

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ABASTECIMENTO DE UM TANQUE DE PISCICULTURA DO “SISTEMINHA EMBRAPA”

IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR SUPPLYING A PISCICULTURE TANK OF THE “SISTEMINHA EMBRAPA”

Caio Felipe Lopes da Silva¹
Hugo Galdino de Sousa¹
João Vítor Rodrigues da Silva¹
Adeon Cecílio Pinto²

RESUMO

O estudo em questão foi desenvolvido com o objetivo de propor um sistema de fornecimento de energia elétrica empregando módulos fotovoltaicos, visando alimentar a bomba de um sistema de produção denominado de Sisteminha Embrapa, implantado na Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Juazeiro-BA, utilizado como um projeto de extensão universitária. Dessa forma, foi feita uma abordagem sucinta dos principais assuntos que permeiam a temática, bem como uma apresentação dos conceitos relevantes para o embasamento teórico necessário. Ainda, foi utilizado o *software* Inventor, para propor uma estrutura física de suporte que contemplasse as particularidades do projeto, ou seja, que pudesse ser usada como apoio para os painéis fotovoltaicos e ainda abrigassem os demais componentes. De acordo com a demanda elétrica da bomba hidráulica e do tempo requerido de funcionamento, foi estimado um consumo de 21,6 kWh/mês. Finalmente, foi efetuado o dimensionamento utilizando os dados de irradiância solar diária média local e a implementação prática de todo o aparato fotovoltaico-elétrico.

Palavras-chave: Painéis fotovoltaicos. Energia solar. Dimensionamento. Produção de Alimentos.

ABSTRACT

This study was developed aim to proposing an electric power supply system using photovoltaic panels to feeding the pump of a production system called *Sisteminha Embrapa*, located at Federal University of the São Francisco Valley, in Juazeiro, Bahia, it is used as a university extension project. In this way, a brief approach was taken about the main topics, as well a presentation of the relevant theoretical concepts needed. Still, Inventor software was used to propose a physical support structure that contemplated the project particularities, that

¹ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Vale do São Francisco - E-mails: caio152felipe@gmail.com; hugo.galdino17@gmail.com; jvitor7798@gmail.com;

² Docente do Colegiado de Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Vale do São Francisco - E-mail: adeon.pinto@univasf.edu.br.

is, it could be used as support for the photovoltaic modules and still protect other components. According to the electric demand of the hydraulic pump and the required operation time, a consumption 21.6 kWh/month was estimated. Finally, the sizing was carried out, using mean solar irradiance data, and practical installation of the photovoltaic-electric apparatus.

Keywords: Photovoltaic modules. Solar energy. Sizing. Food production.

INTRODUÇÃO

Conforme a sociedade se desenvolve, percebe-se que a demanda de energia aumenta proporcionalmente e, somando aos conceitos de sustentabilidade amplamente discutidos, além disso, fica cada vez mais evidente que os combustíveis fósseis possuem reservas finitas e emitem substâncias prejudiciais ao meio ambiente, conseqüentemente, a procura por fontes alternativas de energia torna-se uma necessidade recorrente.

Dentre as várias fontes de energia alternativas, é importante destacar a energia fotovoltaica, sendo esta energia provida pela radiação solar, convertida em energia elétrica a partir do efeito fotoelétrico. O estudo de tal efeito começou no século XIX, através da observação de Alexandre Edmond Becquerel (BECQUEREL, 1838) e, foi confirmado por Heinrich Hertz, mas só no século posterior, com Albert Einstein e Max Planck que ele pôde ser completamente desenvolvido. No entanto, a partir da década de 50, surgem as conhecidas células solares fotovoltaicas empregadas atualmente, construídas principalmente de silício, que é um material semicondutor.

Em 1973, com a crise do petróleo, houveram os primeiros avanços tecnológicos relacionados às fontes alternativas de energia, sobretudo à energia solar, impulsionando esse modelo de negócio. Atualmente, considerando o potencial e os benefícios que podem ser proporcionados, a quantidade de painéis instalados mundialmente ainda é pequena, sobretudo nas regiões menos desenvolvidas, como é o caso do Brasil, uma vez que os custos relativos à aquisição desses sistemas são considerados elevados, apesar das quedas ocorridas nos últimos anos. Mesmo assim, a tecnologia está sendo disseminada e se tornando acessível para população. Existindo diversos tipos e aplicações de sistemas fotovoltaicos, podendo ser instalados em solo ou em telhados.

A tecnologia fotovoltaica, atualmente, conta com três possibilidades de instalação, ou seja, *on-grid* (conectado à rede), *off-grid* (isolado ou autônomo, sem conexão com a rede) e híbrido (pode operar tanto conectado ou isolado). O primeiro composto, principalmente, por

módulos fotovoltaicos e inversores estáticos CC-CA (Corrente Contínua - Corrente Alternada) e estes conectados à rede elétrica da concessionária local através de um medidor de energia bidirecional (BRASIL, 2012). Dessa forma, durante o dia, o consumo é suprido pelo sistema fotovoltaico e o excedente gerado é injetado na rede, gerando créditos, aos quais podem ser usados para pagar a energia consumida da rede, principalmente, durante o período noturno quando não existe incidência de irradiação solar (BRASIL, 2015). Do ponto de vista econômico, a tecnologia torna-se viável, visto que seu retorno financeiro pode ser efetivado em cerca de 5 anos ou menos, dependendo do sistema instalado.

A implantação de sistemas *on-grid*, atualmente, possui números muito superiores se comparada aos sistemas *off-grid*, visto estes que não possuem tal rentabilidade. Os principais locais de implementação dos sistemas *on-grid* são: residências, comércio, indústrias, áreas rurais que possuem rede elétrica, entre outras, sendo as duas primeiras àquelas que mais se destacam, sobretudo devido ao tamanho do sistema que são geralmente, bem menores que o de uma indústria.

