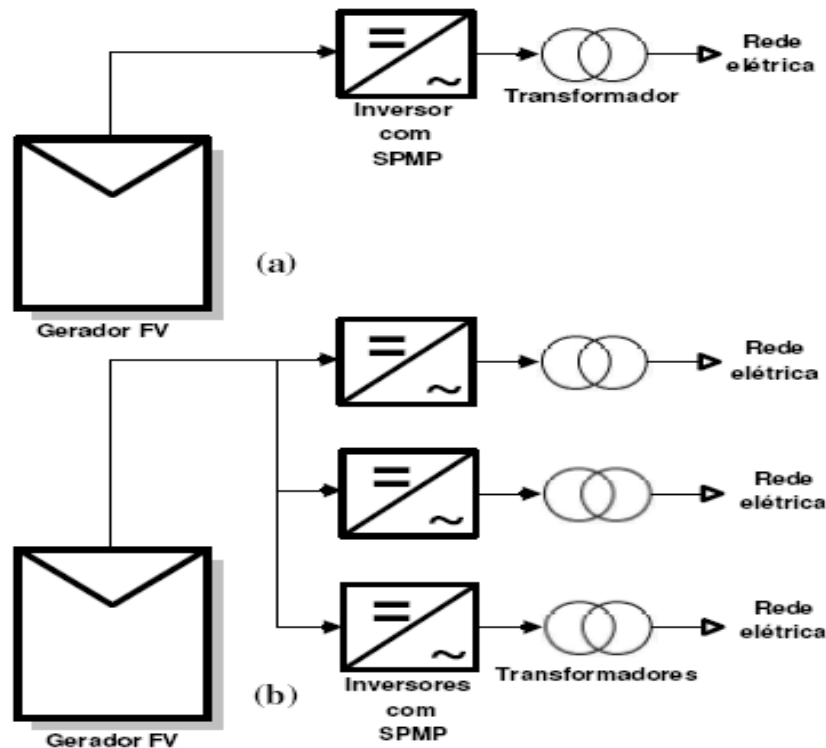
2.2.5. Sistemas fotovoltaicos conectados a rede elétricas

Os sistemas fotovoltaicos conectados á rede eléctrica (SFCR) podem ser de grande porte (centrais fotovoltaicas) ou de pequeno porte (descentralizada e instalada em edificações urbanas).

2.2.6. Grandes Centrais

Segundo Chuco (2007, p.18) um sistema fotovoltaico grande “fornece uma grande potência, esse sistema utiliza inversores e comutados pela rede eléctrica, para evitar com que haja má conexão do sistema com a rede, no geral são equipamentos com seguidor de ponto de máxima potência”.

Figura 4: configuração de sistema fotovoltaica com 1 e com 3 inversores



FONTE: Carlos camara (2011, p.25)

2.3. Efeito fotovoltaico

Os electrões se encontram em níveis estacionários de energia de um átomo e para que o electrão passe para outro nível de energia ele deve absorver ou emitir energia, a transição electrónica de níveis de energia se dá com energia recebida ou cedida pelo electrão,

Basicamente existem três bandas de energia, que determinam a quantidade necessária para um electrão realizar a mudança: banda de valência, banda proibida e banda de condução.

A banda de valência refere-se ao nível de energia em que o electrão está sob forte acção da força do núcleo atómico. A banda proibida é a faixa de energia que o electrão deve romper para poder

entrar na banda de condução, sendo que esta última é caracterizada por uma liberdade que o electrão possui de interagir com a sua vizinhança. Cada tipo de material fotovoltaico possui valores específicos da banda, elas determinam-se do material que possui características condutoras ou isolantes, quanto menor for a banda proibida maior é a facilidade de um electrão interagir com sua vizinhança, pois será necessária pequena quantidade de energia para realização da transição electrónica, em painéis fotovoltaicos utilizam-se semicondutores dopados.

Nos materiais semicondutores, a zero Kelvin, as bandas de valência apresentam-se cheias e as de condução vazias, semelhante aos isolantes, porém com a diferença de estarem separadas por uma banda proibida muito menor (cerca de cinco vezes, por exemplo, entre o silício e o diamante). Como a banda proibida dos semicondutores é relativamente baixa, é possível excitar alguns eletrões da banda de valência para a banda de condução por meios térmicos ou luminosos. Sendo assim, pares elétron-lacuna são gerados, permitindo a condução de corrente. Num semicondutor intrínseco, esses pares elétron-lacuna são os únicos portadores de carga, o que mantém o cristal com uma elevada resistividade.

Para melhorar a condutividade, são inseridos materiais dopantes, cujo efeito é atuar na estrutura de bandas, diminuindo a banda proibida, além de disponibilizar portadores de carga. Os cristais tipo-p ou tipo-n são produzidos dependendo dos dopantes doadores de eletrões (tipo n) ou receptores (tipo p). Na verdade, o uso dos dopantes representa o controle das propriedades eléctricas nos semicondutores.

A junção de um cristal tipo P e um tipo N é necessária para ocorrência do efeito fotovoltaico. Nessa junção cria-se uma zona de depleção, lugar onde existe um campo eléctrico gerado pela recombinação, ou seja, associação de um elétron do material tipo N com uma lacuna do material tipo P.

O efeito fotovoltaico ocorre quando os electrões absorvem a energia solar necessária para romper a sua banda de valência e entrar na banda de condução, onde ele terá liberdade de interagir eletronicamente com a sua vizinhança.

O campo eléctrico gerado na junção acelera os electrões e favorece o deslocamento de cargas, gerando, dessa forma, a corrente eléctrica, que será distribuída pela rede eléctrica ou consumida pelas cargas.

2.4. Célula fotovoltaica

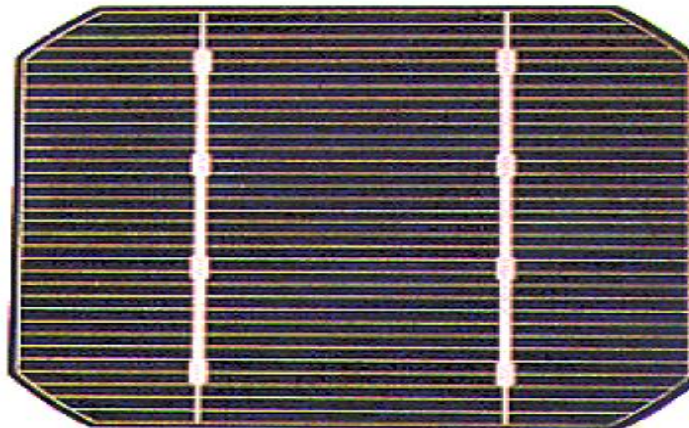
Segundo Carlos (2011, p.126), “células fotovoltaicas são elementos responsáveis pela conversão directa da luz solar em electricidade, é neles que ocorre o efeito fotovoltaico”. As primeiras células fotovoltaicas produzidas possuíam um rendimento de 2%, porém actualmente já são produzidas células fotovoltaicas com 10% a 18% dependendo do material usado, podendo ser fabricadas de diversos materiais semicondutores, porém as mais utilizadas são de silício, que podem ser construídos e classificados de acordo com a sua estrutura molecular que são as monocristalino, policristalino e silício amorfo.

2.4.1. Célula de Silício monocristalino

A célula monocristalino é a mais usada e comercializada como conversor directo de energia solar em energia eléctrica, e a tecnologia usada é um processo básico, consolidou se no mercado pela sua robustez e sua confiabilidade, o que carrega do custo alto na sua fabricação.

Segundo os testes realizados em laboratório sandia, em Março de 1999, o silício monocristalino com $4,0 \text{ cm}^2$ apresenta uma eficiência de 24,7%.

Figura 5: célula de silício monocristalina



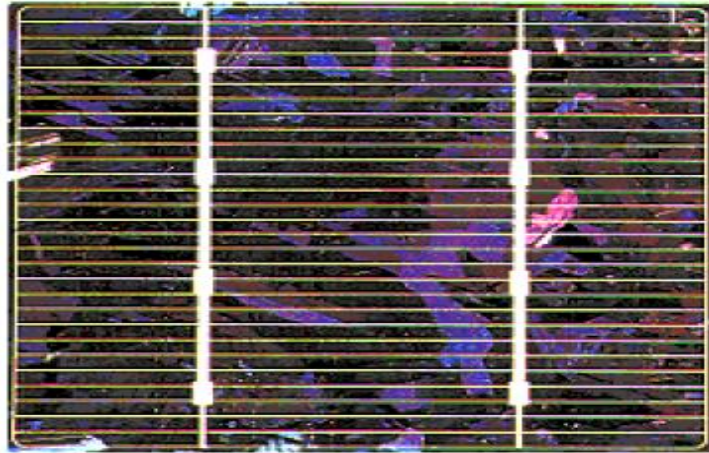
FONTE: João Pinho (2014, p.23)

2.4.2. Célula de Silício policristalino

Segundo Kasmerski (1999, p.18), “o silício policristalino apresenta uma eficiência baixa a nível de 19,8%, para uma célula de $1,09 \text{ cm}^2$, são células que tem muita robustez.” São mais resistentes,

ganharam o mercado pelo motivo da robustez, tanto que são muito usadas para projectos de grandes escalas. Como por exemplo para o caso de alimentar somente uma casa que tem poucos componentes electrónicos.

Figura 6. célula de silício policristalino



FONTE: João Pinho (2014, p.23)

2.4.3. Célula de Silício amorfo

Estas células são menos eficientes que as células policristalino, no entanto só poderão vir a ser competitivas quando associadas em número maior, segundo Shah, (1999, p.17) o silício amorfo tem uma eficiência de 13% em células de pequenas áreas.

Figura 7: célula de silício amorfo



FONTE: João Pinho (2014, p.12)

2.5. Módulos fotovoltaico

Uma célula fotovoltaica possui baixa tensão e corrente de saída, para se obter uma corrente e tensão de saída adequada para a utilização é feito o agrupamento de várias células, formando um módulo fotovoltaico ou painéis fotovoltaicos. O agrupamento em modulo é indispensável, visto que a célula isolada fornece pouca energia eléctrica, em uma tensão em torno de 0,4 volts no seu ponto máximo de potência.

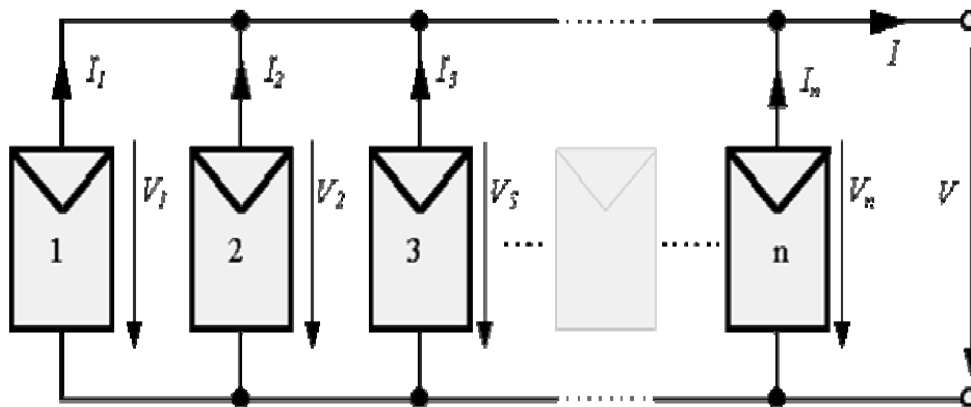
Segundo Chuco (2007, p.18) “um módulo fotovoltaico pode ser considerado um arranjo de células fotovoltaicas conectadas em série ou paralelo para alcançar níveis de tensão e potência desejáveis para determinada aplicação”. É de realçar que o número de células conectadas em módulos e o tipo de arranjo (série ou paralelo) dependerá da tensão de utilização e da corrente desejada.

2.6. Associação paralelo

Células fotovoltaicas associadas em paralelo apresentam terminais do mesmo tipo ligados a um ponto comum, assim sendo os terminais positivos são ligados ao mesmo ponto, enquanto os terminais negativos são ligados ao mesmo ponto.

Embora a tensão seja a mesma e a corrente é a soma de todas correntes individuais em cada célula.

Figura 8: associação de células em paralelo

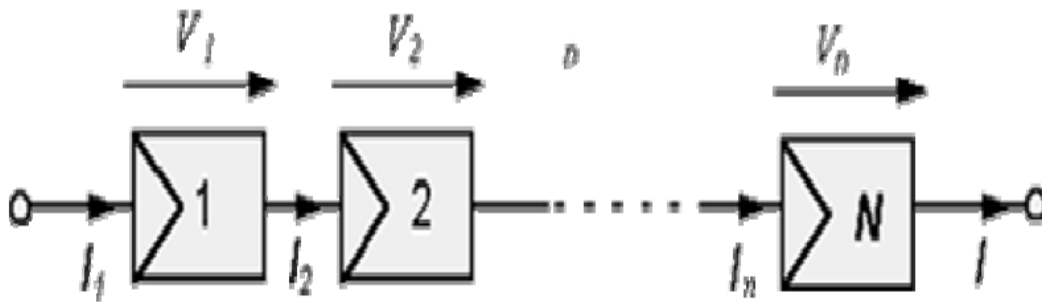


FONTE: Reinata Braga (2008, p.24)

2.6.1. Associação em série

Na associação série cuja figura está representada abaixo, o terminal do positivo de um módulo é ligado ao terminal negativo de outro módulo. Neste caso a corrente será igual as correntes individuais em cada módulo, mas a tensão total será igual a soma de cada tensão em cada módulo.

Figura 9: associação de módulos em série



FONTE: Reinata Braga (2008, p.15)

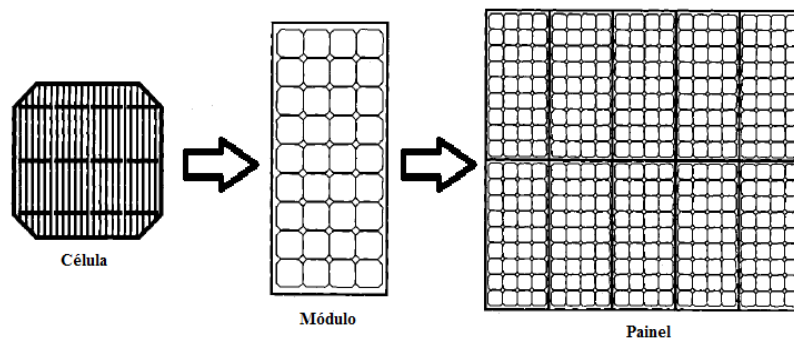
2.6.2. Características dos módulos fotovoltaicos

Segundo Cresesb (2004, p.18) “a potência de um modulo fotovoltaico é dado pela potência de pico em watt pico (Wp)”. Entretanto existem outras características que melhor caracterizam os módulos fotovoltaicos:

- Voltagem de circuito aberto (V_{OC}): máxima tensão que um dispositivo pode entregar sob determinadas condições de radiação e temperatura correspondente á circulação da corrente nula, e conseqüentemente á potência nula;
- Corrente no Curto-Circuito (I_{CC}): máxima corrente pode entregar um dispositivo, sob condições de determinadas condições de radiação e temperatura, correspondente a tensão nula e conseqüentemente a potencia nula;
- Potência máxima (P_M): é o valor máximo que a potência pode entregar o dispositivo. Correspondente ao ponto da curva no qual o produto $V \times I$ é máximo;
- Voltagem de máxima potência (V_{MP}): é a única tensão para qual a potência máxima poderá ser extraída;
- Corrente de máxima potência (I_{MP}): corrente que o dispositivo entrega para a potência máxima sob condições de determinada radiação e temperatura.

Atendendo as necessidades do projecto, o projectista pode optar em associar as células ou módulos para se atingir um nível desejado de potência, mas é de notar que a associação dos mesmos tem de ser para o mesmo tipo de painel, isto é, para painéis com mesmas características. Além de associar células em série e ou paralelo para formar módulo, pode-se associar módulos fotovoltaicos visando atender as necessidades do projecto, desta forma o conjunto de células constitui um módulo e o conjunto de módulos forma um painel, como mostra a figura.

Figura 10: representação de célula, módulo e painel fotovoltaico



FONTE: Chuco (2007)

2.7. Componentes de um sistema fotovoltaico

Segundo Cresesb (2004, p.17) um sistema fotovoltaico “compreende um agrupamento de módulos em painéis fotovoltaicos e de outros equipamento relativamente convencionais, que transformam ou armazenam a energia eléctrica para que esta possa ser utilizada facilmente nas várias aplicações.

