

RESUMO

Uma bomba d'água acionada por correntezas de rios mediante um rotor Savonius submerso foi testada. Depois de um ano de uso contínuo a bomba ainda estava em funcionamento. Porém, certas modificações foram concebidas para diminuir os desgastes dos componentes. Novos desenhos e uma nova lista de materiais são apresentados. Um gráfico da vazão diária da bomba em função da velocidade da correnteza, mostrou que com correntezas de 0,5 até 1,1 m.s⁻¹ a vazão (y litros/dia) depende linearmente da corrente (x m.s⁻¹), sabendo-se a altura (a metros) do bombeamento segundo a equação:

$$y = 7692 x - 1250 - \frac{500 a}{3}$$

A bomba é considerada prática, econômica, com uma vida útil adequada. Contudo a evolução da tecnologia é limitada pelo fato de que o rotor fica consideravelmente mais caro quando não se usa um camburão de óleo para a sua construção.

INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior, Harwood & Almeida (1982) descreveram uma bomba de construção simples que é acionada por correnteza de rios mediante um rotor Savonius submerso. A unidade flutua no rio, atracada no local. A correnteza faz o rotor girar. Duas bombas acionadas pelo rotor jogam água do rio para uso em terra.

No presente trabalho o autor apresenta mais resultados de testes de desempenho e de durabilidade da bomba e sugere algumas modificações da construção em função destes resultados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Construção da bomba

A bomba foi construída segundo o trabalho de Harwood & Almeida (1982) e subsequen

(*) Pesquisa financiada pelo Banco do Brasil S.A. através de seu Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico Científica (FIPEC).

(**) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus - AM.

temente foi modificada como descrito nos "resultados".

Medição da vazão diária em função da velocidade da correnteza

Esta medição foi feita por simulação, isto é, rebocando a bomba a uma velocidade determinada, na água parada de uma lagoa. A bomba foi rebocada ao lado de uma embarcação de 18 m de comprimento, guardando 2 metros de distância entre o casco do barco e a bomba. Um medidor de correnteza (Current Meter AA, Scientific Instruments Inc., Milwaukee, USA) posicionado dois metros em frente da bomba mediu a velocidade do fluxo d'água. A mangueira que conduzia a água bombeada foi içada até uma altura determinada do mastro do barco e a vazão da bomba medida cronometrando-se o tempo para encher uma proveta de 1000 ml mantida a esta altura. A experiência foi repetida com várias velocidades de reboque e várias alturas de bombeamento.

Testes de durabilidade

A bomba foi instalada no rio Tarumã Grande perto de Manaus em março de 1982 e retirada em março de 1983 depois de um ano de uso contínuo. A altura do bombeamento foi de aproximadamente 8 m e a correnteza (que neste rio varia rapidamente em função da chuva) foi em torno de 0,7 m/seg. Ao fim da experiência a bomba foi desmontada e o desgaste das peças observado. Modificações do desenho das peças foram feitas em consequência das observações.

RESULTADOS

Vazão diária da bomba

A vazão diária da bomba em função da correnteza em diferentes alturas de bombeamento está mostrado na (Fig. 1).

Durabilidade

Depois de um ano de uso a bomba ainda estava em funcionamento. Porém várias peças sofreram desgastes, principalmente o couro de um dos pistões e as buchas do eixo. Desgaste menos importante foi observado nas articulações superiores e inferiores das bielas. Toda a estrutura precisou ser lixada e pintada novamente. Em um outro teste foi observada a corrosão galvânica das extremidades do eixo, provocando a queda dos flanges que servem como virabrequins. Um outro problema que surgiu às vezes foi que pequenas partículas sólidas em suspensão na água se prenderam nas válvulas dos pistões, mantendo-as abertas e impedindo assim a pressurização da bomba.

Em consequência dos problemas observados durante um ano de testes, foram feitas as seguintes modificações:

a) Aumento do diâmetro do eixo: O eixo do rotor, feito de cano galvanizado de 3/4" foi substituído por um cano de 1". O aumento do diâmetro tem por consequência o aumento da área de contato dentro das buchas e assim a diminuição do desgaste destas. Logicamente, os virabrequins, feitos de flanges, também foram trocados, substituindo-se os

velhos de 3/4" por novos de 1". Esta última substituição tem por conseqüência aumentar a robustez da fixação dos flanges.

b) Incorporação de um filtro na entrada d'água: Uma entrada de água separada do pistão foi construída e equipada com um filtro de tela (Fig. 2).

c) Modificação da biela: A bucha inferior da biela foi modificada para facilitar a construção e troca (Fig. 3).

