

Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para acionamento de bombas submersas

Maurício Dal Prá Reis¹ e Rafael Correa²

TCC2 - Curso de Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Farroupilha

Farroupilha, Brasil

Discente¹, orientador²

mauricio.reis.dr9@gmail.com¹, rafael.correa@farroupilha.ifrs.edu.br²

Resumo — O presente artigo corresponde ao Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFRS – Câmpus Farroupilha e tem como objetivo apresentar o detalhamento de como foi desenvolvido um guia de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para acionamento de bombas submersas, apresentando também, resultados e testes realizados. Analisando a expansão da implementação de sistemas fotovoltaicos para acionamento de bombas submersas no mundo, foi de grande interesse desenvolver um guia para tais projetos. Com o acesso ao guia, é possível dimensionar sistemas fotovoltaicos para acionamento de bombas submersas, de acordo com as informações e especificações de projeto de cada usuário, pois o mesmo explica definições, solicita dados do projeto para o usuário e, através de cálculos automatizados, indica as melhores especificações de componentes e equipamentos para o projeto.

Palavras-chave — *Bombas submersas; sistemas fotovoltaicos; dimensionamento.*

I. INTRODUÇÃO

O uso energia solar fotovoltaica e a captação de águas subterrâneas são medidas que vem de uma crescente considerável em diversos âmbitos, sejam eles rurais, industriais ou residenciais.

A energia solar fotovoltaica é uma alternativa de gerar energia elétrica com a energia gerada pelo sol, que é inesgotável na escala terrestre de tempo. A célula fotovoltaica, é um dispositivo fabricado com material semicondutor, que faz a conversão direta de luz em eletricidade, permitindo que haja a captação de uma energia renovável e economicamente rentável, visto que em alguns casos, permite rápidos períodos de retorno dos investimentos [1].

Já a captação de água subterrâneas, se mostra uma alternativa para suprir a falta de recursos hídricos gerados pela instabilidade climática, levando a construção de poços para suprir a demanda. Por definição, poços artesianos são aqueles que somente com a pressão natural da água, conseguem fazer com que a mesma chegue até a superfície [2], sendo dispensável o uso bombas submersas. Porém, a maioria dos poços perfurados não são artesianos, fazendo com que haja necessidade de utilizar equipamentos de bombeamento para a utilização das águas subterrâneas. Os dados de quantidades de poços, sejam eles artesianos ou não, são imprecisos devido a falta de cadastramento e/ou outorga dos mesmos, por falta de

conhecimento dos usuários ou negligência, dificultando a gestão adequada de uso destes recursos [2].

Pode se perceber o aumento de empresas que estão fazendo a utilização de sistemas de bombeamento solar fotovoltaico, que são sistemas onde a movimentação de fluidos é feita com base na energia solar, que alimenta todo o equipamento de bombeamento.

Analisando isso, foi realizado a criação de um guia de dimensionamento de sistemas de bombeamento solar fotovoltaico, onde são solicitadas informações sobre o projeto do usuário, que são utilizados para a realização de cálculos para determinar qual o melhor equipamento de bombeamento e posteriormente, verificar se o equipamento fotovoltaico escolhido atende a demanda de aplicação.

Com o objetivo de simplificar dimensionamentos de projetos deste tipo, o presente trabalho explica algumas definições sobre os principais tópicos do assunto, informações sobre equipamentos para essas aplicações e algumas fórmulas necessárias, além de explicar como e de que maneira foi desenvolvido o guia de dimensionamento.

O presente artigo faz um resumo e uma introdução sobre o que será apresentado, fundamentação teórica e definições sobre o projeto, apresenta toda a metodologia para o desenvolvimento do guia e apresenta resultados e conclusões necessárias.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos utilizados como base para este artigo, tem como enfoque principal a energia solar fotovoltaica e sistemas de bombeamento, assim como seus dimensionamentos e aplicações para diversas aplicações.

Para [5], o conteúdo apresentado é somente sobre sistemas de bombeamento solar, de uma forma básica, apresenta de forma clara como funciona esses sistemas. São exibidos cálculos de dimensionamento e apontadas as variáveis e constantes a serem usadas nos mesmos, possibilitando um melhor entendimento de como esses sistemas funcionam e quais os equipamentos que o compõe.

Para [6], é apresentado uma pesquisa qualitativa, explicando um pouco sobre poços artesianos, assim como sua definição, vantagens e desvantagens e dados sobre os mesmos. Permitindo

um melhor entendimento sobre quando é necessário a utilização de sistemas de bombeamento em poços.

Em [7], por se tratar de um material sobre água subterrânea e hidráulica de poços, permite um melhor entendimento de algumas definições importantes, como “nível estático” e “nível dinâmico”, que são itens essenciais para a compreensão de cálculos envolvendo dimensionamento de sistemas de bombas.

Para [8], pode-se identificar um material no qual apresenta-se um estudo do crescimento de poços, trazendo alguns dados referente ao assunto e explicando algumas definições. Também é possível observar o crescimento de perfuração de poços que o trabalho apresenta.

O enfoque principal é a explicação e o detalhamento de cálculos para encontrar a altura manométrica total em diferentes sistemas e aplicações, contendo exemplos e tabelas para um melhor entendimento. O material visa deixar de forma clara e objetiva todas as informações necessárias para a compreensão dos cálculos [11].

Em [12], o assunto principal tratado é o dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. O artigo explica definições relacionadas ao assunto e, faz um estudo para avaliar a eficiência de potência e energia através de um dimensionamento de inversor para uma determinada aplicação, sendo essa, voltada para sistemas fotovoltaicos.

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo [3], Sistemas de bombeamento solar fotovoltaicos, devem ser considerados de extrema importância, devido ao seu amplo potencial de aplicação. A melhor forma de dimensionar projetos deste tipo, é obter as informações preliminares do local da instalação, os dados de aplicação desejados e assim, identificar o sistema adequado se baseando na linha de produtos de cada fabricante. Para um melhor entendimento, as definições, fórmulas, conceitos e princípio de funcionamento envolvendo projetos deste tipo, serão abordados em seções específicas, apresentadas a seguir e serão baseadas em um sistema de bombeamento solar aplicados para poços.

A. Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento (SBFV)

Um sistema de bombeamento fotovoltaico convencional, se baseia no conjunto de 4 equipamentos, são eles:

- Conjunto de Motobomba
- Gerador fotovoltaico
- Painel de controle
- Reservatório de água

Esses equipamentos, estão ilustrados na figura 1. É possível observar também, alguns pontos singulares que o reservatório destinará ao líquido após seu enchimento dependendo da aplicação particular de cada usuário que irá aderir a esse tipo de sistema.