Já nos sistemas *off-grid*, como citado anteriormente, não possui tanta viabilidade econômica quanto aquela dos sistemas *on-grid*, restringindo assim sua utilização exclusiva aos locais que não possuem disponibilidade da rede elétrica convencional, como comunidades rurais distantes e em aplicações como bombeamento de água, iluminação e em residências que se deseja suprir uma carga específica. Além disso, os sistemas *off-grid* é composto por módulos fotovoltaicos, inversores CC-CA, controladores de carga, baterias (MELO *et al.*, 2018). Sendo este último equipamento um dos fatores que influencia no alto custo dos sistemas, além da constante manutenção e/ou reposição requerida, exigências nas condições de instalação (um cômodo separado, que possa ser fechado com acesso somente de pessoas capacitadas) e ainda a questão ambiental relacionada ao descarte de materiais.

Dessa maneira, pelas características de utilização e aplicação dos sistemas fotovoltaicos *off-grid*, decidiu utilizá-lo em um projeto da Univasf (Universidade Federal do Vale do São Francisco) para suprimento de energia elétrica demandada em aplicação específica. Este projeto resume-se a um sistema integrado para produção de alimentos, denominado por Sisteminha Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), UFU (Universidade Federal de Uberlândia), Fapemig (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) - Sistema Integrado para Produção de Alimentos, popularmente referido como “Sisteminha Embrapa” (PI 0606211-3 A, 2008), o qual consiste em uma tecnologia de

produção integrada de alimentos baseada num rodízio de produção que envolve a produção integrada de frutas, hortaliças, aves, pequenos animais e peixes, com a recirculação de nutrientes a partir de um tanque de piscicultura (GUILHERME, 2005).

De acordo com as características do projeto em questão, a implementação de um sistema de energia solar foi definida como sendo a solução mais adequada, visto que o sistema de produção é voltado para pequenos produtores, os quais podem não ter acesso à rede elétrica convencional, juntamente com o fato da energia utilizada ser limpa e renovável.

Dentre deste contexto, este trabalho tem como objetivo central projetar e instalar um sistema fotovoltaico isolado (*off-grid*) capaz de fornecer energia elétrica para a bomba do tanque destinado à criação de peixes. Para tanto, outros requisitos também são necessários para se alcançar o propósito principal, como elaborar uma estrutura para abrigar os painéis fotovoltaicos, as baterias, o inversor e o controlador de carga, além de dimensionar todo o sistema fotovoltaico visando redução dos custos, tudo isso com o intuito fomentar a ideia de sustentabilidade fornecida pelo Sisteminha Embrapa.

METODOLOGIA

De acordo com Vergara (2013), a pesquisa científica pode ser classificada de acordo com os fins ou com os meios utilizados na sua realização. Quanto aos fins, o trabalho em questão pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, visto que seu objetivo dá-se na resolução de um problema. Além disso, a mesma também pode ser classificada como uma pesquisa metodológica, uma vez que sua aplicação prática busca encontrar um caminho ou modelo para a resolução de um problema. Por outro lado, quanto aos meios de realização, o presente trabalho pode ser classificado como uma pesquisa descritiva, visto que o conteúdo do mesmo foi embasado teoricamente, através de referências bibliográficas (KINCHESCKI *et al.*, 2015).

A abordagem utilizada foi a pesquisa quantitativa, de modo que alguns dados foram coletados em campo e utilizados para o dimensionamento do sistema fotovoltaico empregado.

Dessa maneira, o projeto foi desenvolvido buscando a resolução de um problema, sendo este o fornecimento de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos para ser utilizado em uma pequena unidade de bombeamento, visando à manutenção de uma cultura de peixes. Para tanto, houve a necessidade de algumas visitas locais, com o objetivo de se

obter algumas informações relativas ao projeto, além da coleta de dados fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos disponíveis, que seriam empregados posteriormente para definição da estrutura que seria utilizada para abrigar todos os componentes do sistema, incluindo inversor, baterias, módulos e controlador de carga. O projeto estrutural foi feito utilizando o *software* da Autodesk denominado Inventor.

A definição da estrutura baseou-se nas informações fundamentais em relação à quantidade de materiais utilizados na implementação do sistema. Durante o processo, foi analisada e verificada a confecção da estrutura projetada, visto que a mesma foi construída por terceiros. Logo após o término da montagem do suporte, instalaram-se todos os componentes do sistema fotovoltaico (bateria, controlador de carga, módulos, inversor), assim como o ponto de alimentação da bomba usado no Sisteminha Embrapa.

Por fim, após a verificação da instalação feita, colocou-se em funcionamento todo sistema. Dessa forma, começou também o monitoramento da geração de energia elétrica e o consumo da bomba, através de medidas e, por conseguinte, a elaboração dos resultados deste trabalho.

DESENVOLVIMENTO

Sisteminha Embrapa

O projeto em questão refere-se a um plano piloto de transferência de tecnologias para segurança alimentar utilizando o chamado Sisteminha Embrapa (PI 0606211-3 A, 2008). Trata-se de uma tecnologia simples, que alia a produção de proteína animal (geralmente peixe) com o uso de pequenas áreas para cultivares de hortaliças e verduras. Sua origem ocorreu através da Embrapa Meio-Norte, situada no Piauí e, desde então, a tecnologia vem sendo implantada em diferentes regiões do país.

