



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ATWAH DOUGLAS PIRAN ALFONSO

**CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE
ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA ISOLADA DA REDE SEM
BATERIAS.**

CUIABÁ – MT
NOVEMBRO, 2022

ATWAH DOUGLAS PIRAN ALFONSO

**CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE
ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA ISOLADA DA REDE SEM
BATERIAS.**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Dr. JOSÉ MATEUS RONDINA

CUIABÁ – MT
NOVEMBRO, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A388c Alfonso, Atwah Douglas Piran.

Crêterios para dimensionamento de sistemas de bombeamento de água utilizando energia fotovoltaica isolada da rede sem baterias [recurso eletr nico] / Atwah Douglas Piran Alfonso. -
- Dados eletr nicos (1 arquivo : 59 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientador: José Mateus Rondina.

TCC (gradua o em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Bombeamento fotovoltaico, água subterrânea, Sustentabilidade, Eletrifica o rural,
Técnicas de Bombeamento, sistemas fotovoltaicos. I. Rondina, José Mateus, *orientador*. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodu o parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

DESPACHO

Processo nº 23108.102110/2022-26

Interessado: JOSE MATEUS RONDINA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA MONOGRAFIA:

CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA ISOLADA DA REDE SEM BATERIAS.

ALUNO: ATWAH DOUGLAS PIRAN ALFONSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 05 de dezembro de 2022.

Nota: 9,25

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Mateus Rondina

Orientador

Prof. Joelma Azevedo

Examinadora

Prof. Dr. Jorge Luiz Brito de Faria

Examinador



Documento assinado eletronicamente por **JOSE MATEUS RONDINA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 06/12/2022, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOELMA SEBASTIANA DE AZEVEDO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 06/12/2022, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JORGE LUIZ BRITO DE FARIA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 13/12/2022, às 08:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5355944** e o código CRC **B66BCA05**.

Referência: Processo nº 23108.102110/2022-26

SEI nº 5355944

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus e a Nossa Senhora pela perseverança e pelo dom da fortaleza frente as necessidades e desafios.

Aos meus pais Divane Piran Alfonso e Gerson Ramon Alfonso, que me incentivaram e me apoiaram em todos os meus passos.

A minha noiva Mariana Andrade Martins que esteve ao meu lado durante todo período da graduação, me motivando e incentivando a cada semestre.

Aos meus amigos e colegas de turma, em especial, Alexandre Pereira de Carvalho, Bruno Gobbi, Estevão Augusto, Marco Tulio, Lucas Garcia, Joao Fabris, Herbert de Souza, Isadora Beal, Jader José, e demais amigos.

Aos meus amigos Joao Paulo, Debora Borges, Tiago Casola, Eduardo Roosevelt, Matheus Barbosa, Gabrielly Borges e Jullianny Siqueira, que pela amizade em Deus, sempre me mantiveram firme na caminhada.

E, por fim, o professor Dr. José Mateus Rondina, meu orientador neste trabalho de final de curso.

RESUMO

ALFONSO, A.D.P de. **CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA FOTOVOLTAICA ISOLADA DA REDE SEM BATERIAS**. 2022. 19f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2022.

A água é um recurso natural e essencial para vida humana. Sua escassez, infelizmente, é presente em lugares dentro do território nacional. Essa acarreta diversos problemas nas esferas econômicas, sociais e de saúde dos habitantes. Em contrapartida, a incidência de energia solar é presente em todo território nacional, e com o avanço da geração de energia através do sol, uma alternativa para auxiliar no abastecimento de água de pequenas e médias unidades rurais é por meio do bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica. A metodologia foi concebida, tal que possibilite, de forma descomplicada, o dimensionamento completo do sistema de bombeamento, sem a necessidade da implementação de baterias, que até o momento, apresentam alto custo inicial e curto período de vida útil, sendo esta substituída por reservatórios elevados de água, transportando-a por meio da energia gravitacional. Ainda, na metodologia, optou-se por demonstrar exemplos práticos de cálculos e a apresentar ferramentas gratuitas que auxiliam no dimensionamento, possibilitando que leigos no assunto possam calcular e implementar seu próprio sistema de bombeamento de água.

Palavras-chave: Bombeamento fotovoltaico. Água subterrânea. Sustentabilidade. Eletrificação rural. Técnicas de bombeamento. Sistemas fotovoltaicos.

ABSTRACT

ALFONSO, A.D.P de. CRITERIA FOR SIZING WATER PUMPING SYSTEMS USING PHOTOVOLTAIC ENERGY ISOLATED FROM THE GRID WITHOUT BATTERIES.

2022. 19f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2022.

Water is a natural and essential resource for human life, its scarcity, unfortunately, is present in places within the national territory, which causes several problems in the economic, social and health spheres of the inhabitants. On the other hand, the incidence of solar energy is present throughout the national territory, and with the advancement of energy generation through the sun, an alternative to assist in the water supply of small and medium rural units is by pumping water using energy photovoltaic solar. The methodology was conceived, in the manner that allows, in an uncomplicated way, the complete sizing of the pumping system, without the need to implement batteries, which until now, have a high initial cost and a short period of useful life, being replaced by elevated reservoirs of water, transporting it by means of gravitational energy. Still, in the methodology, it was decided to demonstrate practical examples of calculations and to present free tools that help in the sizing, allowing laymen in the subject to calculate and implement their own water pumping system.

Keywords: Photovoltaic pumping. Underground water. Sustainability. Rural electrification. Pumping techniques. Photovoltaic systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa do Sistema Interligado Nacional (SIN).....	16
Figura 2 – Diagrama de funcionamento de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água.	20
Figura 3 - Taxa de irradiação média diária no plano horizontal do Brasil.	21
Figura 4 - Taxa de irradiação média diária no plano inclinado do Brasil.	22
Figura 5 – Síntese dos níveis de irradiação solar por região no Brasil.....	23
Figura 6 – Comparação da irradiação média mensal no Brasil e em alguns países europeus..	24
Figura 7 – Orientação de módulos fotovoltaicos ao norte verdadeiro, visto sua posição no hemisfério Sul.....	25
Figura 9 – Comportamento da tensão e corrente em células fotovoltaicas conectadas em série.	27
Figura 9 – Conexão de 4 séries de módulos conectados em série.....	28
Figura 9 – Conexão de 4 paralelo de módulos conectados em paralelo.....	29
Figura 9 – Comportamento da tensão e corrente em células fotovoltaicas conectadas em paralelo.	29
Figura 10 – Ligação de diodos de desvio em módulos fotovoltaicos.....	30
Figura 11 – Diagrama de funcionamento do diodo de desvio.....	30
Figura 12 – Conexão de 4 séries de módulos conectados em paralelo utilizando o diodo de bloqueio.	31
Figura 13 – Efeito da irradiação solar sobre a curva característica I-V, para um módulo fotovoltaico de 36 células de silício cristalino (c-Si) a 25°C.....	32
Figura 12 – Comportamento da tensão e corrente visto a variação de temperatura do módulo.	32
Figura 12 – Comportamento da tensão e corrente considerando sombreamento no módulo...	33
Figura 14 – Bomba centrífuga SQF 5A-7.	35
Figura 15 – Bomba centrífuga SQF 2.5-2.	36
Figura 16 – Campos de coordenadas geográficas no site da CRESESB.....	38
Figura 17 – Dados de irradiação pelo programa SunData da CRESESB.....	38
Figura 18 – Variação da sombra durante o dia.	40
Figura 19 – Fator de espaçamento pela latitude do local de instalação do gerador fotovoltaico.	41
Figura 20 – Trajetória do sol ao longo do ano.....	41
Figura 21 – Trajetória do sol ao longo do ano.....	42

Figura 22 – Estimativa de consumo médio de água por atividade.	43
Figura 23 – Alturas em sistema típico de bombeamento de água.	44
Figura 24 – Perda de carga em tubulações de PVC.....	45
Figura 25 – Perda de carga em conexões de PVC.....	45
Figura 26 – Distância entre dois pontos no Google Earth.....	47
Figura 27 – Acessando perfil de elevação.	48
Figura 28 – Perfil de elevação.	48
Figura 29 – Caixas d’água comerciais.....	50
Figura 30 – Simulação sombreamento no programa PV Sol	53
Figura 31 – Fichar técnica módulo fotovoltaico AE SOLAR.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Média de irradiação mensal no Brasil por região.....	24
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIN	Sistema Interligado Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
UFRGS	Universidade Federal de Rio Grande do Sul
UFPA	Universidade Federal do Pará
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABSOLAR / UFSC	Laboratório de Energia solar da Universidade Federal de Santa Catarina
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i> (Rastreador De Ponto De Máxima Potência)
QGBT	Quadro Geral De Baixa Tensão
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
HSP	Horas de Sol Pleno
FV	Fotovoltaico
ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
d	Distância mínima a ser mantida entre o gerador e o obstáculo
Fe	Fator de espaçamento
h_{ob}	Altura do obstáculo
h_i	Altura de instalação do gerador fotovoltaico
Q	Demanda de água por dia
h_e	Distância entre o solo e a água em repouso
h_d	Altura entre o solo e o nível de água durante funcionamento da bomba
h_r	Distância entre o solo e o ponto mais elevado do reservatório
h_m	Distância entre o nível da água durante o bombeamento e o ponto mais elevado do reservatório
h_t	Perdas de carga nas tubulações
h_c	Percas em conexões
Q_{Max}	Capacidade Máxima
H_{TE}	Altura Total Equivalente
Q_m	Vazão Média

W	Capacidade do reservatório
d_i	Número de dias de autonomia
E_H	Energia Hidráulica
g	Aceleração da gravidade
ρ_a	Massa específica da água
E_{EL}	Energia Elétrica
μ_{mb}	Coefficiente de Eficiência da Motobomba
P_{FV}	Potência do Gerador Fotovoltaico
β	Fator de Perdas
$P_{cab.}$	Perda no Cabeamento
$P_{inv.}$	Perdas no Inversor ou Controlador de Carga
$P_{somb.}$	Perda por Sombreamento
$P_{temp.}$	Perdas por temperatura
Δv	Variação de tensão
V	Tensão da fonte
R	Resistência do condutor
ρ_c	Resistência por Unidade de Comprimento
S	Secção do condutor
I	Intensidade de Corrente Elétrica
l	Comprimento do circuito
$Temp_{amb}$	Temperatura ambiente do local de instalação
$coef_{temp}$	Coefficiente de temperatura do módulo fotovoltaico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E PROPOSIÇÃO DO TRABALHO.....	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	18
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
2.1.1	HISTÓRICO.....	19
2.1.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS DA REDE ELÉTRICA (OFF-GRID) 19	
2.1.3	POTENCIAL SOLAR NO BRASIL.....	21
2.1.4	ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	25
2.1.4.1	ORIENTAÇÃO.....	25
2.1.4.2	INCLINAÇÃO.....	25
2.1.5	CELULAS FOTOVOLTAICAS.....	26
2.1.6	CELULAS POLICRISTALINAS.....	26
2.1.6.1	CELULAS MONOCRISTALINAS.....	26
2.1.7	CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 27	
2.1.7.1	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EM SÉRIE.....	27
2.1.7.2	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EM PARALELO	28
2.1.7.3	DIODO DE DESVIO	29
2.1.7.4	DIODO DE BLOQUEIO	31
2.1.8	FATORES QUE INFLUENCIAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULO FOTOVOLTAICOS E PERDAS NA GERAÇÃO.....	31
2.1.8.1	IRRADIANCIA SOLAR	31
2.1.8.2	TEMPERATURA	32
2.1.8.3	ACÚMULO DE SUJEIRA E SOMBREAMENTO	33

2.1.8.4	PERDAS NO CABEAMENTO ELÉTRICO.....	33
2.1.9	INVERSORES DE FREQUENCIA.....	33
2.1.9.1	EFICIENCIA DOS INVERSORES.....	34
2.1.10	SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE FLUÍDOS.....	34
2.1.10.1	BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	34
2.1.10.2	BOMBAS HELICOIDAIS.....	36
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	CONCEPÇÃO.....	36
3.1.1	CONHECIMENTO DO PROBLEMA.....	36
3.1.2	ANÁLISE DO LOCAL.....	37
3.1.3	MAPEAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	37
3.1.4	DISPONIBILIDADE DE ENERGIA SOLAR.....	37
3.1.5	ANÁLISE DE SOMBREAMENTO.....	39
3.1.5.1	OBJETOS PROXIMOS.....	39
3.1.5.2	FILEIRAS DE PAINEL.....	41
3.2	PROJETO HIDRAULICO.....	42
3.2.1	CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA.....	42
3.2.2	CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA.....	44
3.2.3	DISTÂNCIA E RELEVO DO LOCAL.....	46
3.2.4	ESCOLHA DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA.....	49
3.3	PROJETO FOTOVOLTAICO.....	50
3.3.1	CÁLCULO DO GERADOR FOTOVOLTAICO.....	50
3.3.2	PERDAS ELÉTRICAS.....	51
3.1.5.3	PERDA ELÉTRICA NO CABEAMENTO.....	51
3.1.5.4	PERDA ELÉTRICA NO INVERSOR OU CONTROLADOR DE CARGA	
	52	
3.1.5.5	PERDA POR SOMBREAMENTO.....	52
3.1.5.6	PERDA POR TEMPERATURA.....	53

4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
4.1	CONCLUSÃO	55
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO E PROPOSIÇÃO DO TRABALHO