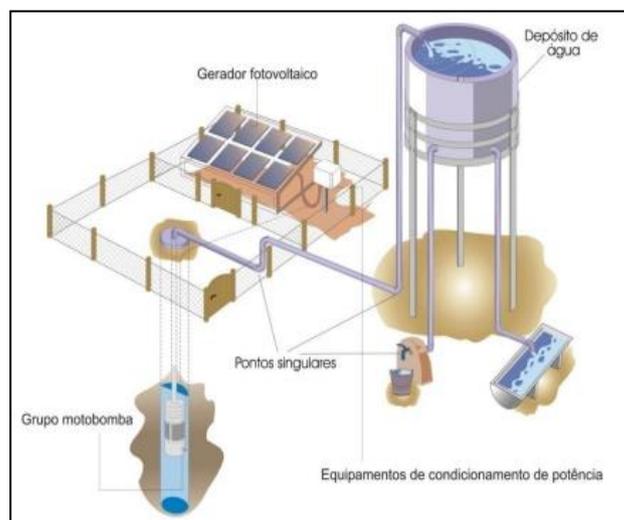


Figura 1. Sistema básico de bombeamento de água fotovoltaico.

Fonte: [3]

B. Conjunto Motobomba

Em [6], pode-se verificar que esse conjunto, seja ele de motobomba submersível ou centrífuga, consiste em um motor elétrico acoplado a um conjunto hidráulico nomeado de bombeador, representados nas figuras 2 e 3.

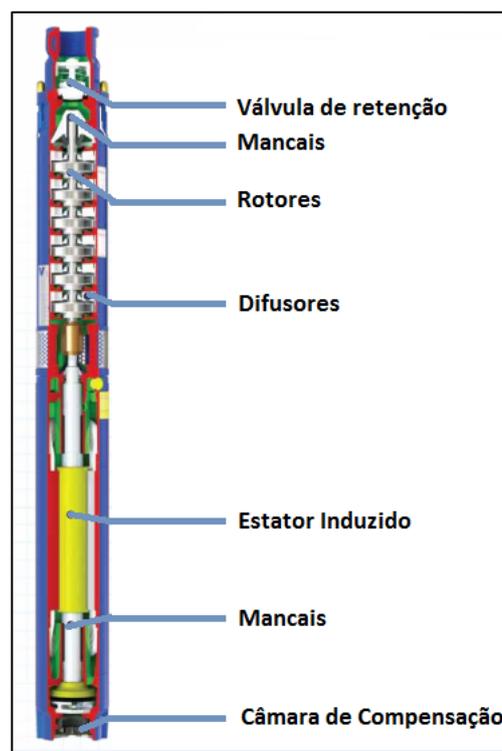


Figura 2. Motobomba submersa.

Com base na figura 2, os componentes presentes na bomba submersa estão descritos a seguir:

Conjunto Hidráulico: O conjunto hidráulico permite que a água que passe pelos seus rotores, seja jogada com mais pressão na tubulação, seus componentes básicos estão descritos a seguir:

- 1 – Válvula de retenção
- 2 – Mancais
- 3 – Rotores
- 4 – Difusores

Motor: Os motores que compõe estes equipamentos, são projetados para trabalhar totalmente submersos, possuem dois tipos de refrigeração (água ou óleo), e seus componentes básicos estão descritos a seguir:

- 5 – Estator Induzido
- 6 – Mancais
- 7 – Câmara de compensação

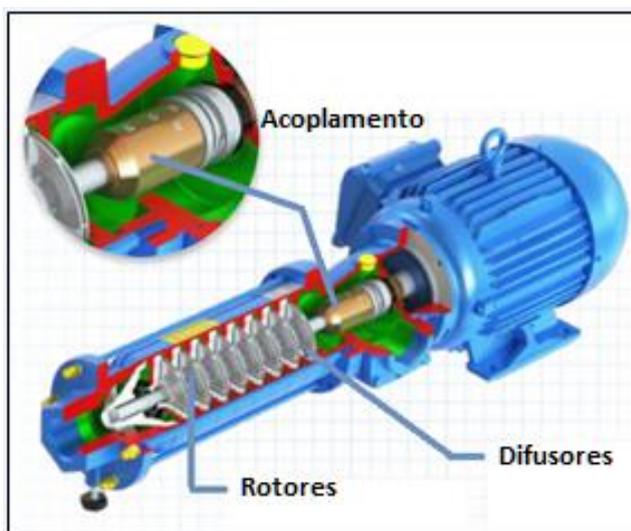


Figura 3. Motobomba Centrífuga.

Este equipamento, diferente das bombas submersas, foi desenvolvido para realizar o bombeamento da água sem estar em contato com a mesma. Normalmente utilizado para realizar o bombeamento em sistemas de recalque. Os componentes básicos deste equipamento estão descritos a seguir:

- 1 – Acoplamento
- 2 – Rotores
- 3 - Difusores

C. *Nível estático (h_e)*

Se trata da distância do nível da água até o solo quando o sistema se encontra em repouso. Representado na figura 4.

D. *Nível dinâmico (h_d)*

Trata-se da distância do nível da água até o solo quando o equipamento de bombeamento está funcionando, resultando em um nível mais baixo do que o nível estático. Geralmente são utilizados testes de vazões para fazer a medição do nível dinâmico. Representado na figura 4.

E. *Altura do reservatório (h_r)*

Baseia-se na distância do solo até a parte mais alta do reservatório. Representado na figura 4.

F. *Altura manométrica (h_m)*

Consiste na distância vertical entre o nível dinâmico até o depósito de água. Essa é a altura utilizada nos cálculos de dimensionamento das motobombas para os sistemas de bombeamento solar. Representado na figura 4.

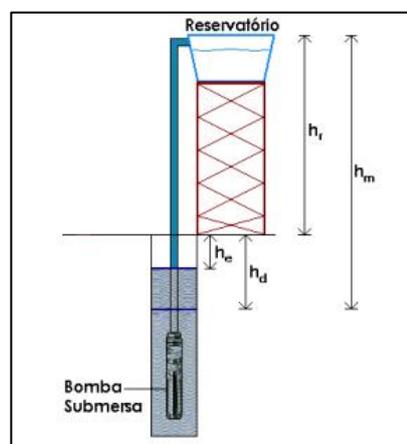


Figura 4. Representação dos níveis e alturas a serem considerados no dimensionamento de sistemas de bombeamento solar.

Fonte: [3]

G. *Irradiância solar*

Segundo [4], irradiância solar representa o fluxo de energia radiante instantâneo que incide sobre uma superfície. Normalmente a irradiância solar é medida por um dispositivo chamado Piranômetro e sua unidade de medida é W/m^2 . O gráfico gerado pela irradiância solar durante as horas de um dia, está representado na figura 5, onde podemos perceber que nas horas próximas ao meio-dia, a irradiância solar se encontra mais elevada do que no início ou final do dia. É utilizada a irradiação solar para os cálculos de dimensionamento do sistema de bombeamento solar com os

valores correspondentes ao local a qual será feita a instalação do equipamento.

