

ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO DE PEQUENO PORTE PARA REGIÕES SEMIÁRIDAS

Kennedy Flávio Meira de Lucena¹; Isabelle Nayara Alves Faustino Duarte²;
João Victor da Cunha Oliveira³; Yokiny Chanti Cordeiro Pessoa⁴

¹Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, kennedy.lucena@ifpb.edu.br

²Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, isabellenayara@outlook.com

³Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, joaovictorwo@gmail.com

⁴Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, yokiny@hotmail.com

Resumo: A Região semiárida do nordeste do brasileiro abrange aproximadamente 53% do seu território, onde vivem mais de 20 milhões de habitantes. As dificuldades que essa população enfrenta com a escassez hídrica são conhecidas há séculos e apesar de todo o desenvolvimento científico e tecnológico ainda são presenciados problemas na disponibilidade de água para os variados fins. O uso de energias renováveis tem se expandido no Brasil nos últimos anos, diversificando sua matriz energética que é essencialmente hidroelétrica. Nesse sentido, a energia fotovoltaica apresenta-se como uma fonte cada vez mais viável técnica, economicamente e ambientalmente. Este trabalho experimental foi realizado no Campus Campina Grande do IFPB, com Latitude: -7,24053 e Longitude: -35,915744 e altitude de 499 m. O trabalho objetivou a avaliação de um sistema de bombeamento fotovoltaico nos aspectos hidráulico e energético, e a análise de sua aplicabilidade no fornecimento de água, seja para o abastecimento humano, como para fins de produção de renda e subsistência com o plantio de milho. Em termos médios o sistema poderia bombear cerca de 3.240 L.dia⁻¹ nas condições locais. Com essa disponibilidade de água já seria viável o plantio de 600 m² de milho verde ou cerca de 2.400 plantas. Considerando o consumo humano, o volume disponibilizado poderia atender mais de 60 pessoas por dia, a um consumo por pessoa de 50 L. Considerando os custos de aquisição do sistema e seu potencial, pode-se comprovar sua capacidade de atender as necessidades hídricas de regiões semiáridas e, portanto, sua viabilidade técnica e econômica.

Palavras-chave: semiárido, recursos hídricos, energia solar fotovoltaica, bombeamento, abastecimento.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas foi verificado que o Brasil vem enfrentando uma diminuição da produção de energia pela fragilidade de seu sistema de geração, que possui uma matriz energética composta em mais de 65% por hidrelétricas. Impactos provocados pelas mudanças climáticas alteraram drasticamente o regime de chuvas, fenômeno este que vem acentuando os períodos de seca em nosso país, atrelado a este problema ambiental, ainda nos deparamos com a má gestão hídrica e o uso irracional da água o que contribui diretamente com a redução da capacidade de geração de energia. Aliando estes fatores ao crescimento econômico do país, o qual promoveu o crescimento da demanda energética, temos um cenário de instabilidade energética e hídrica no qual necessitamos desenvolver estudos e pesquisas que possibilitem a viabilidade técnica e econômica da utilização em maior escala de fontes renováveis de

(83) 3322.3222

contato@conadis.com.br

www.conadis.com.br

energia. Apesar de todo conhecimento tecnológico e da potencialidade das fontes alternativas de energia ainda não se tem a difusão necessária no Brasil para que os sistemas de energias renováveis sejam empregados abundantemente. A baixa eficiência, comparada com outras alternativas, e seu alto custo dificultam sua utilização em larga escala.

Na atualidade não podemos desassociar a eficiência energética da eficiência hídrica, não só pela nossa matriz energética, mas por sermos um país que possui longas extensões de terras destinadas a agricultura comercial que é responsável por cerca de 75% do consumo da água doce do país. É cada vez mais necessário o investimento em novas tecnologias, no gerenciamento e planejamento do uso energético e hídrico em todos os âmbitos: Agrícola, Industrial, Comercial e Habitacional Rural e Urbano.

O uso de águas pluviais e/ou águas subterrâneas tem sido uma alternativa para minimizar os problemas com a falta e/ou precariedade do abastecimento de água nas áreas rurais e urbanas, dependendo da disponibilidade e qualidade, também tem sido usada na produção agrícola, particularmente na irrigação. Em face desse uso temos o aumento do consumo de energia para o bombeamento de água e diante desse fato faz-se necessário a diversificação da fonte de energia para viabilizar a utilização desses recursos.