O Sistema Interligado Nacional (SIN), criado em 1998 pela resolução 351/98 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), é um sistema que envolve produção e transmissão por quatro subsistemas, sudeste/Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte, estes subsistemas são interligados entre si e assim é possível aproveitar a geração de determinados locais em outros que possuem pouca geração de energia. (EsferaBlog, 2021)

Figura 1 – Mapa do Sistema Interligado Nacional (SIN)



Fonte: (ONS)

Porém, apesar do Sistema Interligado Nacional atender a maioria das localidades do Brasil, segundo os dados da ANEEL apresentados na audiência da Câmara, dentro da Amazonia legal o estado do Pará possui 154,8 mil famílias sem acesso à eletricidade, seguida do Amazonas, com 33 mil famílias; Acre, com 17 mil; Roraima com 7,7 mil famílias e Tocantins sendo o estado com menor quantidade de família sem acesso à energia elétrica, com apenas 586 famílias identificadas. (CARDOSO, 2022)

Ainda, embora os avanços significativos do estado em levar energia elétrica à locais afastados, como os programas Luz no campo do ano 2000, Luz para Todos de 2003 e, agora, o programa Mais Luz Para a Amazônia do ano 2022, há ainda muitas famílias, em maioria de área rural, sem acesso à energia. (CARDOSO, 2022)

O programa Mais Luz para Amazônia entende que a energia é necessária não somente para suprir questões residenciais, mas também para demandas produtivas da população. O foco em energia solar é uma das maiores diferenças que este programa trouxe, pois é de fácil implementação, ampla em termos potenciais, baixa necessidade de manutenções, além de quesitos técnicos e econômicos. (CARDOSO, 2022)

Assim, a utilização do sistema de bombeamento de água através da energia solar fotovoltaica auxiliará em localidades que não possuem acesso à rede de energia elétrica a levar água não só para residências como auxiliará no desenvolvimento econômico e social de pequenos e grandes agricultores e pecuaristas de áreas isoladas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar os passos para dimensionamento de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água isolado da rede elétrica sem a necessidade de baterias.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estimar a demanda de água para determinada aplicação;
- b) Dimensionar o gerador fotovoltaico;
- c) Dimensionar o sistema hidráulico;
- d) Caracterizar os princípios básicos para elaboração do projeto de bombeamento de água com energia solar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.1 HISTÓRICO

O conhecimento a certa do efeito fotoelétrico data o século XIX, no qual em 1839 Becquerel conseguiu demonstrar a possibilidade de conversão de energia luminosa em energia elétrica, através de um experimento envolvendo um eletrodo mergulhado em uma solução eletrólito. A partir disso, em 1877, Adams e Day, na Inglaterra observou o mesmo efeito em um sólido, o selênio. Em 1883, 6 anos após a observação de Adams e Day, a primeira célula fotovoltaica foi produzida com selênio e com eficiência aproximada de 1% (Fadigas, 2012).

O grande avanço da utilização das fotocélulas é decorrente do uso das mesmas em programas espaciais até o fim da década de 70 e a partir da crise mundial de energia em 1973 e 1974, a utilização dessas células aumentou gradativamente em terra, superando a utilização dessas no espaço. (Fadigas, 2012).

O uso crescente desta tecnologia é acompanhado por diversas inovações tecnológicas, ao decorrer dos anos, estudos garantiram melhores eficiências na conversão de energia proveniente do sol em energia elétrica, bem como a redução significativa nos custos de fabricação. (Fadigas, 2012).

No Brasil, o primeiro sistema de geração fotovoltaica foi instalado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar (FV-UFSC). Ademais, outros sistemas foram instalados em universidades como a Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal do Pará (UFPA), bem como em outros órgãos e institutos de pesquisas e serviços públicos. (Didoné, et al., 2014)

A fim de se comparar o avanço tecnológico da energia fotovoltaica, em 1970, o watt-pico era vendido na Europa e nos Estados Unidos por cerca de U\$ 150,00 e no final de 2013 o valor do módulo fotovoltaico encontrava-se custando cerca de 0,60 €/Wp na Europa, 0,65 U\$/Wp nos EUA e menos de 3 R\$/Wp no Brasil. (Pinho, et al., 2017)

2.1.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS DA REDE ELÉTRICA (OFF-GRID)

Nos primórdios da energia solar fotovoltaica, entre as décadas de 1950 e 1970, os sistemas isolados da rede elétrica eram os únicos que existiam, visto que o foco era levar a energia elétrica para locais onde a rede de distribuição não chegava. (BlueSol)

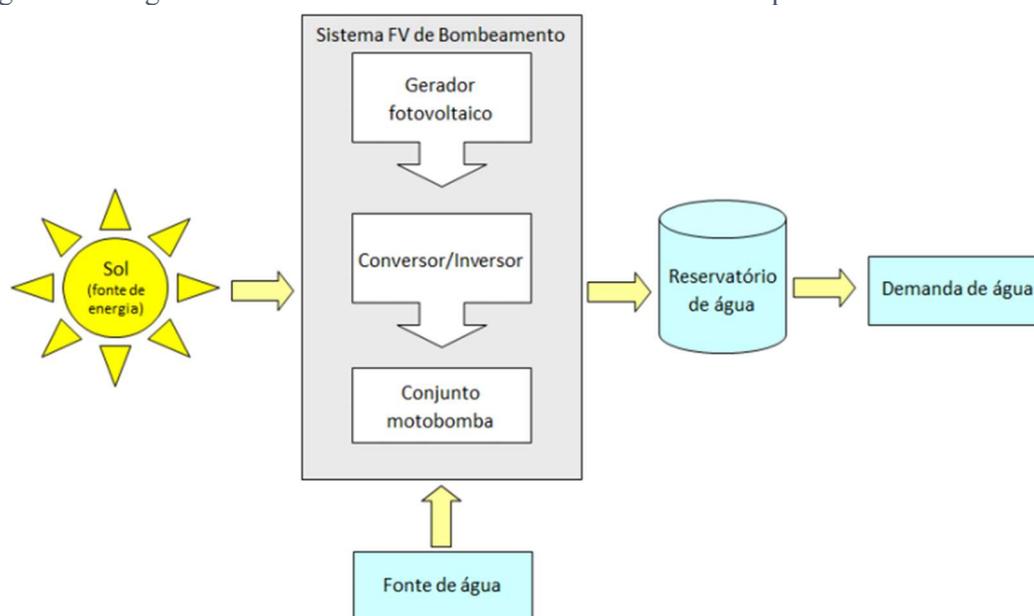
Um sistema isolado, em geral, necessita de algum tipo de reserva energética. Em sistemas convencionais, é possível a utilização de um banco de baterias, que é carregado durante

o dia e projetado devidamente para atender as cargas durante o período que não houver geração fotovoltaica. (Pinho, et al., 2017)

Em sistemas de bombeamento de água, a energia pode ser armazenada por meio da energia potencial gravitacional, visto que enquanto houver geração fotovoltaica, a água é bombeada e armazenada em reservatórios elevados para uso posterior. (Pinho, et al., 2017)

Assim, um sistema de bombeamento fotovoltaico é constituído pelo gerador fotovoltaico, dispositivo de condicionamento de potência (inversor ou controlador de bomba), conjunto de motobombas e reservatório de água, este sistema pode ser melhor observado através da ilustração a seguir: (Pinho, et al., 2017)

Figura 2 – Diagrama de funcionamento de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água.



Fonte: (Pereira, et al.)

Para esses tipos de sistemas, o que difere a utilização de um controlador de carga e um inversor de frequência é a bomba de água, visto que essa pode ser controlada por um controlador de carga CC-CC mediante acoplamento direto gerador-bomba ou, para sistemas de corrente alternada, a utilização de inversores de frequência CC-CA. (Pinho, et al., 2017)

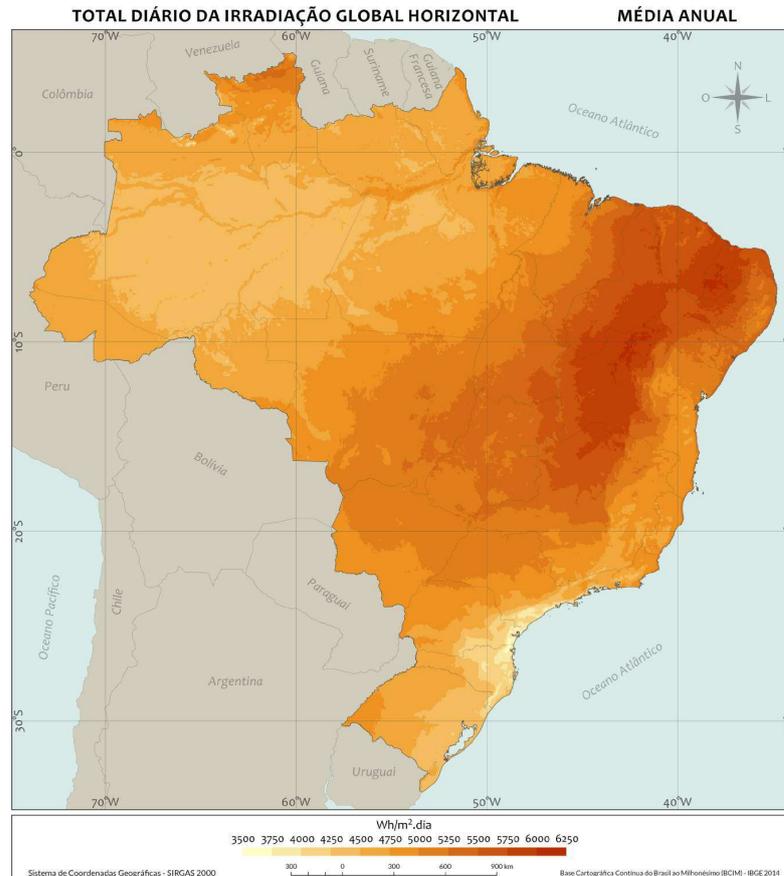
Em sistemas de baixa potência (até 400Wp) é comum a utilização de um motor CC acionando uma bomba de deslocamento positivo com diafragma, com o uso de um conversor CC-CC para otimizar o acoplamento e sistemas de média potência (400Wp a 1500 Wp) pode-se utilizar um motor CC sem escovas (maior rendimento nesta faixa de potência) operando com bomba de deslocamento positivo helicoidal. (Meléndez, 2009)

2.1.3 POTENCIAL SOLAR NO BRASIL

No Brasil o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com o Laboratório de Energia solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR / UFSC) desenvolveram o Atlas Brasileiro (Pereira, et al.)

Na figura abaixo, é possível observar a irradiação solar global horizontal média diária no Brasil, esta escala varia de 3500 a 6250 Wh/m². dia, quanto mais escuro maior é a irradiação média recebida no plano horizontal. (Pereira, et al.)

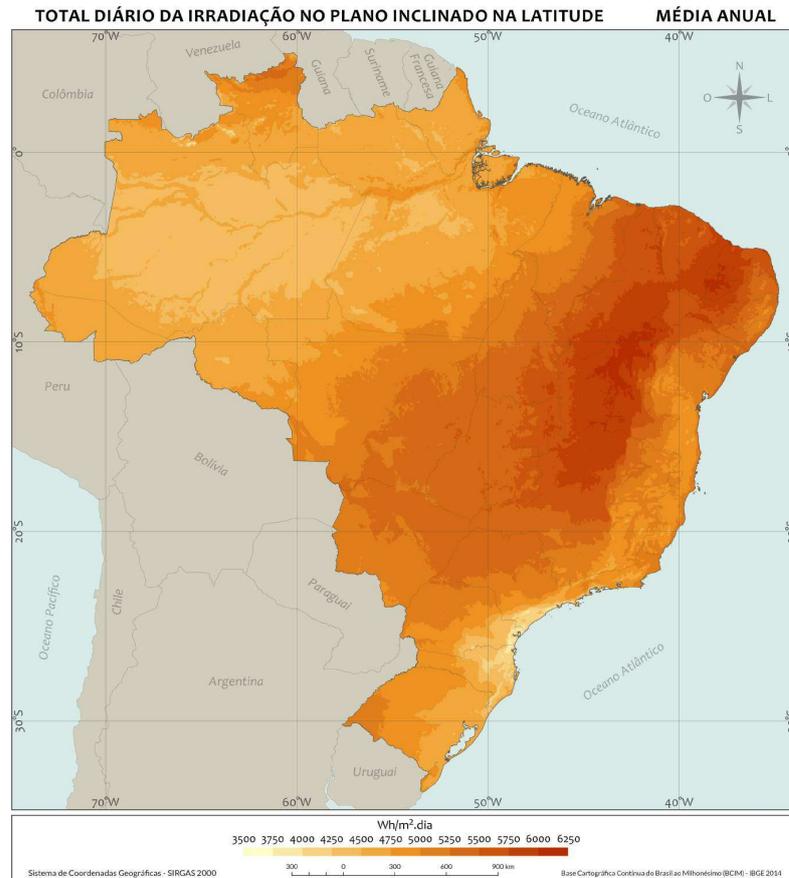
Figura 3 - Taxa de irradiação média diária no plano horizontal do Brasil.



Fonte: (Pereira, et al.)

A irradiação solar global horizontal é o valor de energia por unidade de área que incide sobre o plano horizontal, em contrapartida, na imagem a seguir, é possível observar também o valor de energia sobre o plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da terra, este é chamado de irradiação sobre o plano inclinado.

