

ANÁLISE DA VAZÃO E EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE MOTOBOMBA ACIONADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Paulo Takashi Oyama - e-mail paulooyama@gmail.com

Físico, M. Sc, UTFPR, Medianeira-Pr

Reinaldo Prandini Ricieri - e-mail ricieri@unioeste.br

Físico, Prof. Dr, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Depto de Engenharia Agrícola, Unioeste/Cascavel-Pr

Maria Cristina Rodrigues Halmeman - e-mail cristhalmeman@gmail.com

Engenheira de Produção Agroindustrial, M.sc., doutoranda Unesp/Bocucatu-SP.

Edward Kavanagh - e-mail kavanagh@utfpr.edu.br

Físico, M.sc., UTFPR, Medianeira-PR

Estor Gnoatto - e-mail gnoatto@utfpr.edu.br

M. Sc, Engenheiro Agrícola, UTFPR-Medianeira-Pr

Paulo Job Brenneisen - E-mail brenneisen@utfpr.edu.br

Bacharel em Informática, UTFPR-Medianeira-Pr

Resumo. *Pelo alto custo da ligação da eletricidade para localidades distantes das redes convencionais, a energia solar fotovoltaica tem ampla utilização em iluminação pública, bombeamento de água, postos de saúde, etc. Com intuito de contribuir para um melhor aproveitamento desse tipo de energia, este projeto objetiva analisar a vazão e a eficiência de uma motobomba acionada por painéis fotovoltaicos, para recalque de água, coletando-se dados para alturas escalonadas em 2 metros de 2,2 metros a 18,2 metros. Dados mostram uma vazão média máxima de $1,53248 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e eficiência máxima de 23,338% para um recalque de 18,2 m. Este estudo faz parte de um projeto em desenvolvimento na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus de Medianeira-Pr.. Utilizou-se dois painéis fotovoltaicos da Marca Solarex, modelo MSX 56, uma motobomba, fabricante Shurflo Ltd, modelo 2088-732, dois piranômetros da KIPP & ZONEN CM3, um termopar tipo K, transdutor de pressão modelo HUBA-510, um transdutor de vazão.*

Palavras-chave: Motobomba; vazão; eficiência

1. Introdução

O aumento das preocupações, a nível internacional, com a questão ambiental, em particular com a possibilidade de aquecimento global, causado pela acumulação de CO₂ na atmosfera, tem ajudado a convencer, mais e mais, de que as tecnologias que não emitem dióxido de carbono devam ocupar um papel fundamental nas futuras estratégias para a produção e uso de energia. Tudo indica que, no futuro, a tecnologia fotovoltaica irá melhorar a eficiência das células fotovoltaicas e reduzir preços via aumento da eficiência e fator de escala.

Os estudos de Fedrizzi (2002) atestam para a necessidade de solucionar um dos problemas mais preocupantes enfrentados por um contingente expressivo de desfavorecidos. Por viverem, de alguma forma, isolados, não têm acesso à energia elétrica. Essa carência energética atinge a saúde dessas pessoas, no que se refere ao acesso à água para consumo em maior quantidade e, principalmente, de melhor qualidade.

Contribuindo para essa reflexão, Gnoatto (2003) afirma que o Brasil, em locais distantes das redes de distribuição convencional de energia elétrica, há uma infinidade de pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica de energia, principalmente em comunidades rurais no Norte e Nordeste. Pelos dados da ANEEL (2005), tais projetos atuam basicamente com quatro tipos de sistemas: I) bombeamento de água, para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura; II) iluminação pública; III) sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários; IV) atendimento domiciliar.

O Brasil é um país de clima tipicamente tropical, com 92% do território localizado acima do trópico de Capricórnio, fator este que o torna privilegiado em relação à disponibilidade de energia solar. Ainda assim, muitas regiões não são abastecidas por rede elétrica, têm, as bombas manuais como umas das opções mais utilizadas, para a captação de água, principalmente para o consumo humano.