Dentre as alternativas de geração de energia, a solar constitui-se numa opção limpa e renovável de produção energética que vem aumentando sua eficiência e se tornando cada vez mais viável para usos em baixa e larga escala. Em face as suas inúmeras aplicabilidades e ao desenvolvimento de novos sistemas ela vem tornando-se confiável tecnicamente e viável economicamente.

Os sistemas de energia solar fotovoltaicos para bombeamento de água vêm sendo cada vez mais utilizados, os avanços tecnológicos que possibilitaram o desenvolvimento de bombas de corrente contínua mais potentes tornaram essa aplicação mais simples e economicamente rentáveis, possibilitando sua aplicação em diversas áreas, tais como: abastecimento residencial rural, irrigação na agricultura familiar, cultivo hidropônico, piscicultura, abastecimento em sistemas de criação de animais, sistemas de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, sistemas de reuso de águas cinzas residuais, sistemas de reuso de águas para limpeza de áreas comerciais e industriais, sistemas de irrigação em jardins, telhados e paredes verdes. Essas são algumas de muitas aplicações possíveis desse sistema.

A variedade de aplicações de bombeamento de água é considerável e podem variar amplamente, em ambos os seus requisitos e as condições sob as quais a água tem de ser

bombeada. O volume de água necessário, a capacidade da fonte de água, a profundidade a partir do qual a água é bombeada, estação do ano e tempo de bombeamento. No caso da utilização de bombas solares, a quantidade de radiação solar na localidade onde se pretende buscar a água é um fator importante na implantação desse tipo de sistemas de bombeamento. O bombeamento de água solar é feito em todo o mundo e aumenta muito a qualidade de vida das pessoas nas comunidades rurais e remotas. Um sistema de bombeamento de água solar não tem que usar baterias para fornecer a energia que a bomba irá operar durante o dia bombeando a água em um tanque para uso durante a noite.

Com o aumento da população mundial, cresce a pressão sobre os aumentos de abastecimento de água disponíveis. Esse cenário exige cada vez mais a busca por novas fontes de abastecimento em localidades mais próximas às comunidades. O uso de água subterrânea tem sido uma saída para abastecer as áreas rurais e, dependendo da disponibilidade e da qualidade, também tem sido usada na produção agrícola, particularmente na irrigação. No entanto, tem-se a real dificuldade de acesso à eletrificação dessas áreas distantes dos centros distribuidores de energia, o que afeta a exploração dos recursos hídricos subterrâneos, e nessas situações o uso da energia solar seria uma boa alternativa.

O bombeamento de água tem uma longa história e muitos métodos foram desenvolvidos. É possível utilizar uma variedade de fontes de energia, incluindo a humana, a animal, a eólica, a hídrica, a energia solar e os combustíveis fósseis. Os sistemas fotovoltaicos são fáceis de instalar, operar, são altamente confiáveis, duráveis, modulares e permitem futuras expansões.

Sistemas de bombeamento de água solar fotovoltaica são muito simples. Eles são constituídos por um painel solar fotovoltaico, um controlador, um motor, uma bomba e um reservatório. O uso de um reservatório opõe-se à necessidade de uma bateria. As instalações devem se segurar em dois aspectos: devem ser tão imune possível a eventos externos, como a queda de raio e perigo livre. Estes sistemas podem ser configurados de diferentes formas, dependendo do tipo de bomba empregado.

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar experimentalmente a capacidade de um sistema de bombeamento operado com energia solar fotovoltaica, no fornecimento de água para fins de abastecimento humano e com interesse agrícola.

REFERENCIAL TEÓRICO

Dependendo da necessidade física ou da versatilidade desejada nas instalações elevatórias, o projetista pode optar por conjuntos de bombas em série ou em paralelo. Quando

o problema é de altura elevada, geralmente a solução é o emprego de bombas em série, e quando se tem que trabalhar com maiores vazões, a associação em paralelo é a mais exequível. Teoricamente, entende-se que bombas em série somam alturas e bombas em paralelo somam vazões.

Bombas solares são recentes e são menos conhecidos, mas esses sistemas de bombeamento se apresentam como uma das aplicações mais interessantes e potencialmente rentáveis, utilizado para cobrir as necessidades de irrigação e de abastecimento de água potável, incluindo também a perspectiva de dessalinização (BEXIGA, 2014).

