

CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA E MOTOBOMBAS NACIONAIS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO

Maria Cristina Fedrizzi¹ – fedrizzi@iee.usp.br

Alaan Ubaiera Brito² – aubrito@unifap.br

Teddy Arturo Melendez¹ – tmelendez@iee.usp.br

Roberto Zilles¹ – zilles@iee.usp.br

¹ Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos - LSF

² Universidade Federal do Amapá, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. O trabalho apresenta alguns dos resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto denominado “Condicionamento de potência em sistemas fotovoltaicos de bombeamento”, contemplado pelo Edital MCT/FINEP CT-Energ - Energias Renováveis – 01/2006. O projeto foi executado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo com interveniência da SOLARIS Tecnologia Fotovoltaica e da WEG Automação. As atividades e desenvolvimentos realizados tiveram como objetivo central reduzir a dependência de equipamentos importados no condicionamento de potência de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, particularmente para sistemas destinados a pequenas atividades produtivas no meio rural; micro irrigação e fornecimento de água para criação animal. Para isso, foram desenvolvidas e testadas configurações usando conversores de frequência e motobombas centrífugas nacionais com potências entre 0,5 e 2 CV.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico, bombeamento de água, conversor de frequência.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que desde 1981 mais de 3.500 sistemas de bombeamento fotovoltaico tenham sido instalados no Brasil, sendo a maioria para uso comunitário. O Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, PRODEEM, adquiriu 2.485 sistemas fotovoltaicos de bombeamento totalizando 1,23 MWp de potência (MME/PRODEEM, 2001; Galdino e Lima, 2002). Apesar do número expressivo de sistemas instalados no país, grande parte deles encontra-se desativado, o que vem a colocar a tecnologia de bombeamento fotovoltaico em descrédito. Uma das causas deste cenário reside no fato de serem equipamentos importados de difícil aquisição no mercado nacional, tornando a manutenção e a reposição de peças um processo lento e caro. Acrescenta-se a este cenário a não realização da revitalização dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento como previsto no Plano de Revitalização e Capacitação do PRODEEM (Leonelli et al., 2005).

Apesar de se visualizar um panorama promissor no crescimento do bombeamento fotovoltaico, particularmente para o uso em aplicações produtivas no meio rural, uma análise da real situação de projetos no campo apresenta a ocorrência de inúmeros problemas que podem comprometer sua difusão. Consta-se que grande parte dos problemas não ocorre com o equipamento estritamente solar, o gerador fotovoltaico, mas com outros elementos do sistema, como as motobombas e o condicionamento de potência (Malbranch, 1994; Fedrizzi e Zilles, 1999; Narvarte et al., 2005).

A partir dos estudos realizados e apresentados por Alonso-Abella et al. (1997) e Alonso-Abella et al. (1998), foram desenvolvidas e avaliadas por Brito (2006) configurações e parametrizações de conversores de frequência para sistemas fotovoltaicos de bombeamento. A proposta desenvolvida por Brito consiste de um subsistema de geração fotovoltaica conectado diretamente a um conversor de frequência “alimentando” um conjunto motobomba trifásico (motor de indução + bomba centrífuga). A configuração proposta utiliza o equipamento de condicionamento de potência e o conjunto motobomba nacionais, ofertando assim uma solução que elimina a dependência de equipamentos importados sendo economicamente competitiva (Fedrizzi et al., 2009).

Este trabalho apresenta alguns dos resultados obtidos, com a adoção da configuração proposta por Brito (2006), implementada no desenvolvimento do projeto denominado “Condicionamento de potência em sistemas fotovoltaicos de bombeamento”, realizado no âmbito do Edital MCT/FINEP CT-Energ - Energias Renováveis – 01/2006. O projeto foi executado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, com interveniência da SOLARIS Tecnologia Fotovoltaica e da WEG Automação. As atividades e desenvolvimentos realizados tiveram como objetivo central reduzir a dependência de equipamentos importados no condicionamento de potência de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, particularmente para sistemas destinados à produção de água potável para consumo humano no meio rural, para criação de animais domésticos, para pequenas agroindústrias e irrigação de pequeno porte. Para tanto, foram desenvolvidas e testadas configurações usando conversores de frequência e motobombas centrífugas nacionais com potências entre 0,5 e 2 CV.

2. SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

Um sistema de bombeamento fotovoltaico típico é constituído pelo gerador fotovoltaico, por equipamentos de condicionamento de potência e pelo grupo motobomba, Fig. 1. O gerador fotovoltaico tem a função de gerar energia elétrica a partir da radiação solar enquanto que o dispositivo de condicionamento de potência tem a função de adaptar as características de funcionamento do gerador fotovoltaico para o acionamento do grupo motobomba. A radiação incidente no plano do gerador varia ao longo do dia, ao longo do ano e em função das condições meteorológicas, variando assim, a vazão produzida pelo sistema.

Esta opção de bombeamento está consolidada tecnicamente e, como qualquer outro tipo de tecnologia, requer manutenção e reposição de equipamentos em algum momento do seu ciclo de vida.