Os componentes do sistema fotovoltaico podem variar de acordo com as características das cargas a serem alimentadas:

- Painéis fotovoltaicos;
- Sistema de regulação supervisão e controle (SRSC);
- Baterias;
- Inversor;
- Equipamentos complementares.

2.7.1. Painéis fotovoltaicas

Os módulos fotovoltaicos podem ser conectados em ligações série e ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejadas, para formar painel fotovoltaico, com potência mais elevada. Ao definir como serão associados os módulos, é necessário ter informações de como deverá ser a instalação e quais os componentes a serem utilizados, pois as correntes e tensões resultantes devem ter plena compatibilidade com esses componentes. A conexão série é feita do terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro módulo e a associação paralela é feita unindo-se os terminais positivos dos módulos entre si.

2.7.2. Sistema de regulação supervisão e controle

Segundo Cresesb (2004, p.36) SRSC deve ser entendido como sendo a integração eléctrica dos painéis reguladores de baterias sensores para alarmes remotos, chaves e dispositivos para a medição.

Trata-se de um gabinete que contém os reguladores, instrumento, circuito de supervisão e alarmes e díodos de bloqueio, o díodo de bloqueio, instalado em série com a placa, tem a função de impedir que a energia armazenada pela bateria seja descarrega em períodos em que há deficiência de radiação solar, uma vez que este bloqueia a passagem corrente em direção ao painel fotovoltaico, evitando o retorno da corrente e conseqüentemente perda de energia.

Cabe ao SRSC emitir alarmes que indicam anormalidades do sistema, tais como condição de sobrecarga, baixa autonomia de energia e fusíveis interrompidos. Faz-se necessário, ainda, devido à presença de várias cargas no sistema fotovoltaico, de um sistema de supervisão que determine as prioridades de uso neste sistema fotovoltaico, visando a economia de energia em cargas ao desligar aquelas de menor importância em períodos críticos de funcionamento do sistema.

Em suma, o SRSC deve ser projetado de modo a garantir o correto funcionamento do sistema, fazendo o gerenciamento das cargas, realizando ações de controle e, conseqüentemente, aumentando sua vida útil.

2.7.3. Baterias

A eficiência do sistema de energia solar depende directamente da qualidade e do estado das baterias, também denominados acumuladores de carga, a função das baterias de acumuladores em um sistema de geração fotovoltaica é acumular a energia produzida durante as horas de luminosidade a fim de poder ser utilizada quando necessário, são capazes de transformar directamente a energia luminosa em energia potencial química e posteriormente converter, directamente a energia química em energia eléctrica, cada bateria é composto por um conjunto de células electroquímicas, ligadas em série para obter a tensão desejada.

Baterias que permitem uma descarga profunda são as mais apropriadas para se obter o melhor retorno do sistema. A capacidade de armazenamento de energia de uma bateria depende da velocidade de descarga, quanto maior o tempo de descarga, maior será a quantidade de energia que a bateria fornece. As baterias são classificadas em duas categorias: baterias primárias e baterias secundárias.

As baterias primarias são dispositivos electroquímicos que, uma vez esgotados os reagentes que produzem a energia eléctrica, são descartadas, pois não podem ser recarregadas. Já as baterias secundárias podem ser recarregadas, ou seja, através da aplicação de corrente eléctrica em seus terminais pode-se reverter as reacções responsáveis pela geração de energia eléctrica e, assim, recarregar novamente a bateria.

Figura 11: Baterias especiais para sistemas fotovoltaicos.



Fonte: Deka (2011)

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia eléctrica utilizam acumuladores secundários, isto é, baterias que podem ser recarregadas. Entre inúmeros tipos de baterias secundárias, as mais comuns são as de Chumbo-Ácido e as de Níquel-Cádmio.

2.7.3.1. Baterias de Chumbo-Ácido

São assim denominadas porque a sua matéria activa é chumbo, e o electrólito é uma solução aquosa de ácido sulfúrico. A bateria é composta por elementos ou células, que são constituídos por duas placas de polaridade opostas, isoladas entre si, banhadas pelo electrólito, os elementos são interligados de forma a definir a sua tensão e a capacidade nominal.

Essas baterias são as mais aplicadas para sistemas de energia fotovoltaica, elas são mais usadas devido a sua variedade de tamanho, custo e grande disponibilidade no mercado. Um parâmetro importante na escolha de baterias de Chumbo-Ácido é sua descarga profunda, a profundidade da descarga define o percentual em relação a sua capacidade nominal que uma bateria pode oferecer sem que a sua vida útil seja comprometida, as baterias de chumbo-ácido de baixa profundidade de descarga são empregadas principalmente em automóveis e as de alta profundidade de descarga são usadas para o caso de sistemas de geração de energia fotovoltaica.

2.7.3.2. Baterias de Níquel-Cádmio

Um outro tipo de bateria secundária que é usado em sistemas de geração de energia fotovoltaico são as baterias de níquel-cádmio, apresentam uma estrutura semelhante com as de chumbo-ácido, porém para além de placas de chumbo, elas utilizam hidróxido de níquel para as placas positivas e óxido de cádmio para as placas negativas, e o electrólito é o hidróxido de potássio.

As baterias de Níquel-Cádmio tem vantagens em comparação com as de Chumbo-Ácido, por isso são mais usadas para os sistemas fotovoltaico, algumas vantagens são: o seu longo tempo de vida, pouca manutenção, sobrevivências ás descargas excessivas, excelente capacidade de retenção á baixas temperaturas e não há necessidade de ter uma tensão de regulação de carga.

2.7.4. Reguladores (controladores) de carga

Quando um equipamento é ligado á uma bateria a quantidade de energia eléctrica nela armazenada, vai diminuindo á medida que o tempo passa. Para evitar que a bateria se descarregue por completo

sem insolação e de grande consumo, ou seja tenha uma descarga profunda, é conveniente instalar um equipamento controlador de carga. Este equipamento monitora a carga na bateria que a mesma descarregue completamente, aumentando a vida útil, já em período de insolação e pequeno consumo de energia a bateria tende a descarregar em excesso, diminuindo a vida útil da mesma, o controlador evita essa descarga excessiva, desconectando o módulo, evitando que a bateria descarregue por influência do módulo.

a) Características ideais para controlador de carga

Existem muitos tipos de controladores de carga no mercado com grandes variações de funções e preços e a seguir estão algumas características desejáveis:

Vida útil esperada de pelo menos 10 anos;

Chaveamento electrónico (sem componentes eletromecânicos);

Proteção contra inversão de polaridade;

Desconexão da carga para proteção das baterias, contra descargas excessivas;

Curto-circuitar o módulo em caso de não uso de energia gerada;

Compensar as variações de temperatura.

Figura 12: Controlador de carga de baterias para sistemas fotovoltaicos.



FONTE: Victron energy – datasheet, 2020.

2.7.5. Inversor

Fraga (2009, p.23) afirma que: “O inversor é um dispositivo necessário para a alimentação de cargas em CA. A geração do sistema fotovoltaico, assim como a energia fornecida pelas baterias é corrente contínua CC, mas alguns tipos de cargas necessitam de corrente alternada para operarem, neste caso o conversor converte a energia de corrente contínua para corrente alternada”.

Trata-se de um aparelho electrónico capaz de transformar a energia eléctrica de corrente continua em corrente alternada, este equipamento possibilita o uso de electrodomésticos presente no mercado, a inversão de corrente contínua em corrente alternada, pode ser gerada sob forma de onda quadrada até a onda sinusoidal pura.

O inversor também pode ser chamado de inversor estático, este equipamento utiliza dispositivos semicondutores para chavear a entrada CC e produzir uma saída CA, de determinada frequência.

A classificação de inversor é conforme o tipo de tensão CA produzida, as formas de ondas geradas pelo inversor determinam a qualidade do mesmo. A inversão de CC para CA pode ser gerada sob a forma de onda quadrada até senoidal pura. Quanto menos parecida com a forma original senoidal, maior será a limitação da utilização da energia proveniente do inversor. As mais usuais formas de onda são: ondas quadradas, onda quadrada modificada ou onda retangular, e senoidal, cada tipo de formas de onda tem o seu potencial e suas fraquezas, ligadas ao custo, a vida útil, formas de conversão de energia, assim cabe ao projectista escolher o tipo de inversor tendo em conta as cargas a serem alimentadas.

Tabela 2: classificação de cada inversor consoante o tipo de onda produzida com as suas características.

Inversor	Características
Inversor de onda quadrática	Fornece uma saída CA com harmónicos elevados e pequena regulação de tensão. A onda quadrática é obtida simplesmente alternando se a corrente e tensão. São baratos, mas não podem ser usados para cargas indutivas, mas sim cargas resistivas, tais como lâmpadas.
Inversor de onda retangular	São usados para melhor aproximação de onda sinusoidal, estes possuem menor distorção harmónica que onda quadrática. São para maior variedade de cargas incluindo lâmpadas equipamentos electrónicos embora não consigam operar em motores tão eficientemente.
Inversor de onda sinusoidal	São geralmente os mais caros, entretanto quando bem projectados são os que produzem uma tensão de saída adequada e podem operar qualquer aparelho de CA ou motor adequados para qualquer tipo de carga excepto os mais sensíveis. Possuem uma distorção harmónica muito baixa.

FONTE: (Fraga, 2009)

Os inversores naturalmente encontrados em mocambique são os de ondas sinusoidais, como o caso de inversor se 5000W, para grandes projectos, os de 1200W e 3000W para médios projectos e para pequenos projectos temos os 350W.

Os inversores podem também serem classificados de acordo com o principio de funcionamento: inversores Auto comutados e comutados pela rede, auto comutados quando normalmente forem automáticos, e quando estes não precisarem de rede eléctrica do sistema nele a funcionar, e comutados pela rede quando necessitam de uma corrente para estimular o seu funcionamento.

Figura 13: Unidade inversora de CC para CA

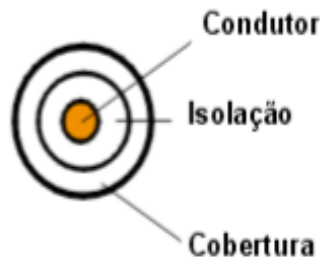


FONTE: Victron energy – datasheet, 2020.

2.7.6. Condutores eléctricos

Segundo Anônimo (2012, p.105) condutores eléctricos de potência em baixa tensão podem ser fios ou cabos de cobre ou alumínio capazes de transportar energia eléctrica em circuitos com tensões eléctricas de até 1000 V. Os principais componentes de um fio ou cabo de potência em baixa tensão são o condutor, a isolamento e a cobertura, conforme indicado na figura a baixo

Figura 14: camadas do fio condutor



FONTE: Chuco (2014)

O condutor pode ser constituído por um único fio metálico maciço rígido ou por um conjunto de fios torcidos formando um condutor flexível. Alguns cabos elétricos podem ser doptados apenas de condutor e isolação, sendo chamados então de condutores isolados, enquanto que outros podem possuir adicionalmente a cobertura (aplicada sobre a isolação), sendo chamados de cabos unipolares ou multipolares, dependendo do número de condutores (veias) que possuem.

O condutor pode ser constituído por um único fio metálico maciço rígido ou por um conjunto de fios torcidos formando um condutor flexível. Alguns cabos elétricos podem ser doptados apenas de condutor e isolação, sendo chamados então de condutores isolados, enquanto que outros podem possuir adicionalmente a cobertura (aplicada sobre a isolação), sendo chamados de cabos unipolares ou multipolares, dependendo do número de condutores (veias) que possuem.

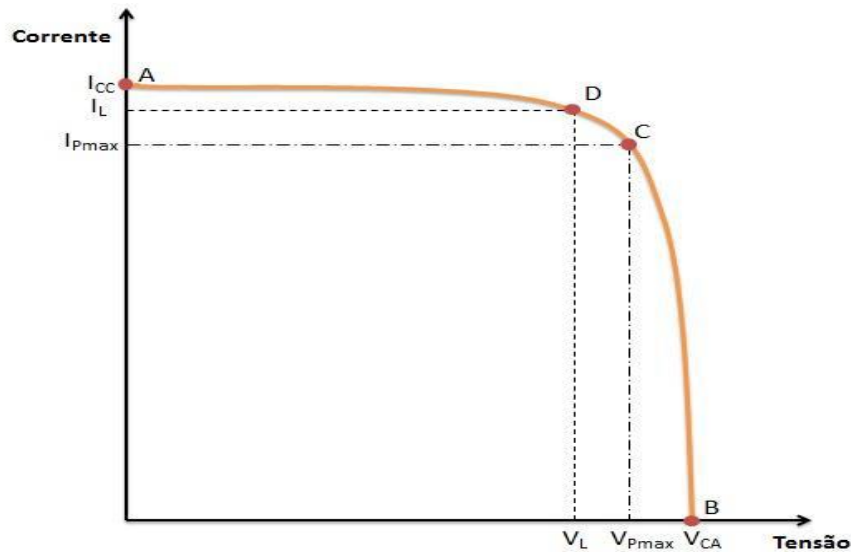
2.8. Caracterização de um sistema fotovoltaico

“A caracterização do sistema fotovoltaico é de extrema importância para a sua implementação. Segundo Chuco” (1992, p.20), é frequente encontrar diferenças entre o valor da potência nominal indicada nos catálogos e a obtida pela comprovação experimental, isto demonstra o porquê de se fazer uma caracterização do sistema, para que se possa ter o conhecimento das características reais através de testes segundo as condições físicas do ambiente em que o sistema será implantado.

Existem diversos métodos de caracterização de um sistema fotovoltaico: neste trabalho será utilizada a extrapolação da curva I-V para determinadas condições de radiação e temperatura. Para traçar esta curva deve-se observar a variação da corrente e voltagem de acordo com a variação

carga conectada ao sistema, para leitura da corrente de curto circuito a tensão é zero e para tensão de circuito aberto tem-se a corrente nula como mostra a figura.

Figura 15: exemplo de curva I-V



FONTE: Chuco (1992)

A verificação de desempenho do sistema fotovoltaico é realizada sob condições de ambiente e radiação, por meio de curva I-V pode-se interpretar varias características eléctricas do gerador fotovoltaico, tais como:

Corrente de curto-circuito;

Tensão de circuito aberto;

Potência máxima;

Corrente de carga.

2.8.1. Corrente de curto-circuito

Segundo Chuco (1992, p.30), para medir a corrente de curto-circuito deve-se curto-circuitar a saída dos terminais quando o sistema se encontra sob radiação completa, ignorando o diodo e as correntes de fuga abaixo da tensão zero entre os terminais a corrente de curto-circuito é representado por I_{CC} .

2.8.2. Tensão de circuito aberto

A tensão de circuito aberto V_{CA} é a tensão máxima do sistema conforme o gráfico da figura 15 mostra.

Chuco (1992, p.32) afirma que:

É de realçar que o sistema fotovoltaico sempre produz corrente desde o momento que haja radiação, isto é, mesmo de noite o sistema produz apesar de ser com baixa intensidade.

2.8.3. Potência máxima

A potência máxima é encontrada no ponto D da figura 15, é o produto máximo da corrente e tensão, desta forma tem-se a seguinte equação:

$$P_{m\acute{a}x} = I_{m\acute{a}x} \times V_{m\acute{a}x}$$

FONTE: Chuco (1992)

2.8.4. Corrente de carga

A corrente de carga (I_L) é obtida de acordo com a variação da carga conectada ao sistema. Varia desde quando se tem uma impedância nula (corrente de curto-circuito) até uma impedância finita onde se obtém a corrente nula e a tensão de circuito aberto. Isto pode ser verificado na figura 15. Com a variação da tensão em função da corrente de carga tem-se a curva I-V, utilizada para a caracterização do sistema fotovoltaico.

2.9. Factores que influenciam num sistema fotovoltaico.

Segundo Chuco (1992, p.54) para a montagem de sistemas fotovoltaicos, devem-se ser considerados factores como a temperatura, a situação da atmosfera, a luminosidade, o posicionamento, a localização geográfica, o horário da exposição, bem como o mês do ano e o clima. Para o autor, o rendimento do sistema fotovoltaico está condicionado a vários factores, isto é, tem factores que interferem directamente na produção de energia fotovoltaico. Um estudo minucioso desses factores é de suma importância para verificar a viabilidade de implantação do sistema, pois interferem directamente em seu rendimento, e no seu funcionamento.