Devido a grande extensão territorial do Brasil, e o elevado número de comunidades sem acesso a luz elétrica, localizada em regiões distantes dos grandes centros, os sistemas fotovoltaicos empregados são, em sua grande maioria, sistemas autônomos de baixa potência, destinados principalmente à iluminação, refrigeração e bombeamento de água (IMHOFF, 2007).

Esses sistemas são eficientes, confiáveis, necessitam de pouca manutenção e resolvem o problema de abastecimento de água dessas comunidades com um custo relativamente baixo. Possibilitar com que comunidades carentes possam ser supridas de água potável, mesmo em propriedades rurais isoladas, envolve fornecer corretamente um sistema de bombeamento (LOPES JÚNIOR, 2005), que neste estudo, envolveu o sistema fotovoltaico como mecanismo promotor dessa prática social e ambiental.

Sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água geralmente não são utilizados baterias, pois o armazenamento é realizado em tanques. Nos casos em que o uso da água se faz necessário mesmo quando a energia do sol não está disponível, ou, para compensar os períodos de baixa irradiação solar, pode-se utilizar um tanque de armazenamento, que fará a distribuição da água por gravidade. O bombeamento de água utilizando energia solar é uma tecnologia em potencial em locais onde há disponibilidade abundante de irradiação solar (CRESESB, 2008). MOKEDDEM et al. (2011) investigaram o desempenho de um sistema de bombeamento de água fotovoltaica acoplado diretamente. O sistema compreendia um painel fotovoltaico de 1,5 kWp, um motor de corrente contínua e uma bomba centrífuga. O experimento foi realizado durante um período de quatro meses e o desempenho do sistema foi monitorado sob diferentes condições climáticas e variações de irradiação solar com duas configurações de carga estática. Embora a eficiência do conjunto motobomba não exceda 30%, esse tipo de sistema é aplicável para a irrigação de áreas remotas, não conectado à rede elétrica

e onde o acesso à água é prioritário. O sistema opera sem bateria e controle eletrônico, portanto, não só o custo inicial é baixo, mas também o de manutenção, reparação e substituição.

Sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água vem sendo estudados por pesquisadores há muitos anos (HAMIDAT et al., 2003). A maioria dos estudos se concentra em motores de corrente contínua com energia obtida a partir do painel solar.

Naturalmente, diferentes tamanhos de sistema solar e complexidade do projeto estão associados, dependendo da quantidade de energia necessária, dos tipos de bombas utilizadas e da exploração agrícola e da integração com a eletricidade da rede (UBERTINI; DESIDERI, 2003).

A maioria dos sistemas de bombeamento fotovoltaico instalados no Brasil não ultrapassa a potência de 2 kWp, com altura manométrica média por volta dos 60 m.c.a. e vazão inferior a 40 m³.dia⁻¹, embora esta tecnologia permita inúmeras possibilidades em termos de potência (FEDRIZZI e SAUER, 2002).

Kolling et al. (2004) avaliaram o comportamento de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água, sob diferentes condições de irradiação solar e submetido a diferentes alturas manométricas. O sistema foi composto de uma motobomba SHURFLO, modelo 2088, acionada por um painel fotovoltaico SOLARIS, modelo Ap6150, e as alturas manométricas empregadas foram 4, 7,5, 11, 13, 15 e 19 mca. Os autores concluíram que a potência gerada pelo painel e a vazão fornecida pela motobomba estão diretamente relacionadas à irradiação solar e à altura manométrica e influenciam na eficiência do sistema. A vazão média encontrada variou de 6,52 a 10,91 L.min⁻¹ e a máxima eficiência do painel foi de 8% para uma carga de bombeamento de 4 m, sendo que o sistema alcançou a eficiência global máxima de 2,3% para a condição de maior carga.

Michels et al. (2009) analisando um sistema de bombeamento de água alimentado por dois painéis fotovoltaicos, utilizando uma bomba do tipo diafragma alimentada por dois painéis de 56 W cada. A altura de elevação de água foi de 20 m. O sistema apresentou eficiência máxima de 9,58% no solstício de inverno e valor mínimo de 8,57% no solstício de verão. Para os autores a maior eficiência nos dias de inverno deve-se às temperaturas mais baixas que no verão e o fator que provocou a maior vazão de água bombeada nos dias de verão está diretamente relacionado ao tempo de insolação. O volume máximo de água bombeado pelo sistema estudado foi de 1.768 L.dia⁻¹.