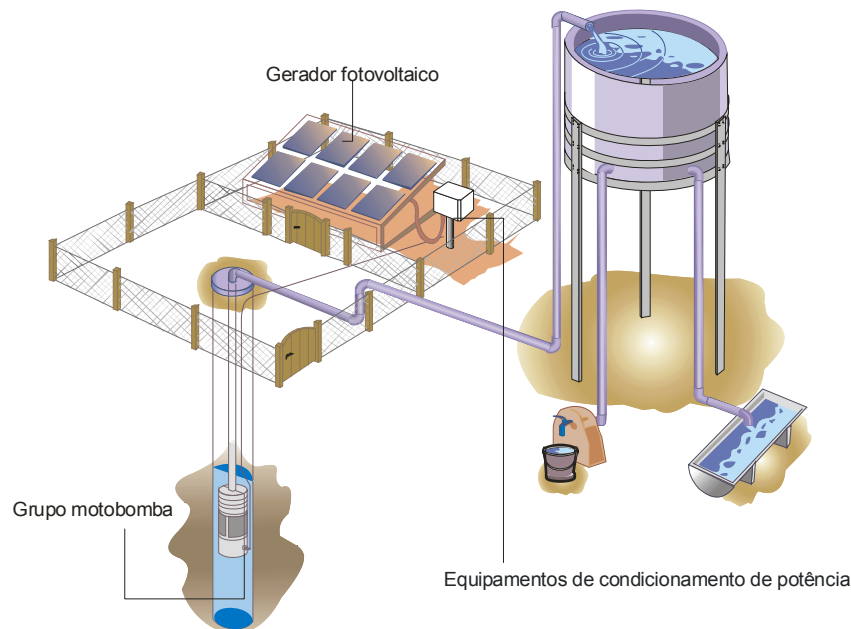


Figura 1. Configuração básica de um sistema fotovoltaico de bombeamento. (Fedrizzi et. al, 2004)

A evolução dos equipamentos de bombeamento fotovoltaico passou de um sistema no qual a bomba se encontrava submersa e o motor e os demais componentes de condicionamento de potência em superfície acoplados por um eixo, para um sistema mais compacto e eficiente. Este sistema, via de regra, é formado por um monobloco motor + bomba de localização submersa, ficando somente o condicionamento de potência em superfície, sendo que alguns modelos incorporaram o condicionamento de potência na carcaça do motor; mais especificamente os chamados sistemas *Flex* que podem ser usados também com fonte eólica e com grupo gerador de combustão interna.

Para sistemas em corrente contínua (CC) o condicionamento de potência é feito com conversor CC-CC ou mediante acoplamento direto gerador-motobomba. Para sistemas em corrente alternada (CA) são utilizados inversores trifásicos CC-CA, com ou sem seguidor de máxima potência. O caso que nos detém aqui, no entanto, é a opção motobomba centrífuga multiestágios trifásica convencional com conversor de frequência de fabricação nacional.

3. CONVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA CONDICIONAMENTO DE POTÊNCIA

O inversor ou conversor de frequência é um equipamento eletrônico que permite obter potência com tensão e frequência variáveis. Esse equipamento se tornou uma excelente opção técnico-econômica para controle de velocidade de motores elétricos de corrente alternada (CA), particularmente para o motor de indução trifásico. Controlar a velocidade de um motor de indução trifásico tem como principal objetivo a conservação de energia, pois, ao diminuir a rotação do motor através de um conversor de frequência, a potência consumida cai na mesma proporção que a rotação, ou seja, em 50 % da rotação a potência consumida é de 50 %, ou até menor, dependendo do tipo de carga acionada.

O conversor de frequência possui um circuito de potência que é constituído por um circuito retificador, que alimenta (através de um circuito intermediário chamado barramento CC) o seu circuito de saída. Esta funcionalidade de retificar a tensão de alimentação permite que este dispositivo seja acoplado diretamente a uma fonte de corrente contínua como, por exemplo, um gerador fotovoltaico.

No que diz respeito à aplicação fotovoltaica, o conversor de frequência pode ser utilizado em substituição aos tradicionais equipamentos de condicionamento de potência de um sistema de bombeamento fotovoltaico o qual irá proporcionar o uso de motobombas convencionais, ou seja, com o conversor de frequência é possível formar uma

configuração de sistema fotovoltaico de bombeamento onde, com exceção dos módulos fotovoltaicos, todos os componentes do sistema podem ser facilmente encontrados no mercado local.

Para que o conversor de frequência possa ser utilizado no bombeamento fotovoltaico, é necessário que possua como característica técnica o controlador proporcional integral (PI) ou o proporcional integral derivativo (PID) incorporado no circuito, pois este é o dispositivo responsável pela operação nas mesmas características dos sistemas de bombeamento fotovoltaico tradicionais. Isto é possível posto que o controlador é destinado a aplicações onde há necessidade de controle/estabilização de uma variável de processo (vazão, pressão). Para isto, o inversor deverá ter um *set-point* (ponto de ajuste) programável, e receber um sinal de realimentação do sensor de medição da variável do processo, formando um sistema em malha fechada, Fig. 2.