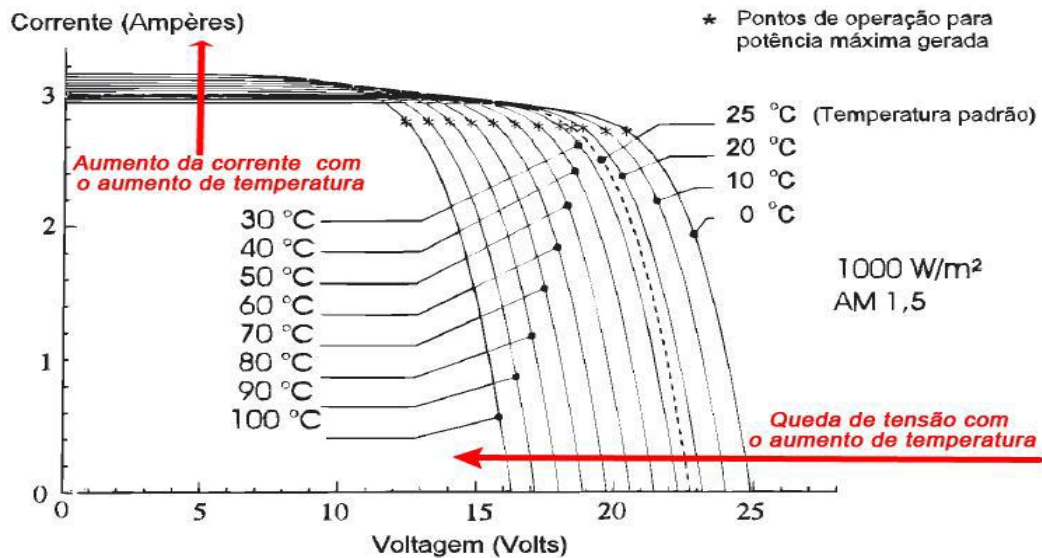
2.9.1. Temperatura

A temperatura tem sua influência devido à variação do comportamento eléctrico do material semiconductor. O aumento da temperatura da célula resulta em uma perda significativa de rendimento de geração de energia e como parte da energia da radiação absorvida é dissipada na forma de calor, a temperatura da célula tende a ser ainda maior que a temperatura ambiente.

Gasparin (2009) afirma que:

“A corrente fotogerada é diretamente proporcional ao aumento da temperatura da célula devido à redução da banda proibida do material semiconductor da célula com o aumento da temperatura. Em contrapartida, a tensão de circuito aberto sofre um decréscimo causado pelo aumento da corrente e saturação, que se trata de uma corrente de portadores de carga minoritários criada por excitação térmica. Com a variação da corrente e tensão devido à variação de temperatura ocorre uma redução de potência do módulo fotovoltaico”.

Figura 16: efeito da temperatura no módulo



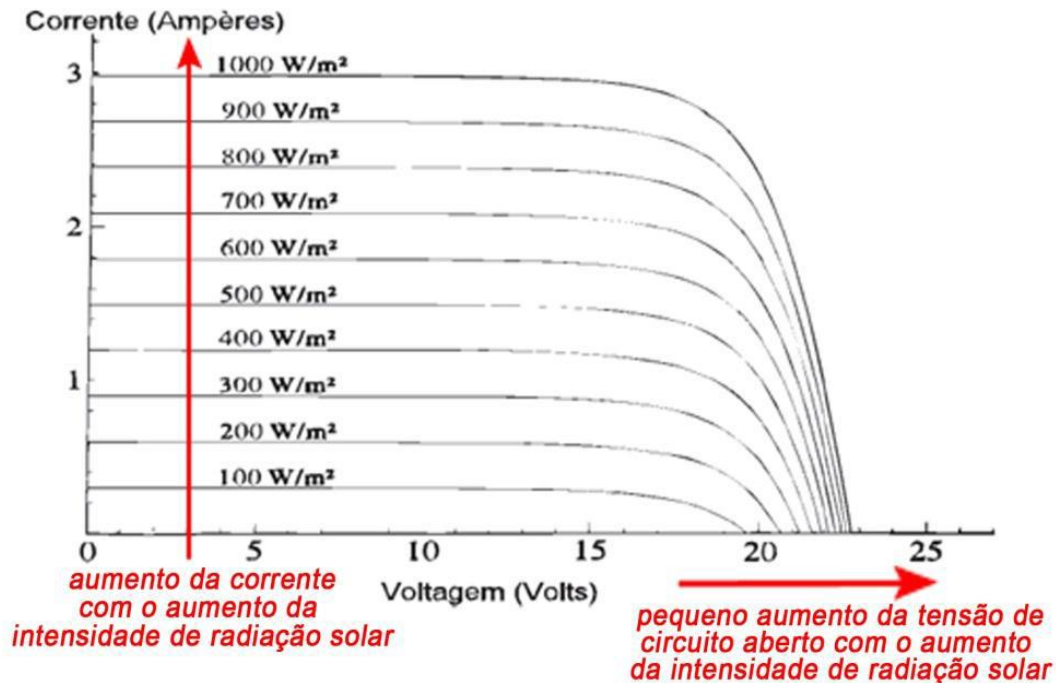
FONTE: Cesar Ribeiro (2012)

2.9.2. Irradiação

A radiação solar é uma fonte inesgotável de energia limpa o que estimula a utilização de equipamentos que façam a conversão de energia solar em energia eléctrica. Portanto para o uso da energia solar torna-se necessário avaliar a sua interferência em um sistema geração fotovoltaica, notar que para cada país tem a sua radiação, isto é, para cada país tem as horas máximas de

insolação o que faz com que haja diferença dos sistemas montados em regiões quente e regiões frescas, a figura abaixo mostra o efeito da incidência solar no módulo fotovoltaico.

Figura 17: Efeito da incidência solar no módulo fotovoltaico



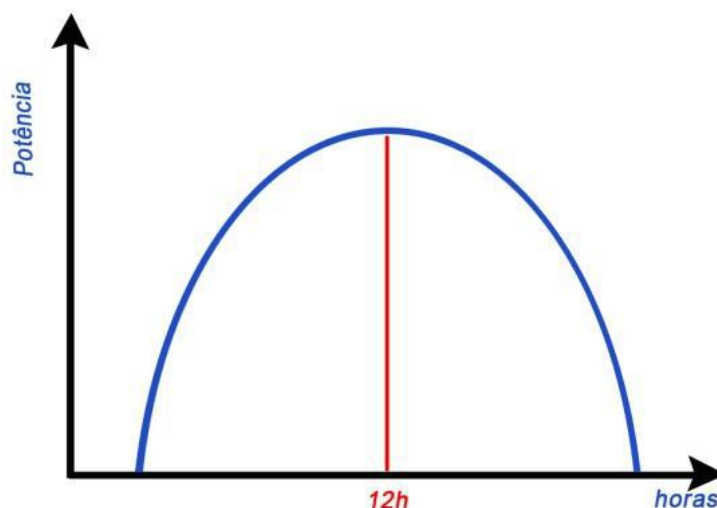
FONTE: Cesar Ribeiro (2012)

A intensidade luminosa tem relação direta quanto á geração de energia por painéis fotovoltaicos, pois a geração de energia eléctrica provém da conversão da energia solar.

E fica claro que o aumento da radiação solar incidente interfere diretamente na potência entregue pelo sistema. Quanto maior a energia solar entregue ao sistema maior será a sua capacidade de conversão de energia. Isto contribui directamente para o aumento da potência do sistema fotovoltaico.

Durante o dia a radiação solar descreve uma curva parabólica, quando comparada com o tempo, e atinge o seu valor máximo ao meio dia, como mostra a figura 18:

Figura 18: curva teórica da incidência solar durante o dia



FONTE: César Ribeiro (2012)

Há variação da radiação também durante os meses do ano, devido à órbita elíptica da Terra e a inclinação de seu eixo, que faz com que o planeta receba diferentes quantidades de radiação de acordo com a sua posição em relação ao Sol.

Segundo Fraga (2009, p.11) *apud* GASPARIN (2009, P.74).

“O nosso planeta, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data. A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada Declinação Solar (δ). Este varia de $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ ”.

2.9.3. Localização geográfica

Uma vez comprovado o efeito da radiação sob um sistema de geração fotovoltaica, vê-se a necessidade de estudar o comportamento solar para que se tenha conhecimento dos níveis de radiação que atinge o sistema durante o período de exposição solar.

Em vista disto, verificou-se que a localização geográfica é uma informação indispensável para instalação de um sistema fotovoltaico com painéis em suportes fixos.

A incidência solar varia de acordo com o local onde o sistema é montado.

2.10. Planificação de uma instalação solar

- Baixo grau de rendimento com elevadas temperaturas.
- Onde deve ser montado o gerador solar?
- Direcção e inclinação da instalação fotovoltaica.
- Perda da potência eléctrica das instalações fotovoltaicas.

2.10.1. Direcção e inclinação da instalação fotovoltaica

Uma direcção óptima de uma instalação fotovoltaica é essencial para um elevado grau de rendimento.

Os módulos fotovoltaicos devem apontar precisamente para a direcção sul, nas quais instalações com desvios até 30° na direcção Oeste e Este também alcançam ganhos muito elevados.

A inclinação óptima vertical da instalação fotovoltaica depende decisivamente da latitude geográfica.

Nas regiões do norte, os módulos solares devem ser montados um pouco mais escarpados, nas regiões do sul pelo contrário mais planas.

Valores óptimos para Alemanha encontram-se entre 26 e 32° de inclinação.

2.10.2. Perda da potência nas instalações fotovoltaicas

Instalações fotovoltaicas perdem ao longo do ano a sua continuidade de exploração em cerca de 10% de potência, nos produtos mais antigos até mais que 10%.

Na planificação de uma instalação deve-se, por isso, considerar obrigatoriamente esta perda de potência.

Com a potência fotovoltaica da instalação eléctrica baixa também o rendimento produzido.

2.10.3. Direccionamento dos módulos solares

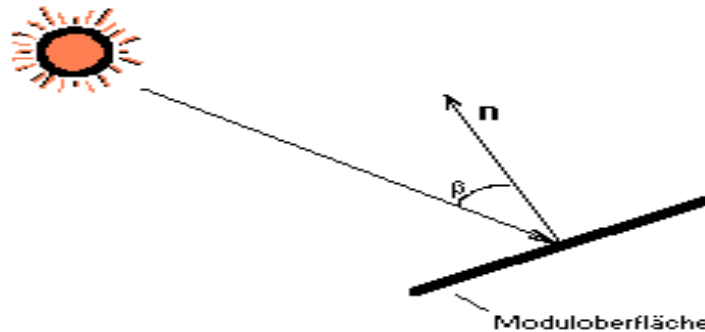
O ângulo de incidência dos raios solares é determinado através dos seguintes dados:

- A latitude geográfica do local de instalação;

- A declinação do sol (percurso anual);
- Ângulo horário (percurso do dia) = ângulo ao longo das horas do decurso do dia.

2.10.4. Ângulo de inclinação

Figura 19: ângulo de inclinação solar



FONTE: Adaptado de Pinho e Galdino (2014)

$$E = E_0 \times \cos\beta$$

FONTE: Adaptado de Pinho e Galdino (2014)

Para módulos bem instalados, o ângulo de inclinação do módulo deve ser adequadamente seleccionado/determinado. Para que ao longo do ano na nossa latitude haja um máximo de transformação de energia, o módulo deve ser instalado na direcção sul com 30 até 45°.

Para conseguir um melhor aproveitamento da radiação solar incidente, os módulos deverão estar inclinados em relação ao plano horizontal num ângulo que variará conforme a latitude da instalação. Recomenda a adoção dos seguintes ângulos de inclinação:

Tabela 3: ângulo de inclinação

Latitude	Ângulo de inclinação
0 a 4 graus	10 graus
5 a 20 graus	latitude + 5 graus
21 a 45 graus	latitude + 10 graus
46 a 65 graus	latitude + 15 graus
66 a 75 graus	80 graus

Fonte: Solarterra 2013.

Para o nosso caso de estudo, o proponente irá usar um ângulo de inclinação de 34° (graus) dado que a latitude na localidade de Nuzene é de 24°48'15''

2.11. Situação dos sistemas Fotovoltaicos no mundo.

Segundo o Global Solar Atlas, a distribuição de energia solar no mundo vem crescendo progressivamente como consequência da preocupação com os impactos ambientais. A radiação solar para o aproveitamento de energia solar no mundo apresenta altos valores, principalmente nos continentes asiático e africano, atingindo até 1424 e 2003 kWh/kWp de potencial específico, respectivamente. A distribuição de sistemas de energia solar no mundo tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Segundo a IEA (International Energy Agency), o uso de energia solar poderá chegar a 30% em 2022 em países com maior capacidade instalada de geração, como a China, Alemanha, Japão e EUA. Correspondendo a 25,8% da produção global, a China é o país mais capacitado para a geração de energia solar instalada. Sendo assim, ela totaliza até 78.100MW de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma). Além disso, também é possível observar países com expressiva representação da fonte solar associados à demanda como Itália, Grécia e Alemanha. Entretanto, países como China e Estados Unidos, líderes mundiais em capacidade instalada, não apresentam grande relevância para o atendimento da demanda total do país por eletricidade através da fonte solar. Sendo assim, países com maior potencial de desenvolvimento em energia solar fotovoltaica dispõem de políticas de incentivo à tecnologia. Deste modo, a fabricação, a importação de equipamentos e modelos de regulamentação para a comercialização da energia eléctrica gerada são as principais sugestões de implementação.

2.12. Situação dos sistemas Fotovoltaicos em África.

A África subsariana tem uma oportunidade única para expandir a sua capacidade de produção sem agravar as alterações climáticas devido à sua abundância de recursos renováveis. Na Conferência das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas em Marrocos, em Novembro de 2016, 47 membros do Fórum de Vulnerabilidade Climática, muitos dos quais da África subsariana, comprometeram-se a envidar os esforços necessários para atingir 100% de produção doméstica de energias renováveis tão rapidamente quanto possível (Climate Vulnerable Forum, 2016). As energias renováveis são a chave para resolver não só a problemática do acesso à energia, como também os desafios das alterações climáticas da região.

Todos os países da região têm um elevado potencial de energia solar, totalizando cerca de 10 000 GW, e estima-se que só o potencial técnico de energia solar fotovoltaica se situa nos 6500 terawatts por hora (TWh) por ano (Cartwright, 2015).

Atualmente, 64% da população do Sahel – que abrange Senegal, Nigéria, Mauritânia, Mali, Burkina Faso, Níger, Chade, Sudão, Etiópia, Djibuti e Eritreia – vive sem eletricidade, uma grande barreira ao desenvolvimento, com consequências para a educação, a saúde e os negócios. O BAD apontou, com razão, que a falta de energia continua sendo um impedimento significativo para o desenvolvimento econômico e social da África.

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP24) de dezembro de 2018, em Katowice, Polónia, Guterres pontuou que a energia renovável representou cerca de 70% das adições líquidas à capacidade global de energia em 2017, e que a energia solar está no centro dessa revolução.

Nações Unidas, 13 de setembro de 2019 (IPS) – Quando o secretário-geral da Organização das Nações Unidas (ONU), Antonio Guterres, lançou a Aliança Solar Internacional, em outubro de 2018, ele aplaudiu a meta de mobilizar cerca de US\$ 1 trilhão para a implantação de cerca de mil gigawatts (GW) de energia solar até 2030. “Está claro que estamos testemunhando uma revolução global de energia renovável”.

2.13. Situação dos sistemas Fotovoltaicos em Moçambique.

Segundo a ALER 2017, Moçambique tem um enorme potencial em termos de energias renováveis. Uma grande parte deste potencial pode e deve ser utilizado para aumentar o acesso da população à energia. Moçambique tem igualmente e cada vez mais, identificado o sector privado como um parceiro chave para o desenvolvimento destes recursos de uma forma sustentável.

A proporção das energias renováveis no consumo de energia tem vindo a diminuir, fruto da recentediversificação do sector e é hoje de 88,8%, dos quais somente 18,4% correspondem a renováveis modernas (energia hídrica e usos modernos de biomassa).

Em termos de recursos renováveis disponíveis, o Atlas de Energias Renováveis de Moçambique (2013) indica que o país dispõe de um espectro teórico diversificado que perfaz um total de 23.026 GW, sendo a energia solar a fonte de energia mais abundante (23.000 GW), seguida da hídrica (19 GW), eólica (5 GW), biomassa (2 GW) e a geotermia (0,1 GW).

O potencial nacional em radiação solar é dos melhores e comparável aos locais considerados de topo a nível global, como na Ásia e África do Sul. Com efeito, dados apresentados pelo Atlas das Energias Renováveis de Moçambique (2014) indicam uma radiação global nacional em plano horizontal que varia entre 1,8 e 2,2 MWh/m².ano, com as Províncias de Niassa e de Tete a apresentarem o maior potencial para projectos de energia fotovoltaica, nos níveis acima de 1,9 MWh/m².ano.