Moreira (2009) avaliou o desempenho hidroenergético de sistemas de bombeamento de água acionados por energia solar fotovoltaica, utilizando painéis mono e policristalinos. Os

sistemas avaliados utilizaram bomba de superfície, modelo Shurflo 8000, e foram alimentados alternadamente por quatro pares de arranjos de painéis solares fotovoltaicos, sendo os painéis monocristalinos de 65 W cada e os policristalinos de 70 W cada. O volume médio diário de água bombeada pelos vários arranjos testados, durante quatro meses de experimento, variou entre 1.100 e 2.500 litros. Os sistemas com dois painéis monocristalinos apresentaram melhor desempenho, mas a utilização de apenas um painel policristalino pode ser uma solução econômica para consumos de até 1.500 L diários.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em campo e em Laboratório de instalações hidrossanitárias do curso de Construção de Edifícios do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Paraíba – IFPB, campus Campina Grande. O aparato experimental foi constituído por: a) reservatório de água de 500 L; b) um conjunto Motobomba Shurflo, modelo 8000-443-136 (Quadro 1, Figura 1); c) tubulação de PVC (mangueira, canos e conexões) de sucção e recalque; d) manômetro glicerinado; e Multímetro; f) Painel Solar Yingli YL140P (Figura 2).

Quadro 1 - Especificações técnicas da motobomba Shurflo.

Característica	Especificação Técnica
Modelo	8000-443-136
Motor	Ímã Permanente, P/N 11-111-00
Tipo de bomba	Deslocamento Positivo – 3 Câmaras de Diafragma
Voltagem Nominal	12 VCC
Corrente Nominal	7 A
Pressostato	Desligamento Ajustável (40-60 PSI)
Temperatura de líquido	77°C Max.
Válvula de segurança	Previne Fluxo Reverso
Sucção	De até 3,66 m Vertical
Recalque	Até 42m
Vazão Nominal	6,5 L.min ⁻¹
Pressão Nominal	4,13 x 10 ⁵ Pa
Massa	2,07 kg



Figura 1: Bomba de diafragma Shurflo.



Figura 2: Paine solar Yingli YL140P.

Inicialmente foi obtida a curva característica da bomba. Para obtenção de pontos de trabalho diferentes da bomba e construção da curva característica foi utilizado o procedimento de fechamento gradual do registro de gaveta, o que possibilitou a obtenção de valores vazão (Q) e altura total de bombeamento (H) verificada com manômetro glicerinado com precisão de 0,1 Bar. As vazões foram obtidas através do método direto com recipiente de 5L e três repetições para cada altura monométrica. Essa etapa foi realizada em laboratório do Campus.

O experimento de campo consistiu na irrigação, por gotejamento, de uma plantação de milho em uma área de 72 metros quadrados. Através do mesmo, foi avaliado o volume e pressão de água bombeada, tensão e corrente elétrica que alimentam a bomba contínua, bem como a variação de temperatura no painel solar. Procedeu-se a limpeza do terreno selecionado dentro do Campus, em seguida a preparação e adubação do solo (Figura 3) para o recebimento das sementes de milho (AG1051). Após a conclusão da plantação, foi implantado o sistema de irrigação por gotejamento, composto por uma linha principal e 15 linhas laterais espaçadas a cada 0,50 m, cada linha com emissores posicionados a cada 0,50 m (Figura 3).



Figura 3: Sistema de irrigação por tubo-gotejador.

O experimento foi desenvolvido no Campus Campina Grande do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, localizado no município de Campina Grande, Paraíba, com localização geográfica definida pelas coordenadas com Latitude: -7,24053 e Longitude: -35,915744 e altitude de aproximadamente 499 m. Uma parte do sistema hidráulico foi montado em uma estrutura metálica, com 5 m de altura, onde foi colocada uma caixa d'água de 500 L. Na Figura 4 tem-se o layout do experimento com seus componentes.