Ao se analisar a potência dos sistemas diesel, na produção ainda que de menor porte e utilizados em pequenas comunidades, verifica-se que o custo da energia produzida é alto para atender a demanda, e seu funcionamento em potência parcial os torna pouco eficientes, além das exigências de uma adequada manutenção em termos de frequência e custo, razão pela qual esses sistemas, muitas vezes, estão aquém das possibilidades dessas comunidades.

De acordo com Michels (2007), uma das saídas é o uso de sistemas fotovoltaicos para o bombeamento de água, pois, além de se constituir uma fonte limpa, sem ruídos e sem peças móveis para a manutenção, possuem uma característica única na relação natural entre a disponibilidade de energia solar e a demanda de água. Esses sistemas geralmente não demandam baterias de acumuladores e a energia gerada nos painéis em corrente contínua é convertida de um inversor estático para corrente alternada que alimenta a bomba; ou é utilizada diretamente em corrente contínua, necessitando, assim, de uma bomba que funcione com essa corrente. Melo (2004) atesta que as bombas solares são úteis para demanda mediana de água, para povoados de 100 a 1000 habitantes, e para atendimento de necessidades agrícolas moderadas.

Pelos estudos de Kolling (2001), a eficiência de uma motobomba aumenta de acordo com o aumento da altura de recalque da água, no entanto a vazão diminui com o aumento da carga. Partindo desse princípio, buscou-se avaliar a vazão e a eficiência de uma motobomba, alimentada por dois painéis fotovoltaicos, em relação à altura manométrica e à radiação solar global.

2. Material e métodos

Este estudo faz parte de um projeto que está sendo desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus de Medianeira, situada na Av Brasil, nº 4232, Medianeira, estado do Paraná. O município está localizado com 25°17'43" latitude sul, 54°05'38" longitude oeste, altitude de 500,7 metros.

Utilizou-se dois painéis fotovoltaicos da Marca Solarex, modelo MSX 56 em paralelo, uma motobomba do fabricante Shurflo Ltd, modelo 2088-732- com funcionamento de tensão próxima de 12Vdc, alimentada pelos dois painéis fotovoltaicos e bombeando água a alturas escalonadas de 2 em 2 metros, até atingir um máximo de 18,2 metros.

Para obtenção dos dados da irradiância solar global no plano dos painéis, foi instalado junto aos mesmos, um piranômetro da KIPP & ZONEN CM3 que capta os dados dessa irradiação incidente aos painéis fotovoltaicos. Um outro piranômetro KIPP & ZONEN CM3 foi instalado no plano horizontal para obtenção da irradiância global nesse plano. Um termopar tipo K conectado aos painéis, instalado na parte de traz dos mesmos, fornece a sua temperatura. Um transdutor de pressão modelo HUBA-510, faixa de medição 0 a 5 Bar, sinal de saída 4-20 mA, tensão de excitação 8 a 33 V; instalado ao nível da bomba forneceu dados manométricos do sistema em condições de funcionamento. Para tal, fez-se uso de um resistor de 100 ohms com 1% de precisão ligado em série com o transdutor. Um transdutor de vazão foi construído a partir de um hidrômetro adaptando um encoder com 8 furos e um sensor emissor-receptor com finalidade de, através dos pulsos, coletar dados da vazão fornecida pela motobomba em funcionamento. O medidor de vazão fabricante Lao tipo turbina, classe 0,1 foi instalado com finalidade de fornecer a quantidade total de água bombeada.

Os dados da tensão e corrente da motobomba, temperatura dos painéis, irradiância no plano dos painéis, irradiância no plano horizontal, tensão nos painéis, dados do transdutor de pressão, transdutor de vazão e vazão da motobomba, foram coletados num intervalo de 5 segundos, sendo armazenados a média de 5 minutos. A coleta teve início no dia 06 de setembro de 2007, e para cada altura manométrica de recalque foram coletados dados no intervalo de 7 dias.