O Governo de Moçambique está empenhada na rápida expansão do acesso à eletricidade, e pretende atrair a participação do sector privado na eletrificação rural através de energias renováveis. Os operadores privados são estimulados a fazer investimentos para o desenvolvimento de um mercado de energia renovável, que irá contribuir para melhorias em sectores produtivos e sociais e na qualidade de vida das comunidades rurais, MEM (2011).

Para o alcance dos seus objetivos, em particular a eletrificação das zonas rurais em todo o País, a FUNAE tem desenvolvido projetos de energia com base em energias alternativas, nomeadamente, sistemas solares, grupos geradores, mini-hídricas, aero-bombas, biomassa, biocombustíveis e construção de bombas de combustíveis.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

Sempre que se pretende fazer um trabalho de investigação aplicada de um determinado tema ou problema, o pesquisador define maneiras que seguirá para alcançar seus objectivos.

Malhotra (2001, p.12) *apud*Carvalhos (1996, P.34) considera que:

“Diferentemente da arte e da poesia que concebem na inspiração, a pesquisa é um labor artesanal, que não se prescinde da criatividade realiza-se fundamentalmente por uma linguagem fundada em conceitos, proposições, métodos e técnicas, linguagem esta que se constrói com um ritmo próprio e particular [...]”.

Apoiando-se na ideia acima, o proponente acrescenta que metodologia são caminhos usados pelo pesquisador para alcançar objectivos do trabalho científico que está sendo desenvolvido dentro de parâmetros pré-estabelecidos.

3.1. Tipos de pesquisas usadas para elaboração do trabalho.

Pesquisa exploratória - proporciona maior familiaridade com o problema com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso. (GIL, 2008).

Pesquisa explanatória- amplia as conclusões da pesquisa descritiva ao analisar e explicar por que ou como os fatos estão acontecendo. Um determinado fenômeno é entendido estabelecendo relações causais entre os elementos que o constitui. (GIL, 2008).

Técnica de colecta de dados para elaboração do trabalho.

Para a realização do trabalho, o proponente auxiliou-se com técnicas de colecta de dados destacando-se a observação, entrevista, questionário e internet.

Observação

- A colecta dos dados foi a partir da observação directa que o pesquisador fez no terreno, o proponente fez o levantamento das cargas.

Entrevista

- O objectivo do proponente em usar este instrumento de recolha de dados é buscar experiência na electrificação através de sistemas fotovoltaicos.
-

Questionário

- proponente usou esta técnica de recolha de dados com o objectivo de cobrir as limitações da entrevista, mas a finalidade é mesma com a da entrevista que é colher sensibilidades e com eles ter uma solução óptima do problema de inexistência de energia eléctrica para abastecimento de residência unifamiliar na localidade de Nguzene.
-

Internet

- Consulta de diversos documentos publicados na internet, com conteúdos interessantes de sistemas fotovoltaicos.

CAPITULO IV

4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.

4.1. Levantamento das cargas na infra-estrutura.

O Levantamento das cargas em infra-estrutura significa identificar todos os equipamentos em uso, verificar a sua potência, e verificar as horas de uso do mesmo, assim se tem quanto consome de energia cada infra-estrutura. Para se projectar o sistema fotovoltaico precisa-se do consumo diário e da somatória das potências na infra-estrutura, esses dados ajudam no dimensionamento dos componentes que fazem parte do sistema.

Tabela 4: levantamento das cargas em AC na infra-estrutura

Equipamento	Quantidade	Consumo W		Horas de uso/Dia	Consumo Wp/Dia
		Unitário	Total		
Lâmpadas internas	14	13	182	6	1.092
Lâmpadas externas	9	11	99	4	396
Televisor	2	80	160	6	960
Geleira	1	500	500	24	12.000
Ventoinha	2	120	240	4	960
Computador	1	120	120	3	360
Rádio	2	145	290	4	1.160
DVD	1	50	50	5	250
Liquidificador	1	700	700	2	1.400
TOTAIS			2.341	58	18.578

FONTE: adaptado pelo autor, 2021

a) Estimativa de perdas

A capacidade que um gerador fotovoltaico tem em alimentar as diversas cargas, está sujeita a algumas perdas inerentes ao sistema. Entre estas, aquelas que têm maior expressão são as que se referem às perdas nas cablagens e as perdas no inversor e regulador de carga. Segundo Gasparin (2009, p.36).

Perdas na cablagem=3%

Redimento (cablagem) $K_{cab}=0.97$

Perdas no controlador de carga e inversor=15%

Rendimento (controlador + inversor) $K_{cont+inv}=0.85$

Rendimento total $K=K_{cab} \times K_{cont+inv}=0.97 \times 0.85=0.83$

Além destas perdas, existem outros factores que interferem no cálculo do SFV, atendendo a que a radiação solar incidente é muito variável ao longo do ano, é necessário identificar o valor da intensidade da radiação solar incidente (mês mais desfavorável) para o qual se deve dimensionar o SFV.

Tabela 5: irradiação solar diária média mensal.

Irradiação solar diária média mensal para [KWh/m2 .dia]	
Meses	Moçambique
Jan	7.1
Fev	6.2
Mar	6.1
Abr	5.1
Mai	3.4
Jnh	3.2
Jul	4.1
Ago	4.2
Set	5.1
Out	6.1
Nov	6.2
Dez	7.1
Total	5.32

Fonte: Adaptado de Túlio Pinheiro Moura.

Em Moçambique a insolação¹ é de $H_s=5,3h$.

b) Determinação da potência do gerador FV

O gerador FV deverá ter uma potência fotovoltaica (P_{FV}) que deverá garantir a satisfação das necessidades de consumo diário de energia (W_D) que constam nas tabelas de cargas em cada bloco ou infra-estrutura. Segundo a seguinte fórmula:

$$P_{FV} = \frac{W_D}{K \times H_s} = 4.223,23 \text{ Wp} \quad \text{FONTE: Filipe Pereira}$$

Depois de ter P_{FV} multiplicou-se por factor 1.05 que significa aumento de 5% para necessidades futuras para o caso de aumento de cargas, significa que $P_{FV}=4.434,39 \text{ Wp}$.

c) Coeficiente de utilização e de simultaneidade

¹ Menor número de horas de sol equivalentes à radiação padrão de 1000W/m2. <https://pt.weatherspark.com/y/101091/Clima-caracter%C3%ADstico-em-mozambique-durante-o-ano>. Acedido 20 junho de 2018 as 17h30min.

Os resultados finais na determinação de potência de uma instalação devem ser ponderados por coeficiente de utilização e coeficiente de simultaneidade K_u e K_s .

Em instalações eléctricas, nem sempre os equipamentos operam ao mesmo tempo, então fazendo a somatória das potências dos equipamentos não basta para o cálculo de sistema fotovoltaico, pois conduz a instalações maiores do que o necessário, assim o factor de simultaneidade é o resultado da demanda máxima provocada por aparelhos alimentados pelo sistema, quando ligados ao mesmo tempo, para o caso de um sistema que fornece não apenas um edifício tem se: $K_s = 0.15 + \frac{0.85}{\sqrt{N}}$

Onde N é o número de infra-estrutura a fornecer energia eléctrica. O coeficiente de simultaneidade também pode ser a razão entre a somatória das potências individuais de equipamentos e a potencia a ser instalada no sistema como mostra: $K_s = \frac{\sum P_i}{P_{FV}}$ **FONTE:** Filipe Pereira.

Os coeficientes de utilização e de simultaneidade em sistemas fotovoltaicos interferem na potência do gerador fotovoltaico, influenciando directamente no dimensionamento de inversor que este é dimensionado na base de potência. Para coeficiente de utilização é considerado como $K_u = 1$, não tem cargas com um pico elevado no seu arranque.

4.2. Dimensionamento de equipamentos

Fazer o dimensionamento de equipamentos significa fazer cálculo da quantidade de material necessário para a instalação do sistema fotovoltaico nas condições acima representadas.

4.2.1. Dimensionamento de Módulos Fotovoltaicos

Segundo Carlos (2011, p.126), células fotovoltaicas são elementos responsáveis pela conversão directa da luz solar em electricidade, onde ocorre efeito fotovoltaico.

Os painéis solares geram electricidade em corrente contínua e fornecem a energia polarizada, ou seja, um pólo é positivo (+) e o outro pólo é negativo (-). Em sua grande maioria, são fabricados para atender a uma tensão de 12 ou 24 Volts nominal, a associação dos painéis solares é recomendada a painéis com potência e características semelhantes, para evitar com que haja disparidade em fornecimento de energia ás cargas.

a) Escolha dos módulos

Para o projecto vamos usar as células policristalinas num módulo com 250W de potência nominal. Contudo esta potência nominal não é a condição suficiente e necessária para a escolha da célula, pois deve-se ter em conta os seguintes parâmetros:

- Voltagem de circuito aberto (V_{OC}): máxima tensão que um dispositivo pode entregar sob determinadas condições de radiação e temperatura correspondente á circulação da corrente nula, e conseqüentemente á potência nula; o para o caso $V_{OC} = 37,11v$
- Corrente no Curto-Circuito (I_{CC}): máxima corrente pode entregar um dispositivo, sob condições de determinadas condições de radiação e temperatura, correspondente a tensão nula e conseqüentemente a potencia nula; medida quando não nenhuma conexão entre os dispositivos, para o caso $I_{CC} = 8,9 A$.

É aconselhável usar módulos de I_{CC} e V_{OC} de valores elevados para fornecer energia suficiente, pois normalmente esses terão a potência nominal elevada, e conseqüentemente precisaremos de poucos para cobrir com a necessidade de consumo. Logo a determinação de número de painéis obedece-se a fórmula abaixo, e é de realçar que se o quociente entre P_{FV} e a potência nominal do módulo (250W) for um número decimal arredonda-se por excesso, para evitar o subdimensionamento.

$$n = \frac{P_{FV}}{250w} = 18 \text{ módulos} \quad \text{FONTE: Filipe Pereira}$$

Onde: P_{FV} corresponde potência fotovoltaica e n corresponde ao número de módulos.

b) Número de módulos em série.

A associação em série permite obter tensões mais elevadas, mantendo a corrente estipulada do módulo. O número de módulos, N_s é limitado pela tensão da bateria, V_{bat} . Contudo, a tensão máxima do SFV deve ser sempre igual ou superior à da bateria, já que o gerador tem que carregar a bateria. Deste modo, o número de módulos por fileira é calculado através da seguinte expressão:

$$N_s > \frac{V_{bat}}{V_{max}} \Leftrightarrow 3 > \frac{V_{bat}}{V_{max}} \quad \text{FONTE: Filipe Pereira}$$

Onde V_{max} corresponde à tensão máxima do módulo medido em condições padrão, frequentemente chamado tensão de pico e para o caso $V_{max} = 29.1V$.

c) Número de módulos em paralelo

A ligação em paralelo entre módulos individuais é efectuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo. A corrente total, I_T à saída do gerador fotovoltaico é calculada da seguinte fórmula:

$$I_T = N_F \times I_{max} = 53.4 \text{ A} \Rightarrow N_F = \frac{I_T}{I_{max}} \quad \text{FONTE: Filipe Pereira}$$

Onde N_F representa o número de fileiras ligadas em paralelo e $I_{max}=8.9\text{A}$ corresponde à corrente máxima do módulo medida em condições padrão.

Por outro lado, a potência do gerador FV corresponde ao produto entre a tensão do gerador ($N_s \times V_{max}$) e a corrente total:

$$P_{FV} = N_s \times I_T \times V_{max} \Rightarrow I_T = \frac{P_{FV}}{N_s \times V_{max}} \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro (2009)}$$

Desta maneira o número de módulos em paralelo é dado pela fórmula: v

$$N_F = \frac{P_{FV}}{N_s \times V_{max} \times I_{max}} = 6 \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro(2009)}$$

Trabalhar com correntes altas implica uso de cabos de maior secção, o que acarreta custos adicionais por parte do sistema, por isso é aconselhável trabalhar com correntes baixas e tensões elevadas em sistemas fotovoltaicos, embora exija muito cuidado na montagem pois a voltagem é maior.

Os sistemas fotovoltaicos com maior corrente são normalmente as centrais pois nestes há mais transporte de energia havendo também grandes quedas de tensão.

4.2.2. Dimensionamento das baterias de acumuladores

A bateria é um dos elementos mais dispendiosos dos actuais sistemas fotovoltaicos, o seu eventual sobredimensionamento incrementa muito custos de instalação, a utilização de baterias subentende que estes equipamentos são utilizados para fornecer a energia que é necessária para satisfazer necessidades diárias de consumo (energia das cargas) na eventualidade de não haver sol (dias de chuva), ou então dias muito nublados.

Se fosse possível utilizar-se uma bateria ideal, a sua eficiência, K_{Bat} seria igual a 100% e a profundidade de descarga, K_D seria também igual a 100% (ou seja, seria possível descarregar completamente a bateria sem a danificar).

Se esta hipotética bateria ideal fosse utilizada durante um dia, então a quantidade de carga eléctrica fornecida (expressa em Ah) da bateria, $W(Ah)$ seria calculada através da seguinte expressão:

$$W_{(Ah)} = \frac{\text{Energia diária de consumo}}{\text{Tensão da bateria}} = \frac{W_{D(Wh)}}{U} \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro(2009)}$$

Contudo, em situações reais a eficiência da bateria nunca atinge 100% (por exemplo, para baterias de chumbo-ácido, os valores correntes são de 60%, a 90% e a profundidade de descarga máxima de segurança (para não se danificar a bateria) é normalmente de 65% a 85%.

Por outro lado, o número de dias, N_d cuja probabilidade de uma bateria ser utilizada de modo a substituir totalmente a rede eléctrica, corresponde normalmente a 3 ou 5 dias com céu encoberto ou chuva.

A fórmula 4.3 é usada também para o cálculo do consumo diário do sistema, isto é para ter a corrente que o sistema terá, para futuramente calcular a capacidade e o número de baterias.

Para o projecto vai-se usar baterias de chumbo-ácido de 1700Ah, com eficiência de 90% e com profundidade de descarga igual a 85%, para sistema com tensão de 24V por serem as mais resistentes e não carecem de muita manutenção.

Deste modo o cálculo de capacidade de uma bateria real $CB_{(Ah)}$ é efectuado através da seguinte equação:

$$C_{(Ah)} = W_{(Wh)} \times \frac{N_d}{U \times K_{Bat} \times K_D} = 5954,48Ah \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro (2009)}$$

Onde: $C_{(Ah)}$ - capacidade do conjunto das bateria em ampére hora;

$W_{(Wh)}$ -Consumo de energia em watt hora; (equivale a consumo diário)

N_d -Número de dias que a bateria pode funcionar sem que haja carregamento;

K_{Bat} - Eficiência da bateria;

K_D -Profundidade de descarga;

U- Tensão do sistema.

Depois de achar a capacidade do conjunto das baterias divide-se a mesma pela capacidade da bateria a ser usada. O sistema é de 24V, com autonomia de 3 dias para cada, ver a tabela de sistema em anexo B.

4.2.3. Dimensionamento do controlador de carga e do inversor

A seleção do controlador de carga é prevista para cumprir o seu valor de corrente máxima em CC, $I_{max CC}$. Por isso deverá ser limitada pela corrente total, I_T a saída do GF.

$$I_{maxDC} > I_T \Leftrightarrow I_{maxDC} > (N_F \times I_{max}) = \frac{150V}{85A} \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro (2009)}$$

De outro lado o inversor deve ser escolhido de modo a garantir a potência máxima simultânea (soma de potência de cada aparelho) ΣP_i dos equipamentos, como se segue

$$P_{inv} > \Sigma P_i \times K_s = 3000VA \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro (2009)}$$

4.2.4. Dimensionamento de cabos

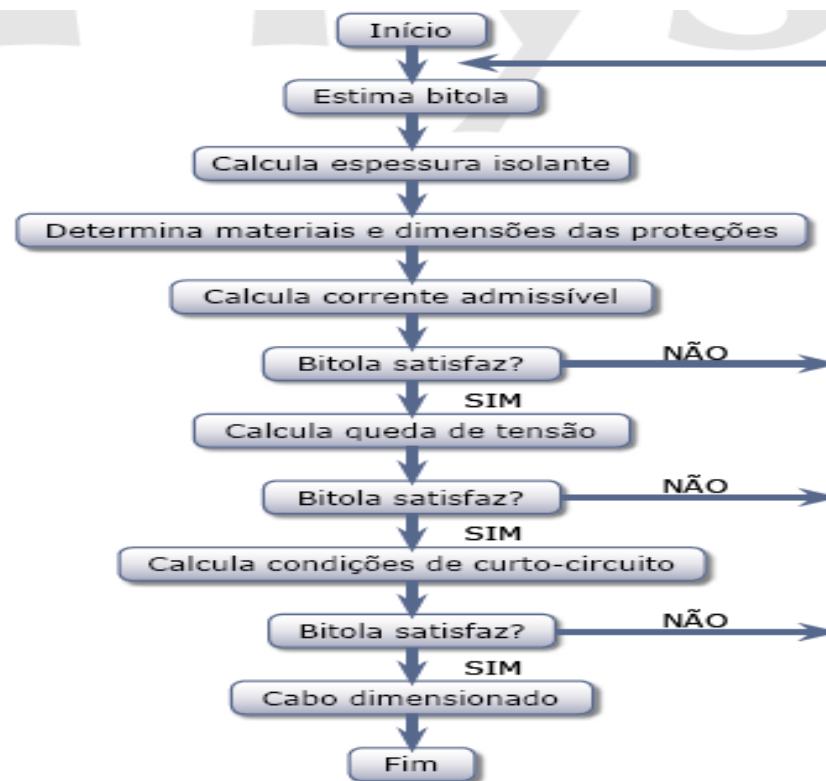
4.2.4.1. Generalidades

O dimensionamento de condutores consiste no cálculo da secção do conductor e da espessura isolante necessária.