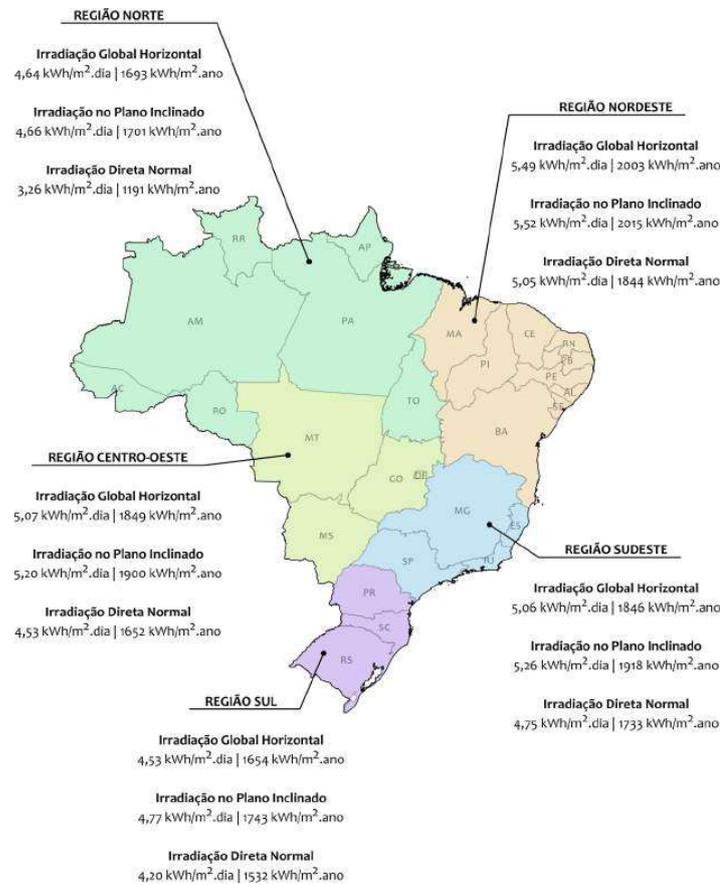
Figura 4 - Taxa de irradiação média diária no plano inclinado do Brasil.



Fonte: (Pereira, et al.)

A irradiação global média no plano inclinado apresenta aumento significativo na energia recebida por metro quadrado, o que garante uma maior geração nos sistemas fotovoltaicos, a figura a seguir apresenta o valor médio anual do total diário de irradiação solar para as cinco regiões brasileiras. A região Nordeste apresenta o maior potencial solar, com valor médio do total diário da irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m² e da componente direta normal de 5,05 kWh/m². (Pereira, et al.)

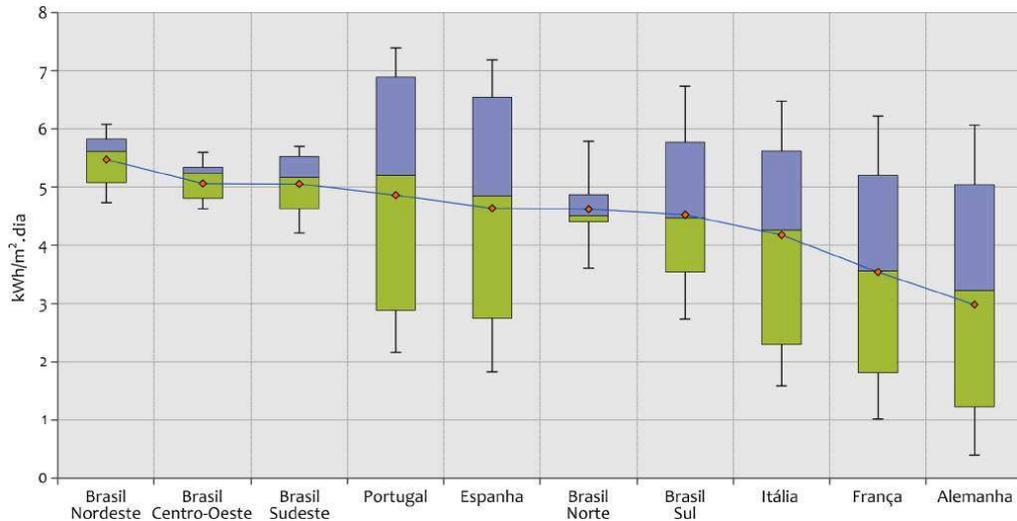
Figura 5 – Síntese dos níveis de irradiação solar por região no Brasil.



Fonte: (Pereira, et al.)

É possível comparar a irradiação solar com países europeus, que possuem tecnologia muito bem estabelecida, como a Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França. A imagem a seguir, é feita na forma de box-plot, comparando a variabilidade da irradiação global horizontal das cinco regiões brasileiras com os países europeus citados. (Pereira, et al.)

Figura 6 – Comparação da irradiação média mensal no Brasil e em alguns países europeus.



Fonte: (Pereira, et al.)

Dessa forma, o Brasil possui níveis acentuados de irradiação média mensal, com baixas variações ao longo do ano. A região sul assemelha-se aos países europeus, particularmente no que se refere à variabilidade mensal, já que se encontra em latitudes maiores e, portanto há maior diferença na duração dos dias entre as estações do ano. (Pereira, et al.)

A tabela a seguir apresenta, de forma resumida, a média dos totais diários de irradiação global horizontal para cada região do Brasil.

Tabela 1- Média de irradiação mensal no Brasil por região.

Região	Irradiação Global Horizontal média (Wh/m ²)
Norte	4825
Nordeste	5483
Centro-Oeste	5082
Sudeste	4951
Sul	4444

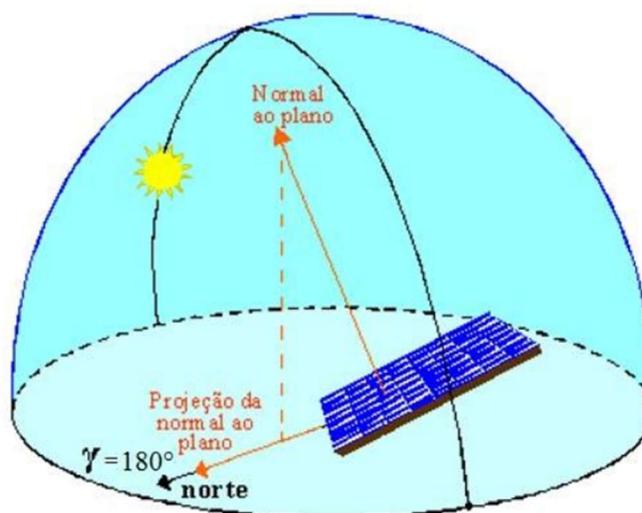
Fonte: (Pereira, et al.)

2.1.4 ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

2.1.4.1 ORIENTAÇÃO

Em geral e de maneira resumida, os módulos fotovoltaicos devem ser orientados em direção à linha do equador. No hemisfério Sul, a Face dos módulos devem ser orientados ao norte verdadeiro, porém essa não é uma regra geral, visto que, por exemplo, em localidades que possuem altos índices de neblina durante a manhã, a maior incidência de radiação solar ocorrerá à tarde, assim os módulos devem ser orientados nesta direção. Em contrapartida, no hemisfério Norte, os módulos devem ser apontados com sua face voltada ao Sul verdadeiro. (Pinho, et al., 2017)

Figura 7 – Orientação de módulos fotovoltaicos ao norte verdadeiro, visto sua posição no hemisfério Sul.



Fonte: (Pinho, et al., 2017)

O Norte Verdadeiro (ou Sul Verdadeiro), na maioria dos locais, não coincide com o Norte Magnético (ou Sul Magnético) indicado pela bússola, necessitando, então, realizar a correção do referencial magnético, através da Declinação Magnética do local de instalação, que pode ser obtido através de diversos sites e programas computacionais. (Pinho, et al., 2017)

2.1.4.2 INCLINAÇÃO

Para uma maior geração de energia ao longo do ano, o ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico deve ser igual à latitude do local de instalação do sistema. Ademais, pequenas variações da inclinação do gerador fotovoltaico em relação à latitude não resultam grandes mudanças na energia gerada anualmente, convenientemente, a inclinação pode variar em até 10° em relação à latitude local. (Pinho, et al., 2017)

Para maior eficiência dos sistemas de energia solar fotovoltaica são os rastreadores do movimento aparente do sol, tais sistemas podem ser caracterizados como manuais e automáticos, os manuais são mais simples e de menor custo, necessitando, porém, de constante intervenção humana, os automáticos, em contrapartida, são mais caros e maior autonomia, porém apresentam falhas devido à presença de peças móveis e requerem conexão com uma fonte de energia. (Pinho, et al., 2017)

2.1.5 CELULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas são formadas por material semicondutor, essas se caracterizam por possuírem uma banda na camada de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução “vazia”, ou seja, sem elétrons. (BlueSol)

Na tabela periódica, os semicondutores pertencem, principalmente, aos grupos 14 a 16, incluindo Carbono (C), Silício (Si), Germânio (Ge), Arsenio (As), Fósforo (P), Selênio (Se) e Telúrio (Te). Além desses, há outro grande número de compostos binários, ternários e até quaternários, incluindo outros elementos de outros grupos da tabela periódica, que também podem ser classificados como semicondutores. (Pinho, et al., 2017)

O semicondutor mais utilizado é o silício. Este pode ser classificado como monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si). E são extraídos de uma fonte mineral chamada quartzo. (BlueSol)

2.1.6 CELULAS POLICRISTALINAS

O silício purificado, é derretido em um cadinho de quartzo e modelado no formato de cubo, e através de um processo de aquecimento e resfriamento, o bloco se solidifica de maneira a conseguir uma formação cristalina o mais homogênea possível, e como este se cristaliza livremente, há formação de vários cristais, por isso o nome policristalino. (BlueSol)

As células policristalinas tornam-se menos eficientes comparadas às monocristalinas visto suas recombinações. Após a solidificação do cristal, é criado lingote de silício policristalino, esses são serrados em barras e cortados em lâmina de aproximadamente 0.3 mm de espessura. Após o processo de corte e limpeza, as lâminas são dopadas com fósforo. (BlueSol)

2.1.6.1 CELULAS MONOCRISTALINAS

Os blocos de silício ultrapuros, ainda em forma de policristal, precisam ser transformados em um único cristal. Dessa forma, esses são submetidos ao método Czochralski, desenvolvido pelo químico polonês Jan Czochralski, resultando em um lingote de silício

monocristalino com estrutura cristalina única e com organização molecular homogênea. (BlueSol)

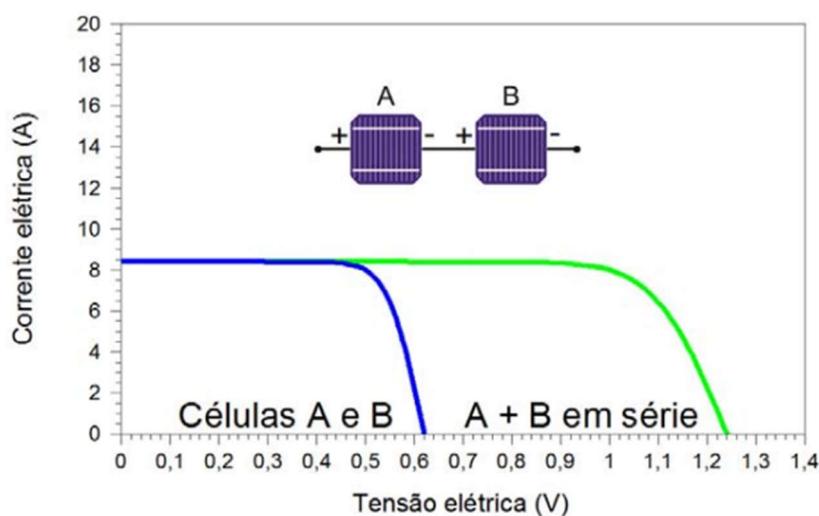
Esse cristal único é cortado em formato semi-quadrado e fatiado em lâminas denominadas wafers, com espessura de aproximadamente 0.3 mm. Com as lâminas devidamente dopadas com boro, tipo-P, é criada uma camada superior do tipo-N, através de um do processo de difusão de vapor de fosforo em um forno com temperaturas que variam entre 800°C e 900°C, assim criando a junção PN. (BlueSol)

2.1.7 CARACTERÍSTICAS E ASSOCIAÇÃO DE MODULOS FOTOVOLTAICOS

2.1.7.1 MODULOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EM SERIE

A conexão de um módulo em série é dada quando o terminal positivo do mesmo é conectado ao terminal negativo de outro módulo e assim por diante. Ao conectar-se um módulo em série, a tensão desse é acrescida enquanto sua corrente permanece constante. (Pinho, et al., 2017)

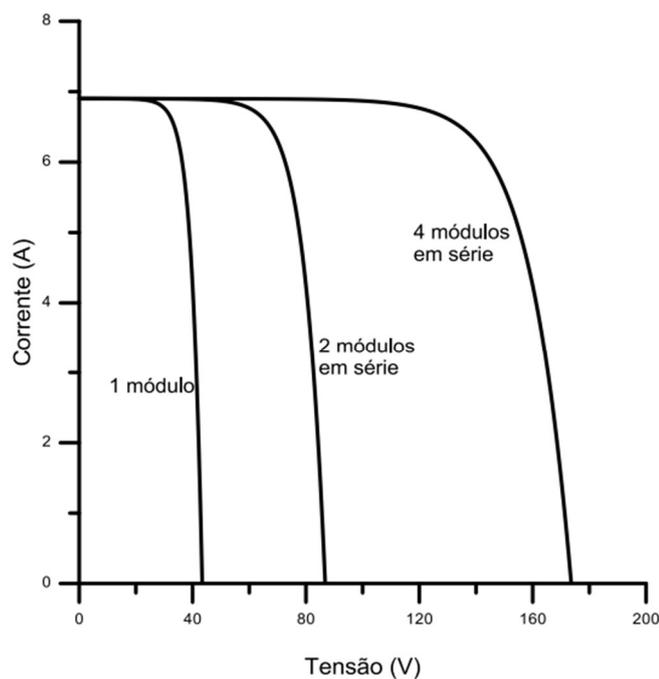
Figura 8 – Comportamento da tensão e corrente em células fotovoltaicas conectadas em série.