3. Resultados e discussão

3.1 Vazão

Foram coletados os dados da vazão da motobomba relativo às alturas propostas, no período de sete dias ininterruptos, razão pela qual as horas de trabalho de cada período de recalque de água diferem umas das outras. A análise do gráfico da vazão em função da irradiância no plano dos painéis estão representados na Fig. 1. Os dados foram coletados entre os dias 8 e 14 de setembro de 2007, para uma altura de recalque de 2,2 metros e mostram que a motobomba teve início de funcionamento com uma irradiância mínima de $267,7 \text{ Wm}^{-2}$, e uma vazão máxima de $2,083 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, recalcando no período um total de $20,96431 \text{ m}^3$, com uma média de $1,53248 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Na Fig. 1, pode-se verificar o comportamento da vazão da motobomba em função da irradiância solar, para uma altura de recalque de 2,2 metros.

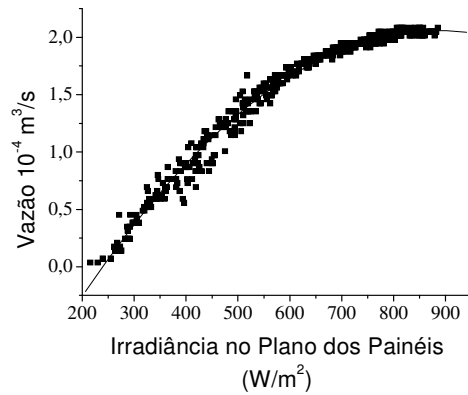


Figura 1: Vazão da motobomba em função da Irradiância no plano dos Painéis

O gráfico obedece à Eq. (1). A ação foi repetida para todas as alturas propostas, resultando a Tab. 1 e 2.

$$V = -1,816 \cdot 10^{-4} + 8,760 \cdot 10^{-7} I - 4,953 \cdot 10^{-10} I^2 \quad R^2 = 0,985 \quad (1)$$

Onde, V=vazão (m^3s^{-1}), I=Irradiância no plano dos painéis (Wm^{-2}).

Tabela 1: Mapa do funcionamento da motobomba em condições reais.

| Altura de recalque (m) | Irradiação mínima para acionar a bomba (Wm^{-2}) | Irradiação máxima do período (Wm^{-2}) | Tempo de funcionamento da motobomba no período (segundos) | Vazão média da motobomba ($10^{-4} m^3 s^{-1}$) | Volume total recalcado no período (m^3) |
|------------------------|--|--|---|---|---|
| 2,2 | 267,7 | 879 | $1,368 \cdot 10^3$ | 1,53248 | 20,96431 |
| 4,2 | 256,2 | 1227 | $1,536 \cdot 10^3$ | 1,33384 | 20,48774 |
| 6,2 | 356,6 | 1072 | $1,659 \cdot 10^3$ | 1,37292 | 22,77675 |
| 8,2 | 401,1 | 1499 | $1,074 \cdot 10^3$ | 1,19622 | 12,84737 |
| 10,2 | 447,4 | 1329 | $2,401 \cdot 10^3$ | 1,08394 | 11,96674 |
| 12,2 | 487,4 | 1148 | $1,053 \cdot 10^3$ | 1,22049 | 12,85173 |
| 14,2 | 540,9 | 1267 | $1,500 \cdot 10^3$ | 1,22824 | 18,42353 |
| 16,2 | 544,2 | 1389 | $1,083 \cdot 10^3$ | 1,12910 | 12,22819 |
| 18,2 | 548,4 | 1124 | $1,104 \cdot 10^3$ | 1,01486 | 11,20399 |

A Tab. 1 mostra que a irradiância mínima necessária para acionamento da motobomba torna-se maior conforme o aumento da altura de recalque. Enquanto a irradiância necessária para o acionamento da motobomba ascende, a vazão média da motobomba decresce.

A Fig. 2 mostra a relação linear da variação da vazão média horária de água em relação às alturas de recalque propostas no experimento.