4.2.4.2. Espessura Isolante

É determinada a partir da secção do condutor, do gradiente de projecto (característico do material isolante) e da tensão efectiva do sistema.

Figura 20: fluxograma de etapas de dimensionamento

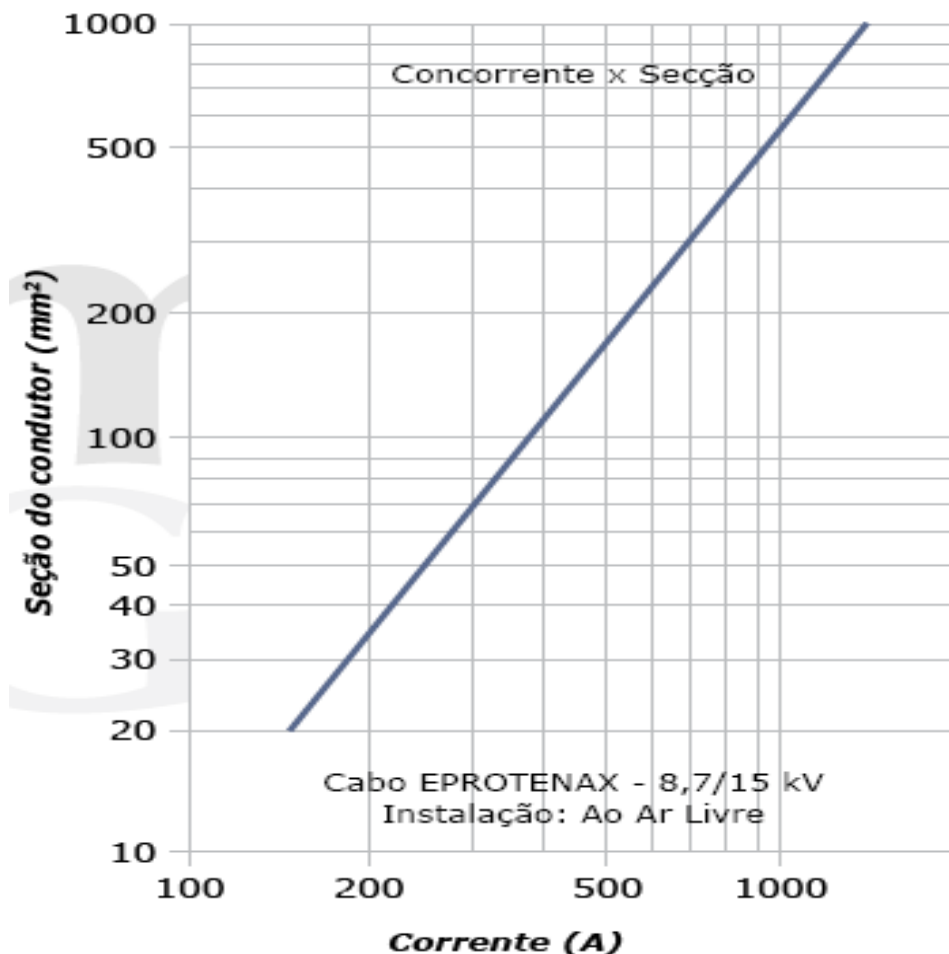


FONTE: Prysmian, (2012).

4.2.4.3. Estimativa da secção do condutor eléctrico.

Para esta estimativa, o projetista dispõe, além de sua experiência acumulada, de tabelas e gráficos de capacidade de corrente para os produtos mais comuns nas instalações usuais. A título de orientação, mostramos a seguir um gráfico de valores de capacidade de corrente em função da secção do condutor, para cabos isolados em Borracha Etileno Propileno (EPR).

Figura 21: Gráfico da capacidade de cabos EPR.



FONTE:Prysmian, (2012).

Nas instalações de SFV utiliza-se condutores de cobre, material que a 20 °C apresenta tipicamente uma resistividade boa. Conforme já havia mencionado que quanto maior for a corrente maior será a secção dos cabos condutores.

O que implica que é aconselhável sempre trabalhar com sistemas de correntes baixas e tensões altas para evitar o uso de cabos com uma secção transversal muito grande. Há diferença entre cabos utilizados dos módulos para o controlador de carga e do inversor para o quadro geral.

4.2.4.4. Dimensionamento de condutores e cabos

O dimensionamento de cabos para o sistema em causa obedece a fórmula:

$$S_{(mm^2)} = \frac{l(m) \times I(A)}{U.e.\rho} \quad \text{FONTE: Joaquim Carneiro(2009)}$$

Onde:

ρ - Resistividade do material condutor (cobre);

l - Comprimento total do condutor (do módulo ao *cont*) ou do (*inv* ao quadro geral);

I -Corrente que passa pelo condutor (controlador ou do inversor);

e -Queda de tensão de 3% no cabo para a distância de 100m;

U -Tensão do sistema fotovoltaico.

Para as conexões entre o módulo solar e o controlador e entre este e o banco de baterias recomenda-se o uso de cabos tipo PP, do tipo apresentado abaixo. Estes cabos são flexíveis e devem ser preferencialmente instalados dentro de eletrodutos de PVC para devida proteção mecânica. O seu nível de isolamento é de 500 V. Ver figura 22 a seguir.

Figura 22. tipos de cabos eléctricos



FONTE:Chapman (1985)

Para o interior da habitação ou edifício recomenda-se o uso de cabo de cobre flexível com isolamento de PVC anti-chama, também conhecido como cabinho. Este cabo, inadequado para instalações ao ar livre, deve ser montado preferencialmente dentro de tubo PVC com 16, 20 ou 25 mm de diâmetro. O seu nível de isolamento é de 1000 V.

Figura 23: cabos a utilizar na instalação solar



FONTE: Damia solar (2015)

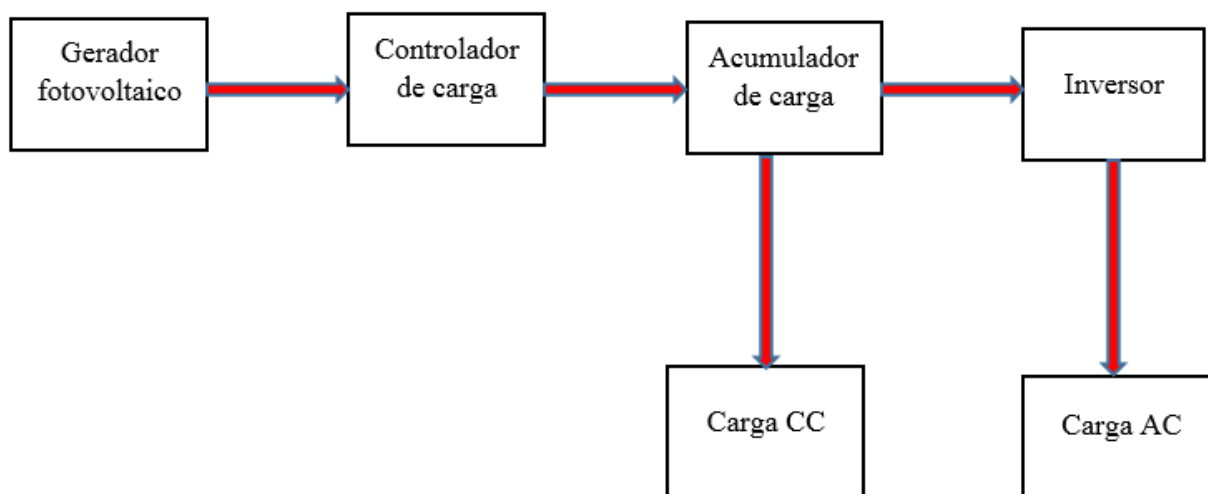
A grossura dos cabos eléctricos que se utilizem em cada uma das partes da instalação solar tem uma grande importância dado que dependerá deste factor o funcionamento global do sistema. Assim, uma boa escolha é necessária para um funcionamento bom e sem problemas.

O erro mais comum é realizar a instalação com cabos delgados, como se estivéssemos a trabalhar com uma voltagem de 230V de uma habitação normal. Há que ter em conta que numa instalação solar vai haver uma voltagem de 230V depois do inversor de corrente. Isto é, o inversor transforma a voltagem de 12, 24 ou 48V das baterias em voltagem a 230V. Desta forma, dos painéis até ao regulador e do regulador até às baterias e destas até ao inversor, a voltagem será muito menor e, portanto, deve ajustar-se a grossura do cabo a essas voltagens

4.3. Montagem e funcionamento do sistema fotovoltaico

Em função das variações do recurso solar de local para local e influência dos objectos vizinhos com o conseqüente sombreamento do sistema fotovoltaico (SFV) e em função da distância dos painéis até os inversores e controladores de carga é importante fazer uma análise do local a ser montado o sistema.

O diagrama abaixo mostra a montagem e funcionamento do sistema fotovoltaico:



FONTE: adaptado pelo autor, 2021

No geral não existem restrições quanto ao local de instalação pois os módulos fotovoltaicos são equipamentos desenvolvidos para resistir ao tempo (sol; chuvas etc) durante vários anos, recomenda-se apenas que o mesmo seja instalado em local com boa incidência da radiação solar e o mais próximo possível das baterias de acumuladores, esta última recomendação tem o compromisso de minimizar as perdas devido a queda de tensão nos cabos.

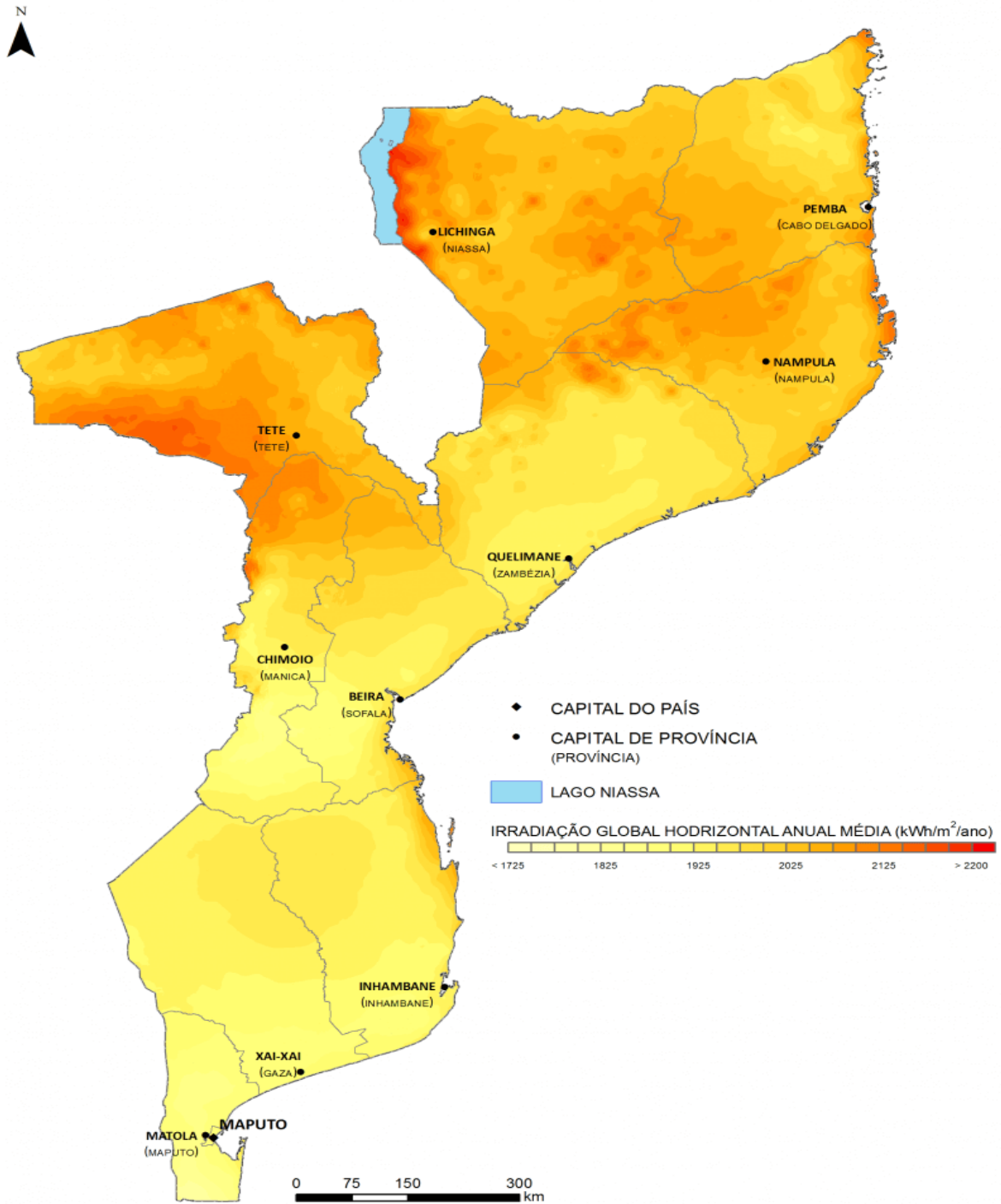
Com isso o lugar que o proponente achou melhor para alocação dos componentes é o edifício onde tem o gerador elétrico e o quadro geral para o efeito de comutação e evitar que haja queda de tensão por ter que alocar componentes como inversor e controlador de carga distante dos painéis, isto é, os painéis e os demais componentes devem estar alocados no mesmo edifício.

a) Recurso Solar

A radiação solar a uma escala global varia essencialmente em função da atmosfera, geometria e do movimento do planeta relativamente ao sol, sendo que numa escala local, a variação da radiação solar encontra-se maioritariamente associada à morfologia do terreno, ou seja, variações de elevação, declive, exposição e sombreamento.

Moçambique apresenta uma radiação global em plano horizontal elevada quando comparada com bons locais na Europa e Ásia, sendo bastante próxima de alguns dos melhores locais do mundo, África do Sul e Califórnia, (**Atlas Energias Renováveis De Moçambique**).

Figura 24: apresentação de uma radiação global em Moçambique.