Fonte: (Pinho, et al., 2017)

Na figura a seguir é possível observar o comportamento da tensão e corrente para conexão em série de módulos idênticos. Neste exemplo, cada módulo de 220 Wp possuem correntes de 6,9 A e tensão de 43,4 V, o conjunto resultante de 4 módulos em série resulta em uma potência de 880 Wp com corrente de 6,9 A e tensão de 173,6 V. (Pinho, et al., 2017)

Figura 9 – Conexão de 4 séries de módulos conectados em série.



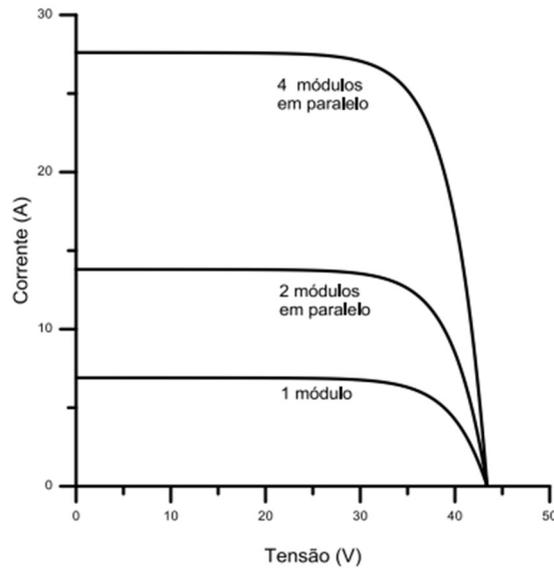
Fonte: (Pinho, et al., 2017)

Uma vez conectado em série, as correntes que fluem entre os módulos fotovoltaicos são sempre iguais entre si, dessa forma, caso haja uma dispersão de características elétricas ou um sombreamento parcial em um dos módulos, a corrente do conjunto é prejudicada sendo limitada pelo módulo de menor corrente individual. (Pinho, et al., 2017)

2.1.7.2 MODULOS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS EM PARALELO

A conexão de um módulo em paralelo se dá unindo os terminais positivos de um ou mais módulos entre si e precedendo da mesma forma com os terminais negativos. Na figura a seguir, é possível observar um exemplo de conexão de módulos idênticos em paralelo, através das curvas de corrente e tensão. Neste exemplo, cada módulo possui potência de 220 Wp com corrente de 6,9 A e tensão de 43,4 V, o conjunto de 4 módulos conectados em paralelo resulta em uma potência de 880 Wp com corrente de 27,6 A e tensão de 43,4 V. (Pinho, et al., 2017)

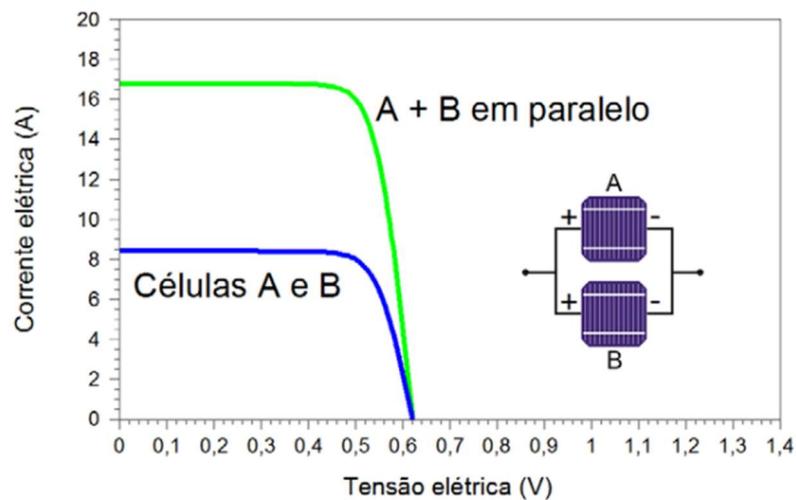
Figura 10 – Conexão de 4 paralelo de módulos conectados em paralelo.



Fonte: (Pinho, et al., 2017)

Assim, ao conectar-se módulos em paralelo sua tensão permanece constante enquanto sua corrente é acrescida, como é possível observar na figura a seguir.

Figura 11 – Comportamento da tensão e corrente em células fotovoltaicas conectadas em paralelo.



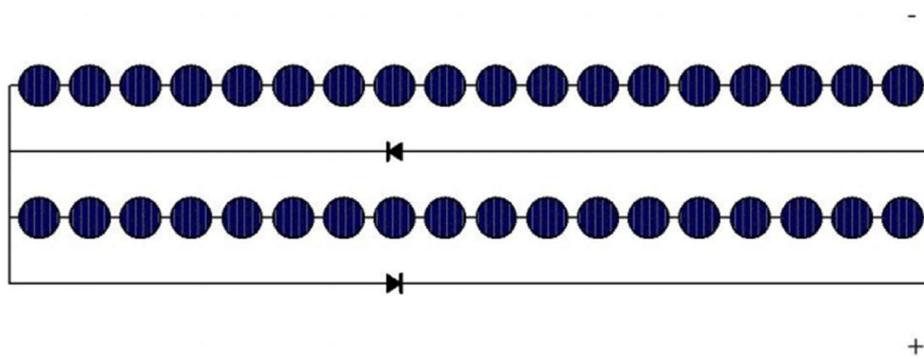
Fonte: (Pinho, et al., 2017)

2.1.7.3 DIODO DE DESVIO

Para evitar-se que ocorra “pontos quentes”, que são áreas de temperatura elevada que podem afetar de forma significativa a eficiência do painel solar durante a geração de energia, os módulos, normalmente, são protegidos com diodos de desvio, que funcionam fornecendo um caminho alternativo para corrente e assim limitar a potência no conjunto das células sombreadas. (Pinho, et al., 2017)

O diodo é calculado de forma que o mesmo de suportar, em operação permanente, a mesma corrente das células que, porventura, estiverem sombreadas, esta proteção ocorre, pois, a máxima potência dissipada sobre uma das células seria a potência do conjunto que o diodo envolve, na figura a seguir é possível observar como o diodo ligado em antiparalelo minimiza o efeito do sombreamento e conseqüentemente de possíveis pontos quentes. (Pinho, et al., 2017)

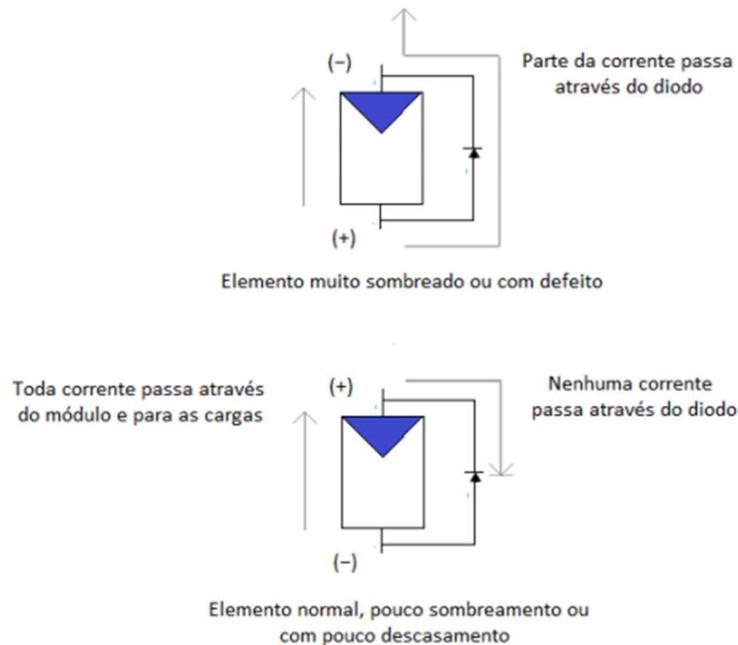
Figura 12 – Ligação de diodos de desvio em módulos fotovoltaicos.



Fonte: (Pinho, et al., 2017)

Ainda, é possível observar na figura a seguir a necessidade da utilização do diodo conectado em antiparalelo, ou seja, com sua polaridade invertida ao fluxo normal da corrente. (Pinho, et al., 2017)

Figura 13 – Diagrama de funcionamento do diodo de desvio.



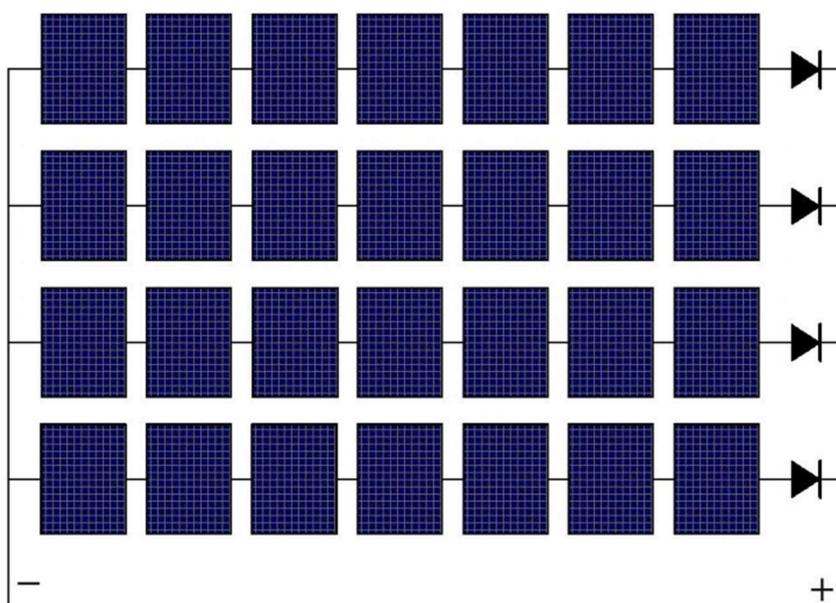
Fonte: (Pinho, et al., 2017)

2.1.7.4 DIODO DE BLOQUEIO

O diodo de bloqueio é um componente de proteção usado em conexão de módulos ou conjuntos série de módulos em paralelo, sua função é impedir o fluxo de corrente de um conjunto série com tensão maior para um conjunto com tensão menor. (Pinho, et al., 2017)

Na imagem a seguir é possível observar o conjunto de 7 módulos conectados em série e 4 conjuntos desses conectados em paralelo. Para cada conjunto de painéis série é instalado um diodo de bloqueio, esse deve suportar, ao menos, a corrente de curto-circuito produzida por um módulo e a tensão reversa de, ao menos, duas vezes a tensão de circuito aberto do conjunto total. (Pinho, et al., 2017)

Figura 14 – Conexão de 4 séries de módulos conectados em paralelo utilizando o diodo de bloqueio.



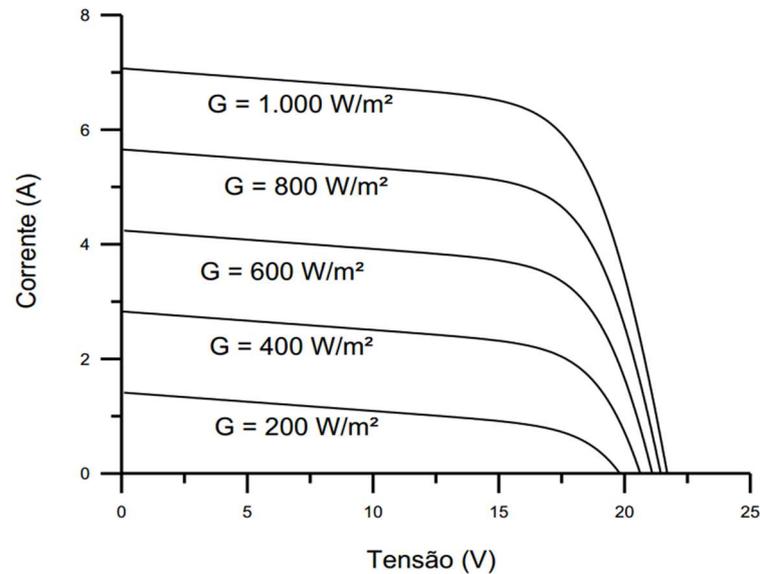
Fonte: (Pinho, et al., 2017)

2.1.8 FATORES QUE INFLUENCIAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULO FOTOVOLTAICOS E PERDAS NA GERAÇÃO

2.1.8.1 IRRADIANCIA SOLAR

O desempenho dos módulos fotovoltaicos é afetado diretamente pela irradiação solar, a corrente elétrica gerada pelo módulo aumenta com o aumento da irradiação solar, como é visto na figura a seguir:

Figura 15 – Efeito da irradiação solar sobre a curva característica I-V, para um módulo fotovoltaico de 36 células de silício cristalino (c-Si) a 25°C.