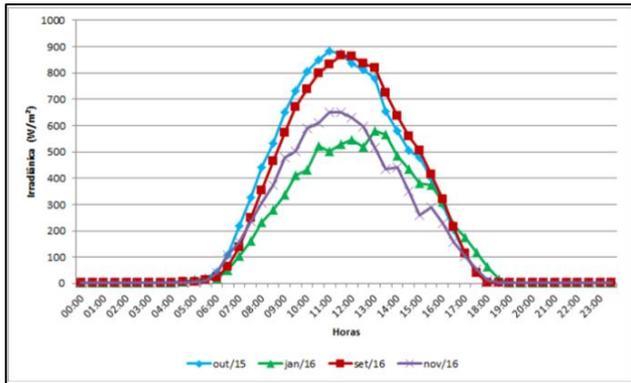


Figura 5 – Gráfico da irradiância solar durante um dia.

Fonte: <https://forum.arduino.cc/t/irradiancia-solar-w-m-utilizando-ldr-sensor/665825>

H. Irradiação global horizontal

A irradiação mede a quantidade de energia recebida em uma determinada superfície. Basicamente é transformar a curva da irradiância solar durante um período, em uma curva que representa a quantidade de horas em que a irradiância em que se concentraria, ao longo do dia, uma hipotética irradiância solar constante de 1000 W/m². Essa irradiação também é chamada de quantidade de horas de sol pleno de uma determinada região e sua unidade de medida é dada em Wh/m²/dia. Para o dimensionamento de sistemas de bombeamento solar, deve se determinar a quantidade de horas de sol pleno no local onde será feita a instalação do sistema, coletando as coordenadas geográficas, verificando o valor da irradiação do local e dividindo por 1000 W/m², como se mostra no exemplo a seguir, considerando um caso em que a irradiação do local é de 6000 Wh/m², representado na equação (1).

$$HSP = \frac{6 [kWh/m^2]}{1 [kW/m^2]} = 6 [h/dia] \quad (1)$$

Onde:

HPS representa uma grandeza que indica o número de horas diárias que a irradiância solar alcança uma taxa constante de 1000 W/m².

Na figura a seguir, é mostrado a representação gráfica de irradiação global horizontal em um determinado dia. Representado pela linha azul na figura 6.

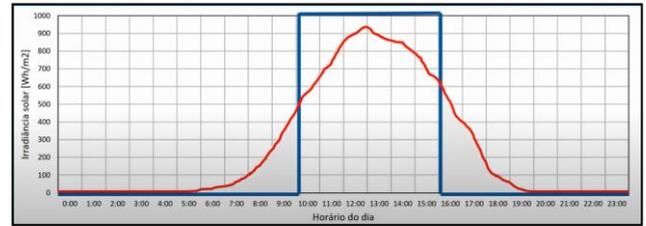


Figura 6- Representação gráfica de HPS.

Fonte: <https://forum.arduino.cc/t/irradiancia-solar-w-m-utilizando-ldr-sensor/665825>

I. Vazão volumétrica

A vazão volumétrica é utilizada para o dimensionamento da motobomba que vai compor o sistema de bombeamento, para calcular a vazão volumétrica que a bomba precisa bombear, é necessária saber a quantidade da vazão diária necessária em cada aplicação e a quantidade de horas de sol pleno da região em que o sistema será instalado. Como mostrado na equação (2).

$$Q_{mb} = \frac{Qd}{HSP} [m^3/h] \quad (2)$$

Onde:

Q_{mb} é a vazão volumétrica da bomba (m³/h)

Q_d é a vazão volumétrica diária (m³/dia)

HSP é a quantidade de horas de sol pleno (h/dia)

J. Dimensionamento da motobomba

Há duas maneiras de dimensionar a potência da motobomba que vai compor o sistema de bombeamento solar, através de gráficos/tabelas e por equação. A equação (3) é necessária para calcular a potência da motobomba:

$$P_{mb} = \frac{g.Hm.Pa}{\eta_{mb}} \cdot \frac{Q_{mb}}{3600} [W] \quad (3)$$

Onde:

P_{mb} é a potência da motobomba (W)

g é a aceleração da gravidade (≈9,81m/s²)

H_m é a altura manométrica (metros)

P_a é a densidade volumétrica da água (≈997 kg/m³)

η_{mb} é o rendimento da bomba

Q_{mb} é a quantidade volumétrica da bomba (m³/h)

Em [9] e [10], verifica-se que o dimensionamento pode ser feito através de tabelas que relacionam a quantidade volumétrica necessária com a altura manométrica,

apresentando a potência da motobomba para determinadas aplicações, conforme Figura 7. E também, é apresentado o dimensionamento através de gráficos onde é possível fazer a interpolação entre vazão volumétrica e altura manométrica, para obter a potência correta da motobomba. Conforme figura 8.

MODELO	E	HP	VAZÃO E ALTURA MANOMÉTRICA									
			0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	m ³ /h
VBOP40X.07.003.Y	7	0,3	55,9	54,8	54,0	51,7	48,5	44,2	38,9	32,2	24,4	
VBOP40X.09.005.Y	9	0,5	72,5	71,2	70,2	67,1	63,0	57,4	50,5	41,8	31,6	
VBOP40X.10.005.Y	10	0,5	79,8	78,3	77,2	73,8	69,3	63,1	55,6	46,0	34,8	
VBOP40X.13.007.Y	13	0,7	100,9	99,5	97,5	93,7	86,9	79,7	70,0	57,2	42,5	
VBOP40X.14.007.Y	14	0,7	107,6	106,1	104,0	99,9	92,7	85,0	74,6	61,0	45,3	
VBOP40X.17.010.Y	17	1,0	133,0	132,3	129,3	124,2	115,5	105,4	92,9	76,8	57,6	
VBOP40X.20.010.Y	20	1,0	155,5	153,5	150,0	143,8	133,9	122,8	104,2	85,0	67,2	
VBOP40X.24.015.Y	24	1,5	190,0	186,0	180,8	174,9	163,6	149,5	132,5	108,0	82,0	
VBOP40X.27.015.Y	27	1,5	210,9	207,3	203,2	194,6	182,6	166,3	145,0	118,1	88,3	
VBOP40X.30.015.Y	30	1,5	232,0	228,0	223,5	214,1	200,9	183,0	157,5	128,1	94,5	
VBOP40X.34.020.Y	34	2,0	261,0	257,1	253,5	243,8	228,6	205,1	179,6	142,8	110,3	
VBOP40X.37.020.Y	37	2,0	285,9	281,5	276,9	266,8	248,7	225,6	194,2	152,1	108,9	
VBOP40X.40.020.Y	40	2,0	306,0	301,3	296,4	285,6	266,2	241,5	207,9	162,8	116,6	
VBOP40X.44.025.Y	44	2,5	342,0	338,0	332,1	322,3	300,8	275,6	238,4	194,3	144,9	
VBOP40X.47.025.Y	47	2,5	362,5	360,9	343,5	338,9	315,5	289,8	254,4	199,8	150,9	
VBOP40X.50.025.Y	50	2,5	381,8	380,1	370,1	357,0	332,3	305,2	268,0	210,4	160,5	
VBOP40X.54.030.Y	54	3,0	417,9	412,9	402,7	390,3	363,1	332,9	293,3	227,2	172,7	
VBOP40X.57.030.Y	57	3,0	437,8	433,6	421,9	409,0	382,6	351,4	308,6	242,3	184,8	
VBOP40X.60.030.Y	60	3,0	453,6	451,6	439,7	426,3	396,8	366,2	321,6	252,5	192,6	

Figura 7 – Dimensionamento da potência da motobomba através de tabela disponibilizada pelo fabricante.