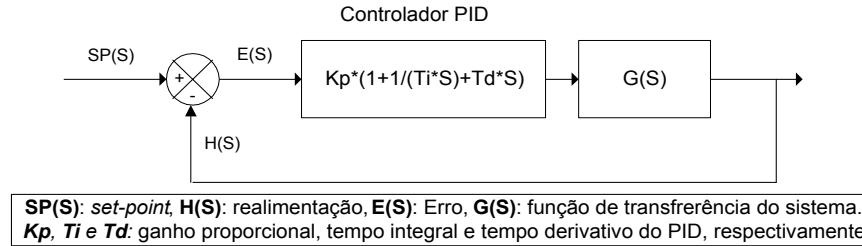


Figura 2. Diagrama de blocos em malha fechada. (Brito, 2006)

O conversor de frequência utilizado nos ensaios foi o da marca nacional modelo CFW08_{plus}. Segundo Brito (2006) este equipamento dispõe do parâmetro *ride-trough* que quando este parâmetro está habilitado e houver uma queda de tensão, fazendo com que a tensão no circuito intermediário fique abaixo do nível de subtensão, os pulsos de saída são habilitados (motor gira livre) e o conversor de frequência aguarda o retorno da tensão por até 2 segundo. Se a tensão voltar ao estado normal antes desse tempo, o conversor de frequência volta a habilitar os pulsos PWM, impondo a referência de frequência instantaneamente. Esta funcionalidade é extremamente útil, pois se o controlador PID do conversor de frequência utilizado não estiver adequadamente sintonizado, sempre que houver variações bruscas de irradiância o conversor de frequência pode vir a desarmar por erro de subtensão. Com a existência desse parâmetro, mesmo que o controlador PID do conversor de frequência utilizado não esteja sintonizado adequadamente, este problema dificilmente ocorrerá. Detalhes da parametrização do controlador PID foram apresentados por Brito e Zilles, 2006.

4. BANCADA DE ENSAIO

Os ensaios para a verificação do desempenho operacional dos equipamentos determinam a produção de água (m³/dia) em função da irradiação solar (Wh/m².dia) e da altura manométrica total (m). Em decorrência das características intrínsecas do sistema de bombeamento fotovoltaico, a potência que chega ao sistema é variável e acompanha as flutuações da irradiância (W/m²), Fig. 3a e b. Esta situação requer a adoção de instrumentação e procedimentos que mantenham a altura manométrica total em um valor estável ao longo do ensaio, simulando condições similares às encontradas em operação real.

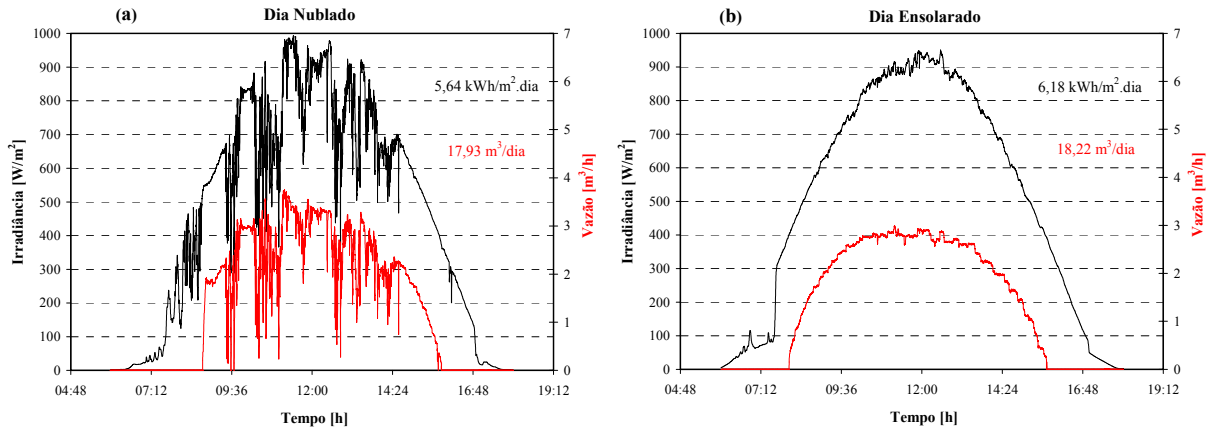


Figura 3. Variação da vazão em função da irradiância em dia nublado (a) e ensolarado (b).

A bancada de ensaio proposta (Brito, 2006; Brito et al., 2007a; Brito et al., 2007b) funciona com duas motobombas que trabalham confrontadas uma com a outra, submersas em um mesmo reservatório, conforme diagrama esquemático, Fig. 4. O princípio de funcionamento ocorre da seguinte forma: à medida em que a motobomba que está sendo testada aumenta sua capacidade de bombeamento, devido ao aumento da irradiância, aumentará a pressão na tubulação. Nessa situação, para a estabilização da pressão interna, a outra motobomba reduz sua vazão. Da mesma forma, quando a motobomba que está sendo testada reduzir sua vazão, devido a redução da irradiância, a outra motobomba aumenta sua vazão, de forma a manter a pressão interna em torno do valor estabelecido.