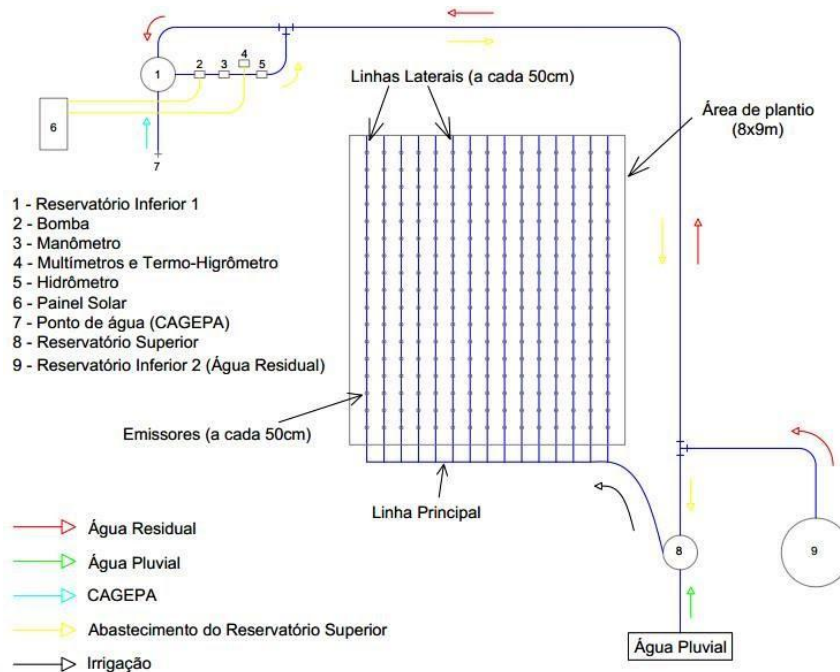


Figura 4: Layout do experimento de campo.

Para a sucção e recalque da água, do reservatório inferior 1 para o reservatório superior, foram utilizados mangueiras e conexões de poliuretano de 1/2". O processo de irrigação consiste na utilização da água do reservatório superior que vai por gravidade por um tubo de PVC de 32 mm que está interligado por uma redução para 1/2" com o tubo flexível

(83) 3322.3222

contato@conadis.com.br

www.conadis.com.br

da linha principal da irrigação onde estão ligadas as mangueiras de gotejamento com espaçamento de 50 cm entre gotejadores e dispostas com espaçamento de 50 cm entre leiras em uma área com dimensões 8x9m.

O sistema foi concebido para que tivesse ênfase também no uso racional de água, desse modo, no experimento podiam ser utilizadas três fontes de águas: água do sistema de abastecimento da concessionária local, água de chuva captada a partir da cobertura do auditório do IFPB - Campus Campina Grande e água de reuso provinda do descarte no processo de destilação de água no laboratório de química do Campus.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 tem-se a curva característica da bomba obtida em laboratório. Pode-se observar que a mesma tem capacidade de bombeamento de até $6,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ para altura de elevação nula e tensão de 12 V. Com o aumento de elevação para 35 m.c.a sua vazão foi de $5,2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ na mesma tensão. Uma característica importante da mesma é que a vazão tem pouca variação para pressões de 0 a 35 m.c.a.

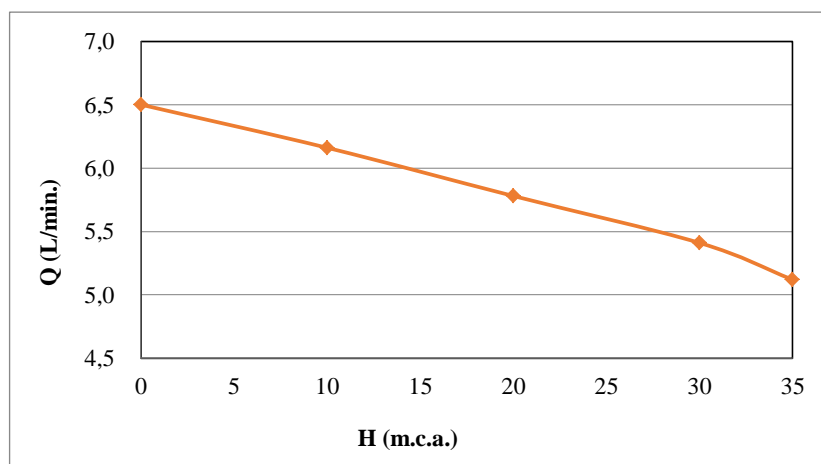


Figura 5: Curva característica da bomba.