Fonte: [9]

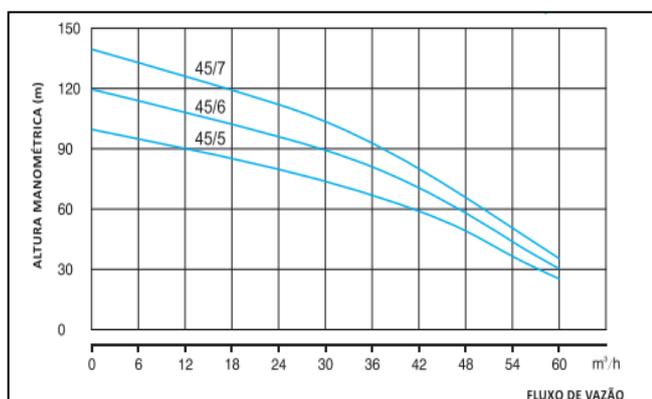


Figura 8 – Dimensionamento da potência da motobomba de interpolação de gráfico, disponibilizado pelo fabricante.

K. Módulo fotovoltaico

Segundo [3], módulos fotovoltaicos se definem pela associação de várias células fotovoltaicas, a fim de aumentar a tensão e corrente suficientes para cada aplicação, visto que cada célula fotovoltaica produz uma tensão muito baixa, entre 0,5 V e 0,8 V. Devido ao módulo fotovoltaico se tratar do componente unitário da geração de energia em sistemas de bombeamento solar, e nesse tipo de aplicação, exigir um nível de tensão ou corrente específico, é necessária a associação de vários módulos fotovoltaicos para atender as especificações de cada projeto ou dimensionamento.

A associação de módulos fotovoltaicos pode acontecer de duas maneiras, série ou paralelo. Quando a associação é feita em série, as tensões de cada módulo se somam e a corrente dos mesmos se mantem. Já na associação em paralelo a tensão dos módulos se mantem e a corrente é somada. A seguir é representado em dois gráficos os diferentes tipos de associação dos módulos fotovoltaicos, figura 9 e 10.

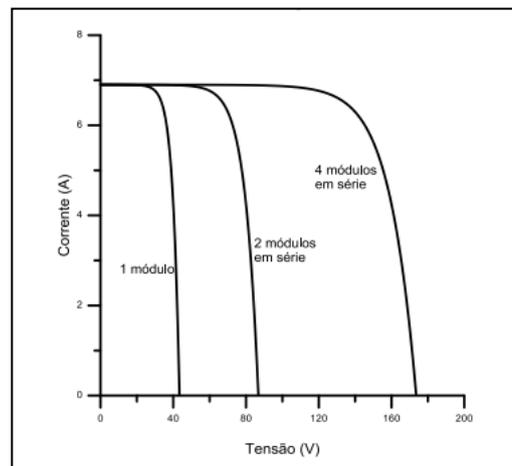


Figura 9 – Associação dos módulos fotovoltaicos em série

Fonte: [4]

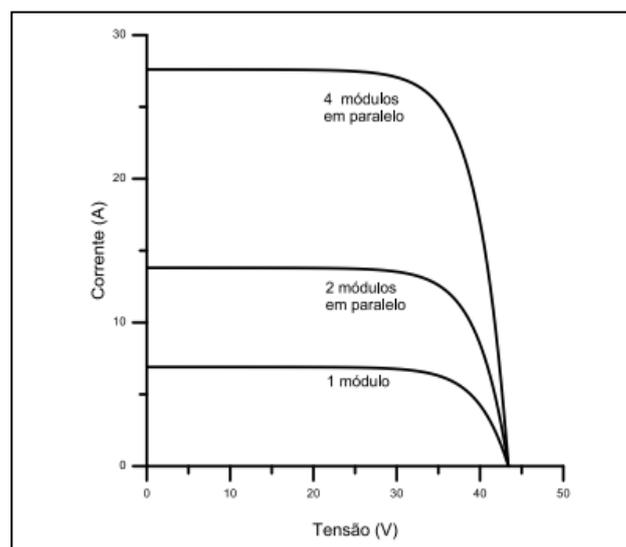


Figura 10 – Associação dos módulos fotovoltaicos em paralelo.

Fonte: [4]

Para o dimensionamento de módulos fotovoltaicos em um sistema de bombeamento solar, é necessário primeiramente, saber a quantidade de horas de sol pleno do local em que será realizada a instalação do sistema, o volume diário a ser bombeado e altura manométrica.

Com esses dados, é necessário realizar o dimensionamento da motobomba para o sistema. Para isso, é utilizado a equação (3) para descobrir a vazão volumétrica necessária que a motobomba precisa atingir. Com os dados de vazão volumétrica e altura manométrica definidos, é possível escolher a motobomba que supre as necessidades do projeto e verificar sua potência. A partir dos dados da motobomba escolhida, é possível calcular a potência total necessária para o acionamento da mesma, levando em consideração que o trabalho tem o enfoque principal em bombas trifásicas. Conforme equação (4).

$$P_{mpp} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{mb} \cdot I_{mb}}{PR} \quad (4)$$

Onde:

P_{mpp} = Potência de pico do sistema (Watt-pico)
 V_{mb} = Tensão nominal da motobomba (Volts)
 I_{mb} = Corrente nominal da motobomba (Âmperes)
 PR = Taxa de desempenho do sistema FV (razão decimal)

Após o cálculo da potência de pico do sistema, é preciso realizar a escolha de um módulo fotovoltaico para dimensionar a quantidade de módulos que o sistema será composto. O cálculo para este dimensionamento é apresentado na equação (5).

$$N_p = \frac{P_{mpp}}{P_{mpp_mod}} \quad (5)$$

Onde:

N_p = Quantidade mínima de módulos FV para atender a demanda
 P_{mpp} = Potência de pico do sistema FV (Watt-pico)
 P_{mpp_mod} = Potência de pico dos módulos FV (Watt-pico)

É importante salientar que o resultado a partir da equação (6), indica o número mínimo de módulos fotovoltaicos para compor o sistema.

Após isso, é necessário realizar o cálculo da tensão de circuito aberto, considerando os dados do local onde será feita a instalação do sistema. O cálculo dessa tensão está representado na equação (6).

$$V_{oc} = V_{oc} \cdot \left(1 + (T_{min} - 25) \cdot \frac{\beta V_{oc}}{100}\right)$$

onde:

V_{oc} = Tensão de circuito aberto do módulo FV no local da instalação (Volts)

$V_{oc} (STC)$ = Tensão de circuito aberto do módulo FV sob condições STC (Volts)

T_{min} = temperatura mínima de operação do módulo FV no local de instalação ($^{\circ}C$).

βV_{oc} = Coeficiente de temperatura para o ajuste da tensão de circuito aberto no local de instalação ($\% / ^{\circ}C$).