O reservatório contém uma divisória onde, num dos compartimentos coloca-se a motobomba a ser testada e no outro a motobomba reguladora da pressão e a tubulação de saída da água bombeada. A divisória tem a finalidade de evitar possíveis interferências sobre a motobomba a ser testada, por bolhas de ar formadas pela turbulência da descarga da água bombeada. Na saída de cada motobomba há um rotâmetro que permite a leitura da vazão instantânea de cada uma delas e, a continuação dos rotâmetros, no final da tubulação, há uma chave de acionamento manual que permite o ajuste inicial da pressão de trabalho.

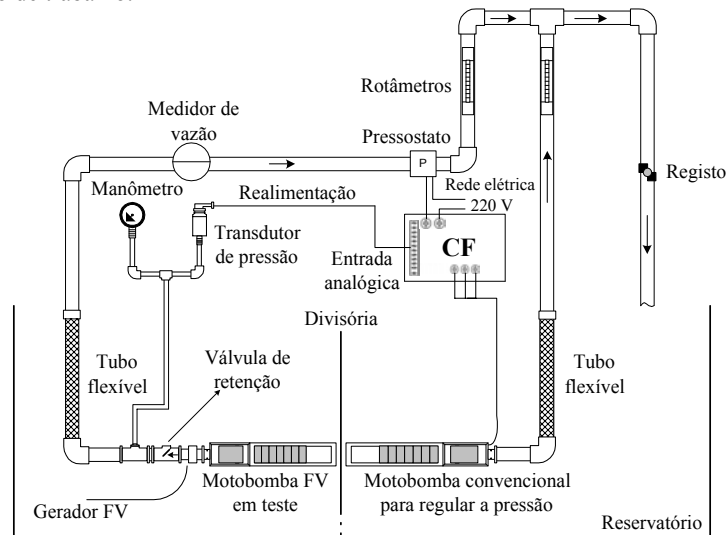


Figura 4. Diagrama esquemático da bancada de ensaio de bombas. (Brito, 2006)

O controle da motobomba que regula a pressão na tubulação é realizado por um conversor de frequência (CF) que possui internamente um controlador proporcional integral derivativo (PID). O sinal de realimentação é fornecido por um transdutor de pressão instalado na saída da bomba a ser testada, obtendo-se assim um sistema em malha fechada.

A bancada de ensaio conta com um sistema de monitoração e aquisição de dados onde cinco variáveis são monitoradas: irradiância, tensão e corrente do gerador fotovoltaico ou da fonte CC, pressão de operação do sistema e vazão da motobomba em teste.

5. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DOS SISTEMAS MONTADOS E AVALIAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS DOS GRUPOS MOTOBOMBA

Foram utilizadas motobombas nacionais de três marcas, escolhidas em função de sua penetração no mercado e da existência de uma rede de assistência técnica no território nacional, identificadas como modelos A, B e C neste trabalho. Quanto ao conversor de frequência, foi escolhido o modelo CFW08_{plus} de fabricação nacional por ser o que apresentou melhor desempenho para as características da tecnologia de bombeamento fotovoltaico. Os grupos motobombas escolhidos são de potências de 0,5; 0,75; 1,0; 1,5 e 2,0 CV, e os ensaios foram realizados a alturas manométricas (H_T) de 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 m, dependendo das características técnicas de cada arranjo.

A caracterização do desempenho dos sistemas foi realizada na bancada de ensaios apresentada acima, utilizando-se como fonte de energia o próprio sol e uma fonte CC para a construção de ábacos de escolha das configurações. Os dados obtidos nos ensaios com sol e realizados ao longo de um dia de bombeamento (das 6:00h às 18:00h) são: tensão (V) e corrente (A) do gerador fotovoltaico, vazão instantânea (m^3/h), volume total bombeado (m^3/dia), altura manométrica total (m), irradiância (W/m^2) e irradiação ($kWh/m^2.dia$). Com estes dados foram elaborados os seguintes gráficos:

Variação da vazão em função da irradiância em dia nublado (a) e ensolarado (b) das, Fig. 3a e b.

Altura manométrica e vazão ao longo de um dia de bombeamento, Fig. 5.

Irradiância e tensão ao longo de um dia de bombeamento, Fig. 6.

Potência x eficiência, Fig. 7.

Potência x vazão, com sol e com fonte CC, Fig. 8.

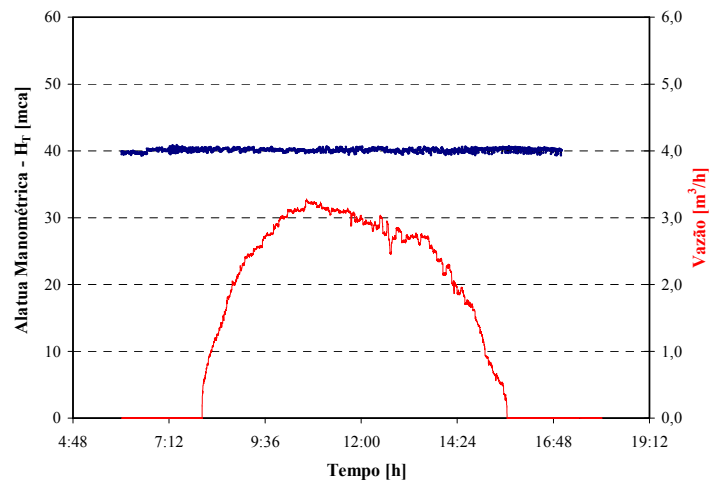


Figura 5. Altura manométrica e vazão ao longo de um dia de bombeamento.