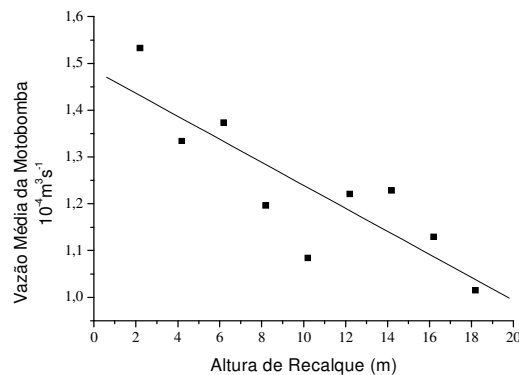


Figura 2. Relação entre a vazão horária e à altura de recalque

A vazão média decresce na conforme a Eq. (2).

$$V_M = 1,485 \cdot 10^{-4} - 2,458 H \quad R^2 = 0,848 \quad (2)$$

Onde, V_M =vazão média ($m^3 s^{-1}$), H =altura de recalque da água (m).

Tabela 2 Altura de recalque, equação da variação da vazão em relação a irradiância.

| Altura de recalque | Equação da Vazão em função da Irradiância | R^2 |
|--------------------|--|-------|
| 2,2 | $V = -1,816 + 8,762 \cdot 10^{-7} I - 4,953 \cdot 10^{-10} I^2$ | 0,985 |
| 4,2 | $V = -1,825 \cdot 10^{-4} + 7,210 \cdot 10^{-7} I - 3,265 \cdot 10^{-10} I^2$ | 0,979 |
| 6,2 | $V = -2,646 \cdot 10^{-4} + 9,148 \cdot 10^{-7} I - 4,589 \cdot 10^{-10} I^2$ | 0,981 |
| 8,2 | $V = -3,165 \cdot 10^{-4} + 1,084 \cdot 10^{-6} I - 7,885 \cdot 10^{-10} I^2 + 1,922 \cdot 10^{-13} I^3$ | 0,976 |
| 10,2 | $V = -4,060 \cdot 10^{-4} + 1,300 \cdot 10^{-6} I - 9,694 \cdot 10^{-10} I^2 + 2,439 \cdot 10^{-13} I^3$ | 0,949 |
| 12,2 | $V = -4,143 \cdot 10^{-4} + 1,105 \cdot 10^{-6} I - 5,265 \cdot 10^{-10} I^2$ | 0,982 |
| 14,2 | $V = -4,229 \cdot 10^{-4} + 1,035 \cdot 10^{-6} I - 4,586 \cdot 10^{-10} I^2$ | 0,938 |
| 16,2 | $V = -4,541 \cdot 10^{-4} + 1,028 \cdot 10^{-6} I - 4,266 \cdot 10^{-10} I^2$ | 0,957 |
| 18,2 | $V = 2,738 \cdot 10^{-7} - 6,263 \cdot 10^{-7} I + 1,516 \cdot 10^{-9} I^2 - 7,581 \cdot 10^{-13} I^3$ | 0,948 |

Onde V =vazão ($m^3 s^{-1}$), I =Irradiância no plano dos painéis (Wm^{-2}).

A Tab. 2 relaciona as equações da vazão em função da irradiância, de acordo com a altura de recalque da água.

Verifica-se na Fig. 3 que, quanto maior a altura de recalque, maior é a necessidade de irradiância solar incidente nos painéis para dar o princípio de funcionamento da motobomba, que permanece pressionada pela coluna de água nos tubos após a última parada.

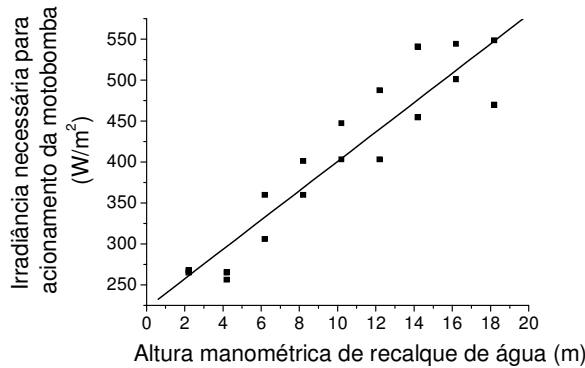


Figura 3. Relação entre altura de recalque e irradiância solar para acionamento da motobomba.

