

## **CONSTRUÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO DE UMA BOMBA DE DIAFRAGMA ACIONADA A BAIXA ROTAÇÃO**

### **Pedro Ronaldo H. de Holanda**

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB - 58109 970.  
[pronaldo@dem.ufpb.br](mailto:pronaldo@dem.ufpb.br)

### **Natanael Victor de Oliveira**

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB - 58109 970.  
[natanael@dem.ufpb.br](mailto:natanael@dem.ufpb.br)

### **Antonio Gilson Barbosa de Lima**

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB - 58109 970.  
[gilson@dem.ufpb.br](mailto:gilson@dem.ufpb.br)

***Resumo.** Nos tempos atuais é importante pensar em economia de energia, seja elétrica ou proveniente da queima de combustíveis. Usar energia alternativa de maneira racional é uma forma de economizar a energia convencional produzida. Outra vantagem do uso da energia não convencional é a produção em pequena escala disseminada nas regiões de uso. Este trabalho tem como objetivo apresentar a construção e teste de uma bomba de diafragma acionada à baixa rotação. O desempenho da bomba de diafragma é avaliado por comparação com o desempenho de uma bomba de pistão, operando nas mesmas condições. Para acionamento das bombas foi utilizada uma roda d'água submetida à vários níveis de rotação. Resultados da potência nos eixos da roda d'água e das bombas, bem como da vazão volumétrica e rendimento total das bombas são apresentados e analisados.*

***Palavras chave:** bomba, diafragma, pistão, baixa rotação, experimental.*

### **1. Introdução**

Os diversos centros de pesquisas em energia não-convencional têm se dedicado sempre ao desenvolvimento da performance de áreas de captação, sejam elas eólica ou hidráulica, não dando ênfase à parte compreendida entre a área de captação e o uso da energia transformada. As máquinas acionadas por energia alternativa giram com baixa rotação.

Trabalhar com frequências muito baixas requer um conversor de frequência permitindo que a bomba de diafragma seja acoplada em máquinas manuais, máquinas acionadas por pedal, ou ainda máquinas impulsionadas pelo vento, por água e outras. A finalidade principal neste caso é a aplicação em pequenas propriedades na zona rural, no abastecimento de residências, nas irrigações de pequeno porte ou em qualquer situação que exija uso d'água em quantidades moderadas.

As bombas de diafragma são usadas para bombeamento de líquidos limpos ou contendo sólidos, substâncias pastosas, drenagens, lodos, soluções ácidas e alcalinas. Um diafragma de material flexível não metálico suporta melhor a ação corrosiva e erosiva que as partes metálicas de uma bomba de pistão. Essas bombas funcionam pela ação de compressão de um diafragma, de lâmina flexível ou membrana de borracha. O movimento alternativo que comprime o diafragma é normalmente fornecido por um sistema excêntrico, pela ação de ar comprimido ou óleo, proveniente de uma fonte exterior.

Apesar das bombas de diafragma serem bastante conhecidas e estudadas, necessita-se ainda de esforços no sentido de se elaborar projetos e construir novas versões de bombas de diafragma, visando sua utilização em determinados processos.(All-Flo Pump Company, 1999 e 2000; Alfa Laval, 1999; Bowan, 1997; Charles Austen Pumps Ltd, 2000; Eckle et al, 1995 e 1996; Timm et al, 1995; Zengerle et al, 1995a-b; Lewa Herbert Ott GmbH Co., 2000 e Liebenberg et al, 1995). O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento, construção e experimentação de uma bomba de diafragma acionada por mecanismos operando em baixa rotação.

## 2. Procedimentos experimentais.

Na construção da bomba, não foram seguidos os fatores referentes à compatibilidade química, grau de abrasão, limitação de temperatura e investimento inicial (Bowen et al, 1997), por tratar-se de um equipamento cujo objetivo principal é comparar o desempenho em relação a uma bomba de pistão comercial. Usar materiais resistentes à corrosão seria interessante, porém oneraria muito o protótipo, cuja utilização praticamente se limita aos testes. O conjunto conversor-bomba teve sua construção dividida em duas partes principais: a bomba propriamente dita e o mecanismo conversor (Figs. 1 e 2).

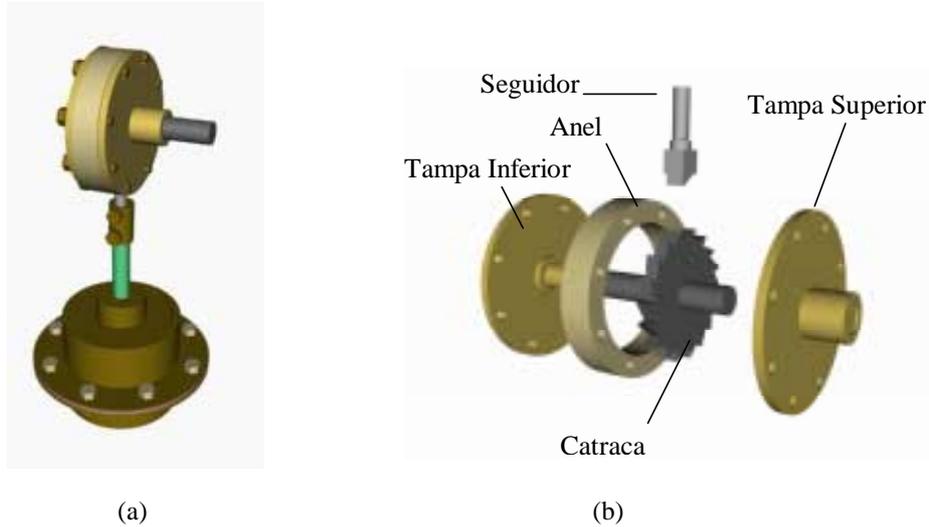


Figura 1. a) Bomba de diafragma. b) Vista explodida do conjunto conversor.