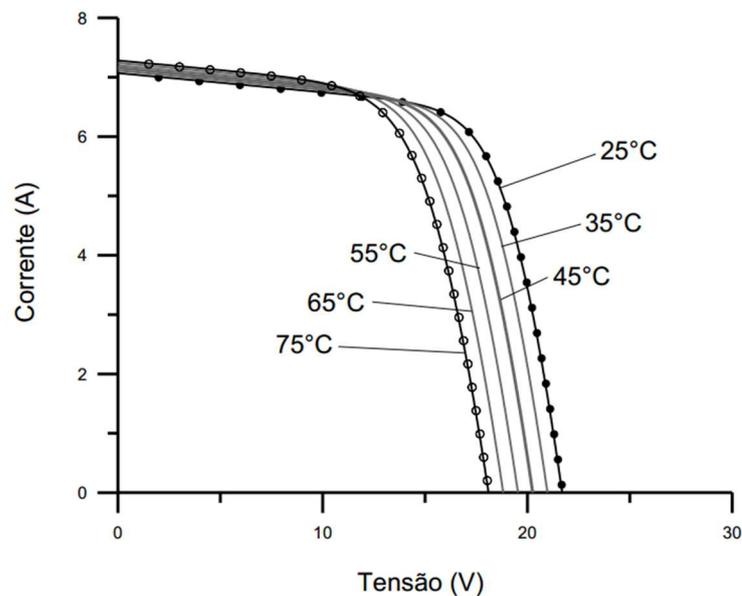


Fonte: (Pereira, et al.)

2.1.8.2 TEMPERATURA

A temperatura das células fotovoltaicas implica em uma variação da geração e, conseqüentemente, uma variação nas curvas de corrente e tensão. A principal implicação no aumento da temperatura da célula é uma queda de tensão e um aumento mínimo na corrente, que não compensa a perda causada pela diminuição da tensão.

Figura 16 – Comportamento da tensão e corrente visto a variação de temperatura do módulo.

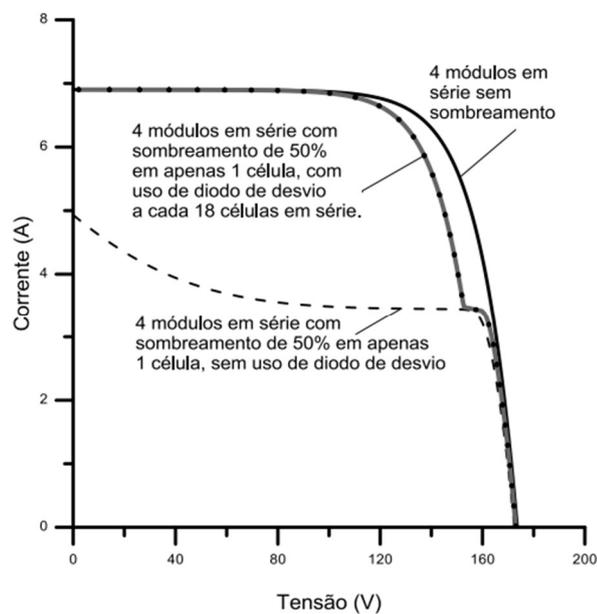


Fonte: (Pereira, et al.)

2.1.8.3 ACÚMULO DE SUJEIRA E SOMBREAMENTO

Como os módulos fotovoltaicos possuem células conectadas em série, caso uma ou mais células do arranjo receba menos radiação solar que as outras, a corrente de todo o conjunto em série é afetada. Esta redução de radiação pode ocorrer por sombreamento parcial do módulo, depósito de sujeira, dentre outras possibilidades. Este efeito de redução na corrente se propaga por todos os outros módulos que estejam conectados em série.

Figura 17 – Comportamento da tensão e corrente considerando sombreamento no módulo.



Fonte: (Pereira, et al.)

2.1.8.4 PERDAS NO CABEAMENTO ELÉTRICO

2.1.9 INVERSORES DE FREQUENCIA

Os inversores são responsáveis pela conversão de corrente contínua para corrente alternada, suas principais características são:

- número máximo de arranjos de módulos de entrada;
- número de entradas por MPPT;
- tensão de operação na conexão com a rede;
- faixa de frequência da rede elétrica;
- distorção de corrente injetada na rede, grau de proteção;
- temperatura de operação, potência de corrente alternada na saída;
- potência de corrente contínua na entrada e eficiência.

(Villalva, 2015).

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, o inversor é ligado diretamente à rede elétrica ou através de um QGBT da edificação. Com este tipo de ligação, a energia gerada é injetada diretamente ao sistema elétrico, porém com o acoplamento à instalação da edificação, a energia gerada é em primeiro lugar consumida no prédio, sendo então a excedente fornecido à rede pública. (Villalva, 2015).

2.1.9.1 EFICIENCIA DOS INVERSORES

Eficiência de conversão mensura a eficiência do inversor na conversão de corrente contínua para corrente alternada. (GREENPRO, 2004).

$$Eficiencia_{Conversão} = \frac{Potência\ de\ saída\ efetiva}{Potência\ de\ entrada\ efetiva} \quad (1)$$

Além da eficiência de conversão da corrente contínua para alternada, outro indicador é a qualidade que o inversor rastreia o ponto de operação de máxima potência do gerador fotovoltaico, podendo ser calculado como: (GREENPRO, 2004).

$$Eficiencia_{Rastreio} = \frac{Potência\ de\ entrada\ efetiva\ instantânea}{Potência\ máxima\ instantânea\ do\ gerador} \quad (2)$$

Assim, a eficiência estática é o produto das duas eficiências citadas acima, conforme a equação a seguir: (GREENPRO, 2004).

$$Eficiencia_{Estática} = Eficiencia_{Conversão} * Eficiencia_{Rastreio} \quad (3)$$

Devido às potências operacionais das plantas fotovoltaicas serem próximas de 50% de sua potência nominal, os inversores são frequentemente subdimensionados para atingir um nível de eficiência adequado (superior a 90%). Essa técnica de projeto é necessária devido o inversor ter uma eficiência relativamente baixa quando operado em uma tensão 10% menor do que a sua nominal. (GREENPRO, 2004).

2.1.10 SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE FLUÍDOS

Bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é deslocar um líquido por escoamento. Assim, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética. O trabalho mecânico, geralmente fornecido por uma máquina motriz (motor de indução ou motor CC, no caso do bombeamento fotovoltaico). (Macintyre, 1997)

2.1.10.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

As bombas centrífugas são caracterizadas por possuírem um componente giratório dotado de pás, localizado no rotor, esses componentes giratórios exercem sobre o líquido forças que resultam de aceleração. Essa aceleração ao contrário do que se verifica em bombas de

deslocamento positivo, não possuem a mesma direção e o mesmo sentido do movimento do líquido em contato com as pás. (Macintyre, 1997)

O funcionamento deste tipo de bomba ocorre através de impulsos vindo de um rotor ligado ao motor por meio de um eixo motriz, que está dentro de uma carcaça. O rotor detém palhetas que giram rapidamente em espiral, e com essa ação é criada uma zona de alta pressão que faz a bomba sugar o fluido e expeli-lo com pressão. (Mattede)

Os rotores podem variar conforme sua aplicação, podendo ser classificados como abertos, fechados, semiabertos e semifechados: (Mattede)

- Rotores fechados: são mais indicados para líquidos limpos, pois possuem passagens estreitas.
- Rotores abertos: são recomendados para líquidos viscosos em suspensão contendo partículas sólidas, pois têm passagens mais livres que evitam entupimentos.
- Rotores semiabertos: possuem um dos seus lados livre, sua aplicação varia tanto para materiais sólidos e líquidos.
- Rotores semifechados: O seu uso também mescla materiais sólidos e líquidos.

Em sistemas fotovoltaicos de bombeamento, as bombas centrífugas são amplamente utilizadas visto que requerem potência de partida próximo ao funcionamento normal da bomba. Desta forma as bombas centrífugas não exigem uma potência instalada muito acima do necessário para o funcionamento normal. (Fedrizzi, 2003)

Figura 18 – Bomba centrífuga SQF 5A-7.



Fonte: (GRUNDFOS)

2.1.10.2 BOMBAS HELICOIDAIS

Bombas helicoidais são equipamentos rotativos de deslocamento positivo. Um rotor helicoidal de aço gira dentro do estator de maneira circular e cria cavidades entre a sucção e a descarga com esse movimento. Assim, o líquido é bombeado, mesmo que seja altamente viscoso, quimicamente agressivo, de altas temperaturas e, até mesmo, com sólidos de tamanho relativo. (Helibombas, 2022)

Esse tipo de bomba não precisa de válvulas de pé ou de retenção, já que é autoescorvante e funciona de forma que o fluido bombeado não tem a possibilidade de fazer o caminho de volta para dentro da bomba. (Helibombas, 2022)

Em geral, esse tipo de bomba é utilizado para bombear a água de poços artesianos, drenar terrenos e captar água de lençol freático, isto é, sempre que for necessário aumentar a pressão e a velocidade de escoamento de um sistema. (Camilo)

Figura 19 – Bomba centrífuga SQF 2.5-2.



Fonte: (GRUNDFOS)

3 METODOLOGIA

3.1 CONCEPÇÃO

3.1.1 CONHECIMENTO DO PROBLEMA

À primeira vista, os problemas que envolvem o abastecimento de água são padronizados e possuem a mesma solução para todos os casos, porém não é esta realidade. Por exemplo, o projeto de abastecimento de água para uma comunidade rural se difere de um projeto para irrigação e esse, por sua vez, se difere de um projeto de abastecimento de água para atender o consumo de animais.

O conhecimento do problema é, então, o primeiro passo para desenvolvimento do projeto de abastecimento de água, visto que cada tipo de projeto terá suas complicações e especificidades. Na etapa de conhecimento do problema, é necessário ter conhecimento se reduções ou interrupções no fornecimento de água acarretará transtornos leves ou graves à aplicação.

3.1.2 ANÁLISE DO LOCAL

Para um dimensionamento correto do sistema de bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica, é imprescindível a análise do local que deverá ser instalado os painéis como o ponto de coleta de água e a distância de reboque.

3.1.3 MAPEAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Assim como a distribuição da água nas superfícies é muito variável, as águas subterrâneas apresentam também variações, visto que essas relacionam-se em um ciclo hidrológico e dependem das condições climatológicas. As reservas de águas subterrâneas em contraste com as águas superficiais (rios e lagos) são 100 vezes mais abundantes. (ABAS)

Dessa forma, antes da construção do poço é necessário que se realize um estudo hidogeológico, levando em consideração a formação geológica, o grau de permeabilidade e a quantidade de água disponível no subsolo. Uma solução simplificada para tal análise é se dispor de um mapa hidogeológico da região que se deseja perfurar o poço.

3.1.4 DISPONIBILIDADE DE ENERGIA SOLAR

Como visto na revisão teórica deste documento, o potencial solar no Brasil pode ser observado através do atlas de energia solar desenvolvido pelo INPE em parceria com a LABSOLAR da UFSC, porém os valores de irradiação média por região podem variar se analisados em contraste com pontos específicos dentro da própria região. Dessa forma, uma maneira mais rápida e precisa de se obter dados de irradiação de energia do sol é pelo programa SunData no site da CRESESB.

Para consultar a irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, é necessário acessar o site da CRESESB, e informar as coordenadas geográficas que se deseja obter os dados de irradiação, estas coordenadas podem ser obtidas facilmente através de programas livres como *Google Earth* e *Google Maps*.

Figura 20 – Campos de coordenadas geográficas no site da CRESESB.

Coordenada Geográfica

Latitude **Longitude**

Sul Oeste

Norte:

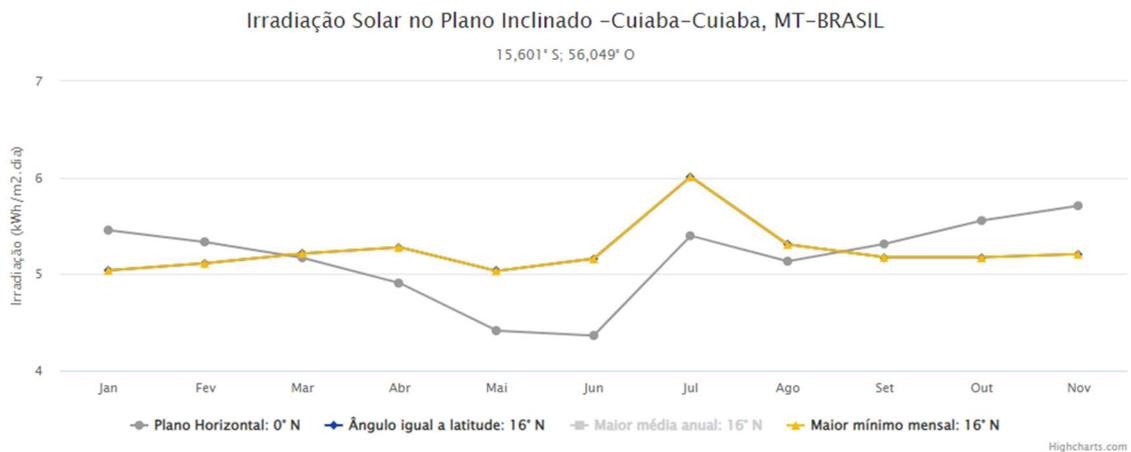
graus decimais (00.00°)

graus, minutos e segundos (00°00'00")

Fonte: (CRESESB, 2018)

Para fins de exemplificação, consultou-se os dados de irradiação com base na Universidade Federal de Mato Grosso em Cuiabá, o programa encontra a fonte de dados mais próxima da coordenada pesquisada e apresenta o resultado no Plano Inclinado (inclinação igual a latitude e orientado ao norte), e no Plano Horizontal (painéis sem inclinação posicionados horizontalmente no solo). Obteve-se, como exemplo, o seguinte resultado:

Figura 21 – Dados de irradiação pelo programa SunData da CRESESB.