Este sistema de produção alimentos possui basicamente uma temática central, o combate à fome, então, daí derivaram-se os três princípios fundamentais do sistema: miniaturização, retorno em uma única safra e versatilidade com estímulo à criatividade. Devido à simplicidade e o objetivo do Sisteminha Embrapa, este tem algumas características que o moldam, como por exemplo, não ter compromissos com o mercado, nem com a agricultura convencional e familiar, explorar a criatividade do produtor e escalonar a produção (SAMPAIO NETO *et al.*, 2018). Abaixo, na Figura 1 é apresentado um tanque

empregado no Sisteminha Embrapa, em Flores-GO, no qual é possível notar o emprego de materiais de baixo custo.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), apesar da complexidade que envolve a integração entre as atividades desenvolvidas, os princípios do Sisteminha Embrapa são facilmente absorvidos pelas famílias que executam o projeto. A criação de peixes realizada em sistema de recirculação é uma atividade em desenvolvimento, porém, a construção destes sistemas geralmente é de alto custo e exige mão de obra especializada para cuidar da sua manutenção.

Figura 1: Sisteminha Embrapa em Flores-GO.



Fonte: Weiss (2017).

Visando disseminar o conhecimento, a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) implantou um Sisteminha Embrapa de caráter experimental e demonstrativo numa área com 0,0013 km², localizado na rodovia BA-210, km 4, S/N - Malhada da Areia, Juazeiro-BA. Este local é denominado Espaço Plural e voltado, principalmente, para o desenvolvimento de atividades relacionadas à extensão universitária. A Figura 2 ilustra o tanque utilizado para criação de peixes do referido Sisteminha instalado na UNIVASF.

Figura 2: Sisteminha da UNIVASF localizado no Espaço Plural.

Fonte: Freitas (2018).

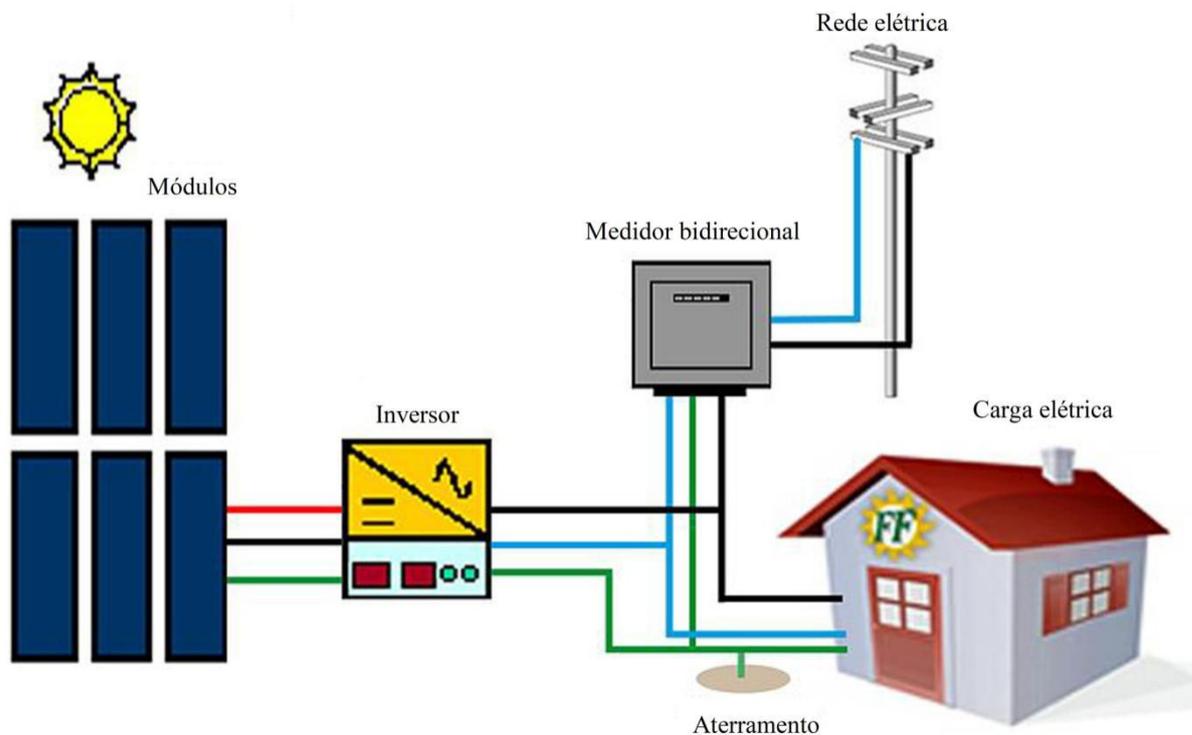
Sistemas Fotovoltaicos

No Brasil, as fontes alternativas energia estão ganhando cada vez mais espaço e contribuindo, significativamente, para a diversificação da matriz energética do país. Essa maior utilização das fontes alternativas e renováveis deve-se à escassez progressiva dos recursos fósseis, bem como na necessidade crescente de adotar soluções sustentáveis, visando, também a sustentabilidade socioambiental e a utilização responsável dos recursos naturais disponíveis.

Nesse contexto, deve-se atenção especial para a geração de energia fotovoltaica, que se baseia na conversão de radiação solar em energia elétrica através de células fotovoltaicas. Tais sistemas subdividem, principalmente, em dois grupos principais: sistemas *on-grid*, e *off-grid*.

O Sistema *on-grid* (conectado à rede) baseia-se no princípio da conexão com a rede, normalmente, de distribuição, conforme ilustrado na Figura 3. Esse sistema permite que a energia produzida em excesso e que não for consumida instantaneamente pela residência seja injetada na rede elétrica convencional e sendo esta energia convertida em créditos de energia para a mesma unidade consumidora ou para outra de mesma titularidade (BOSO *et al.*, 2015; BRASIL, 2015). Esta topologia permite melhor relação custo-benefício quando comparado ao sistema *off-grid*, além do rápido retorno do investimento, por tal motivo é bastante aplicado em residências, comércios e indústrias cujo acesso à rede elétrica é relativamente simples.