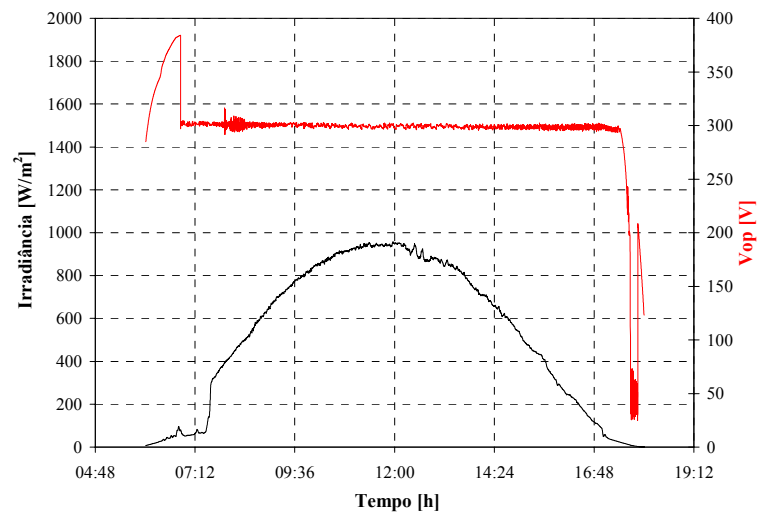


Figura 6. Irradiância e tensão ao longo de um dia de bombeamento.

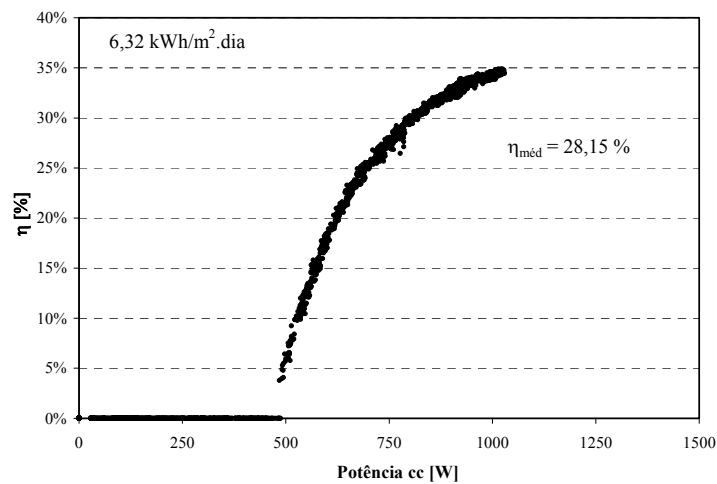


Figura 7. Potência x eficiência.

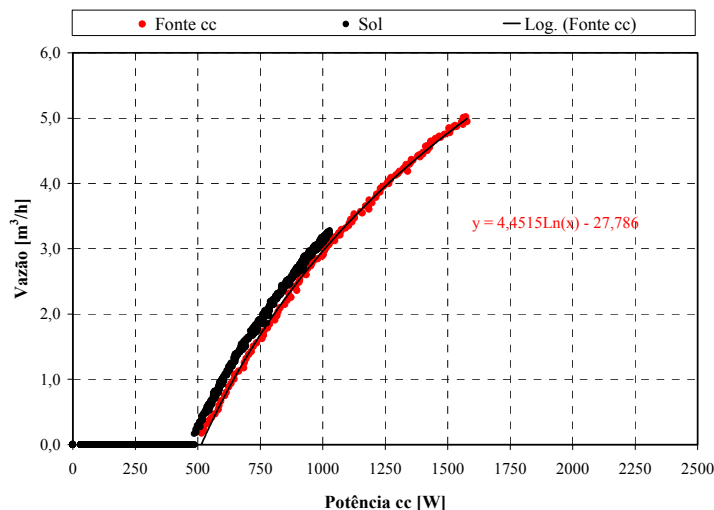


Figura 8. Potência x vazão, com sol e com fonte CC.

Foram testadas 36 motobombas de diversas marcas em mais de uma centena de ensaios, das quais se apresenta um modelo para cada potência em função da eficiência conjunto motobomba + conversor de frequência, Tab. 1.

Tabela 1. Exemplo dos resultados obtidos nos ensaios para diferentes modelos de motobombas+conversor de frequência.