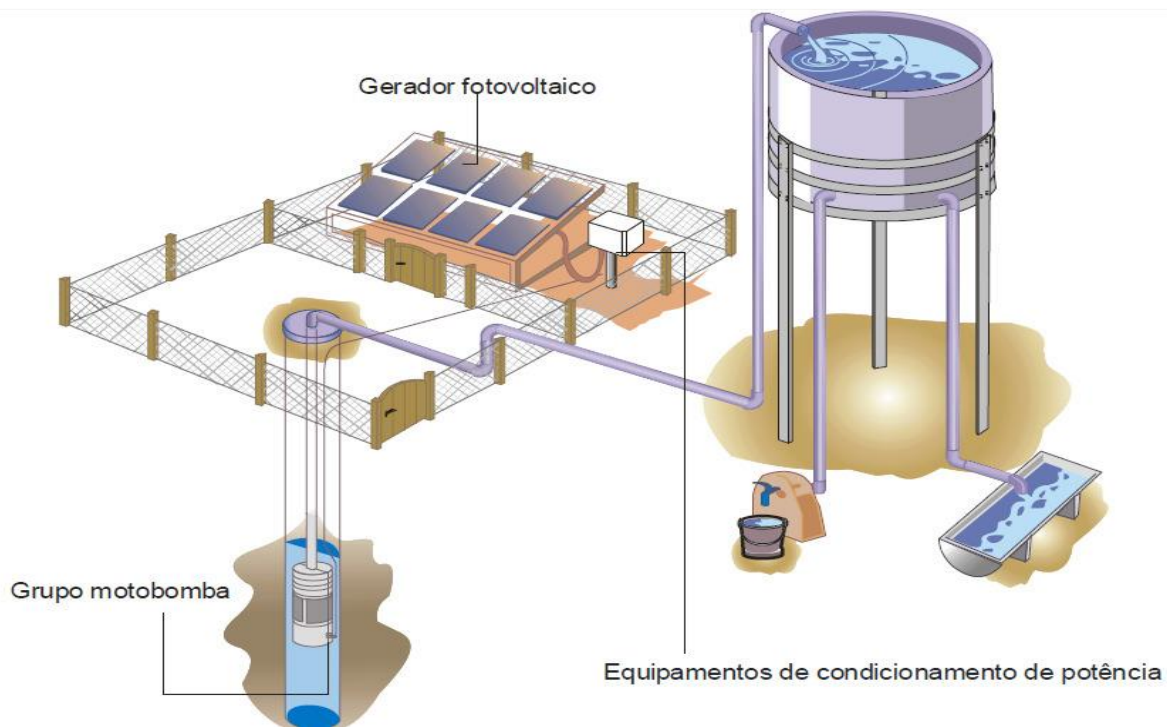


Fonte: Atlas Energias Renováveis De Moçambique.

4.4. Dimensionamento do sistema de bombagem de água na residência em Nguzene.

Um sistema de bombeamento convencional é constituído de gerador fotovoltaico, equipamento de controle e condicionamento de potência (sistema que além de regular o accionamento da bomba de acordo com o nível de água pode conter um seguidor de ponto de máxima potência, que mantém os módulos operando sempre em seu ponto máximo), grupo motobomba, reservatório de água e pontos de consumo (bebedouros), conforme ilustra a figura 25 abaixo:

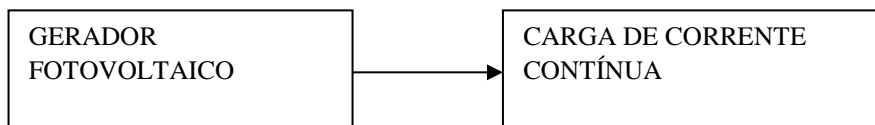
Figura 25: Sistema de bombeamento isolado sem baterias: acumula-se directamente a água.



Fonte: Fedrizzi (2004)

Carga de corrente contínua sem armazenamento

A energia gerada no painel fotovoltaico é transportada directamente para as cargas que operam em corrente contínua, motores CC no caso dos sistemas de bombeamento. A figura abaixo representa a topologia mais simples de um sistema fotovoltaico.



O sistema vai incorporar um conversor CC-CC. O uso dos conversores CC-CC é favorável, pois fornece uma tensão fixa ao motor, assemelhando-se a um gerador de corrente, o que é de importância muito grande visto que o gerador fotovoltaico fornece uma tensão variável devido à variação de irradiação solar.

4.5. Estimativa de consumo de água

Uma alternativa que fornece bons resultados é a utilização de informações de consumo por actividades, como mostrado na tabela 6 a seguir:

Tabela 6: estimativa de consumo médio de água por uso final.

Consumo humano	Litros/(pessoa*dia)
Pequenas propriedades rurais	40-70
Consumo animal	Litros/(pessoa*dia)
Gado suíno	15

FONTE: Adaptado de Pinho e Galdino (2014)

A estimativa do consumo diário de água, é equivalente ao consumo de energia eléctrica em um projecto para electrificação. Essa etapa é imprescindível para o correcto dimensionamento do sistema de geração, especificação da bomba, reservatórios e tubulações.

A necessidade de um sistema para suprir o consumo de uma família e pessoas ao redor (vizinhos), totalizando um número de 50 pessoas, para além de criação de gado suíno (100 animais), a demanda total será (Q) de:

$$Q = (50 \times 70 \text{ L /dia}) + (100 \times 15 \text{ L /dia}) = 5.000 \text{ L/dia.}$$

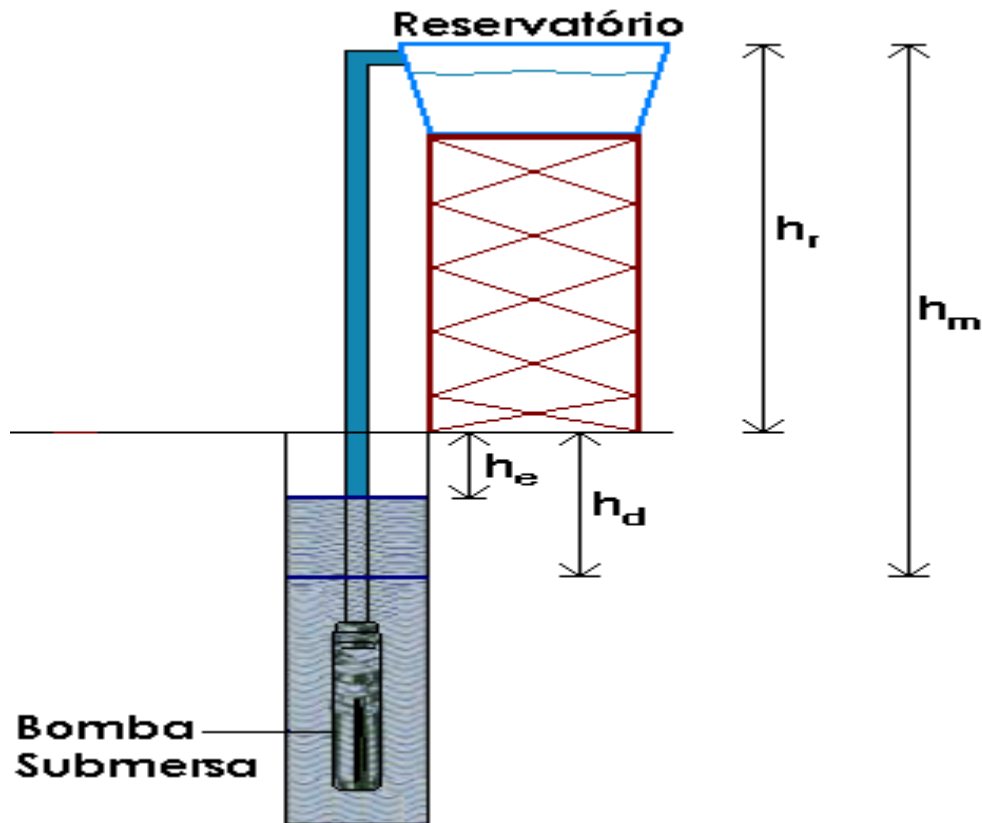
A capacidade de armazenamento, ou o tamanho do reservatório, deve ser proporcional ao número de dias de autonomia solicitado pelo usuário, de forma análoga aos sistemas para electrificação.

Portanto, considerando dois (2) dias de autonomia, a capacidade mínima do reservatório será de 10.000 L.

4.6. Dimensionamento do sistema de geração.

Para melhor compreensão das etapas de dimensionamento descritas a seguir, a figura 26 abaixo apresenta um esquema típico de um SBFV para um poço, sendo em seguida definidos os conceitos relacionados aos parâmetros de interesse.

Figura 26: Níveis de interesse em um SBFV



FONTE: Pinho e Galdino (2014, p.320)

(1) **Altura estática (h_e):** distância entre o nível do solo e o nível da água em repouso (nível estático);

(2) **Altura dinâmica (h_d):** distância entre o nível do solo e nível da água durante o bombeamento (nível dinâmico), resultante do rebaixamento do nível de água no poço; o nível dinâmico é proporcional à vazão bombeada, dependendo de fatores como a permeabilidade do solo e diâmetro do poço, e geralmente é medido em testes de vazão na ocasião da perfuração do poço;

(3) **Altura do reservatório (h_r):** distância entre o nível do solo e o ponto mais alto do reservatório;

(4) **Altura manométrica (h_m):** soma da altura do reservatório e da altura dinâmica

(5) **Perda de carga nas tubulações (h_t)** - Atrito exercido na parede interna do tubo pela passagem da água no seu interior. É mensurada obtendo-se, através de coeficientes, um valor percentual sobre o comprimento total da tubulação, em função do diâmetro interno da tubulação e da vazão desejada.

(6) Altura manométrica corrigida(hmc) – Soma da altura manométrica, perda de carga nas tubulações e perda de carga nas conexões.

$$h_{mc} = h_m + h_t + h_c \quad \text{FONTE: Pinho e Galdino (2014, p.321)}$$

Sempre que possível, é indicado que se disponha do teste (estudo geotécnico) de capacidade do poço, que fornece o valor de sua capacidade máxima equivalente disponível (Q_{mx}). Esse valor é utilizado para se determinar a altura total equivalente (H_{TE}), que pode substituir a altura manométrica corrigida, nos cálculos do projecto. esse procedimento é tomado para que seja respeitado o limite máximo de extração de água no poço, em função de seu regime de reposição. Dessa forma, evita-se uma situação não indicada para bombas submersas, na qual o rebaixamento do poço atinge a tomada de água da bomba, de forma que espira uma mistura de ar e água, resultando em danos por superaquecimento.

De acordo com o exposto e considerando os parâmetros, a equação permitem o cálculo da altura equivalente:

$$H_{TE} = h_e + h_r + \left(\frac{h_d - h_e}{Q_{Max}} \right) Q_m + h_t(Q_m) + h_c(Q_m)$$

FONTE: Pinho e Galdino(2014)

Onde Q_m , dado em m³/h, é a vazão média para se obter o volume diário, Q , e os termos h_t e h_c são as perdas na tubulação e conexões associadas à vazão média, dados em metros. De posse da vazão de água requerida, em m³/dia, e da altura manométrica corrigida (ou altura total equivalente), em metros, a energia hidráulica mínima necessária para o bombeamento, E_H , é dada, em Wh/dia, pela Equação:

$$E_H = g \times h_{mc} \times \rho_a \times \frac{Q}{3600} \quad \text{FONTE: Pinho e Galdino(2014)}$$

Onde, g é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²) e ρ_a é a massa específica da água (1.000 kg/m³).

Substituindo os valores típicos para esses dois parâmetros, obtém-se uma expressão muito prática de ser utilizada, tal como mostra a equação:

$$E_H = 2,725 \times Q \times h_{mc} \quad \text{FONTE: Pinho e Galdino(2014)}$$

O volume diário de 5.000 L/dia (ou 5 m³/dia) é necessário para atender uma dada demanda rural, e considerando-se que a entrada do reservatório se encontra a uma altura manométrica de 13 m (hd = 6 m e hr = 7 m), com 15 m de tubulação de 32 mm de diâmetro, uma válvula de retenção e um joelho de 90°, pode-se calcular a altura manométrica corrigida. Para tal, faz-se necessário estimar primeiramente uma vazão média, Qm, do SBFV, o que pode ser realizado com base nas HSP. Considerando-se um dia médio anual com 5 HSP é possível estimar-se para a vazão média diária o valor de 1.000 L/h, de modo a se obter o volume diário de 5.000 L.

As perdas na tubulação e conexões podem ser desprezadas em situações com baixos volumes de água bombeada e curtas extensões de tubulação, o que é o caso do exemplo em questão, onde segundo a Tabela 7, o valor atingido para este parâmetro pode ser calculado seguindo os passos listados abaixo. Primeiro calcula-se o comprimento total equivalente:

$$L_{\text{corrigido}} = L_{\text{Tubulação}} + L_{\text{Válvula}} + L_{\text{Joelho}}$$

Logo:

$$L_{\text{corrigido}} = 15 + 0,914 + 0,457 = 16,371\text{m}$$

Onde $L_{\text{corrigido}}$ é o comprimento equivalente total linear levando em consideração as perdas nas conexões.

Tabela 7: estimativa de consumo médio de água por uso final.

Perdas de Carga (m) por tipo de conexão – Equivalência em metros lineares de tubulação de mesmo diâmetro interno			
Conexão	Diâmetro interno da tubulação (mm)		
	32	50	63
Joelho 45°	0,274	0,457	0,610
Joelho 90°	0,457	0,762	1,067
T	0,762	1,067	1,524
Válvula Globo	7,620	13,716	16,764
Válvula Gaveta	0,183	0,305	0,396
Válvula de Retenção	0,914	1,524	2,134

Fonte: Segundo Pinho e Galdino (2014) apud Adaptado de (Creder, 2006).

Com base na vazão média (1000L/h) e na secção escolhida para a tubulação (32mm) podemos consultar a tabela de perdas de carga nos anexos seis (06).

Para estimar a perda de carga, lembrando que os valores listados são para 100 metros de comprimento.

Logo:

$$C_{mc}(mca) = 0.23 \times \frac{16.371}{100} = 0.0377 \text{ m}$$

A energia hidráulica mínima necessária pode, então, ser calculada resultando em:

$$E_{(H)} = 2.725 \times 5 \times 13.0377 = 177.6 \frac{Wh}{dia}$$

A energia elétrica diária necessária (E_{EL}) para o processo de bombeamento, dada em Wh, é obtida através da relação entre a energia hidráulica e a eficiência do conjunto motobomba, juntamente com seus eventuais equipamentos auxiliares, como mostra a equação:

$$E_{EL} = \frac{E_H}{\eta_{mb}} \quad \text{Fonte: Pinho e Galdino (2014)}$$

Finalmente, a potência do gerador FV (PFV), dada em Wp, é calculada a partir da equação abaixo considerando-se o número de HSP médio anual de radiação no plano do gerador FV.

$$P_{FV}(Wp) = 1,25 \times \frac{E_{EL}}{HSP} \quad \text{Fonte: Pinho e Galdino (2014)}$$

Considerando a eficiência típica do conjunto motobomba quando trabalhando com energia solar FV, de 25 %, a energia elétrica mínima necessária do exemplo em questão é calculada utilizando-se a equação seguinte:

$$E_{EL} = \frac{177.6 \text{ Wh}/dia}{0.25} = 710 \frac{Wh}{dia} \quad \text{Fonte: Pinho e Galdino (2014)}$$

Na localidade de Guzene onde valores médios anuais de HSP = 5,3 h são facilmente atingidos no plano do painel fotovoltaico, a potência FV necessária será:

$$P_{FV}(Wp) = 1.25 \times \frac{710}{5,3} = 178 \text{ m} \quad \text{Fonte: Pinho e Galdino (2014)}$$

A Tabela a seguir apresenta valores de eficiência para diferentes configurações de SBFVs.

Tabela 8: eficiências de SBFVs.