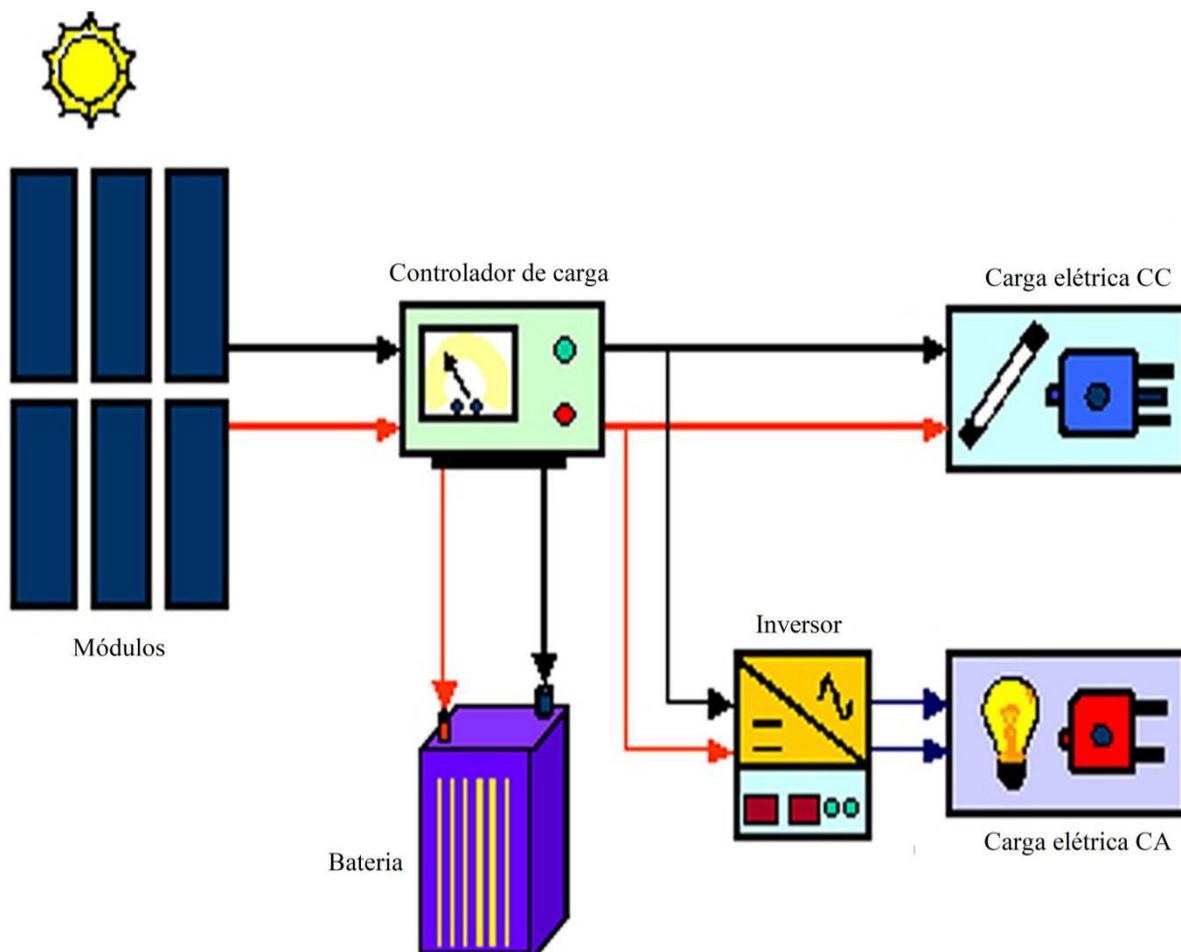
Figura 3: Sistema *on-grid*.



Fonte: Boso, Gabriel & Gabriel Filho (2015).

O sistema *off-grid* (isolado), que é o foco principal deste trabalho, caracteriza-se por possuir como uma única fonte primária, no caso o Sol, sendo a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos. Assim, precisa-se de dispositivos de armazenamento da energia captada, geralmente, emprega-se banco de baterias, para garantir o fornecimento de energia elétrica durante a noite ou em períodos de baixa incidência solar. Em geral, um sistema fotovoltaico isolado é composto por arranjos de módulos fotovoltaicos, regulador de carga, uma ou mais baterias, e no caso de existirem carga que operem com tensão alternada, um inversor de frequência (SEGUEL, 2009; MELO *et al.*, 2018), conforme pode ser observado na Figura 4, a qual apresenta um típico sistema fotovoltaico *off-grid*.

Figura 4: Sistema *off-grid*.



Fonte: Boso, Gabriel e Gabriel Filho (2015).

Esse tipo de sistema é utilizado em locais afastados que não possuem rede elétrica ou para atendimento de cargas isoladas uma vez que apresenta elevado custo de instalação, devido, sobretudo as baterias e impactando num *payback* maior. Eis alguns exemplos da utilização do sistema *off-grid*, de acordo com Shayani (2006):

- Eletrificação de comunidades em áreas remotas;
- Sistemas de navegação e boias oceânicas;
- Sistemas de bombeamento de água;
- Veículo de recreação;
- Sistemas de sinalização.

SISTEMA ISOLADO PARA O SISTEMINHA EMBRAPA

Conceitos básicos

A ideia principal desse trabalho concentra-se na instalação de um sistema fotovoltaico para alimentação elétrica, inicialmente, de uma bomba para circulação de água no tanque presente no Sisteminha Embrapa da Univasf. Além disso, a utilização de uma fonte de energia alternativa visa a sustentabilidade e responsabilidade socioambiental.