Os dados de tensão de circuito aberto ($V_{oc}(STC)$) e o coeficiente de temperatura (β_{voc}), estão localizados na folha de dados do módulo fotovoltaico escolhido.

$$V_{mpp} = N_{ps} \cdot V_{mpp} \cdot \left(1 + (T_{max} - 25) \cdot \frac{\beta P_{max}}{100}\right)$$

Onde:

V_{mpp} = Tensão no máximo ponto de potência do módulo FV no local da instalação (Volts)

$V_{mpp}(STC)$ = Tensão no máximo ponto de potência do módulo FV sob condição STC (Volts)

T_{max} = Temperatura máxima de operação do módulo FV no local de instalação ($^{\circ}C$).

βP_{max} = Coeficiente de temperatura para o ajuste de tensão no máximo ponto de potência do módulo FV no local de instalação ($\% / ^{\circ}C$)

Os dados de tensão no ponto máximo de potência (V_{mpp}) e o coeficiente de temperatura (βP_{max}), estão localizados na folha de dados do módulo fotovoltaico escolhido.

Para compor os arranjos em que serão dispostos os módulos fotovoltaicos, é importante definir a tensão de alimentação do inversor de frequência em função da potência da motobomba. Com essa tensão definida, deve se coletar os dados de tensão inferior de limite e tensão superior de limite no barramento do inversor escolhido. A partir dessas informações, é possível calcular o número máximo e mínimo de módulos fotovoltaicos que irão compor o sistema, através da equação (8) e da equação (9).

$$N_{p \max} = \frac{V_{CFW_max}}{V_{oc_mod}}$$

$$N_{p \min} = \frac{V_{CFW_min}}{V_{mpp_mod}}$$

Onde:

$N_{p \max}$ = Número máximo de módulos FV conectados em série em cada arranjo

$N_{p \min}$ = Número mínimo de módulos FV conectados em série em cada arranjo

V_{CFW_max} = Tensão máxima admissível no barramento CC do inversor (Volts)

V_{CFW_min} = Tensão mínima admissível no barramento CC do inversor (Volts)

V_{oc_mod} = Tensão de circuito aberto do módulo FV escolhido no local da instalação (Volts)

V_{mpp_mod} = Tensão no máximo ponto de potência do módulo FV no local de instalação (Volts)

Com o resultado das equações, o número de módulos fotovoltaicos nos arranjos deve estar entre o número máximo e o número mínimo.

L. Inversores de frequência

Pode ser visto em [3], inversores de frequência são dispositivos eletrônicos com a capacidade de fornecer energia em corrente alternada através de uma corrente contínua fornecida por outro tipo de dispositivos. Podem ser eles, baterias, módulos fotovoltaicos, entre outros. Em alguns sistemas de bombeamento solar, é necessária a utilização de inversores para alimentar os equipamentos de bombeamento a partir da energia recebida pelos módulos fotovoltaicos. No dimensionamento de projetos desse tipo, os inversores de frequência são escolhidos de forma que atenda as especificações conforme a associação dos módulos fotovoltaicos. A figura 11 representa a simbologia elétrica deste componente.

No guia de dimensionamento desenvolvido, é possível cadastrar inversores de frequência e suas especificações ou escolher um inversor já cadastrado, visto que foi criado um banco de dados permitindo o cadastramento de equipamentos de bombeamento.

IV. METODOLOGIA

Para compor o guia de dimensionamento fotovoltaico para acionamento de bombas submersas, a ideia inicial se baseava em uma única planilha que contivesse uma parte teórica abordando todas as informações necessárias para o entendimento do usuário em usar a mesma, assim como a própria planilha, que realiza a iteração com o usuário para a obtenção dos resultados de cada projeto.

Porém, para uma melhor organização, o guia foi dividido em duas partes, a primeira parte, em um pdf que fornece todas as informações/definições básicas para o usuário, assim como explica o funcionamento da planilha e como deve ser preenchida. A segunda parte, a própria planilha, que realiza os cálculos necessário de uma forma automatizada para que os projetos sejam dimensionados da forma correta e fornece os resultados para o usuário.

A seguir, será apresentado toda a metodologia e detalhamento de como foi realizado o guia de dimensionamento e as partes que o compõe.

1º - Foi desenvolvido um pdf explicativo de 07 (sete) páginas, contendo as definições, dados e procedimentos necessários para o preenchimento e utilização completa do guia de dimensionamento fotovoltaico para acionamento de bombas

submersas. A figura 12, mostra a introdução do material explicativo.

Após a introdução, o material explicativo apresenta imagens da planilha que será preenchida pelo usuário com o intuito de orientar a utilização correta da mesma, conforme figura 11.

1) Cadastro do usuário: Consiste em preencher um formulário com informações básicas do usuário, como nome, endereço, telefone e e-mail. Conforme o exemplo da figura 1.

Cadastro	
Informe seus dados nos campos em amarelo	
Nome	Maurício Reis
Cidade	Massaranduba
Estado	Santa Catarina
Telefone	(54) 99993-8081
E-mail	mauricio.reis.dr9@gmail.com

Figura 1: Exemplo de cadastro de usuário.

Figura 11 – Exemplo de cadastro de usuário.

A figura 11, mostra a segunda página do material explicativo, que é considerada o primeiro passo para o preenchimento correto da planilha eletrônica, onde é apresentado ao usuário a parte da planilha em que é realizado o cadastro do mesmo, também é apresentado um exemplo de cadastramento.

Posteriormente é apresentado a continuação do passo a passo para preenchimento correto da planilha, e ao mesmo tempo, são apresentadas algumas definições básicas, que são de extrema importância para o entendimento de sistemas de bombeamento solar.

Todas as definições que estão apresentadas no guia explicativo, estão no presente artigo, onde foi adaptado algumas linguagens para facilitar o entendimento pelo usuário. A figura 12, mostra exemplos de onde as definições se encontram na planilha eletrônica.

3) As informações explicadas acima, serão solicitadas pelo guia para a realização dos cálculos de dimensionamento da motobomba, conforme o exemplo da figura 3:

Informações Preliminares (Local da instalação)			
Informe os dados do seu projeto preenchendo as colunas em amarelo			
Cidade	Caxias do Sul (RS)		
Hm	Altura Manométrica	150	m
Qd	Vazão volumétrica diária	10	m ³ /dia
HSP	Horas de sol pleno	2,38	h/dia
Sua motobomba deve conter as seguintes especificações			
Qmb	Vazão volumétrica da bomba	4,2	m ³ /h
Pmb	Potência mínima p/ motobomba	1980	W
		2,69	CV

Figura 3. Exemplo de dimensionamento de motobomba com as informações preliminares do usuário.

Figura 12 – Exemplo de preenchimento de dados na planilha, apresentado pelo guia explicativo.

Além de apresentar alguns exemplos, como visto nas imagens acima, o guia explicativo apresenta também, algumas expressões algébricas que serão calculadas no decorrer da planilha eletrônica, assim como o que cada componente da expressão algébrica representa.