Altura (m)	Tipo de motobomba	Eficiência
5	centrífuga de superfície	25%
20	centrífuga de superfície	15%
20	submersível	25%
100	submersível ou deslocamento positivo	35%
> 100	deslocamento positivo	45%

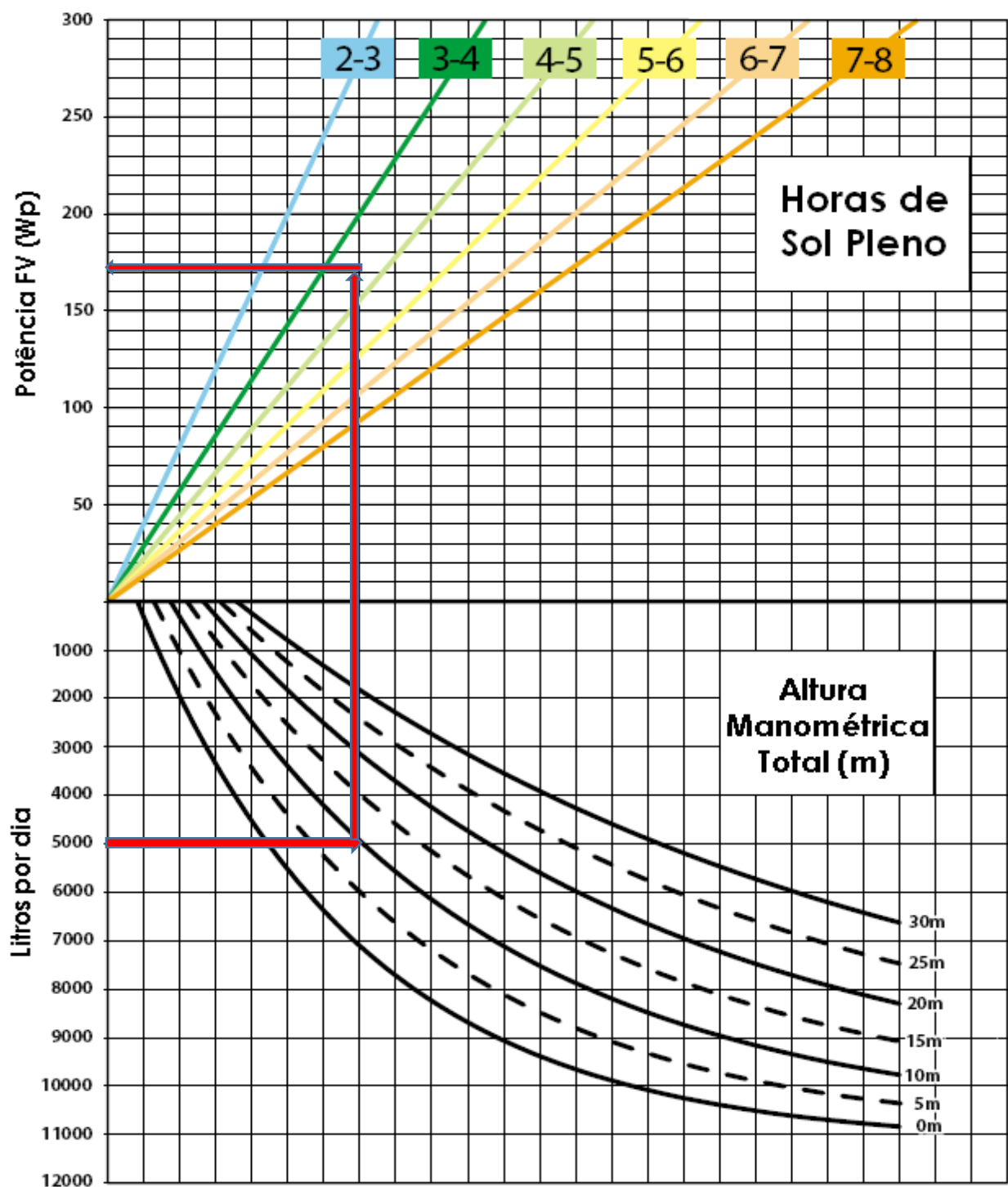
Fonte: Segungo Pinho e Galdino (2014) apud (Sandia, 1991)

A partir dos dados calculados, a última etapa é a determinação dos equipamentos a serem utilizados. O método de dimensionamento pode ser confirmado através de gráficos fornecidos pelo fabricante da bomba, caso esta tenha sido especificada previamente.

A figura 27 apresenta um gráfico para o cálculo da potência FV a ser instalada, de acordo com os parâmetros discutidos no presente item, para uma determinada família de bombas. x



Figura 27: gráfico para escolha da potencia do gerador FV.

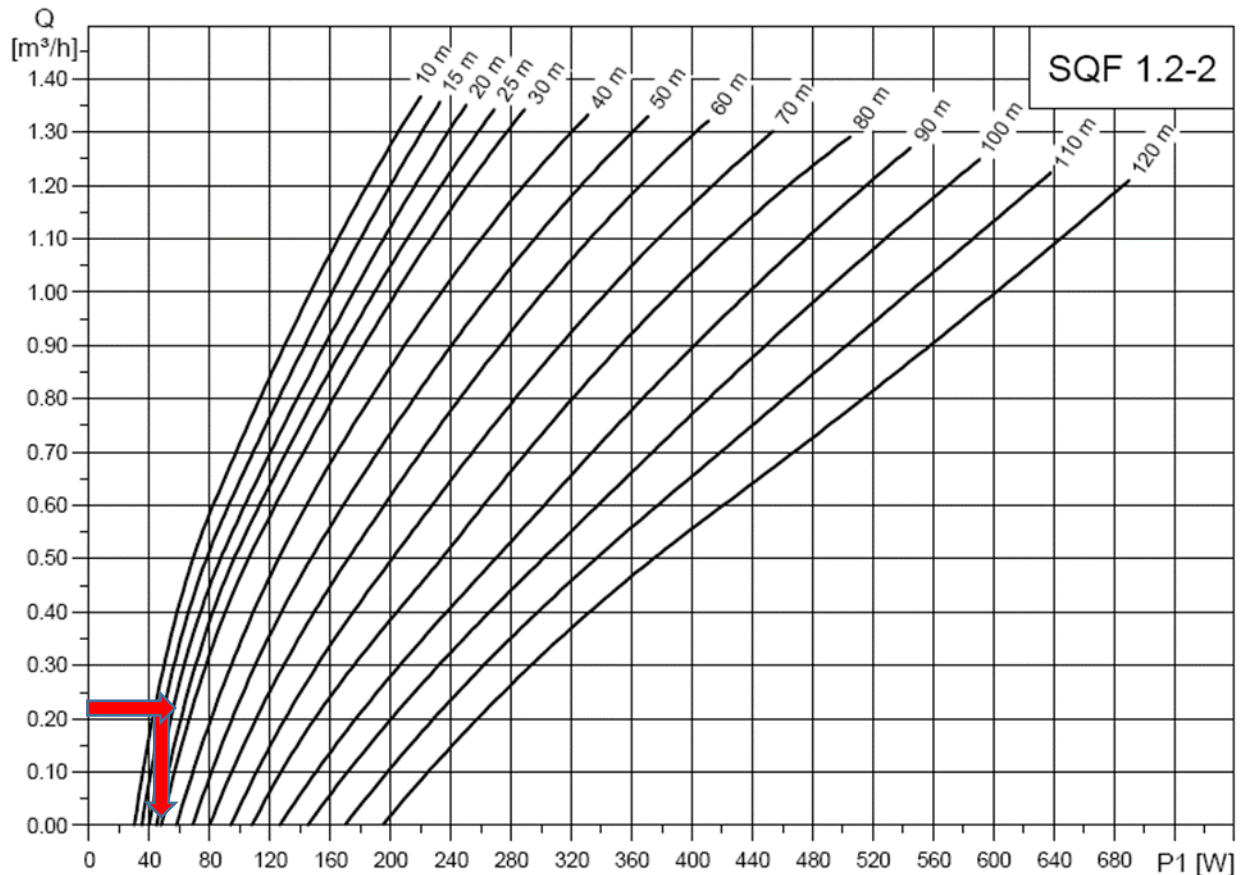


(b) Grundfos, “SQFlex Solar Performance”.

Fonte: Segungo Pinho e Galdino(2014) apude(<http://www.grundfos.com/products/find-product/sqflex.html#cases>).

Nota-se que a potência do gerador indicado para uma altura manométrica de 15 m (altura mais próxima da altura manométrica corrigida calculada no exemplo, de 13 m), corresponde a um valor de aproximadamente 160 W_p, próximo ao valor obtido através do cálculo teórico, indicando que essa bomba pode ser empregada no exemplo usado neste item. Para se chegar neste resultado, basta seguir a indicação das setas no gráfico da figura 27 acima. Os ábacos de dimensionamento apresentados como exemplo na figura acima são específicos de um determinado fabricante, sendo que outros fabricantes apresentarão metodologias próprias, com diferentes tipos de gráficos, tabelas etc.

Figura 28: gráfico para escolha da bomba submersível.



TM02 2339 4107

Fonte: Grundfos data booklet 2016

Portanto, interpretando o gráfico acima, a potência da bomba submersível será de $P1 = 50W$.

Unidade de controlo CU 200 SQFlex

A CU 200 é uma unidade combinada de estado e controlo para o sistema SQFlex. Além disso, o CU 200 permite ligação de um interruptor de nível colocado num reservatório de água ou tanque.

Figura 29: chapa de característica de unidade de controlo cu 200 SQFlex.

CU 200 SQFlex control unit

Voltage	30-300 VDC, 8.4 A. 90-240 VAC, 8.4 A.
Power consumption	5 W.
Current consumption	Max. 130 mA.
Pump cable	Max. length between the CU 200 and the pump: 300 m. Max. length between the CU 200 and the level switch: 500 m.
Backup fuse	Maximum 10 A.
Radio noise	The CU 200 complies with the EMC Directive 89/336/EEC. Tested according to the standards EN 55014 and EN 55014-2.
Relative air humidity	95 %.
Enclosure class	IP55.
Ambient temperature	During operation: -30 °C to +50 °C. During storage: -30 °C to +60 °C.
Marking	CE.
Weight	2 kg.

Fonte: Grundfos data booklet, 2016

4.7. Custo de implantação do projecto

Como forma de delimitação financeira das necessidades sobre material e mão-de-obra para a instalação do sistema temos a tabela abaixo:

Tabela 9: orçamento do projecto

Item	Material	Un	Qtd.	Preço Unit (Mts)	Valor Total (Mts)
2	Módulos FUN60/250W	peça	18	14.000	252.000
3	Baterias Chumbo EN450Ah/2V	peça	14	24.000	336.000
4	Inversor MPPT 3000VA	peça	1	5.0911	5.0911
5	Controlador VICTRON150V/85A	peça	1	17.297	17.297
6	Cabo PCN2x6MM	metros	10	200	.2000
7	Calhas 40X25MM	metros	4	400	1.600
8	Cabo PCN2x10MM	metros	5	250	1.250
9	Bocais de teto PVC	peça	16	20	320
10	Cabo PCN2x4MM	metros	50	40	2.000
11	Tubo PVC PVC	metros	100	13	1.300
12	Cabo PCN2x2.5MM	metros	200	20	4.000
13	Cabo PCN2x1.5MM	metros	200	15	3.000
15	Condutor flexível PCN2x35MM	metros	20	300	6.000
15	Interruptor simples Legrand	peça	9	100	900
16	Interruptor duplo Legrand	peça	3	100	300
17	Fita isoladora PVC	peça	3	20	60
18	Disjuntor duplo 1x 25A, MCB	peça	1	60	60
19	Disjuntor unipolar 1x 16A, MCB	peça	2	50	100
20	Disjuntor unipolar 1x10 A, MCB	peça	2	50	100
21	Tomada geral Legrand Vg	peça	8	50	400
22	Tubo grish Vg	metros	5	10	50
23	Lâmpada 11W AC Philips	peça	14	70	980
24	Lâmpada 13W AC Philips	peça	9	70	630
25	Terminal 35mm ²	peça	10	10	100
26	Terminal 10mm ²	peça	10	10	100
27	Terminal 16mm ² .	peça	10	10	100
28	Eléctrodo de terra	peça	2	300	600
29	Bomba SQF 1.2 - 2	peça	1	140.462	140.462
30	CU 200 SQ Flex	peça	2	30.825	61.650
31	Painel solar 75W	peça	2	3.185	6.370
32	Cabos solares 2X4mm2	metro	2	120	240
33	Quite de ligação	peça	1	1.500	1.500
34	Cintas plásticas	peça	1	200	200
35	Cabo PCN 3X2.5mm2	metro	40	170	6.800
36	Corda	metro	20	45	900
37	Tubo Copoleno	metro	15	110	1.650
38	Prato de apoio	peça	1	2.500	2.500
39	Adaptadores simples	peça	3	350	1.050
40	Curvas	peça	3	350	1.050
41	Tanque	peça	1	65.000	65.000
42	Valor do material				971.530
43	Iva			17%	165.160,1
44	Plano de contingência			10%	97.153
45	Sub-total (MZN)				1.233.843.1
46	Actividades	Horas		Custo/Hora	
47	Estudo e avaliação da área de instalação	5		200	1.000
48	Instalação do sistema	120		200	24.000
49	Total (MZN)				1.258.843,1
50	Total (USD)				19.366,82

FONTE: adaptado pelo autor, 2021.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

Conforme apresentado, um sistema de geração fotovoltaica utilizado para alimentar as cargas na residência, tem um custo de aproximadamente **19.366,82 USD**. Este kit de geração já conta com o teto da casa como suporte de fixação, material eléctrico e dispositivos de protecção necessários, regulador de carga de 150V/85A, baterias de 450Ah/2V, cabos utilizados na parte CC e CA da instalação, os 18 módulos fotovoltaicos de 250 Wp dimensionados para esta demanda e o inversor de 3000VA.

O custo para este tipo de instalação ainda é alto em Macambique, visto que maioria dos produtos utilizados são importados, o que encarece a aquisição. Lembrando que como alguns dos produtos listados são importados. Seus preços dependem da cotação do dólar, por isso, podem variar de um dia para outro. Caso não ocorresse a busca de equipamentos fora do país, o valor de compra seria bem menor.

Como visto, este levantamento foi obtido considerando que a residência consumiria toda a energia gerada pelo sistema, não havendo a necessidade de outra fonte de energia. Este valor só leva em consideração a instalação do sistema gerador para um caso real, evitando qualquer tipo de perda por queda de tensão que ocorreria no sistema. Por fim, como as projecções de geração do sistema dependem apenas de condições climáticas, é possível obter uma boa rentabilidade com um sistema fotovoltaico quando tem melhor radiação solar, mostrando ser um investimento sustentável e de baixo risco.

A EDM cobra o valor de 0.14 USD por kWh na região, assim podemos calcular o valor médio da conta do nosso protótipo residencial:

$$\mathbf{V_{médio}} = 0.14 \text{ USD} \times 557,34 \text{ kWh/Mês} = \mathbf{78 \text{ USD/Mês}}$$

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÃO

Feita a pesquisa sobre inexistência de energia eléctrica para abastecimento de residência unifamiliar na localidade de Nguzene, conclui-se que:

Com objectivo geral projectar o sistema fotovoltaico para atender as necessidades básicas dos residentes, na base de questões de pesquisa conclui-se que:

- A instalação de sistema fotovoltaico para servir de fonte de fornecimento de energia eléctrica na residência é tida como alternativa de solucionar problemas de falta de energia eléctrica.
- Com o dimensionamento e instalação do sistema fotovoltaico para servir de fonte e fornecimento de energia, salvaguarda-se os equipamentos fotovoltaicos da residência, fazendo também com que não pare nenhuma actividade ligado aos benefícios de energia, garantindo desta forma a longevidade dos equipamentos fotovoltaicos.
- No que concerne a inexistência ou falta de energia eléctrica na localidade de Nguzene, problema que inquieta os moradores, a concessionária EDM afirma estar a eletrificar todo Mocambique até 2030, não se sabe ao certo quando esta localidade será abrangida pela REN. Portanto vai se usando como meio alternativa a energia fotovoltaica, apesar de acarretar custos elevados na sua implementação, mas ao longo do tempo verifica-se retorno.

Portanto, mostrou-se a viabilidade econômica da instalação de painéis de captação de energia solar para abastecimento residencial na localidade de Nguzene, visto que, o tempo de retorno financeiro que o sistema fotovoltaico teria, é de aproximadamente 14 anos, ou seja, a partir deste tempo o investimento inicial seria completamente quitado. A energia solar demonstrou-se eficiente e de utilização compatível com o clima da localidade. A “Morada do Sol” possui alta incidência de irradiação solar o que aumenta a produtividade energética e garante que se tenha produção satisfatória de energia de origem solar durante a maior parte do ano.

6.1. RECOMENDAÇÕES

Após a conclusão de dados colhidos e discutidos no trabalho, recomenda -se:

a) Manutenção e limpeza dos módulos:

- Inspecione os módulos duas vezes ao ano para certificar-se de sua integridade. Verifique se conexões eléctricas estão bem apertadas e livres de corrosão.
- Verificação de existência de poeiras, detritos de pássaros ou outros detritos que estejam sobre os painéis fotovoltaicos. É importante analisar a existência destas sujidades pois estas podem influenciar significativamente na produção de energia.

b) Verificações periódicas dos sistemas fotovoltaicos:

- Verificação da existência de zonas quentes no inversor (dissipadores e/saídas de ar quente);
- Verificação dos vedantes das tampas de caixas e entradas de cabos;
- Verificar a existência de eventuais cabos danificados;
- Desligar e ligar o Inversor para verificar se está ligando corretamente.

c) Manutenção geral do sistema – técnico especializado:

- Verifique o estado dos módulos e inversores, se necessário, limpe-os com água e uma flanela ou esponja de nylon para limpar (Não utilizar produtos alvejantes).
- Verificação das proteções eléctricas;
- Verifique rotineiramente as conexões dos componentes do sistema: módulos, inversores e quadros de cargas.
- Verificação do estado do inversor
- O inversor não exige grande manutenção, no entanto é aconselhável que se faça uma vez por mês uma inspeção na condição geral do equipamento.
- Verifique as informações mostradas pelos Inversores, revise as telas mostradas pelos equipamentos para verificação de alarmes e eventuais falhas, se necessário, limpe-os.
- Na inspeção do inversor deverá ser verificado a existência de sujidades (poeiras, flores ou outros detritos) que possam levar a uma perda de potência e a uma refrigeração insuficiente.
- Verificação dos dados que estão a ser enviados pelo inversor se é lógica e se coincidem com os que estão visíveis no display do inversor.