Nesse contexto, objetiva-se suprir, por 24 horas, através da geração fotovoltaica, o consumo de energia elétrica da bomba com especificações técnicas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Informações técnicas da bomba.

Marca/modelo	Tensão	Potência	Vazão
Sarlobetter/SB-2000	220 V	30 W	1950 L/h

Fonte: Os Autores.

Antes de definir o consumo efetivo de energia elétrica da bomba em questão, faz-se necessário apresentar alguns conceitos importantes. Segue algumas definições de acordo com Markus (2001).

Tensão Elétrica: diferença de potencial elétrico entre dois pontos, podendo ser simbolizada pelas letras V , U ou E , cuja unidade de medida é o Volt (V).

Corrente elétrica: movimento ordenado de elétrons em um condutor a partir de uma diferença de potencial elétrico. Simbolizada por i ou I . Também pode ser calculada como a variação de carga dQ (diferencial de carga) por meio de uma seção transversal ativa de um condutor durante um intervalo de tempo dt (diferencial de tempo), em segundos, sendo sua unidade de medida o Ampère (A).

Potência elétrica ativa: o conceito de potência elétrica P , está associado à quantidade de energia elétrica τ consumida/gerada, em um intervalo de tempo Δt , por um dispositivo elétrico. Matematicamente, têm-se as equações (1) e (2).

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} \quad (1)$$

Sendo:

P – Potência (W ou J/s);

τ – Energia (J);

Δt – Tempo (s).

$$P = V.I.\cos \varphi \quad (2)$$

V – Tensão (Volt);

I – Corrente elétrica (A);

$\cos \varphi$ – Fator de potência.

Da equação (1), tem-se que a energia elétrica pode ser definida por:

$$\tau = P.\Delta t \quad (3)$$

Essa equação acima é utilizada para cálculo do consumo de energia elétrica dos equipamentos.

Consumo de energia elétrica da bomba do Sisteminha Embrapa

Conforme apresentado anteriormente, pode-se estimar o consumo de energia elétrica da bomba utilizada. Com os dados da Tabela 1, o tempo de funcionamento e a equação (3), obteve-se a Tabela 2 com o respectivo consumo.

Tabela 2: Consumo de energia elétrica da bomba do Sisteminha Embrapa.

	Potência da bomba	Período de funcionamento	Consumo de Energia Elétrica Mensal
Bomba	30 W	24 horas/dia	21,6 kWh/mês

Fonte: Os Autores.

Equipamentos necessários para instalação do sistema fotovoltaico

Os equipamentos disponibilizados pela Universidade Federal do Vale do São Francisco para a instalação do sistema fotovoltaico autônomo estão listados na Tabela 3, assim como suas características principais. Logo em seguida é analisada a geração de energia elétrica do sistema para verificar se a energia elétrica gerada irá suprir a demanda da bomba.

Tabela 3: Componentes empregados no sistema fotovoltaico.

Painel Solar Fotovoltaico						
QTD	Marca/modelo	Potência	Tensão de circuito aberto	Tensão na máxima potência	Corrente de curto-circuito	Corrente na máxima potência
2	Kyocera Solar KD140SX-UFBS	140 W	22,1 V	17,7 V	8,68 A	7,91 A
Inversor de Frequência						
QTD	Marca/modelo	Potência nominal	Tensão CA de Saída	Tensão CC de Entrada	Corrente nominal de	

					saída	
1	Xantrex Prosine Sine/ Wave Inverter 1800i	1800 W	230 V +4%, -10%	10 - 16 V	10 A	
Controlador de Carga						
QTD	Marca/modelo	Tensão do sistema	Tensão de flutuação	Limite máximo de tensão	Corrente máxima dos módulos	Corrente máxima da carga
1	PHOCOS/CX40	12/24 V	13,7/27,4 V	40 V	40 A	40 A
Bateria						
QTD	Marca/Modelo	Capacidade da bateria (CBI)	Tensão de flutuação	Tensão		
2	FREEDON/Df4001	220 Ah	13,2 a 13,8 (25°C)	12 V		

Fonte: Os Autores.

Geração esperada pelo sistema fotovoltaico isolado do Siteminha Embrapa

Nesta seção são apresentados os cálculos referentes ao dimensionamento dos componentes do sistema fotovoltaico a partir do consumo de energia elétrica da bomba do Siteminha Embrapa. Logo após serão comparados os resultados encontrados com os equipamentos disponíveis. Nesse contexto, seguem as seguintes etapas:

- Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos;
- Dimensionamento das baterias;
- Dimensionamento do controlador de carga;
- Dimensionamento do inversor.

Antes do dimensionamento, é necessário apresentar a estimativa anual de irradiação solar no local de instalação do sistema fotovoltaico. Nesse caso, está apresentado abaixo, conforme a Tabela 4, os valores médios obtidos de irradiação solar para a cidade de Juazeiro-BA (Latitude: 9,4° S, Longitude: 40,449° O) de acordo com Cresesb (2019).

Tabela 4: Irradiação solar no o local de instalação do sistema.

Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]											
Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
6,39	6,12	6,03	5,24	4,77	4,53	4,75	5,48	6,23	6,3	6,49	6,37

Fonte: Os Autores.

Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Para dimensionamento dos painéis, leva-se em consideração o consumo de energia elétrica da bomba, conforme a Tabela 2, a irradiação solar de menor valor durante o ano, conforme a Tabela 4, e alguns fatores que influenciam no rendimento dos módulos. Com os

fatores descritos e a equação (4) é possível calcular a potência requerida dos painéis fotovoltaicos.

$$P_m = \frac{\tau_{ca}}{HSP \cdot RED_1 \cdot RED_2} \quad (4)$$

Sendo:

P_m - Potência total dos painéis fotovoltaicos (Wp);

τ_{ca} - Consumo diário de energia elétrica da bomba (Wh/dia);

HSP - Horas de Sol Pico por dia (Wh/m².dia). Foi utilizado para dimensionamento o valor crítico, ou seja, menor valor durante o ano.