Para a segunda parte do guia de dimensionamento fotovoltaico para acionamento de bombas submersas, foi desenvolvida, uma planilha eletrônica, que realiza a iteração com o usuário que está utilizando a mesma, solicitando informações necessárias para a realização dos cálculos propostos e apresentando os resultados, permitindo o dimensionamento ou a verificação de equipamentos corretos para projetos de bombeamento solar.

Com o acesso ao guia, o usuário deverá seguir uma série de passos que o ajudará a dimensionar o sistema de bombeamento solar necessários para atender suas especificações de projeto. Estes passos, estão descritos no guia explicativo apresentado no presente artigo. A seguir, será detalhado a sequência de passos que deve ser seguida pelo usuário para a utilização da planilha eletrônica.

1º - O usuário deve realizar o cadastro para na primeira etapa da planilha eletrônica, conforme exemplo da figura 13.

Cadastro	
Informe seus dados nos campos em amarelo	
Nome	Maurício Reis
Cidade	Massaranduba
Estado	Santa Catarina
Telefone	(54) 99993-8081
E-mail	mauricio.reis.dr9@gmail.com

Figura 13 – Aba de cadastro da planilha eletrônica.

2º - Na aba “2-Dimensionamento da motobomba” O usuário deve informar os dados do local da instalação primeiramente, para que possam ser iniciados os cálculos. São eles:

- Altura manométrica total
- Horas de sol pleno
- Volume diário a ser bombeado

Com a recepção dos dados solicitados, o guia calcula automaticamente as especificações da motobomba corretas para os dados fornecidos pelo usuário. São elas:

- Vazão volumétrica da motobomba: calculada através da equação (2), apresentada neste relatório.

- Potência mínima para a motobomba: calculada através da implementação da equação (3), apresentada neste relatório, conforme figura 14.

Informações Preliminares (Local da instalação)			
Informe os dados do seu projeto preenchendo as colunas em amarelo			
Cidade	Caxias do Sul (RS)		
Hm	Altura Manométrica	78	m
Qd	Vazão volumétrica diária	5	m ³ /dia
HSP	Horas de sol pleno	2	h/dia
Sua motobomba deve conter as seguintes especificações			
Qmb	Vazão volumétrica da bomba	2,5	m ³ /h
Pmb	Potência mínima p/ motobomba	3600	W
		0,83	CV

Figura 14 – Implementação da equação (3) na planilha eletrônica.

Com os cálculos realizados, o a planilha apresenta os resultados e especificações recomendadas para a escolha da motobomba, e solicita para o usuário, o cadastro de uma motobomba ou que o mesmo realize a escolha de uma motobomba já cadastrada no banco de dados do guia. Após isso, o usuário informa o código respectivo a motobomba cadastrada ou escolhida onde o guia automaticamente preenche as informações técnicas referente ao equipamento de bombeamento escolhido nos respectivos campos. Conforme apresentado na figura 15.

Qmb	Vazão volumétrica da bomba	4,2	m ³ /h
Pmb	Potencia mínima p/ motobomba	1980	W
		2,69	CV
Informações sobre motobomba escolhida			
Código	0001		
Descrição	Bomba Motor Weg W22 Premium		
Vmb	Tensão nominal	380	V
Imb	Corrente nominal	4,54	A
n	Rendimento	86,5	%
FP	Fator de potencia	0,8	
Pmb_r	Potência	3	CV
Qmb_r	Vazão volumétrica	4,5	m ³ /h

Figura 15 – Exemplo de definição de motobomba para projeto.

3º - Com a motobomba definida, o usuário deverá realizar o cadastro ou escolha de um módulo fotovoltaico da mesma forma que foi realizado a definição da motobomba para o projeto, para que sejam entregues a ele os cálculos das equações (5) e (6). Posteriormente é necessário que o usuário forneça alguns dados de temperatura do local onde será realizada a instalação para que sejam realizados os cálculos das equações 7 e 8. Conforme figura 16.

Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema		W
Np	Nº mínimo de módulos		Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	44,20	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,82	V

Figura 16 – Campos para informar os dados do módulo fotovoltaico escolhido para o projeto.

Com os dados fornecidos pelo usuário, o guia realiza de forma automática, os cálculos referentes as equações 4, 5, 6, e 7, apresentadas no presente artigo, e informa os resultados para o usuário. Conforme figuras a seguir.

Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	3735,17	W
Np	Nº mínimo de módulos	8	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	44,20	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,82	V

Figura 17 – Campos para informar os dados do módulo fotovoltaico escolhido para o projeto

Dimensionamento sistema fotovoltaicos			
Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	$=\text{RAIZ}(3) * Q3 * Q4 / 0,8$	W
Np	Nº mínimo de módulos	8	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	44,20	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,82	V

Figura 18 – Implementação da equação 4 na planilha eletrônica.

Dimensionamento sistema fotovoltaicos			
Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	3735,17	W
Np	Nº mínimo de módulos	$=F18/F9$	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	44,20	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,82	V

Figura 19 – Implementação da equação 5 na planilha eletrônica.

Dimensionamento sistema fotovoltaicos			
Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	3735,17	W
Np	Nº mínimo de módulos	8	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	100)	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,82	V

Figura 20 – Implementação da equação 6 na planilha eletrônica.

Dimensioamento sistema fotovoltaicos			
Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	3735,17	W
Np	Nº mínimo de módulos	8	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	44,20	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	100)	V

Figura 21 – Implementação da equação 7 na planilha eletrônica.

4º - O usuário deverá definir um inversor de frequência para seu projeto com base na potência da motobomba escolhida, da mesma forma em que os outros equipamentos foram definidos, por meio de cadastro ou escolha de algum equipamento já cadastrado no banco de dados do guia, para que seja possível entregar os cálculos das equações 8 e 9, e posteriormente, entregar o número ideal de módulos fotovoltaicos que irão compor os arranjos do sistema. Conforme as figuras a seguir.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0001		
Descrição	WEG CFW500 SD		
V_ali	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	5	CV
C_nom	Corrente Nominal	3,7	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	360	Vcc

Figura 22 – Exemplo para preenchimento de informações sobre o inversor de frequência.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0001		
Descrição	WEG CFW500 SD		
V_ali	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	5	CV
C_nom	Corrente Nominal	3,7	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	360	Vcc
Quantidade de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo so sistema			
Np_min	Número mínimo de módulos	=F29/F21	
Np_máx	Número máximo de módulos	18,3	
QtMod	Quantidade de módulos escolhidos		Módulos

Figura 23 – Implementação das equações 8 e 9 na planilha eletrônica.