O sistema de furo e pino que segurava o pistão foi substituída por ligas de borracha de pneu, diminuindo assim o desgaste do metal (Fig. 4).

d) Fixação do flutuador: Originalmente o flutuador foi fixado usando-se tábuas em prensadas entre ele e a armação. Este sistema foi substituído por um sistema de braçadeiras que abrem facilmente, permitindo o flutuador de ser removido convenientemente durante transporte da bomba (Fig. 5).

DISCUSSÃO

Vazão diária da bomba

A Fig. 1, mostra a vazão diária da bomba em função da velocidade da correnteza e da altura de bombeamento. É interessante notar que a vazão (que é uma medida da potência mecânica) aumenta linearmente com a velocidade da correnteza. Essa relação linear já foi observada por Harwood (1980) medindo a potência com um dinamômetro e por Bazzo & Rogério (1981) usando um rotor Savonius eólico.

O segundo aspecto interessante do gráfico da Fig. 1, é o paralelismo das retas e o fato que a distância entre elas é proporcional às diferenças de altura de bombeamento, o que permite elaborar uma equação simples para o desempenho da bomba, usando-se o raciocínio seguinte:

A equação de qualquer uma das retas da Fig. 1, é da forma:

- (i) $y = mx + c$ onde y é a vazão em litros/dia
 m é a constante da bomba
 x é a correnteza em $m.s^{-1}$
 c é uma constante que depende da altura de bombeamento.

Olhando para a Fig. 1, o valor de m se calcula em 7692 (litros/dia) / (m/seg).

Os valores de c são: com 1,5m de altura, - 1500 litros/dia

com 7,5m de altura, - 2500 litros/dia

com 10,5m de altura, - 3000 litros/dia

o que faz com que:

- (ii) $c = -1250 - \frac{500 a}{3}$ onde $a =$ a altura do bombeamento em metros.

Assim, substituindo os valores de m e c na equação (i) se obtém:

- (iii) $y = 7692 x - 1250 - \frac{500 a}{3}$

Desempenho de uma bomba d'água ...

Esta equação (iii) permite se calcular a vazão da bomba (y litros/dia) sabendo-se a velocidade da correnteza (x m/seg) e a altura de bombeamento (a metros).

A Fig. 6, mostra em forma gráfica a vazão da bomba, calculada usando-se a equação (iii). Porém a extrapolação deve se limitar a velocidade entre 0,5 e 1,1 m/seg. Com velocidades mais altas, os dados experimentais já não mostram linearidade e com velocidades inferiores a rotação do rotor se torna irregular.

A potência mecânica desenvolvida pelo rotor depende da vazão multiplicada pela altura ($y \times a$). Substituindo na equação (iii) e diferenciando, se conclui que a potência máxima do rotor (em determinada correnteza) é desenvolvida quando o bombeamento se faz a uma altura equivalente à metade da altura máxima atingível com esta correnteza ($a = \frac{1}{2} a_{\max}$, com x fixo).

Uma outra conclusão concerne a eficiência ou rendimento do rotor. A equação (iii) mostra que a potência desenvolvida pelo rotor é linear com respeito a velocidade da correnteza, enquanto que a potência disponível na correnteza é proporcional ao cubo da velocidade. Como a eficiência do rotor é a primeira dividida pela segunda, pode-se concluir que a eficiência do rotor cai quando a velocidade da correnteza aumenta. Esta conclusão coincide com a observação de Harwood (1980) que usou um dinamômetro para medir a potência do rotor Savonius submerso.

Durabilidade

A bomba tem uma boa durabilidade. As experiências descritas aqui mostram que a manutenção necessária é mínima. Se aconselha retirar a bomba da água a cada seis meses e examiná-la, trocando as buchas principais e os couros dos pistões e pintando a estrutura inteira pelo menos uma vez por ano.

Desenho final

Novos desenhos incorporando às modificações feitas durante este trabalho e mostrando outros detalhes para facilitar a construção e a instalação, são apresentados nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11. A lista de materiais necessários para construir a bomba é apresentada na Tabela 1.