O gráfico elaborado através dos dados calculados da irradiância para acionamento da motobomba em relação à altura de recalque obedece à Eq. (3).

$$I_r = 221,559 + 17,932 H \quad (R^2 = 0,934) \quad (3)$$

Onde, I_{AB} =Irradiância para acionamento da motobomba (Wm^{-2}), H = altura de recalque da água (m).

3.2 Eficiência

O cálculo da eficiência, utilizando os dados coletados referentes à altura de recalque de 2,2 metros, está representado pelo gráfico da Fig. 4. A eficiência da motobomba para esta altura se estabilizou a uma irradiância solar de $640 Wm^{-2}$, tendo uma eficiência máxima de 6,59 %. Para valores de irradiação solar maiores ao da estabilização, a vazão da motobomba aumenta, conforme a Eq. 1. No entanto, a sua eficiência permanece praticamente inalterada.

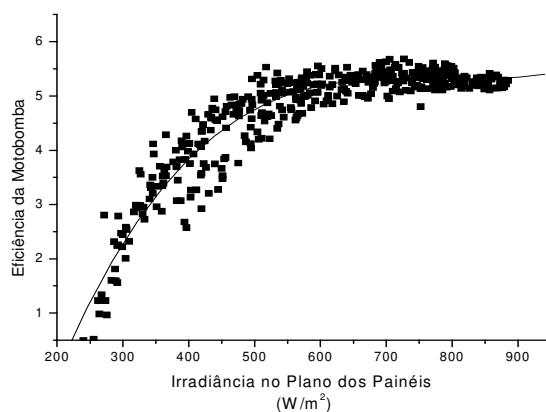


Figura 4. Eficiência da motobomba em função da irradiância solar

A Fig. 4 representa o gráfico da eficiência da motobomba em relação à irradiância solar segundo a Eq. (4).

$$E = -7,995 + 0,052 I - 6,65 \cdot 10^{-5} I^2 + 2,846 \cdot 10^{-8} I^3, \quad (R^2 = 0,905), \quad (4)$$

Onde, E= Eficiência (%), I= Irradiância no plano dos painéis (W/m²)

Tomando-se os dados do experimento, deu origem ao gráfico da Fig. 5, da eficiência do sistema de bombeamento de água em função da altura de recalque

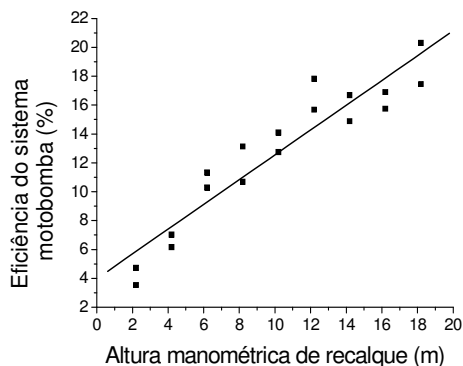


Figura 5. Gráfico da eficiência do sistema motobomba em função da altura de recalque.

A eficiência do sistema aumenta linearmente com a altura de recalque de água.

$$EfS = 3,974 + 0,858 H - \quad (R^2 = 0,941) \quad (5)$$

Os cálculos foram estendidos a todas as alturas de recalque propostas, originando a Tab. 3, que mostra todas as situações encontradas e analisadas. Os dados apresentados confirmam os estudos de Kolling (2001) no que se refere ao aumento da eficiência relacionada com o aumento da altura de recalque da motobomba.

Tabela 3. Relação entre a altura de recalque e Estabilização da Eficiência e Eficiência Máxima

| Altura de recalque (m) | Valor da Irradiância para Estabilização da Eficiência da motobomba (W/m ²) | Eficiência Máxima (%) |
|------------------------|--|-----------------------|
| 2,20 | 640 | 6,593 |
| 4,20 | 670 | 11,409 |
| 6,20 | 825 | 12,807 |
| 8,20 | 850 | 15,464 |
| 10,20 | 875 | 18,945 |
| 12,20 | 900 | 20,374 |
| 14,20 | 950 | 22,459 |
| 16,20 | 1000 | 24,264 |
| 18,20 | 1025 | 23,338 |

A estabilização da eficiência do sistema de bombeamento de água se dá proporcionalmente à altura de recalque, e a eficiência máxima se comporta da mesma maneira, conforme a Tab. 3.