Com todos os dados fornecidos pelo usuário, a planilha realiza o cálculo do número mínimo de módulos fotovoltaicos em cada arranjo para o equipamento escolhido pelo usuário. Também é realizada a comparação entre os valores mínimos e máximos de módulos em cada arranjo do sistema, com a quantidade escolhida pelo usuário. Conforme figuras abaixo.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0001		
Descrição	WEG CFW500 SD		
V_ali	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	5	CV
C_nom	Corrente Nominal	3,7	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	360	Vcc
Quantidade de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo so sistema			
Np_min	Número mínimo de módulos	10,6	
Np_máx	Número máximo de módulos	18,3	
QtMod	Quantidade de módulos escolhidos	9	Módulos

Figura 24 – Exemplo de escolha abaixo do número mínimo.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0001		
Descrição	WEG CFW500 SD		
V_ali	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	5	CV
C_nom	Corrente Nominal	3,7	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	360	Vcc
Quantidade de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo so sistema			
Np_min	Número mínimo de módulos	10,6	
Np_máx	Número máximo de módulos	18,3	
QtMod	Quantidade de módulos escolhidos	15	Módulos

Figura 25 – Exemplo de escolha entre os valores dimensionados.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0001		
Descrição	WEG CFW500 SD		
V_ali	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	5	CV
C_nom	Corrente Nominal	3,7	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	360	Vcc
Quantidade de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo so sistema			
Np_min	Número mínimo de módulos	10,6	
Np_máx	Número máximo de módulos	18,3	
QtMod	Quantidade de módulos escolhidos	20	Módulos

Figura 26 – Exemplo de escolha acima do número máximo.

Posteriormente, o usuário pode visualizar, na aba impressão, da planilha eletrônica, todos os dados do seu projeto, onde consegue imprimir ou baixar o arquivo em pdf. Conforme a figura 27.

Confira os dados recomendados para o seu projeto			
Dados do usuário			
Nome	Maurício Dal Prá Reis		
Cidade	Massaranduba		
Estado	Santa Catarina		
Telefone	(54) 99993-8081		
E-mail	mauricio.reis.dr9@gmail.com		
Dados do local da instalação			
Cidade	Caxias do Sul (RS)		
Altura manométrica	78	m	
Vazão volumétrica	5	m ³ /dia	
Horas de sol pleno	2	h/dia	
Dados da motobomba			
Descrição	Bomba Motor Weg W22 Premium		
Vazão volumétrica	4,5		
Potência	3		
Tensão nominal	380		
Corrente nominal	4,54		
Rendimento	86,5		
Fator de potencia	0,8		
Dados do módulo fotovoltaico			
Descrição	OSDA ODA550-36V-MH		
Potencia de pico de cada módulo	550	W	
Tensão de circuito aberto do módulo	50,1	v	
Coefficiente de temperatura módulo	-0,35	%/°C	
Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,44	%/°C	
Tensão máximo ponto de potencia	34,64	V	
Potência de pico do sistema	3735,17	W	
N° mínimo de módulos	7	Módulos	
Tensão de circuito aberto sistema	54,48	V	
Tensão máximo ponto potencia sistema	33,57	V	
Dados do inversor de frequência			
Tensão de alimentação do inversor	380	V	
Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc	
Limite inferior de tensão no barramento	450	Vcc	
Potência nominal	3	CV	
Corrente nominal	2,2	A	
Dados do arranjo de módulos fotovoltaicos para o sistema			
Número mínimo de módulos	13		
Número máximo de módulos	15		
Quantidade de módulos escolhidos	14		

Figura 27 – Impressão dos dados do projeto.

V. RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados, foram realizados dois testes com equipamentos e localidades diferentes. Os testes foram realizados com as seguintes especificações.

- Teste 1:

- Altura manométrica de bombeamento: 150 metros.
- Volume a ser bombeado: 10 m³/dia
- Horas de sol pleno: 2,38 h/dia (Caxias do Sul (RS)).

A seguir, é apresentado os resultados referentes ao Teste 1.

Cadastro	
Informe seus dados nos campos em amarelo	
Nome	Glademir Anônimo Reis
Cidade	Caxias do Sul (RS)
Estado	Rio grande do Sul
Telefone	(54) 99972-0024
E-mail	glademir.reis@terra.com.br

Figura 28 – Cadastro do usuário, teste 1.

Informações Preliminares (Local da instalação)			
Informe os dados do seu projeto preenchendo as colunas em amarelo			
Cidade	Caxias do Sul (RS)		
Hm	Altura Manométrica	150	m
Qd	Vazão volumétrica diaria	10	m ³ /dia
HSP	Horas de sol pleno	2,38	h/dia
Sua motobomba deve conter as seguintes especificações			
Qmb	Vazão volumétrica da bomba	4,2	m ³ /h
Pmb	Potencia mínima p/ motobomba	1980	W
		2,69	CV

Figura 29 – Resultados para a motobomba, teste 1.

Como pode se ver na figura 29, as especificações referentes as informações preliminares fornecidas pelo usuário, resultaram em uma motobomba ideal com no mínimo 2,69 CV de potência e vazão volumétrica mínima de 4,2 m³/h.

Informações sobre motobomba escolhida			
Código	0001		
Descrição	Bomba Motor Weg W22 Premium		
Vmb	Tensão nominal	380	V
Imb	Corrente nominal	4,54	A
n	Rendimento	86,5	%
FP	Fator de potencia	0,8	
Pmb_r	Potência	3	CV
Qmb_r	Vazão volumétrica	4,5	m ³ /h

Figura 30 – Dados da motobomba escolhida pelo usuário.

Com a motobomba definida, na próxima aba do guia, é solicitado ao usuário a escolha ou cadastre de um módulo fotovoltaico, após isso, é apresentado os resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido. Conforme a figura 31.

Dimensionamento sistema fotovoltaicos			
Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0001		
Descrição	Risen RSM40-8-405M		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	450	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	41,6	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,25	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,34	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	3735,17	W
Np	Nº mínimo de módulos	8	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	44,20	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,82	V

Figura 31 – Dados do modulo fotovoltaico escolhida pelo usuário e apresentação de resultados.

Apresentados os resultados com base na motobomba e módulo fotovoltaico escolhidos, o usuário escolhe um inversor de frequência e fornece o código respectivo ao mesmo, onde com os dados do inversor de frequência, o guia realiza o cálculo da quantidade máxima e mínima de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo no sistema. Também é solicitado ao usuário, a quantidade de módulos fotovoltaicos escolhidos para compor o arranjo, e após isso, é realizado uma comparação com base na quantidade recomendada pelo guia. Conforme figura 32.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0001		
Descrição	WEG CFW500 SD		
V_ali	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	5	CV
C_nom	Corrente Nominal	3,7	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	360	Vcc
Quantidade de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo so sistema			
Np_min	Número mínimo de módulos	10,6	
Np_máx	Número máximo de módulos	18,3	
QtMod	Quantidade de módulos escolhidos	15	Módulos

Figura 32 – Resultados com base no inversor de frequência escolhido.

O usuário escolhe a quantidade de 15 módulos para compor cada arranjo do sistema, quantidade que vai suprir a alimentação dos equipamentos do projeto, respeitando as tensões limites no barramento interno do inversor de frequência escolhido.

Teste 2:

- Altura manométrica de bombeamento: 200 metros.
- Volume a ser bombeado: 12 m³/dia
- Horas de sol pleno: 2,48 h/dia (Massaranduba (SC))

A seguir é apresentado os resultados referentes ao teste 2.