RED_1 - Fator de redução da potência dos módulos, em relação ao seu valor nominal, englobando os efeitos de: perda por acumulo de sujeira; degradação ao longo do tempo de uso; tolerância de fabricação para menos; perdas por temperatura. A este fator RED_1 atribui-se por *default* o valor de 0,75 de acordo com Pinho & Galdino (2014).

RED_2 - Fator de redução da potência devido às perdas no sistema, incluindo fiação, controlador, diodos etc. A este valor recomenda-se como *default* o valor de 0,9, de acordo com Pinho e Galdino (2014).

Seguindo o procedimento acima e utilizando a equação (4), é possível calcular a potência nominal disponível das placas, de modo que esse valor está representado na Tabela 5.

Tabela 5: Potência nominal das placas necessária para abastecimento da bomba do Sisteminha Embrapa da UNIVASF.

τ_{ca}	720 Wh/dia
HSP	4,53 h/dia
RED_1	75%
RED_2	90%
P_m	235,47 Wp
Potência disponível pelos painéis	280 Wp

Fonte: Os Autores.

Dimensionamento das baterias

Para estimar a quantidade de energia a ser armazenada e o número de baterias que deve compor o banco, necessitou-se das informações contidas na Tabela 3 e do equacionamento a seguir conforme Pinho & Galdino (2014).

$$\tau_{cam} = \frac{\tau_{ca}}{\eta_{bateria} \cdot \eta_{inversor}} \quad (5)$$

$$CB_{C20} = \frac{\tau_{cam} \cdot N}{P_d} \quad (6)$$

$$CBI_{C20} = \frac{CB_{C20}}{V_{sit}} \quad (7)$$

Sendo:

τ_{cam} - Energia teórica consumida diariamente (Wh/dia);

$\eta_{bateria}$ - Eficiência global da bateria (%);

$\eta_{inversor}$ - Eficiência do inversor (%);

CB_{C20} - Capacidade do banco de baterias (Wh) para regime de descarga em 20 horas (C20)

CBI_{C20} - Respectiva capacidade do banco de bateria (Ah);

N - Número de dias de autonomia, geralmente entre 2 e 4 dias e, nunca menor que 2;

P_d - Máxima profundidade de descarga da bateria, considerando o período de autonomia. Os valores típicos de profundidade de descarga utilizados para as baterias de ciclo raso são entre 20 e 40 %, e para as de ciclo profundo, de 50 a 80%.

Vale destacar que, de acordo com o Inmetro (2011), os valores mínimos recomendados são: 86% para o $\eta_{bateria}$ e 85% para o $\eta_{inversor}$.

Seguindo o procedimento acima, é apresentado na Tabela 6 a capacidade de armazenamento do sistema fotovoltaico, bem como a energia teórica consumida como as eficiências do inversor, da bateria e o número de dias de autonomia empregados.

Tabela 6: Capacidade de armazenamento do sistema fotovoltaico.

τ_{ca}	720 Wh/dia
$\eta_{bateria}$	86%
$\eta_{inversor}$	85%
N	2 dias
P_d	50%
V_{sit}	12 V
CB_{C20}	3939,81 Wh
CBI_{C20}	328,32 Ah

Fonte: Os Autores.

Tendo obtido esses valores apresentados na Tabela 6, pode-se agora calcular o número de baterias em série e em paralelo que serão necessários para o sistema proposto através das equações (8) e (9), respectivamente.

$$N_{baterias-paralelo}^o = \frac{CBI_{C20}}{CBI_{bateria}} \quad (8)$$

Sendo:

$CBI_{bateria}$ - Capacidade da bateria selecionada (Ah);

$$N_{baterias-série}^o = \frac{V_{sis}}{V_{bat}} \quad (9)$$

Sendo:

V_{sis} - Tensão do sistema (V);

V_{bat} - Tensão da bateria (V).

Considerando os valores de $CBI_{bateria}$ e V_{bat} , conforme mostrado na Tabela 7, tem-se:

Tabela 7: Dimensionamento do sistema de armazenamento.

V_{sis}	12 V
V_{bat}	12 V
$CBI_{bateria}$	220 Ah
CBI_{C20}	328,32 Ah
Nº de baterias em paralelo	2
Nº de baterias em série	-
Total de baterias	2

Fonte: Os Autores.

Dimensionamento do controlador de carga

Para o dimensionamento do controlador deve-se analisar a corrente de curto-circuito do módulo, conforme a Tabela 3, juntamente com a tensão do arranjo, assim como características de carregamento das baterias, e compará-las com as características elétricas do controlador conforme Pinho e Galdino (2014). Seguem, na Tabela 8, as características técnicas necessárias.

Tabela 8: Características técnicas do controlador de carga do sistema.

Baterias	Tensão das baterias		
	12 V		
Arranjo fotovoltaico (2 módulos em série)	Tensão de circuito aberto	Corrente de curto-circuito	
	22,1 V	17,36 A	
Controlador de carga	Tensão máxima	Corrente máxima dos módulos	Tensão das Baterias
	40 V	20 A	12/24 V

Fonte: Os Autores.

De acordo com a tabela mostrada acima, percebe-se que existe coerência técnica entre os limites recomendados pelo fabricante do controlador e os módulos fotovoltaicos.