<i>MB</i>	P_{MB} CV	P_{FV} Wp	H_T m	I kWh/m ² .dia	Q_{med} m ³ /dia	η_{med} %	Q_{cor}^1 m ³ /dia	η_{cor}^1 %
B (0,5-7)	0,5	1000	30	5,90	11,95	25,2	10,1	21,3
C (0,75-9)	0,75	1000	40	4,99	13,17	20,7	13,2	20,7
B (1-8)	1,0	1500	30	5,16	22,09	28,4	21,4	27,5
A (1,5-12)	1,5	2000	50	5,19	20,89	22,3	20,1	21,5
C (2-12)	2,0	3000	60	5,92	27,83	35,9	23,53	30,4

MB – Fabricante e modelo do grupo motobomba.

P_{MB} – Potência da motobomba, CV.

P_{FV} – Potência do gerador fotovoltaico, Wp.

H_T – Altura monométrica total, m.

I – Irradiação diária no plano do gerador fotovoltaico, kWh/m².dia.

Q_{med} – Vazão diária medida, m³/dia.

η_{med} – Eficiência média diária para a irradiação medida, %.

Q_{cor} – Vazão diária corrigida para 5 kWh/m².dia.

η_{cor} – Eficiência média diária corrigida para 5 kWh/m².dia.

Nos ensaios com a fonte CC obtêm-se a curva potência x vazão a qual obedece a uma regressão logarítmica, cuja equação, Fig. 8, permite a elaboração de ábacos de desempenho úteis na escolha e configuração dos sistemas motobombas convencionais a serem utilizados com geração fotovoltaico, Fig. 9.

Além dos inúmeros parâmetros citados, os ensaios permitiram comprovar que parte dos catálogos comerciais de motobombas apresentam valores de vazão (m³/h) superiores aos efetivamente obtidos, como os exemplos das marcas apresentadas, Tab. 2. Há casos em que a diferença é desprezível, como da marca B, que varia de 1 % a 3 %, já na marca A, a diferença chega a ser de até 34 %. Esta constatação revela a importância da realização de ensaios para escolha da motobomba e conseqüente otimização da configuração conversor de frequência e motobomba.

¹ Detalhes do procedimento adotado para correção podem ser consultados em Fedrizzi (2003).

Tabela 2. Vazão máxima obtida em ensaios com a fonte CC e em catálogo comercial.

	<i>Ens.</i>	<i>Cat.</i>	<i>Dif.</i>	<i>Ens.</i>	<i>Cat.</i>	<i>Dif.</i>	<i>Ens.</i>	<i>Cat.</i>	<i>Dif.</i>	<i>Ens.</i>	<i>Cat.</i>	<i>Dif.</i>
$H_T(m) >$	20	20		30	30		40	40		50	50	
	m^3/h		%	m^3/h		%	m^3/h		%	m^3/h		%
A (1-11)	3,78	4,80	21	3,40	4,60	26	2,98	4,20	29	2,50	3,80	34
B (1-8)	6,34	6,50	2	5,66	5,85	3	5,05	5,10	1	3,90	4,00	3

Ens. – Valor obtido em ensaio, m^3/h .

Cat. – Valor encontrado em catálogo comercial da motobomba, m^3/h .

Dif. – Diferença entre o valor encontrado no catálogo e o obtido em ensaio, %.

$H_T(m)$ – Altura manométrica total, m.

A (1-11) – Fabricante A.

B (1-8) – Fabricante B.