Cadastro	
Informe seus dados nos campos em amarelo	
Nome	Maurício Dal Prá Reis
Cidade	Massaranduba
Estado	Santa Catarina
Telefone	(54) 99993-8081
E-mail	mauricio.reis.dr9@gmail.com

Figura 33 – Cadastro do usuário, teste 2.

Informações Preliminares (Local da instalação)			
Informe os dados do seu projeto preenchendo as colunas em amarelo			
Cidade	Massaranduba (SC)		
Hm	Altura Manométrica	200	m
Qd	Vazão volumétrica diaria	12	m ³ /dia
HSP	Horas de sol pleno	2,48	h/dia
Sua motobomba deve conter as seguintes especificações			
Qmb	Vazão volumétrica da bomba	4,8	m ³ /h
Pmb	Potencia mínima p/ motobomba	3286	W
		4,47	CV

Figura 34 – Resultados para motobomba, teste 2.

Como pode se ver na figura 38, as especificações referentes as informações preliminares fornecidas pelo usuário, resultaram em uma motobomba ideal com no mínimo 4,47 CV de potência e vazão volumétrica mínima de 4,8 m³/h.

Informações sobre motobomba escolhida			
Código	0003		
Descrição	Vanbro VBOP.46X.18.050.Y		
Vmb	Tensão nominal	380	V
Imb	Corrente nominal	9,8	A
n	Rendimento	80	%
FP	Fator de potencia	0,85	
Pmb_r	Potência	5	CV
Qmb_r	Vazão volumétrica	8,5	m ³ /h

Figura 35 – Dados da motobomba cadastrada pelo usuário.

Com a motobomba definida, na próxima aba do guia, o usuário optou pelo cadastro de um módulo fotovoltaico, após isso, é apresentado os resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido. Conforme a figura 36.

Dimensionamento sistema fotovoltaicos			
Escolha um módulo fotovoltaico e inversor para a o seu projeto e informe os dados dos mesmos, preenchendo as colunas em amarelo			
Código	0002		
Descrição	OSDA ODA550-36V-MH		
Pmpp_mod	Potencia de pico de cada módulo	550	W
VocSTC	Tensão de circuito aberto do módulo	50,1	V
Bvoc	Coefficiente de temperatura módulo	-0,35	%/°C
Bpmax	Coefficiente máximo ponto de potencia	-0,44	%/°C
VmppSTC	Tensão máximo ponto de potência	34,64	V
Tmin	Temperatura mínima já registrada	0	°C
Tmax	Temperatura máxima já registrada	32	°C
Resultados com base no módulo fotovoltaico escolhido			
Pmpp	Potencia de pico do sistema	8062,70	W
Np	N° mínimo de módulos	15	Módulos
Voc	Tensão de circuito aberto	54,48	V
Vmpp	Tensão no máximo ponto de potência	33,57	V

Figura 36 – Dados do modulo fotovoltaico cadastrado pelo usuário e apresentação de resultados

Apresentados os resultados, o usuário realiza o cadastro de um inversor de frequência e fornece o código respectivo ao mesmo, onde com os dados do inversor de frequência, o guia realiza o cálculo da quantidade máxima e mínima de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo no sistema. Também é solicitado ao usuário, a quantidade de módulos fotovoltaicos escolhidos para compor o arranjo, e após isso, é realizado uma comparação com base na quantidade recomendada pelo guia. Conforme figura 37.

Quantidade necessária de módulos FV em serie em cada arranjo			
Código	0002		
Descrição	CFW500B10P0T4DB20		
V_all	Tensão de alimentação do inversor	380	V
P_nom	Potência Nominal	3	CV
C_nom	Corrente Nominal	2,2	A
Vi_máx	Limite superior de tensão no barramento	810	Vcc
Vi_min	Limite inferior de tensão no barramento	450	Vcc
Quantidade de módulos fotovoltaicos em serie em cada arranjo so sistema			
Np_min	Número mínimo de módulos	13,4	
Np_máx	Número máximo de módulos	14,9	
QtMod	Quantidade de módulos escolhidos	14	Módulos

Figura 37 – comparação realizada pela planilha.

O usuário escolhe a quantidade de 14 módulos para compor cada arranjo do sistema, quantidade que vai suprir a alimentação dos equipamentos do projeto, respeitando as tensões limites no barramento interno do inversor de frequência escolhido

VI. CONCLUSÃO

O presente artigo trata sobre o assunto de sistemas de bombeamento solar, com enfoque principal em acionamento de bombas submersas trifásicas.

Após a realização do projeto, pode se concluir que os objetivos de realizar um guia de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para acionamento de bombas submersas, foram alcançados. No decorrer do trabalho, foram apresentados assuntos referentes a bombeamento solar, definições, fórmulas e cálculos necessários para a realização do mesmo. Também foi realizado, a implementação de um guia de dimensionamento fotovoltaico para acionamento de bombas submersas, com documento explicativo e planilha eletrônica para obtenção de resultados com base em projetos específicos.

Após o desenvolvimento do guia proposto, foram realizados testes com diferentes especificações de projetos. Após a implementação dos testes, os resultados obtidos foram satisfatórios conforme a proposta inicial

Para sugestões em trabalhos futuros com base no presente artigo, seria de extrema importância a implementação do guia em projetos onde os equipamentos de bombeamento já estejam instalados, onde poderia ser possível adaptar os equipamentos fotovoltaicos para a obtenção do bombeamento solar. Um maior foco no cadastramento de equipamentos de bombeamento solar, como motobombas, módulos fotovoltaicos e inversores de frequência, no banco de dados, seria uma sugestão complementar para próximos trabalhos relacionados ao presente artigo.

Referências

- [1] TRENBERTH, K. E.; FASULLO, J. T., KIEHL, J. Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society. Março de 2009. Disponível em: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth.papers/TFK_bams09.pdf>.
- [2] MONTEIRO, Isabella. Construção de Poços e Qualidade das Águas. Revista Água e Meio Ambiente Subterrâneo, Ano 3, n. 22, jun. jul. 2011.
- [3] PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] TOBAJAS, Carlos. (2008).Energía Solar Fotovoltaica. 3.a Edición. Ceysa.
- [5] VALLINA, Miguel Moro. (2010) Instalaciones Solares Fotovoltaicas.
- [6] CAPUCCI, Egmont et. al. Poços Tubulares e Outras Captações de Águas Subterrâneas Orientação aos Usuários. Rio de Janeiro: SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2001. Disponível em: www.agrolink.com.br.
- [7] LENCASTRE, Armando (1983). Hidráulica Geral. Edição Luso-Brasileira. Hidroprojecto. Coimbra, Portugal
- [8] PEREIRA, Filipe Alexandre de Sousa; OLIVEIRA Manuel Ângelo Sarmento. Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica.
- [9] VANBRO
- [10] ALTRI
- [11] REBOUÇAS, A.C. 1998. Desenvolvimento das águas subterrâneas no Brasil. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ABAS. São Paulo. (CDROM).
- [12] Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 1, 1o Sem. 2008, pp. 25-45