Dimensionamento do inversor

Para o dimensionamento deste equipamento é necessário conhecer as características técnicas do(s) inversor(es), e estas devem ser compatíveis com as características dos arranjos, do controlador e das baterias. A potência do inversor deve ser igual ou superior a demanda dos equipamentos a serem alimentados. Geralmente, utiliza-se para a potência do inversor um fator de segurança de 20% em relação à potência da carga, conforme Pinho e Galdino (2014). Seguem na Tabela 9, as respectivas características dos equipamentos, inclusive a do inversor empregado.

Tabela 9: Características técnicas do inversor disponível e dos outros equipamentos para uma análise comparativa.

Demanda	Potência total da bomba				
	30 W/220 V				
Arranjo dos módulos	Tensão de operação	Tensão de circuito aberto	Corrente em máxima potência	Corrente de curto circuito	
	35,4 V	44,2 V	7,91 A	8,68 A	
Baterias	Tensão de operação				
	12 V				
Inversor	Potência nominal	Máxima corrente CC	Tensão de Saída CA	Tensão de Entrada CC	Corrente nominal de saída
	1800 W	20 A	230 V +4%, -10%	10-16 V	10 A

Fonte: Os Autores.

Comparando as características percebe-se a coerência entre as grandezas elétrica e os equipamentos. No entanto, o inversor ficará superdimensionado com o propósito de posteriormente ampliar o sistema de bombeamento. Além disso, a bomba drena correntes elevadas na partida (5 a 8 vezes a corrente nominal). Ressalta-se também que este equipamento já tinha sido adquirido para outra aplicação pela instituição.

RESULTADOS

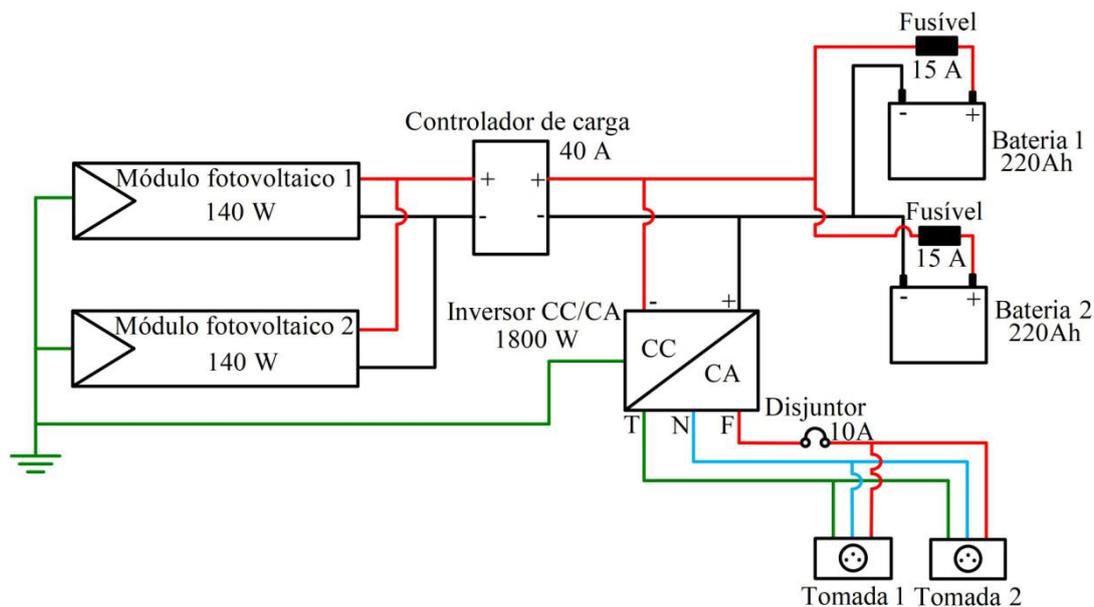
Partindo do princípio que através do dimensionamento citado anteriormente, os equipamentos disponíveis são capazes de suprir todo o consumo de energia elétrica da bomba em questão. São mostrados na sequência, os detalhes do sistema instalado, assim como as

grandezas elétricas aferidas com o sistema em funcionamento.

Com o objetivo de auxiliar a instalação e compreensão do sistema, foi elaborado o esquema elétrico através de diagrama de blocos, ilustrado na Figura 5, que mostra de forma representativa as ligações elétricas a serem realizadas na configuração do sistema.

Após a construção e fixação da estrutura de suporte do sistema fotovoltaico, foi realizada a instalação dos equipamentos elétricos, de acordo com o diagrama anterior. O sistema fotovoltaico, após todas as atividades de montagem, pode ser visualizado através da Figura 6, a qual ilustra todos os equipamentos e a estrutura de suporte construída de madeira, visando à redução de custos.

Figura 5: Diagrama de conexão do sistema fotovoltaico.



Fonte: Os Autores (2019).

Figura 6: Sistema fotovoltaico implementado.



Fonte: Os Autores (2019).

É possível verificar nas figuras acima a presença de apenas uma bateria, isto se deve ao fato de o Sisteminha Embrapa estar funcionando em apenas um tanque e, conseqüentemente, apenas uma bomba encontra-se em estado operacional, desta forma, uma única bateria atenderá à demanda. Posteriormente, o sistema será ampliado e então a segunda bateria será instalada assim como uma nova bomba, conforme diagrama mostrado anteriormente.

Após a instalação do sistema elétrico, várias grandezas elétricas foram aferidas durante seu funcionamento, com o intuito principal de compará-las com as informações técnicas presentes nos catálogos dos fabricantes (*datasheets*) dos equipamentos empregados e que foram apresentados na Tabela 3. Seguem na Tabela 10, todas as medidas possíveis que foram realizadas no sistema em operação. Tais grandezas foram obtidas a partir de leituras de multímetro e do *display* do inversor de frequência.