Estação: Varzea Grande
Município: Varzea Grande, MT - BRASIL
Latitude: 15,601° S
Longitude: 56,149° O
Distância do ponto de ref. (15,609655° S; 56,064868° O): 9,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,50	5,38	5,20	4,94	4,44	4,37	4,53	5,41	5,13	5,32	5,58	5,78	5,13	1,41
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	16° N	5,08	5,16	5,25	5,32	5,07	5,17	5,28	6,03	5,31	5,18	5,20	5,27	5,27	,96
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	16° N	5,08	5,16	5,25	5,32	5,07	5,17	5,28	6,03	5,31	5,18	5,20	5,27	5,27	,96
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	16° N	5,08	5,16	5,25	5,32	5,07	5,17	5,28	6,03	5,31	5,18	5,20	5,27	5,27	,96

Fonte: (CRESESB, 2018)

Na Figura 21, é possível observar a taxa de irradiação por mês tanto no plano horizontal como no plano inclinado com angulação igual a latitude, é possível observar, então, a vantagem de se direcionar os painéis ao norte.

Outro fator importante acerca da disposição da irradiação solar é o número de Horas de Sol Pleno (HSP), que expressa o número de horas que a radiação solar permanece constante e igual a 1 kW/m².

$$HSP = \frac{\text{Irradiação solar diária média [kWh/m}^2 \cdot \text{dia]}}{1 \text{ [kW/m}^2\text{]}} \quad (4)$$

Aproveitando o exemplo, pode-se utilizar o valor médio de irradiação com ângulo igual a latitude da Figura 21:

$$HSP = \frac{5 \text{ [kWh/m}^2 \cdot \text{dia]}}{1 \text{ [kW/m}^2\text{]}} = 5 \text{ [horas/dia]} \quad (5)$$

3.1.5 ANÁLISE DE SOMBREAMENTO

As sombras, como visto na revisão teórica deste documento, resultam em perdas de geração e potência do gerador fotovoltaico, essas podem se apresentar tanto em zonas ruais, por meio de árvores, como também em áreas urbanas, através de edificações, postes, árvores, dentre outros objetos. Dessa forma é importante posicionar os painéis fotovoltaicos de forma que se esquivem das possíveis sombras e tenham melhor rendimento.

3.1.5.1 OBJETOS PROXIMOS

No Brasil, em projetos de energia solar instalado ao solo, comumente os painéis são orientados ao Norte, aproveitando a maior potência média entregue pelo sol durante o ano. Objetos próximos posicionados ao lado e a frente dos painéis são os maiores causadores de sombreamento, devido a movimentação do sol durante o dia, como é possível observar na imagem a seguir.

Figura 22 – Variação da sombra durante o dia.



Fonte: (Franke, 2019)

Dessa forma, a análise do local para aplicação dos módulos fotovoltaicos é crucial, visto que objetos grandes podem resultar em severas perdas de potência, e conseqüentemente energia insuficiente para acionar a motobomba para o bombeamento adequado de água.

A Equação (6) apresenta uma fórmula para estimar a distância mínima do gerador fotovoltaico para com o objeto fonte de sombreamento. (Pinho, et al., 2017)

$$d = Fe(h_{ob} - h_i) \quad (6)$$

Onde:

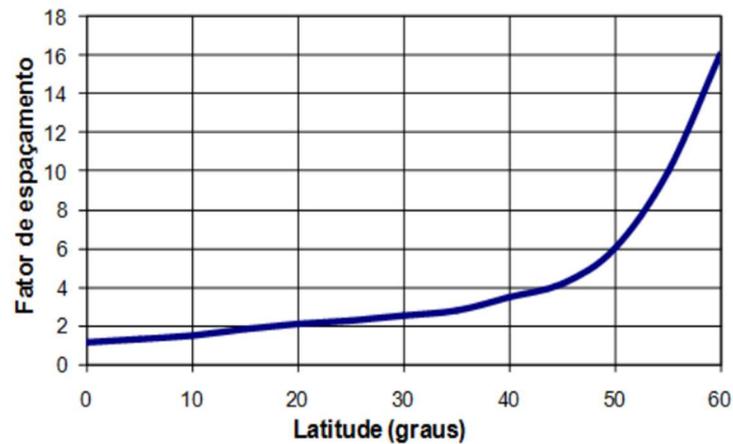
d – Distância mínima a ser mantida entre o gerador e o obstáculo (m);

Fe – Fator de espaçamento obtido através da *Figura 23*;

h_{ob} – Altura do obstáculo (m);

h_i – Altura de instalação do gerador fotovoltaico (m).

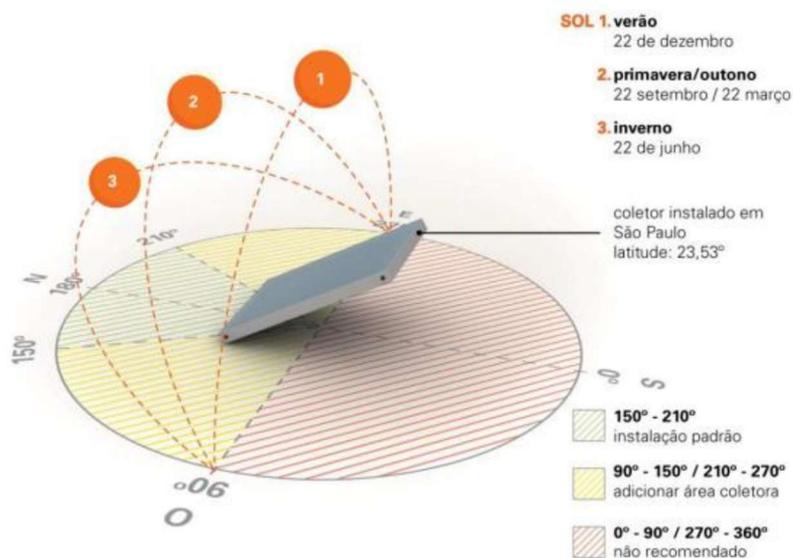
Figura 23 – Fator de espaçamento pela latitude do local de instalação do gerador fotovoltaico.



Fonte: (Pinho, et al., 2017)

A declinação solar é o ângulo dos raios solares com relação ao plano. Esse ângulo é consequência da inclinação do eixo de rotação da Terra. Nos solstícios de inverno e verão, que marcam o início das respectivas estações, o ângulo de declinação solar é o máximo. Este método projeta a sombra do obstáculo levando em consideração o inverno. (Pinho, et al., 2017)

Figura 24 – Trajetória do sol ao longo do ano.

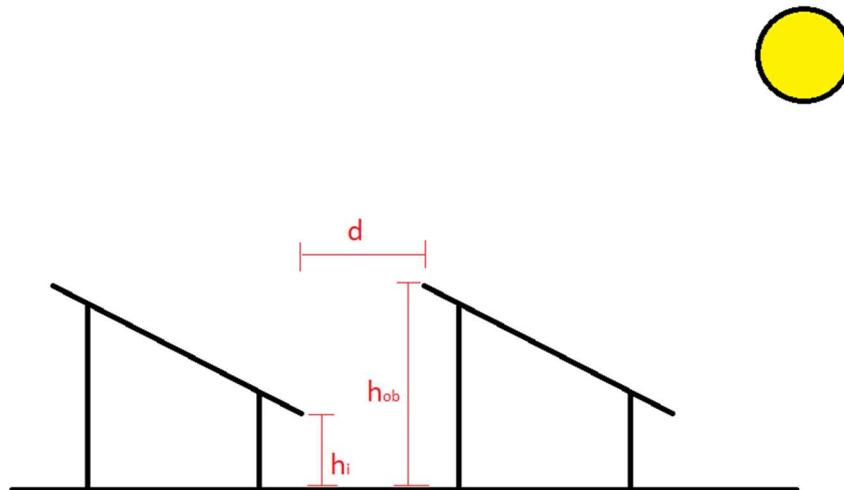


Fonte: (COMGAS, 2011)

3.1.5.2 FILEIRAS DE PAINÉIS

Em projetos maiores que se utiliza mais de uma fileira de painéis, a distância entre as fileiras deve ser devidamente calculada, a fim de se evitar que a sombra de uma fileira resulte em perda de geração nas fileiras subsequentes.

Figura 25 – Trajetória do sol ao longo do ano.



Fonte: De autoria própria

Do mesmo modo utilizado em 3.1.5.1 para cálculo de sombreamento devido à objetos próximos, podemos calcular o sombreamento de uma fileira em outra pela equação (6).

3.2 PROJETO HIDRAULICO

3.2.1 CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA

Após prévia análise do local, o próximo passo para o dimensionamento do sistema de bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica é estimar, com base na aplicação, o consumo diário de água. A estimativa de consumo é crucial para o correto dimensionamento fotovoltaico, reservatório e especificações da bomba de água.

O consumo de água pode ser calculado para cada aplicação através de medidores de água, obtendo-se a média de consumo de água durante certo tempo. Porém, apesar de ser uma forma precisa na obtenção do consumo de água, este método não é comumente utilizado, visto a dificuldade para mensuração. Portanto, uma alternativa é a utilização de uma tabela que forneça a média de consumo por atividades.

Figura 26 – Estimativa de consumo médio de água por atividade.

Consumo humano⁶	litros/(pessoa.dia)
Sobrevivência	5
Pequenas propriedades rurais	40 - 70
Grandes centros urbanos	100 - 400
Consumo animal⁷	litros/(cabeça.dia)
Gado (leite)	70
Gado (corte)	40
Ovinos/caprinos	5
Suínos	15
Equinos	40
Frango (corte)	0,15
Cultivo⁸	litros/(ha.dia)
Horta para subsistência	25.000
Banana	46.500
Milho	50.000
Feijão	48.000
Amendoim	47.000
Cebola	45.000
Ervilha verde	68.500
Abacaxi	23.000

Fonte: (Pinho, et al., 2017)

Apesar da tabela apresentar valores confiáveis para cada aplicação, em aplicações de cultivos, sugere-se um maior cuidado, visto que este consumo pode variar dependendo do clima, tipo de solo, período de safras etc. Neste caso, a consulta de um profissional da agricultura pode auxiliar na estimativa de consumo. (Pinho, et al., 2017)

Para estimar o consumo de água, através da Figura 26, basta multiplicarmos a quantidade de pessoas/cabeças/alqueires por sua quantidade de litros ao dia. Por exemplo, supondo a necessidade de atender o consumo de uma comunidade rural com 10 pessoas e 30 cabeças de gado para corte, temos que a demanda de água diária é de:

$$Q = \left(10 \text{ pessoas} \times 70 \frac{\text{Litros}}{\text{dia}} \right) + \left(30 \text{ cabeças} \times 40 \frac{\text{Litros}}{\text{dia}} \right) \quad (7)$$

$$Q = 1270 \frac{L}{\text{dia}} \quad (8)$$

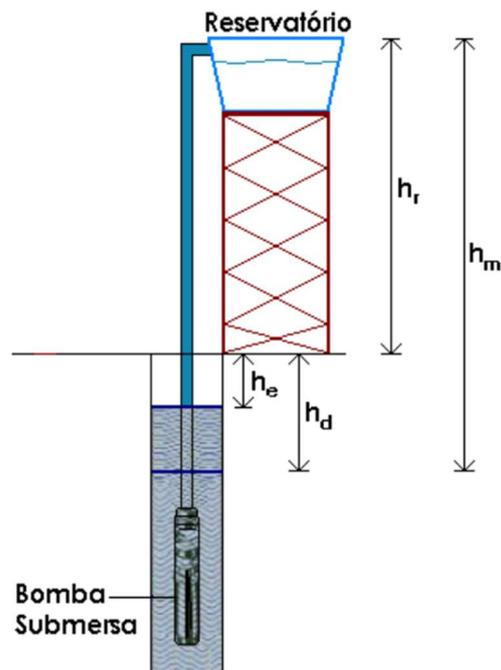
Onde:

Q – Demanda de água por dia (L/dia).

3.2.2 CÁLCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA

O próximo passo o dimensionamento correto do sistema de bombeamento de água é o cálculo da altura total equivalente (H_{TE}), como exemplo, utilizaremos como base o esquema típico de bombeamento de água utilizando energia solar, onde uma bomba submersa, instalada devidamente em um poço, transfere a água deste para um reservatório elevado, a fim de levar a água para outra aplicação através da gravidade.

Figura 27 – Alturas em sistema típico de bombeamento de água.



Fonte: (Pinho, et al., 2017)

Onde:

Altura Estática (h_e) – É a distância entre o solo e a água em repouso;

Altura Dinâmica (h_d) – É a altura entre o solo e o nível de água durante funcionamento da bomba;

Altura do reservatório (h_r) – Distância entre o solo e o ponto mais elevado do reservatório;

Altura manométrica (h_m) – Distância entre o nível da água durante o bombeamento e o ponto mais elevado do reservatório.

Após obtenção das alturas, é necessário calcular as perdas de carga nas tubulações (h_t) e as perdas em conexões (h_c), ambas expressas em metros. As perdas variam em função da vazão, material de fabricação e diâmetro da tubulação. Para fins de exemplificação podemos analisar a Figura 28 e Figura 29 com valores de perda para tubulações em PVC.