Foi verificado que a bomba trabalhando a uma pressão de 5 mca, o sistema consegue alcançar total enchimento do reservatório superior (500 L) em aproximadamente 50 min nos dias ensolarados e com céu limpo, ou seja, uma vazão de $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Com uma medição manual realizada entre as 8 horas da manhã e as 16 horas em um dia ensolarado e dados sendo coletados a cada 5 minutos, foram encontrados valores médios para tensão (14,92 V), corrente (4,22 A), temperatura no painel (55° C), umidade (51,81%), pressão (5,2 mca) e vazão ($5,64 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, cerca de $2.707,2 \text{ L}\cdot\text{dia}^{-1}$), atingindo os melhores índices durante nos horários das 8 h às 10 h e de 13 h às 14 h.

A irrigação do milho foi realizada de formas, inicialmente a água era bombeada para o reservatório superior de 500 L e quando o mesmo estava cheio a água era liberada por gravidade para o sistema de irrigação. Com o desenvolvimento das plantas o bombeamento passou a ser realizado diretamente para o sistema e para a caixa d'água superior, assim no momento de céu nublado com a bomba sem energia suficiente o sistema era alimentado pela caixa d'água. Na Figura 6 tem-se o plantio em diferentes fases de desenvolvimento. Em termos de suprimento de água pode-se observar que o sistema tem condições de atender áreas irrigadas bem superiores à do experimento, quando forem usados sistemas de baixo consumo de água com o de gotejamento.



Figura 6: Plantio aos 30 dias e aos 60 dias.

O painel permitiu obter tensões acima de 19,5V em alguns períodos do dia e, conseqüentemente, vazões superiores às obtidas com a tensão nominal de 12 V. Sem o uso de baterias há uma grande variação de tensões ao longo do dia afetando a capacidade de produção da bomba. Em termos médios o sistema poderia bombear cerca de 3.120 L.dia⁻¹ nas condições locais. Com essa disponibilidade de água já seria viável o plantio de 600 m² de milho verde ou cerca de 2.400 plantas. Considerando o consumo humano, o volume disponibilizado poderia atender mais de 60 pessoas por dia, a um consumo por pessoa de 50 L. Considerando os custos de aquisição do sistema e seu potencial, pode-se comprovar sua capacidade de atender as necessidades hídricas de regiões semiáridas e, portanto, sua viabilidade técnica e econômica.

CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que o sistema de bombeamento fotovoltaico testado apresenta um amplo potencial de aplicações práticas com baixo consumo energético e baixo custo. A

bomba fornece vazões acima de $5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ em uma ampla faixa de alturas manométricas entre 0 e 35 m.c.a). Embora haja uma variação contínua da vazão e pressão fornecidas pela bomba em função da variação da irradiação solar, o volume bombeado permite superar o volume de 3.000 L por dia. O sistema apresenta robustez e simplicidade de implantação e operação, permitindo seu uso em diversas situações, como por exemplo, em áreas sem acesso a energia elétrica e em práticas com baixo consumo energético como na utilização em um sistema de irrigação por gotejamento.

REFERÊNCIAS

- BEXIGA, M. I. C. **Photovoltaic Powered Water Pumping Systems: Design and optimization of an irrigation system.** Lisboa, UL, 2014. 63f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente).
- CRESESB/CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito; Grupo de trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: 2008. 206p.
- FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. **Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos.** Encontro de Energia no Meio Rural, an. 4, 2002.
- HAMIDAT, A.; BENYOUCEF, B.; HARTANI, T. **Small-scale irrigate on with photovoltaic water pumping system in Sahara regions.** Renew Energy, V. 28. 2003, p. 1081–1096.
- IMHOFF, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos.** Santa Maria: UFSM, 2007. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica).
- KOLLING, E. M. et al. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527-535, set./dez. 2004.
- LOPEZ JÚNIOR, A. P. **A energia solar fotovoltaica utilizada em bombeamento de água – aplicações e perspectivas.** Lavras: UFLA, 2005. 25f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia).
- MICHELS, R. N. et al. **Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.3, p.370-379, jul./set. 2009.
- MOKEDDEM, A.; MIDOUN, A. KADRI, D.; HIADSI, S.; RAJA, I. A. **Performance of a directly-coupled PV water pumping system.** Energy Conversion and Management. v. 52. 2011. p. 3089-3095.

MOREIRA, C. A. M. Avaliação do desempenho hidroenergético de sistemas fotovoltaicos utilizados no bombeamento de água. 2009. 129 p. [Dissertação Mestrado] Energia na Agricultura. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/ Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2009.

UBERTINI, S.; DESIDERI, U. Performance estimation and experimental measurements of a photovoltaic roof. Renewable Energy, V. 28. 2003, p. 1833–1850.