Tabela 10: Medidas elétricas realizadas com o sistema fotovoltaico em funcionamento

Equipamento	Grandeza elétrica	Valor
Módulos	Tensão de circuito aberto	19,3 V
	Tensão de operação	18,5 V
	Corrente de operação	6 A
Bateria	Tensão de flutuação	13,2 V
	Tensão de operação	12,4 V
Inversor	Tensão CA	231 V

Fonte: Os Autores

Analisando as medidas obtidas e comparando-as com aquelas especificadas na Tabela

3, percebe-se uma pequena discrepância entre elas. Tal fato é justificável, uma vez que todas as características técnicas informadas nos *datasheets* são parâmetros decorrentes dos testes em laboratório em que as condições operacionais são controladas. Algumas dessas grandezas, como por exemplo, a tensão de operação e a corrente de operação divergiram também devido ao fato de o sistema não estar operando com a carga nominal.

CONCLUSÃO

O projeto em questão foi dimensionado e instalado com êxito, sendo os equipamentos disponibilizados pela Univasf suficientes para alimentar a bomba de circulação de água do Sisteminha Embrapa. O sistema fotovoltaico isolado apesar de apresentar ainda um custo elevado é, indubitavelmente, a melhor opção para atender as comunidades mais afastadas que não possuem acesso à rede de energia elétrica.

Considerando um projeto para sistemas de produção integrada de grande porte que utilize a mesma ideia do Sisteminha Embrapa, o sistema isolado possuirá uma boa viabilidade econômica devido aos lucros mais significativos através da produção agrícola. Contudo, para o Sisteminha Embrapa aqui estudado, o sistema fotovoltaico isolado em sua forma completa tem um caráter experimental de ilustrar a viabilidade técnica e também servir de demonstração para a comunidade externa.

Vale ressaltar que o sistema utilizando apenas os módulos fotovoltaicos, controladores, baterias e bomba com alimentação CC, a viabilidade econômica aumenta significativamente para tal produção, uma vez que inversores possuem custos elevados. Neste contexto seria interessante o estudo de tais sistemas, podendo vir a ser abordado em trabalhos posteriores.

REFERÊNCIAS

BECQUEREL, A. E. **Mémoire Sur Les Effects Électriques Produits Sous L'Influence Des Rayons Solaires**, Compte Rendu des Séances de L'Académie des Sciences, Vol. 9, pp. 561-567, 1838.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A. **Análise de Custos dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid no Brasil**. ANAP Brasil, Vol. 8, Nº 12, p. 57-66, 2015.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, 2012**. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 20 de janeiro 2019.

CRESESB, **Potencial Solar - SunData v 3.0**, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (Cresesb), 2019, Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em 2 de fevereiro de 2019.

FREITAS, R. **Projeto Sistema Integrado para Produção de Alimentos representa Univasf no Prêmio Boa Agricultura 2018**. Portal Univasf, 2018. Disponível em:
<<http://portais.univasf.edu.br/noticias/projeto-sistema-integrado-para-producao-de-alimentosrepresenta-univasf-no-premio-bo-a-gricultura-2018>>. Acesso em 17 de janeiro de 2019.

GUILHERME, L. C. **Estudos Reprodutivos, Citogenéticos na População de Rhamdia Quelen (Pisces, Rhamdiidae) do Rio Uberabinha no Município de Uberlândia - MG e Desenvolvimento de Sistema Artesanal de Recirculação D'água para Criação de Peixes**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro, Portaria Nº 004, de 04 de janeiro de 2011, **Anexo - Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (Módulo, Controlador de Carga, Inversor e Bateria)**, Brasília-DF, 2011.

KINCHESCKI, G. F.; ALVES, R.; FERNANDES, T. R. T. **Tipos de Metodologias Adotadas nas Dissertações do Programa de Pós-Graduação em Administração Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, no período de 2012 a 2014**. XV Colóquio Internacional de Gestão Universitária, Mar del Prata-AR, 2015.

MARKUS, O. **Circuitos Elétricos - Corrente Contínua e Corrente Alternada**. Editora Érica, 2001.

MELO, L. S.; SIMÕES, M. C. S.; BRITO, N. S. D.; SOUZA, L. L.; MEDEIROS, M. V. B.; DINIZ D. S. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico para Alimentar um Sistema de Produção de Hidrogênio Eletrolítico**. VII CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado-RS, 2018.

PI 0606211-3 A. **Sistema Simplificado para Criação de Peixes e Cultivo Hidropônico com Recirculação de Água, Br N° PI 0606211-3 A em RPI 1962, 22 dez. 2006, 12 ago. 2008.**

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Cepel-Cresesb, Rio de Janeiro-RJ, 2014.

SAMPAIO NETO, A.; SANTOS, D. R. P.; SANTOS, E. R.; FIGUEIREDO, L. B. F.; SILVA, R. O. **Sistema Integrado para Produção de Alimentos Acessível e Sustentável (Sisteminha Embrapa)**, III Simpósio Nacional de Empreendedorismo Social Enactus Brasil, Fortaleza-CE, 2018.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia Usando Técnica MPPT e Controle Digital**. 2009. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2009.

SHAYANI, R. A. **Medição do Rendimento Global de um Sistema Fotovoltaico Isolado Utilizando Módulos de 32 Células**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**, 14. Ed., Editora Atlas, São Paulo-SP, 2013.

WEISS, Z. **Sisteminha Embrapa Adaptado em Flores de Goiás**, 2017, Disponível em: <<https://www.xapuri.info/agroecologia-2/sisteminha-embrapa-flores-goias/>>, Acesso em: 17 jan. 2019.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), **Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em: 20 de janeiro de 2019.