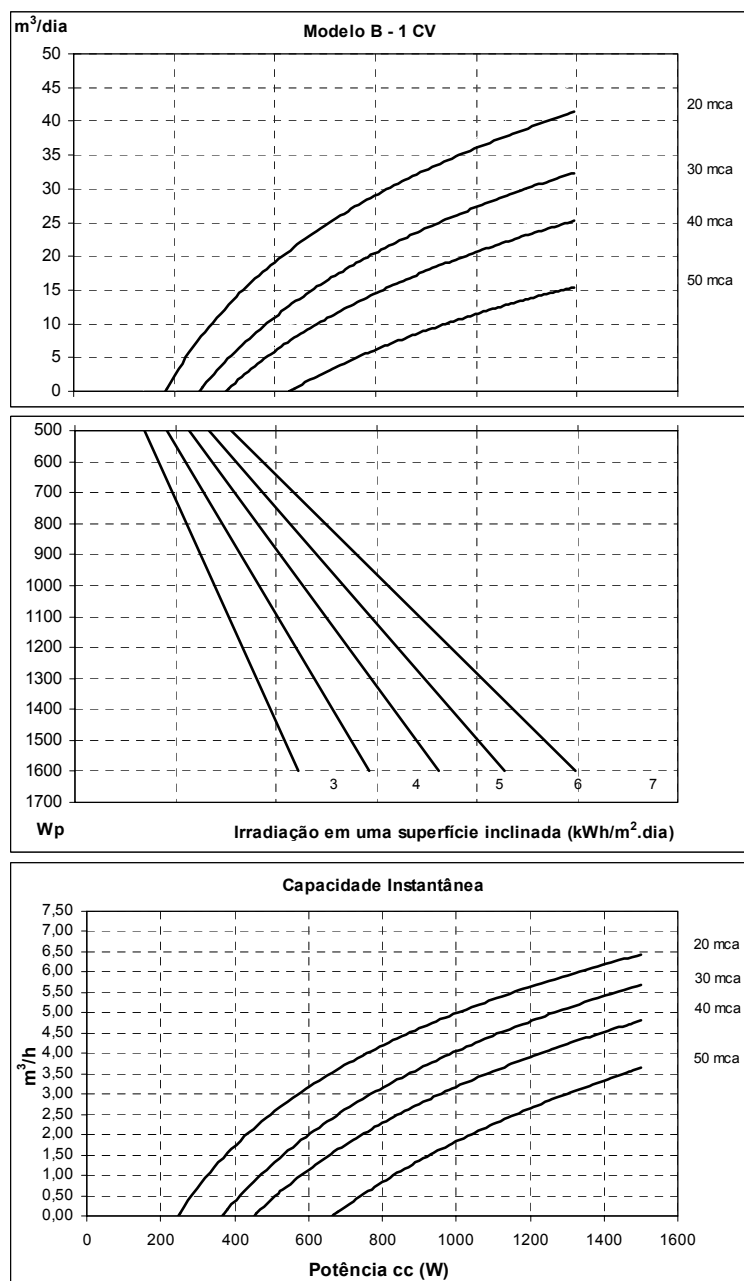


Figura 9. Ábaco para seleção dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento.

6. EXEMPLO DE SISTEMAS EM OPERAÇÃO

Que se tenha notícia, o maior número de sistemas fotovoltaicos de bombeamento que utilizam conversores de frequência e motobombas convencionais foi implantado no norte da África (Sahel) através de programas de cooperação internacional, conforme descrição a seguir.

PV Pumping Programme in Maroco - O Programa de Bombeamento Solar do Sul do Marrocos de iniciativa das ONGs Tichka (Marrocos) e CIPIE (Espanha), contou com financiamento da União Européia (*European Aid*) e com a avaliação técnica do Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madri. Tendo início em 1997, abastece mais de 15 mil pessoas em 18 vilas nas províncias de Ouarzazate e Zagora. A potência total instalada é de 46 kWp, sendo que 10 dos 18 sistemas utilizam conversores de frequência e, em avaliação de doze anos após instalação os problemas com o condicionamento de potência ocorreram em apenas 7% dos casos, do que se conclui haver um alto grau de confiabilidade neste tipo de configuração. (Narvarte e Lorenzo, 2010)

Projeto MEDA - De iniciativa da União Européia e com o objetivo de ajudar os países mediterrâneos a reformar suas estruturas econômicas e sociais, o Projeto MEDA teve como países beneficiados Marrocos, Argélia e Tunísia. Aprovado em 2002, foi coordenado pelo Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madri em um trabalho de cooperação com a instituição francesa FONDEM, as ONGs marroquina Tichka, argelina CDER e tunisiana ANME. Juntamente com a União Européia, a Agência Espanhola de Cooperação Internacional (AECI) também colaborou no financiamento mediante o Programa Azahar. Foram implantados 52 sistemas de bombeamento fotovoltaico com conversores de frequência, com uma potência total instalada de 257,3 kWp, divididos da seguinte maneira: 29 Marrocos, 10 na Argélia e 13 na Tunísia. A água bombeada é utilizada para consumo humano (73%), para criação de gado e outros animais domésticos (17%) e irrigação (10%). Os sistemas são de médio e grande porte, sendo o maior deles de 11 kWp, capazes de bombear até 200 m³/dia de água subterrânea. (Poza-Saura, 2008)

No Brasil, o primeiro sistema de bombeamento fotovoltaico com conversor de frequência instalado e monitorado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos substituiu um sistema implantado pelo PRODEEM no Pontal do Paranapanema – SP. A substituição e instalação da nova configuração foi realizada em 2005 (Brito, 2007a), sendo que o sistema segue funcionando normalmente apresentando uma substituição do conversor de frequência devido a queima por descarga atmosférica em 2006 e de uma motobomba em 2008. Este sistema está localizado no Assentamento da Reforma Agrária Palú e sua produção é utilizada para consumo humano, de animais domésticos e pequena irrigação de subsistência, Tab. 3.

Tabela 3. Características técnicas do sistema de bombeamento fotovoltaico Palú, original e revitalizado.

	Sistema Original	Sistema com conversor de frequência
Gerador FV	16 módulos KC 80	40 módulos KC 80
Configuração	8 série x 2 paralelo	20 série x 2 paralelo
Potência instalada	1.280 Wp	3.200 Wp
Posicionamento motobomba	72 m	54 m
Reservatório	7.500 l	7.500 l
Motobomba	SCS10-230	4R5-11
Condicionamento potência	Booster PCB8-90B	CFW08plus

7. CONCLUSÕES

A utilização de conversores de frequência no condicionamento de potência de sistemas fotovoltaicos de bombeamento com motobombas convencionais oferece uma alternativa técnica e economicamente competitiva para uso em sistemas fotovoltaicos de bombeamento. Sua confiabilidade é comparada a de outros sistemas de bombeamento, conforme experiência brasileira com a instalação de um piloto há 5 anos e, principalmente, a partir dos resultados das instalações no Marrocos, com 12 anos de experiência monitorada e em escala comercial.