Figura 28 – 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: (Pinho, et al., 2017)

Figura 29 – Perda de carga em conexões de PVC.

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: (Pinho, et al., 2017)

Temos que a altura manométrica corrigida (h_{mc}), dada em metros, corresponde à altura manométrica somada às perdas nas tubulações e nas conexões. Assim:

$$h_{mc} = h_m + h_t + h_c \quad (9)$$

Sempre que possível, é sugerido que se faça testes de capacidade do poço, para ter em mãos sua capacidade máxima (Q_{Max}) e assim determinar a altura total equivalente (H_{TE}), essa substitui a Equação (9), visto que respeita o limite máximo de extração de água do poço em função do regime de reposição. Assim, previne-se que o nível de água seja inferior ao nível de

tomada de água da bomba, e assim sobreaquecimento e até mesmo queima da bomba. A equação para o cálculo da altura total equivalente pode ser observada a seguir:

$$H_{TE} = h_e + h_r + \left(\frac{h_d - h_e}{Q_{Max}} \right) \times Q_m + h_t(Q_m) + h_c(Q_m) \quad (10)$$

Onde Q_m é a vazão média em m³/h, obtido através do consumo diário de água calculado em 3.2.1 dividido pelo número de Horas de Sol Pleno (HSP), ou seja:

$$Q_m = \frac{Q}{HSP} [L/h] \quad (11)$$

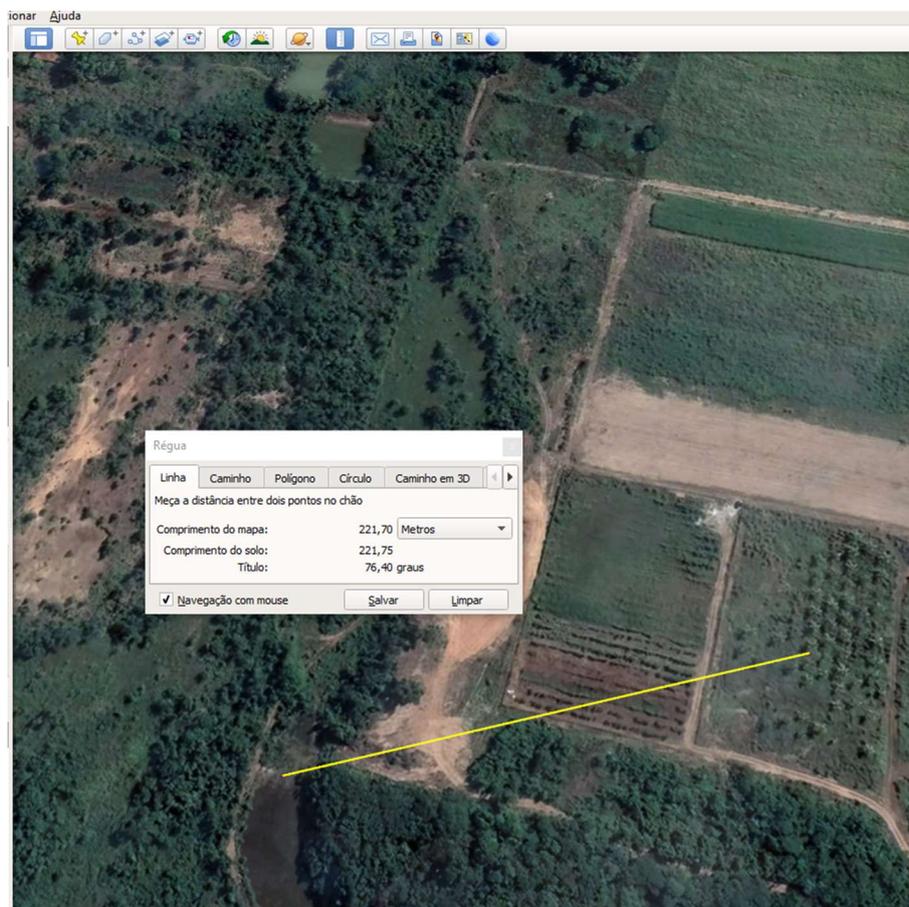
3.2.3 DISTÂNCIA E RELEVO DO LOCAL

Comumente, o esquema típico de bombeamento de água utilizando energia solar consiste em uma bomba submersa, instalada devidamente em um poço, transfere a água deste para um reservatório elevado, a fim de levar a água para outra aplicação através da gravidade. Para que a água seja devidamente entregue do reservatório à aplicação, deve-se analisar a distância total e o relevo, de forma que a o reservatório esteja mais alto que o ponto final.

O cálculo de relevo e distância pode ser realizado por meio de drones e softwares específicos, porém, uma medida menos precisa e mais prática é a utilização do google Earth. A fim de exemplificação, será obtido o relevo em um trecho dentro da fazenda experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, esse representa a distância em que será feito o bombeamento de água até sua aplicação final.

O primeiro passo é traçar o caminho desejado através da ferramenta régua e salvá-lo, conforme Figura 30

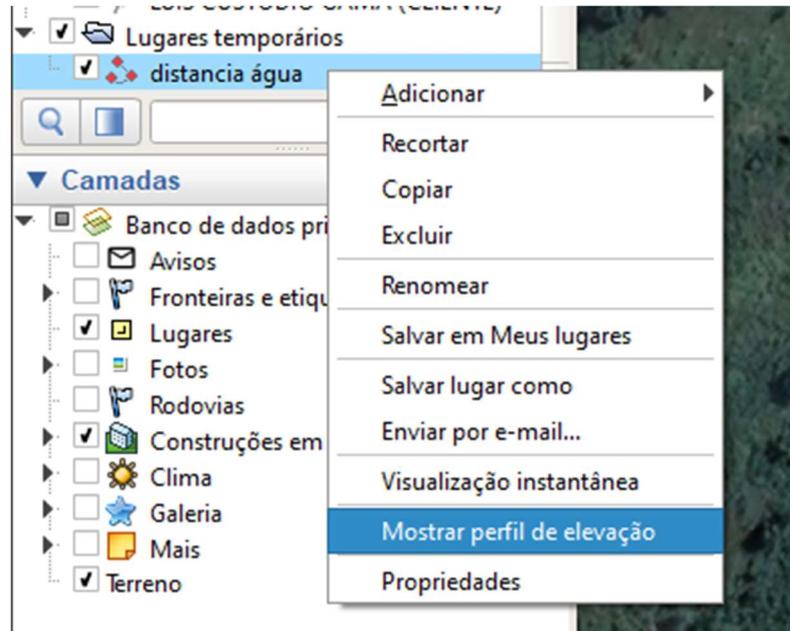
Figura 30 – Distância entre dois pontos no Google Earth.



Fonte: *Google Earth*

Após devidamente traçado e salvo, basta acessar a barra lateral esquerda e clicar com botão direito sobre a distância e acessar o item “Mostrar perfil de elevação”, conforme Figura 31.

Figura 31 – Acessando perfil de elevação.



Fonte: *Google Earth*

O perfil de elevação é exibido conforme Figura 32, é possível verificar a elevação em a distância como também o índice de inclinação e a distância total do trajeto.

Figura 32 – Perfil de elevação.



Fonte: *Google Earth*

3.2.4 ESCOLHA DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA

Há aplicações que requerem pouca regularidade de água e que não necessitam de uma reserva para dias nublados ou chuvosos, outras, porém, não podem ter variabilidade no fornecimento de água e necessitam, então, de um estoque para dias com pouca insolação.

O cálculo do reservatório de água contará não somente com a capacidade de armazenamento, mas também a altura de instalação necessária para que a água possa ser transferida ao destino, através da força da gravidade. Sabendo-se que 1.000 litros de água correspondem a 1 m³, a capacidade do reservatório deve ser proporcional ao número de dias de autonomia sem energia solar e o consumo diário de água calculado no item 3.2.1 deste documento.

Assim a expressão que determina o tamanho da capacidade do reservatório é dada por

$$W = d_i \times Q \quad (12)$$

Onde:

W = Capacidade do reservatório (m³);

d_i = Número de dias de autonomia;

Q = Consumo diário de água calculado em 3.2.1.

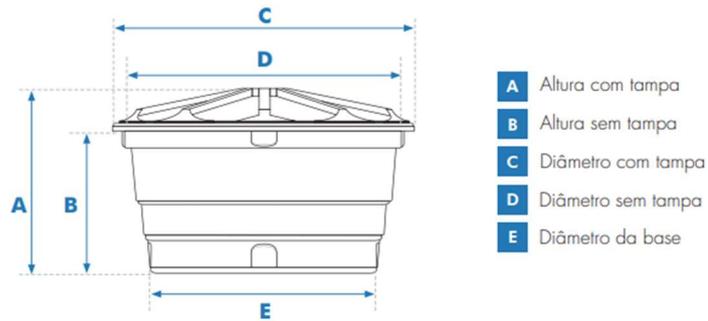
A fim de exemplificar o cálculo da capacidade do reservatório, toma-se como base o consumo diário de 1270 litros por dia, calculado no item 3.2.1, e 2 dias de autonomia tem se:

$$W = 2 \times 1270 \quad (13)$$

$$W = 2540 \text{ litro} \quad (14)$$

O valor calculado da caixa de água é expresso na equação (14), porém é necessário encontrar a capacidade comercial, com auxílio da Figura 33.

Figura 33 – Caixas d'água comerciais.

DIMENSÕES:

Capacidade em litros	Dimensões em metros				
	A	B	C	D	E
100	0,51	0,41	0,75	0,73	0,54
150	0,55	0,43	0,88	0,87	0,61
250	0,66	0,50	1,04	1,03	0,75
310	0,69	0,54	1,04	1,03	0,75
500	0,72	0,58	1,24	1,22	0,95
750	0,77	0,58	1,52	1,51	1,16
1.000	0,97	0,76	1,52	1,51	1,16
1.500	1,05	0,83	1,77	1,75	1,43
2.000	1,12	0,90	2,00	1,99	1,66
3.000	1,49	1,21	2,28	2,22	1,72
5.000*	2,00	1,63	2,45	2,37	1,85
7.500*	2,37	1,89	2,81	2,78	2,26
10.000*	2,57	2,03	2,95	2,92	2,41
15.000*	3,13	2,62	3,17	3,15	2,67

Dimensões aproximadas.

* Modelos de 5.000 a 15.000 litros já vêm preparados com furo para instalação de um Adaptador (Flange) de 60 mm x 2" na saída.

Fonte: (FORTLEV, 2020)

A altura de instalação do reservatório de água deve levar em consideração a distância do ponto de instalação do reservatório até o ponto final, calculando-se a perda de carga em tubulações com auxílio da Figura 28 e considerando o relevo da aplicação.

3.3 PROJETO FOTOVOLTAICO

3.3.1 CÁLCULO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Para o cálculo do gerador fotovoltaico é necessário, primeiramente, o cálculo da energia hidráulica necessária para o bombeamento, assim:

$$E_H = g \times h_{mc} \times \rho_a \times \frac{Q}{3600} \text{ [Wh/dia]} \quad (15)$$

Onde:

E_H = Energia hidráulica [Wh/dia];

g = Aceleração da gravidade [9,81 m/s²];

ρ_a = Massa específica da água [1000 kgm³].

Pode-se, ainda, reduzir a expressão substituindo os valores constantes e reduzindo-a para uma expressão mais prática de ser utilizada:

$$E_H = 2,725 \times Q \times h_{mc} \text{ [Wh/dia]} \quad (16)$$

A energia elétrica (E_{EL}) é dada na razão entre a energia hidráulica pelo coeficiente de eficiência da motobomba (μ_{mb}):

$$E_{EL} = \frac{E_H}{\mu_{mb}} \text{ [Wh]} \quad (17)$$

Com base na energia elétrica, pode-se calcular a potência do gerador fotovoltaico (P_{FV}), levando-se em consideração o número de horas de sol pleno do local de instalação do sistema e o fator de perdas total do sistema, assim:

$$P_{FV} = \frac{E_{EL}}{HSP \times (1 - \beta)} \text{ [Wh]} \quad (18)$$

O fator de perdas (β) contará com as perdas no cabeamento, perdas no inversor ou controlador de carga, perdas por sombreamento e perdas por temperatura, assim:

$$\beta = P_{cab.} + P_{inv.} + P_{somb.} + P_{temp.} \quad (19)$$

3.3.2 PERDAS ELÉTRICAS

3.1.5.3 PERDA ELÉTRICA NO CABEAMENTO

Um dos problemas de perdas em sistemas de geração fotovoltaica é a queda de tensão nos cabos, em sistemas distantes, e mesmo que a bitola do condutor atenda o critério da condução de corrente, nem sempre o critério da queda de tensão será satisfeito. Neste caso, será necessário a utilização de um cabo com maior bitola. (Villalva, 2020).