Perspectivas para um aumento de potência

A bomba mostra-se ser um aparelho simples, econômico e prático. Contudo uma grande parte da sua simplicidade e economia é devida ao uso do camburão de óleo para fabricar o rotor. Quando se constrói um rotor maior numa tentativa de aumentar a potência, o custo e complexidade da construção aumentam consideravelmente. Quando se coloca mais camburões num só eixo, a construção torna-se mais problemática, porque o eixo sendo mais longo, sofre grandes forças de flexão.

Quando se precisa bombear um pouco mais de água, é preferível simplesmente instalar duas bombas do tipo descrito. Quando se precisa bombear muito mais água, é provável que um outro tipo de rotor (hélice, Darrius ou outro) seja mais prático do que um rotor Savonius gigante. Uma outra possibilidade é que unidades hidreletrógeradoras do tipo "cata-água", descrito por Harwood (1984), que desenvolve 1 KW de potência elétrica instalado numa correnteza de 1,1 m/seg., podem fazer bombeamento em momentos em que a

eletricidade não seja necessária para outras finalidades, usando-se bombas elétricas convencionais.

Por estas razões os trabalhos futuros do autor terão como enfoque o desenvolvimento de outros rotores, considerando-se que o rotor Savonius, muito funcional na unidade descrita aqui, tem potencial limitado para ser aplicado em unidades maiores.

SUMMARY

A simple water-pump powered by a submerged Savonius rotor was tested. After one year of continuous operation the pump was still functioning. However certain modifications were designed to reduce wear on the components. New drawings and a new list of materials are presented. A graph of pumping rate against current speed showed that for currents of 0,5 to 1,1 $m.s^{-1}$ the pumping rate (y liters/day) depends linearly on the current speed (x meters/sec) for a given pumping height (a meters) according to the equation $y = 7692 x - 1250 - \frac{500 a}{3}$. The pump is considered practical, cheap and to have a useful lifetime. However further developments of the technology are limited by the fact that the rotor becomes much more expensive when it is no longer made from a sawn-up oil drum.

576 Tabela 1. Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|------------------|------------------|---|---|---|
| Material | Tipo | Quantidade Total | Especificação das peças feitas com esse material. | Número das peças tomadas do a função da coluna 6. | Fundação da peça descrita em 4. |
| Cano | | | | | |
| | galvanizado 1" | 107 cm | peça de 107cm rosqueada em ambas as extremidades | 1 | eixo do rotor |
| | galvanizado 3/4" | 518 cm | peça de 177cm rosqueada em uma extremidade | 2 | elemento vertical |
| | | | peça de 45cm rosqueada em ambas as extremidades | 2 | componentes de travessa superior |
| | | | peça de 37cm rosqueada em uma extremidade | 2 | entrada de água |
| | galvanizado 1/2" | 370 cm | peça de 99cm peça de 121cm peça de 75cm | 1 1 2 | travessa inferior travessa média bielas |
| | plástico | 103 cm | peça de 42cm rosqueada em ambas as extremidades | 1 | câmaras de ar |
| | | | peça de 33cm rosqueada em uma extremidade | 2 | cilindros das bombas |
| Cantoneira | 1/2" x 1/8" | 6 m | peça de 150cm | 4 | pirâmide do ponto de amarrar o cabo |
| Barra | 3/4" x 1/16" | 436 m | peça de 29 cm peça de 79 cm peça de 110 cm | 2 2 2 | braçadeiras do flutuador |

continuação Tabela 1. Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

| | | | | | |
|-----------|-------------|----|---|----|--------------------------------------|
| Ferragens | galvanizada | 1 | tampa fêmea 2" | 1 | tampa da câmara de ar |
| | | 3 | luva de redução 2" x 1" | 2 | partes superiores das bombas |
| | | 1 | | 1 | parte inferior da câmara de ar |
| | galvanizada | 3 | bucha de redução 1" x 3/4" | 2 | partes superiores das bombas |
| | | 1 | | 1 | parte inferior da câmara de ar |
| | galvanizada | 13 | nipples de 3/4" | 1 | saída da água |
| | | | | 2 | parte inferior da câmara de ar |
| | | | | 10 | partes superiores das bombas |
| | galvanizada | 5 | joelho 3/4" | 4 | partes superiores das bombas |
| | | | | 1 | parte inferior da câmara de ar |
| | galvanizada | 1 | cruzeta 3/4" | 1 | parte da travessa superior |
| | | | | 2 | parte da travessa superior |
| | galvanizada | 4 | 1" 3/4" | 2 | parte da bomba |
| | | | | 2 | virabrequins |
| | galvanizada | 2 | flange 1" | 2 | segurar os filtros de entrada d'água |
| | | 2 | braçadeira 1" | 2 | segurar a mangueira de saída d'água |
| | | 1 | braçadeira de 1/2" | 1 | parte das bombas |
| | latão | 4 | válvula de retenção vertical de 3/4" | 4 | saída de água |
| | latão | 1 | adaptador de 3/4" para mangueira plástica de 1/2" | 1 | ponto de amarrar o cabo |
| | aço | 1 | manilha de 3/8" | 1 | |