Kolling (2001), observou um máximo de eficiência da motobomba em 39% , Shoulz et al (1998) 33% e LAZNIER E ANG (1990), 34%.

4. Conclusões

- A maior vazão horária foi obtida para a menor altura de recalque, sendo $1,532.10^{-4} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em média, para 2,2 metros de altura, com o decréscimo dos valores à medida que a altura de recalque foi aumentada, chegando a $1,015.10^{-4} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para 18,2 metros;
- A vazão média da motobomba diminuiu com o aumento da altura de recalque, de acordo com a função $V_M = 1,485.10^{-4} - 2,458 H$. $R^2 = 0,848$, onde V = vazão (m^3s^{-1}) e H = altura de recalque (m);
- Constatou-se que os valores de irradiância mínima necessários para acionar o sistema de bombeamento foram correspondentes a $267,7 \text{ W m}^{-2}$ para 2,2 metros e $584,4 \text{ W m}^{-2}$ para uma altura de 18,2 metros;
- A eficiência do sistema de bombeamento teve um valor de irradiância solar para estabilização de 640 W m^{-2} para uma altura de 2,2 metros e 1025 W m^{-2} para uma altura de 18,2 metros;
- A eficiência do sistema de bombeamento teve um maior valor para alturas maiores, sendo de 6,593 % para 2,2 metros e 23,338% para uma altura de 18,2 metros;

REFERÊNCIAS

- ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2ª ed. Brasília, 2005 m 243 p.
- Fedrizzi, M; C. Zilles, R.2002 **Projeto para implantação de sistema fotovoltaico para uso comunitário na reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá, CNPq/PTU.**
- Gnoatto, E. 2003, **Desempenho de painel fotovoltaico para geração de energia elétrica na região de Cascavel.** Cascavel/PR, Tese de Mestrado Universidade do Oeste do Paraná, UNIOESTE.
- Kolling, E.M.; Souza; S.N.M.; Ricieri, R.P.; Sampaio, S.C.; Dallacort, R.2004, **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água** Engenharia Agrícola, vol 24 n° 3 Jaboticabal, Sept/Dec.
- Lasnier, F.; Ang, T. G.1990, **Photovoltaic engineering handbook.** USA-new York: 1990
- Melo, R. O.2004, **Condicionamento de potência de uma motobomba em um sistema de bombeamento fotovoltaico através de um conversor de frequência.,** Dissertação de mestrado na Universidade Federal de Pernambuco – Pe.
- Michels, R.N.2007, **Avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos.** Dissertação de mestrado , UNIOESTE – PR, Cascavel – Pr 2007.
- Scholz, V. et al.1998, **Untersuchungen zum einsatz von solarbetriebenen pumpensystemen in der landwirtschaft.** Alemanha-Bornim: Ed Potsdam. 120p.

ANALYSIS OF WATER FLOW AND EFFICIENCY OF MOTOR PUMP SYSTEM POWERED BY PHOTOVOLTAIC PANELS

Abstract: *Because of the high cost of electricity connection to distant places to conventional nets, the solar energy photovoltaic has a full utilization in public illumination, the water pumping, health center, etc. With the purpose to contribute to a better utilization in this type of energy, this project has as objective to analyze the water flow and the efficiency of a motor pump operating by photovoltaic panels to water base collecting the data to scheduled heights in 2 meters from 2.2 meters to 18.2 meters. The data show a medium water flow maximum $1.53248.10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ maximum efficiency of 23.338% to a help of 18.2m. This study is a part of a developing project at “Universidade Tecnológica Federal do Paraná” (UTFPR) – Medianeira Campus-PR. Using two photovoltaic panels of Solarex Brand, model MSX 56, and a motor pump made by Shurflo Ltd, model 2088-732, two pyranometers of KIPP & ZONEN CM3, a thermopar type K, a pressure transducer model HUBA-510, a water flow transducer.*

KEY WORDS: *Motor pump; water flow; efficiency.*