A queda de tensão para um circuito de corrente contínua pode ser calculada como:

$$\Delta v = R \times I \quad (20)$$

$$R = \frac{\rho_c \times l}{S} \quad (21)$$

Resumindo:

$$P_{cab.} = \frac{\rho_c \times l \times I}{V \times S} \quad (22)$$

Onde:

Δv = Variação de tensão;

V = Tensão da fonte;

R = Resistência do condutor;

ρ_c = resistência por unidade de comprimento;

S = Secção do condutor em mm^2 ;

I = Intensidade de corrente elétrica;

l = Comprimento do circuito;

É recomendável que a queda de tensão nos circuitos não seja superior a 3%, quedas maiores resultarão em maior perda de geração, essas acompanham o sistema fotovoltaico em toda a sua vida útil. (Villalva, 2020)

3.1.5.4 PERDA ELÉTRICA NO INVERSOR OU CONTROLADOR DE CARGA

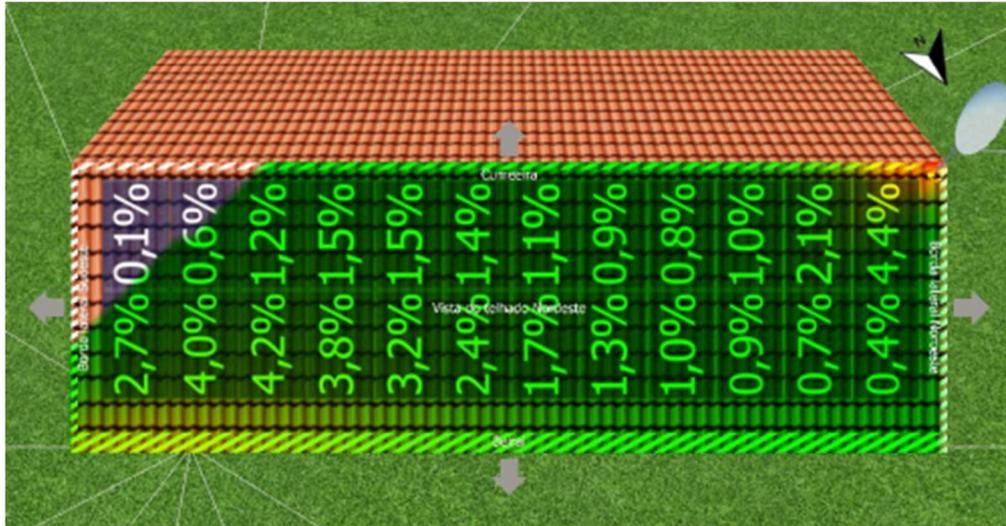
Como visto no item 2.1.9.1, os inversores e controladores de carga apresentam perdas associadas a eficiência de conversão da corrente contínua para corrente alternada, essas perdas são obtidas por meio da ficha de dado técnico dos inversores e controlares de cargas.

Atualmente a eficiências desses equipamentos é maior que 99%, portanto, para facilitar o cálculo em pode-se considerar, de modo geral, a perda elétrica em inversores ou controladores de carga ($P_{inv.}$) em 1%.

3.1.5.5 PERDA POR SOMBREAMENTO

As perdas por sombreamento são difíceis de ser mensuradas por expressões algébricas e variam conforme a orientação do objeto causador da sombra e suas dimensões, como visto em 3.1.5.1. Na análise do local deve-se optar por instalar o gerador fotovoltaico afastado de objetos potencializadores de sombreamento, porém nem é possível e a perda por sombreamento é inevitável, sendo necessário considerá-la no cálculo da potência total do gerador fotovoltaico.

Para auxiliar no cálculo de sombreamento e rendimento do sistema fotovoltaico, há softwares que realizam estimativas de perdas de geração por sombreamento, a exemplo, o software *PV Sol*, que através de cálculos computacionais do local de implementação do sistema, estipula as perdas percentuais de irradiação por modulo ao longo do ano, como é possível observar na Figura 34.

Figura 34 – Simulação sombreamento no programa *PV Sol*

Fonte: (SOLARIZE, 2020)

3.1.5.6 PERDA POR TEMPERATURA

Como visto em 2.1.8.2, a temperatura possui relação inversa à geração de energia do painel fotovoltaico, a potência nominal do módulo baseia-se em condições nominais de testes a uma temperatura de 25°C, que não é realidade na maioria do território brasileiro.

Na prática um painel fotovoltaico possui uma temperatura, em média, 20°C acima da temperatura ambiente do local de instalação. A perda pode ser estimada por meio da ficha técnica do módulo fotovoltaico. Tomemos como exemplo o módulo fotovoltaico da marca *AE SOLAR* de 505W

Figura 35 – Fichar técnica módulo fotovoltaico *AE SOLAR*.

SPECIFICATIONS		TECHNICAL DATA				
		AE MD-132 Series 485W-505W				
		AE485MD-132	AE490MD-132	AE495MD-132	AE500MD-132	AE505MD-132
Nominal Max. Power	Pmax (Wp)	485	490	495	500	505
Maximum power voltage	Vmp(V)	38.31	38.55	38.79	39.03	39.27
Maximum power current	Imp (A)	12.66	12.71	12.76	12.81	12.86
Open-circuit voltage	Voc(V)	45.75	46.05	46.34	46.64	46.93
Short-circuit current	Isc (A)	13.42	13.47	13.52	13.57	13.62
Module efficiency	(%)	20.44	20.65	20.86	21.07	21.29
Operating temperature	(°C)	-40 to +85				
Maximum system voltage DC	V (IEC)	1500				
Maximum series fuse rating	(A)	25				
Power tolerance	(%)	0 ~ + 5				
Temp. coefficients of Pmax	(%/°C)	-0.35				
Temp. coefficients of Voc	(%/°C)	-0.275				
Temp. coefficients of Isc	(%/°C)	0.045				
Nom. Operating cell temp.(NOCT)	(°C)	45±2				

Fonte: (AE SOLAR)

A expressão padrão para cálculo da perda elétrica devido a temperatura pode ser calculada como:

$$P_{temp.} = (Temp_{amb} + 20 - 25) \times coef_{temp} \quad (23)$$

Onde:

$Temp_{amb}$ = Temperatura ambiente do local de instalação;

$coef_{temp}$ = Coeficiente de temperatura do módulo fotovoltaico.

De acordo com a ficha técnica da Figura 35, o coeficiente de temperatura do painel fotovoltaico diminui em 0,35% da potência máxima do módulo fotovoltaico para cada °C acima de 25°C que é a temperatura em testes de laboratório. Considerando, por exemplo, uma temperatura ambiente de 35°C, temos:

$$P_{temp.} = (35 + 20 - 25) \times 0,35 \quad (24)$$

$$P_{temp.} = 10,5\% \quad (25)$$

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 CONCLUSÃO

O trabalho apresenta-se com proposta didática, critérios básicos para aplicação do sistema de bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica. Assim seguindo a metodologia aplicada a este documento é possível implementar este tipo de sistema em zonas rurais afastadas da rede elétrica e possibilitar o fornecimento de água não só para consumo humano como também o desenvolvimento da agricultura familiar, fornecendo água para animais e plantações.

O sistema proposto apresenta-se sem o uso de banco de baterias, assim o volume de água bombeada é muito variável ao longo do dia, necessitando a adição de um reservatório de água elevado, possibilitando o fornecimento de água em dias nublados.

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros, sugere-se a adição de baterias ao sistema isolado de bombeamento de água utilizando energia solar, com objeto de aumentar a autonomia do sistema e possibilitar menor interrupção no fornecimento de água. Como também um estudo de caso utilizando os critérios apresentados neste documento, buscando aplicar os conceitos apresentados em um projeto real.

REFERÊNCIAS

- ABAS.** Aguas subterrâneas o que são? [Online] [Citado em: 08 de outubro de 2022.] <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>.
- ABNT. 2019.** *NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos.* Rio de Janeiro : s.n., 2019.
- AE SOLAR.** AE_HM6L-66-495W-505W. [Online] [Citado em: 05 de novembro de 2022.] https://ae-solar.com/pt-pt/products/ae_hm6l-66-495w-505w/.
- Bedaque, Paulo e Bretones, Paulo Sergio. 2016.** *Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude.* s.l. : Scielo, 2016.
- BlueSol.** BlueSol. *Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente Completo.* [Online] [Citado em: 22 de agosto de 2022.] <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>.
- . Sistema Fotovoltaico Off-Grid (Isolado): Você Acha que Sabe Tudo? *BlueSol.* [Online] [Citado em: 2022 de setembro de 01.] <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/>.
- Camilo, Santelmo.** Entenda as diferenças de aplicação de bombas hidráulicas. *AECweb.* [Online] [Citado em: 2022 de setembro de 2022.] <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/entenda-as-diferencas-de-aplicacao-de-bombas-hidraulicas/14941>.
- CARDOSO, LIANE. 2022.** Amazônia tem mais de 425 mil famílias sem energia elétrica. *OECO.* [Online] 17 de maio de 2022. [Citado em: 2022 de setembro de 19.] <https://oeco.org.br/reportagens/amazonia-tem-mais-425-mil-familias-sem-energia-eletrica>.
- COMGAS. 2011.** Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural. [Online] março de 2011. [Citado em: 19 de outubro de 2022.] https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4588993/mod_resource/content/1/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural%202011.pdf.
- CRESESB. 2018.** Potencial Solar - SunData v 3.0. [Online] 25 de janeiro de 2018. [Citado em: 18 de outubro de 2022.] <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>.
- Didoné, Evelise Leite, Wagner, Andreas e Pereira, Fernando Oscar. 2014.** Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. [Online] jul/set de 2014. [Citado em: 03 de agosto de 2022.] <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/40312/31613>.

- EsferaBlog. 2021.** Sistema Interligado Nacional: como funciona e quais são os prós e contras do SIN. *EsferaEnergia*. [Online] 22 de junho de 2021. [Citado em: 20 de setembro de 2022.] <https://esferaenergia.com.br/blog/fontes-de-energia/sistema-interligado-nacional>.
- Fadigas, Eliane Aparecida Faria Amaral. 2012.** *Energia Solar Fotovoltaica : Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica*. São Paulo : GEPEA - POLI USP, 2012.
- Fedrizzi, Maria Cristina. 2003.** *SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA USO COMUNITÁRIO: LIÇÕES APREENDIDAS E PROCEDIMENTOS PARA POTENCIALIZAR SUA DIFUSÃO*. São Paulo : s.n., 2003.
- FORTLEV. 2020.** CATÁLOGO TÉCNICO. [Online] 2020. [Citado em: 31 de outubro de 2022.] <https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Manual-Catalogo-Tecnico-Caixa-dAgua-Fortlev.pdf>.
- Franke, W. Toke. 2019.** *The Impact of Optimizers for PV-Modules*. 2019.
- GREENPRO. 2004.** *Energia fotovoltaica – manual sobre tecnologias*. Portugal : s.n., 2004.
- GRUNDFOS. SQF 2.5-2.** *Grundfos*. [Online] [Citado em: 2022 de setembro de 2022.] <https://product-selection.grundfos.com/br/products/sqflex/sqf-25-2-95027330>.
- . SQF 5A-7. *Grundfos*. [Online] [Citado em: 2022 de setembro de 2022.] <https://product-selection.grundfos.com/products/sqflex/sqf-5a-7-95027342>.
- Helibombas. 2022.** O que são bombas helicoidais? *Helibombas*. [Online] 01 de março de 2022. [Citado em: 19 de setembro de 2022.] <https://helibombas.com.br/o-que-sao-bombas-helicoidais/>.
- Macintyre, archibald Joseph. 1997.** *Bombas e Instalações de Bombeamento*. 2ª Ed. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.
- Mattede, Henrique.** Bomba centrífuga – O que é e como funciona. *Mundo da Elétrica*. [Online] [Citado em: 19 de setembro de 2022.] <https://www.mundodaeletrica.com.br/bomba-centrifuga-o-que-e-como-funciona/>.
- Meléndez, Teddy Arturo Flores. 2009.** *AVALIAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE*. São Paulo : s.n., 2009.
- OneSol. 2020.** O QUE SÃO HOT SPOTS? SAIBA COMO EVITÁ-LOS! *onesol.com.br*. [Online] 22 de maio de 2020. [Citado em: 09 de setembro de 2022.] <https://onesol.com.br/home/f/o-que-são-hot-spots-saiba-como-evitá-los>.
- ONS. MAPA DINÂMICO DO SIN. ONS.** [Online] [Citado em: 21 de setembro de 2022.] <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>.
- Pereira, Enio Bueno, Martins, Fernando Ramos e Gonçalves, Andre Rodrigues.** *Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição (2017)*.

Pinho, João Tavares e Galdino, Marco Antonio. 2017. *Manual de Engenharia para Sistemas*. Rio de Janeiro : CEPEL - CRESESB, 2017. p. 530.

Portal Solar. Energia Solar no Brasil. *Portal Solar*. [Online] [Citado em: 27 de Julho de 2022.] <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>.

PORTALSOLAR. Folha de dados do painel solar: o que você precisa saber. [Online] [Citado em: 05 de novembro de 2022.] <https://www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-painel-solar-o-que-voce-precisa-saber.html>.

SOLARIZE. 2020. Características do software fotovoltaico PV*SOL. [Online] 15 de maio de 2020. [Citado em: 05 de novembro de 2022.] <https://www.solarize.com.br/site-content/11-blog/384-caracteristicas-do-software-fotovoltaico-pv-sol>.

Souza, Daniel Vitorino de e Tapia, Gabriel Ivan Medina. 2018. *ANÁLISE DO SOMBREAMENTO ENTRE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS*. Gramado : VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018.

Villalva, Marcelo. 2020. Estudo de caso: queda de tensão no circuito de CC segundo a NBR 16690. *canalsolar.com.br*. [Online] 25 de julho de 2020. [Citado em: 13 de setembro de 2022.] <https://canalsolar.com.br/estudo-de-caso-queda-de-tensao-no-circuito-de-cc-segundo-a-nbr-16690/>.

Villalva, Marcelo Gradella. 2015. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. 2ª ed. São Paulo : Érica, 2015.