No que tange a expansão da utilização da configuração proposta em sistemas fotovoltaicos de bombeamento no país, os resultados recomendam sua aplicação na revitalização dos sistemas instalados pelo PRODEEM e nas futuras instalações de sistemas fotovoltaicos de bombeamento que venham a ocorrer. Esta solução, condicionamento de potência e motobomba de fabricação nacional, reduz substancialmente os problemas relacionados à manutenção e reposição de equipamentos. A empresa SOLARIS Tecnologia Fotovoltaica, participante do projeto ainda na fase experimental, comercializou 4 sistemas, sendo que dois foram instalados no estado de Mato Grosso, um no estado da Bahia e um na África do Sul. A parametrização desenvolvida poderá ser incorporada pela WEG Automação no CFW08_{plus}, como função especial, bombeamento solar.

Agradecimentos

O desenvolvimento da pesquisa e do trabalho contou com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos, FINEP, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq e com a participação das empresas WEG Automação e SOLARIS Tecnologia Fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

- Alonso-Abella, M.; Chenlo, F.; Escudero, U.; Clamagirand, J. M., 1997. Impedance Matching and New Use of Speed Controllers in PV Pumping Systems. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain.
- Alonso-Abella, M.; Chenlo, F.; Blanco, J.; Manso, D., 1998. Use of Standard Frequency Converters in PV Pumping Systems. 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Viena, Austria, p.3254-3257.
- Brito, A. U., 2006. Otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais para acionar bombas centrífugas, Tese Doutorado - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Brito, A. U.; Zilles, R., 2006. Systematized procedure for parameter characterization of a variable-speed drive used in photovoltaic pumping applications. Progress in Photovoltaics, Inglaterra, v. 14, pp. 249-260.
- Brito, A.U., Fedrizzi, M. C., Zilles, R., 2007a. Uso do conversor de frequência como dispositivo de condicionamento de potência em sistema fotovoltaico de bombeamento, I Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS, Fortaleza.
- Brito, A.U., Fedrizzi, M.C., Zilles, R., 2007b. PV Pumping Systems: A useful tool to check operational performance. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. pp. 41-49.
- Fedrizzi, M. C., Zilles, R., 1999. Avaliação dos sistemas de bombeamento fotovoltaico do Pontal do Paranapanema. São Paulo, Relatório Interno: Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos – IEE/USP, São Paulo.
- Fedrizzi, M. C., Brito, A. U., Zilles, R., 2004. Procedimento para averiguação operacional de sistemas fotovoltaicos de bombeamento. V Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída AGRENER 2004, UNICAMP, Campinas.
- Fedrizzi, M. C., Ribeiro, F.S., Zilles, R., 2009. Bombeamento de água no meio rural, análise econômica de duas configurações fotovoltaicas e uma elétrica convencional, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, vol. 13. pp. 117-123.
- Galdino, M. A., Lima, J.H.G., 2002. PRODEEM – o programa nacional de eletrificação rural baseado em energia solar fotovoltaica. In: IX Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro.
- Leonelli, P., Beer, J. L., Cerqueira, R. R., Zilles, R., 2005. A new approach in the use of pv systems as a strategy for sustainable development in Brazil. In: 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona. Proceedings of 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference. München: WIP-Renewable Energy, 2005. pp.3068-3071.
- Malbranch, P., 1994. Recent developments in PV pumping applications and research in the European Community. In: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, Holand. pp. 476-481.
- MME/PRODEEM., 2001. Relatório de atividades: agosto 2000-março 2001, Ministério de Minas e Energia. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). Brasília – DF.
- Narvarte, L., Lorenzo, E., Aandam, M., 2005. "Lesson From an PV Pumping Programme in South Maroco", Progress in Photovoltaic: Research and Applications, 13: 261-270.
- Narvarte, L., Lorenzo, E., 2010. Sustainability of PV water pumping programmes: 12-years of successful experience, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com).
- Poza-Saura, F., 2008. Contribución al diseño de procedimientos de control de calidad para sistemas de bombeo fotovoltaico, Tese de doutorado da Escuela Técnica de Ingenieros de telecomunicaciones da Universidade de Madrid.

Abstract. *This work shows some results obtained in the project "Power electronics conditioning in photovoltaic pumping systems", carried out and supported by MCT/FINEP CT-Energ – Renewable Energy - 01/2006 public call. The project was running and coordinated by the Photovoltaic System Laboratory, Electrotechnical and Energy Institute of São Paulo University with industrial intervenient from SOLARIS Photovoltaic Technology and WEG Automation. The goal was focus to reduce the dependence from imported power electronics conditioning equipments used in photovoltaic pumping system, particularly for systems destined to small and productive activities in the rural communities. Towards that, configurations using variable speed-drive and national centrifugal motor pumps with power between 0,5 and 2 HP were developed and tested*

Key words: *Photovoltaic system, water pumping, variable-speed drive.*