

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 consequência 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, Darrieus 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 da função da coluna 6.	Fundação da peça descrita em 4.
Cano					
	galvanizado 1"	107 cm	peça de 107cm ros- queda em ambas as extremidades	1	eixo do rotor
	galvanizado 3/4"	518 cm	peça de 177cm ros- queda em uma ex- tremidade	2	elemento vertical
			peça de 45cm ros- queda em ambas as extremidades	2	componentes de traves- sa superior
			peça de 37cm ros- queda em uma ex- tremidade	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 ros- queda em ambas as extremidades	1	câmaras de ar
			peça de 33cm ros- queda em uma ex- tremidade	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 flutua- tuador

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	4	ligar as conchas do rotor
Couro	1/8"		2	disco de 6cm de diâmetro	2	revestimento dos pistões
Tambores	200	2	1		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)