| | | | | | |
|------------------|--------------|----|------------------------------------|----|--|
| | aço | 12 | artueias de 1" de diâmetro interno | 12 | calçar no eixo entre o rotor e as buchas |
| | aço | 2 | discos de 45mm de diâmetro | 2 | segurar o couro nos pistões |
| Parafusos | com porcas | 4 | 2 1/2" x 3/8" | 4 | segurar as travessas |
| | com porcas | 2 | 4" x 5/10" | 2 | fixar o rotor ao eixo |
| | com porcas | 4 | 5" x 5/16" | 4 | segurar as buchas |
| | com porcas | 2 | 3" x 1/4" | 2 | segurar as flanges |
| | com porcas | 16 | 2" x 1/4" cabeça arredondada | 16 | ligar as duas conchas do rotor ao "sanduiche" de madeira |
| | com porcas | 2 | 1 1/4" x 1/4" | 2 | fixar as bombas às travessas |
| | com porcas | 2 | 2 1/2" x 7/16" | 2 | virabrequins (quatro porcas necessárias neste caso) |
| | com porcas | 4 | 1 1/4" x 5/16" | 4 | fixar as ligas de borraça às bielas |
| | com porcas | 2 | 1 1/2" x 5/16" | 2 | fixar as ligas de borraça aos pistões |
| | com porcas | 4 | 3" x 3/8" | 4 | fixar as bielas às buchas dos virabrequins |
| | com porcas | 6 | 2" x 1/4" | 6 | fixar as braçadeiras do flutuador |
| | com porcas | 2 | 2" x 3/8" | 2 | ligar as braçadeiras do flutuador |
| | para madeira | 6 | 1/2" x 1/8" | 6 | segurar o couro dos pistões |
| Madeira | Cumarú | | bucha de 10cm x 10cm x 6cm | 2 | buchas do eixo |

continuação Tabela 1. Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

| | | | | | | | |
|-----------|-----------------------|--|---|---|--|---|---------------------------|
| | | | | 2 | bucha de 11cm x 5cm x 3,6cm | 2 | buchas dos virabrequins |
| | | | | 2 | cilindro de 10 cm de altura e de 4,8cm de diâmetro | 2 | pistões |
| | tábua | | | 4 | 37cm x 17cm x 2,0cm | | ligar as conchas do rotor |
| Couro | 1/8" | | | 2 | disco de 6cm de diâmetro | | revestimento dos pistões |
| Tambores | 200 | | 2 | | | 1 | flutuador |
| Peneira | 2mm (aproximadamente) | | | 2 | disco de 6cm de diâmetro | 2 | filtro de entrada da água |
| Mangueira | 1/2" | | | | quanto se precisar | | condução d'água |

Referências bibliográficas

- Bazzo, Walter A. & Rogério, T. S. Ferreira - 1981. Desempenho de rotores de eixo vertical tipo Savonius. *Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo*, 13 (75): 16-20.
- Harwood, John H. - 1980. Comparação de três rotores feitos localmente com eixos em diferentes dimensões extraíndo energia cinética hidráulica dos rios amazônicos. *Acta Amazonica*, 10 (1): 167-177.
- Harwood, John H. - 1984. O cata-água, uma alternativa hidrelétrica para Amazônia. *Ciência Hoje*, 2 (10): 22-25.
- Harwood, John H. & Almeida, Ronaldo - 1982. Bomba acionada por um rotor Savonius submerso. *Acta Amazonica*, 12 (3): 639-648.

(aceito para publicação em 26.03.1986)