- Limpeza das aletas de ventilação do inversor: na manutenção do inversor deverá ser verificada as aletas de ventilação. O inversor possui em ambos os lados aletas de ventilação. O inversor aspira o ar pelo ventilador na parte inferior e deixa escapa-lo pelo lado esquerdo. Por este motivo, é necessário efetuar a limpeza da aleta esquerda para que haja a dissipação de calor óptima do aparelho.

d) Cuidados com o regulador

- Não deve retirar o regulador do sistema, porque isso pode danificar gravemente a bateria. Só um técnico pode retirar ou substituir o regulador.
- Não permita que o regulador fique molhado com qualquer líquido.

e) Evite mexer nos equipamentos

- Não retire os novos cabos do regulador nem faça outras ligações. Só um técnico pode fazer mudanças num regulador.
- O regulador controla automaticamente o sistema. Portanto, quando a luz indicadora de bateria baixa estiver acesa, espere até que a bateria tenha carga suficiente. Caso contrário pode danificar irremediavelmente a bateria.

f) Recomendações para o bom uso das baterias

- É necessário proteger a bateria, colocando-a sobre uma base de madeira e instalá-la num local protegido.
- A bateria deve estar num local ventilado para evitar riscos de explosão por concentração de hidrogénio.
- Não fume perto da bateria.
- Não se sente na bateria.
- Não coloque objectos metálicos na bateria, porque pode provocar um curto-circuito e explosões.
- Impeça que as crianças se aproximem à bateria.
- Não use as baterias do sistema para outro tipo de aplicações.
- Nunca deve desligar a bateria do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André. (2005). Manual de metodologia de investigação científica .2ª ed Portugal.
- Anônimo. (2012) *Engenharia Aplicada, 2ªed, SP.*
- Carlos, F.C. (2011). *sistemas fotovoltaicos conectados a rede eléctrica.* Lavras MG.
- Carvalhos. (1996). *Guia Para Elaboração de Projectos de Pesquisa* 1ª ed. Brasil
- César, H.R. (2012). *Implantação de sistemas de geração fotovoltaica.* Ouro preto.
- Chapman, Stephen J. (1985)-*Electric Machinery fundamentals,* Sencod.Edition Mc Graw.
- Chuco, B. (2007). *Otimização de um sistema isolado.* UFMS campo grande.
- Chuco, B. (2014). *Fontes renováveis de energia no Brasil.* 3ª Ed. São Paulo.
- Cresesb (2004). *Tutorial solar.* 1ª Ed. São Paulo.
- Deslauriers (1991). *Manual de trabalhos científicos.* 1ª Ed São Paulo
- Eva Maria. & MARCONI, Marina de Andrade. (1991)*Metodologia Científica.* ed. SP: Atlas.
- Findlay, Abril Gordon (2006). *Guia Para Elaboração de Projectos de Pesquisa.* C ed. Sp.
- Findlay, E. A. G., Costa, M. A. & Guedes, S. P. L. de C. (2006). *Guia para elaboração de projectos de pesquisa.* 1ª Ed. Joinville: Univille.
- Fraga, J.J (2009). *Análise da eficiência dos módulos fotovoltaicos instalados em condições normais.* SP.
- Gasparin, F.N. (2009). *Desenvolvimento de traçador de curvas características de módulos fotovoltaicos.* UNESP.
- Geraldo Teles de Sousa. (2004) *Máquinas e Comando Eléctricos,* Sp 2ed:atlas.
- João, Pinto. (2014). *células fotovoltaicas pdf.* 2ª Ed. Rio de Janeiro
- Kasmerski, L.L. (1999). *solar photovoltaic grind suport.* 1ª Ed. São Paulo.
- Marconi, M. de A. & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica.* 5ª Ed. SP: Atlas.
- Markus, N.A. (2004), *energia eléctrica para o desenvolvimento.* Ouro preto
- Malhotra (2001). *Manual para apresentação de pesquisa científica.* 1ª Ed. SP
- Renata, P.B. (2008). *Energia solar fotovoltaica, fundamentos e aplicação.* Rio de janeiro.
- Robert, J.M (2006).*Metodologia científica. Guia para eficiência nos estudos* Porto Alegre.13. ed. São Paulo: Atlas,
- Shah. M (1999) células fotovoltaicas e energia solar (1999), 3ªed.

Silva, E. L. & Menezes, E. M. (2001), *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. 3^a.ed. Florianópolis: UFSC.

Solarterra – Soluções em Energia Alternativa Rua Dr. Tomás Carvalhal, 728-312 – CEP 04006-002
- São Paulo – SP tel/fax (11) 3887-6395 – email: info@solarterra.com.br site:
www.solarterra.com.br

Energisa, concessionária de energia elétrica da Paraíba, 2016.

GIDUR/AM (Manaus). A Gerência de Apoio ao Desenvolvimento Urbano de Manaus: da Caixa Econômica Federal. 2016.

Adriano Motta, Manual prático do electricista.

FEDRIZZI, Maria. C.; BRITO, Alaan U.; ZILLES, Roberto; Procedimento para
averiguação operacional de sistemas fotovoltaicos de bombeamento; In
CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA
NO MEIO RURAL, 5. 2004, Campinas.

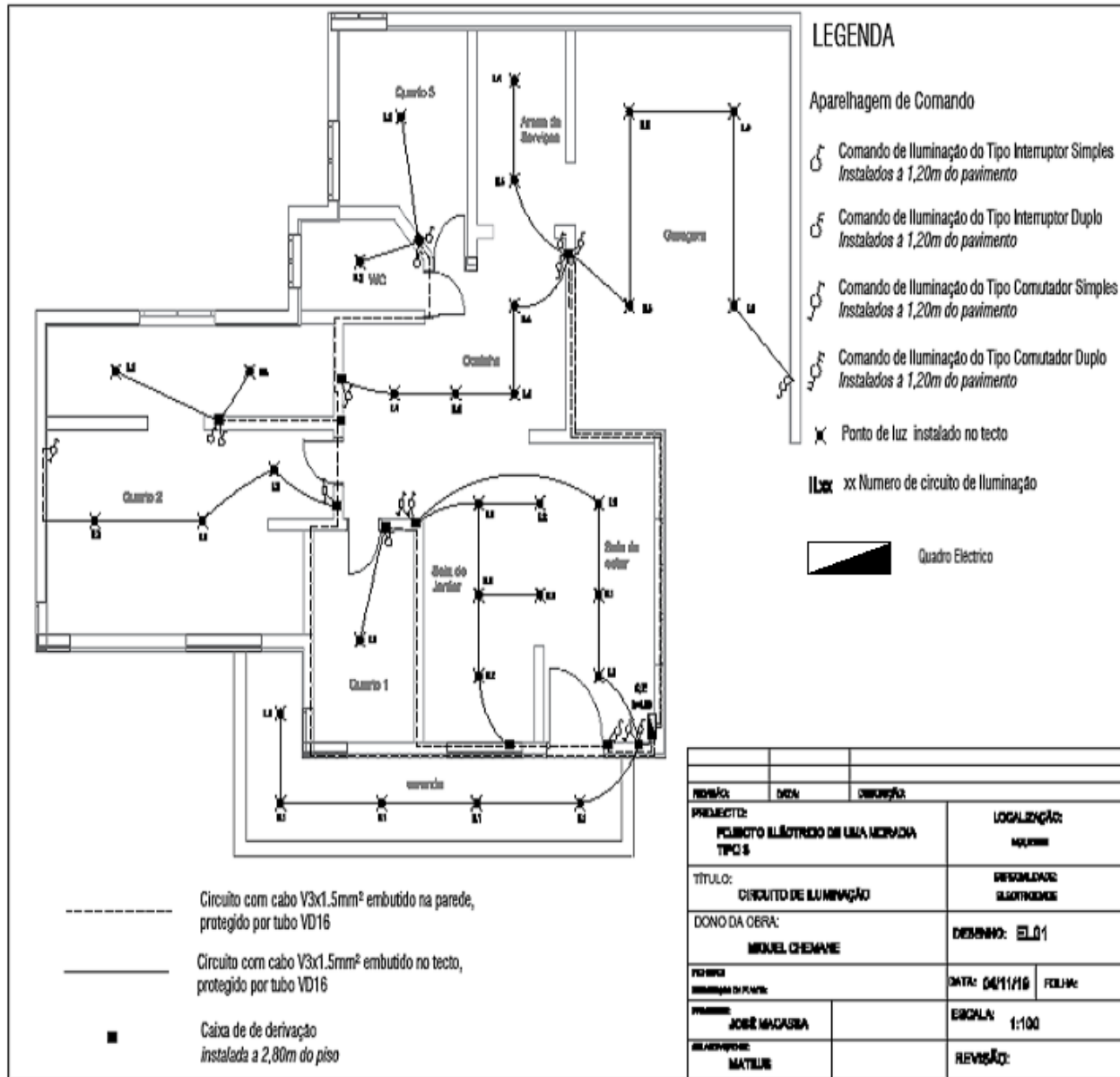
DEKA. Photovoltaic Batteries. Catálogo, 2011

PT – MANUAL-DE-SISTEMA- FOTOVOLTAICO-Fundo-de-Energia RECOMENDAÇÕES
SUGESTÃO. (2012)

APÊNDICE

Apêndice 01

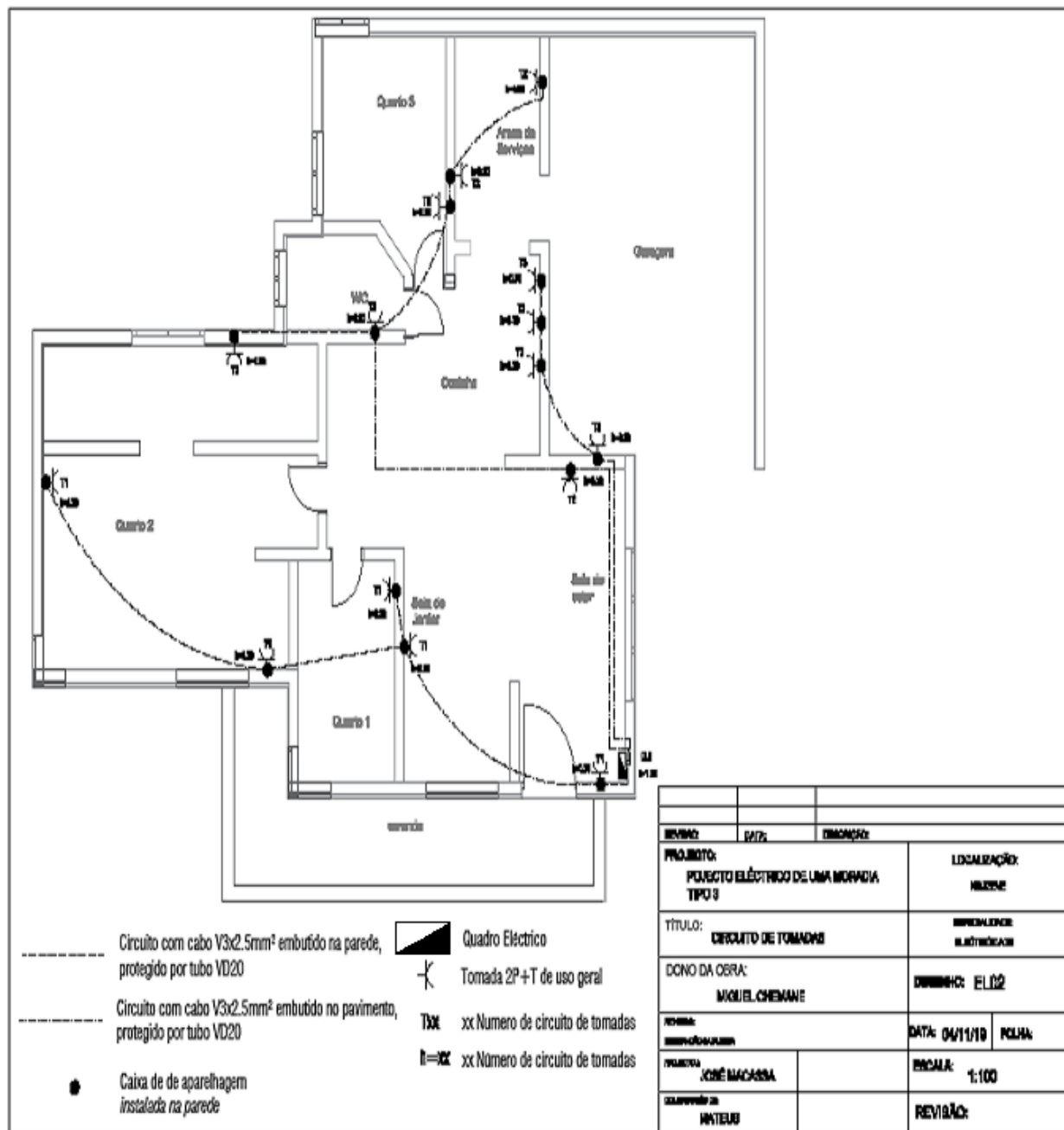
Circuito de iluminação



FONTE: adaptado pelo autor 2021

Apêndice 02

Circuito de tomadas de uso geral



REVISÃO:	DATA:	ELABORADO:
PROJETO:	LOCALIZAÇÃO:	
PROJETO ELÉCTRICO DE UMA MORADIA TIPO 3	MURCIE	
TÍTULO:	SPECIALIDADE:	
CIRCUITO DE TOMADAS	ELÉTRICA	
DO NO DA OBRA:	DESENHO:	
MIGUEL CHEMARE	EL02	
REVISÃO:	DATA:	PLANO:
REVISÃO 01	04/11/19	01/01
PROJETA:	ESCALA:	
JOSÉ MACASSA	1:100	
ELABORADO DE:	REVISÃO:	
MATEUS		

FONTE: adaptado pelo autor, 2021

ANEXO

Anexo 01

Tabela de secção mínima para condutores comumente usados em instalações residenciais:

SEÇÃO  DIÂMETRO		BITOLA	CORRENTE MÁXIMA (A)
SEÇÃO mm ²	DIÂMETRO mm	AWG NBR NM 247-3	
1.0	1.13	16	14
1.5	1.38	14	17
2.5	1.78	12	24
4.0	2.26	10	32
6.0	2.76	8	41
10.0	3.57	6	57

Fonte: <https://www.pinterest.com/> 2013.

Anexo 02

FIOS E CABOS									
Ocupação máxima sugerida dos eletrodutos de PVC (NBR 6150)									
Seção nominal mm ²	Número de condutores no eletroduto								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tamanho nominal do eletroduto (mm)								
1,5	16	16	16	16	16	16	20	20	20
2,5	16	16	16	20	20	20	20	25	25
4	16	16	20	20	20	25	25	25	25
6	16	20	20	25	25	25	25	32	32
10	20	20	25	25	32	32	32	40	40
16	20	25	25	32	32	40	40	40	40
25	25	32	32	40	40	40	50	50	50
35	25	32	40	40	50	50	50	50	60
50	32	40	40	50	50	60	60	60	75
70	40	40	50	60	60	60	75	75	75
95	40	50	60	60	75	75	75	85	85
120	50	50	60	75	75	75	85	85	-
150	50	60	75	75	85	85	-	-	-
185	50	75	75	85	85	-	-	-	-
240	60	75	85	-	-	-	-	-	-

Tabela de Seções mínimas de condutores e diâmetros de tubos

Fonte: <https://www.pinterest.com/> 2013

Anexo 03

Tabela de Perda de carga em tubulações de PVC

Perdas de Carga (perda equivalente em metros de altura manométrica para cada 100 m de tubulação)							
Vazão (L/h)	Diâmetro interno da tubulação (mm)						
	19	26	32	38	50	63	75
500	1,15						
1.000	4,65	1,15	0,23				
2.000	22,40	5,30	1,43	0,55			
3.000		9,90	2,50	1,00	0,50	0,18	
4.000		16,25	4,55	2,00	0,83	0,38	0,14
5.000			6,45	2,60	1,15	0,48	0,17
6.000			9,25	4,30	1,55	0,58	0,20
7.000			12,85	5,45	2,00	0,68	0,25
8.000			16,60	7,50	2,50	0,90	0,30
9.000				9,45	3,05	1,13	0,40
10.000				12,50	4,25	1,40	0,58
12.000				15,45	5,45	1,90	0,75
15.000				23,50	8,10	3,00	1,18

Fonte: Segungo Pinho e Galdino (2014) apud Adaptado de (Creder, 2006).