A bomba é constituída por duas câmaras cilíndricas entre as quais fica preso o diafragma, fabricado em borracha apropriada para tal fim. O aspecto final da bomba construída e totalmente pronta é mostrado nas Figs. (3a-b), onde se vê a bomba acoplada ao sistema conversor que por sua vez está ligado ao eixo da roda d'água, com as tubulações de admissão e recalque e o sistema de válvulas de entrada e saída. Outros detalhes podem ser vistos na Fig. (4).

O movimento alternativo imposto ao diafragma através da haste deve ser fornecido por um eixo com excentricidade igual ao deslocamento do diafragma. Quando o excêntrico estiver no ponto mais alto, a mola e o diafragma estarão em compressão, que por sua vez comprime o fluido contido na câmara molhada forçando as válvulas. A pressão do fluido fecha a válvula de entrada e abre a de saída realizando-se a descarga. No momento seguinte, 180° após, o excêntrico atinge o ponto mais baixo e o diafragma então retorna para posição inicial devido a força da mola, realizando o vácuo na câmara. Com a depressão, a válvula de saída é fechada e a de entrada é aberta e o fluido que passa pela válvula de entrada preenche a câmara. O ciclo volta a se repetir enquanto houver giro no eixo de acionamento



Figura 2. a) Came na caixa, fabricada em aço. b) Conjunto came e seguidor com os seus acopladores.



Figura 3. a) Detalhes de uma bomba de diafragma. b) Vista frontal com tubulação e válvulas.

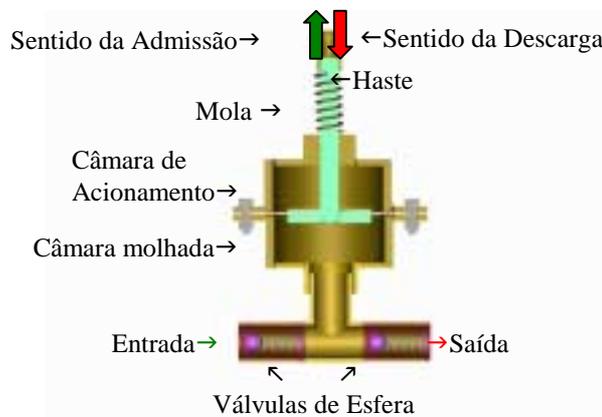


Figura 4. Bomba de diafragma. Vista em corte.

As medidas realizadas foram as seguintes:

- a) Pressão na admissão da água - Usou-se um vacuômetro comercial marca ASTA com escala de 0 a 101,325 kPa (760mmHg);
- b) Pressão no recalque – Usou-se um manômetro comercial marca ASTA com escala de 0 a 392,266 kPa (4 kgf/cm<sup>2</sup>).
- c) Temperaturas da água e ambiente – Utilizou-se um termômetro eletrônico digital comercial marca Minimipa, que opera na faixa de -50 à 1000° C, com resolução de 1° C.
- d) Vazão de água das bombas – Devido à intermitência dos tipos de bombas construiu-se um instrumento capaz de realizar com precisão a medida desejada. Esse é composto de um vaso coletor com sensores de nível alto e baixo. O comando desse instrumento é feito eletronicamente esvaziando o vaso por meio de uma pequena bomba, quando a água coletada atinge o nível correspondente a um volume previamente determinado.
- e) Vazão de acionamento da roda d’água - A medida foi realizada num canal com saída através de um Vertedor Triangular (Figura 5) e usando a fórmula de Thompson quando o ângulo do vertedouro for  $\alpha = 90^\circ$  (Macintyre, 1983). A altura H foi medida com uma régua milimetrada.

$$Q = 1,4H^{\frac{5}{2}} \tag{1}$$

- f) Rotação da roda – Foi construído um tacômetro usando uma calculadora comum, fornecendo uma precisão de 0,5 revolução. A calculadora permanece inalterada em suas funções, apenas foi introduzida uma ligação no teclado que foi conectada a um sensor magnético do tipo relé de lâmina ou “Reed-switch”. No eixo da roda, colado em um disco existem dois ímãs que, ao passar em frente ao sensor, acionam um dígito da calculadora. Desta forma acumula-se o número de voltas no tempo, antecipadamente determinado em um temporizador. Terminada a contagem do tempo, o temporizador desliga o sinal do sensor, permanecendo o total de rotações no display da calculadora. A Figura 5 ilustra esquematicamente a roda d’água usada nos experimentos.

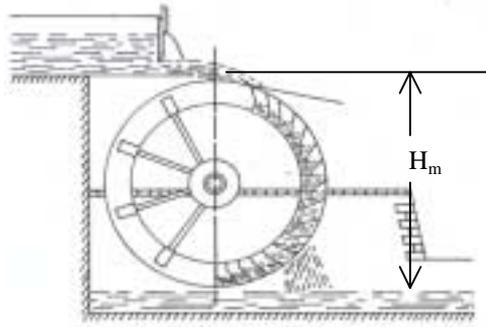


Figura 5. Vista esquemática de uma roda d'água de cima. Fonte: Mialhe (1980).

Os seguintes procedimentos experimentais foram adotados: a) Inicialmente foi controlada a vazão de água para acionamento da roda d'água, pela fixação do nível de água no vertedor. b) Em seguida mediu-se a rotação da roda d'água. c) Posteriormente mediu-se a vazão volumétrica e as pressões da água na entrada e saída da bomba. d) Finalmente, mediu-se as temperaturas da água e do ambiente. As medidas foram repetidas em intervalos regulares de 10 em 10 minutos para valores crescentes de descarga para alimentação da roda d'água. Tendo obtido os resultados experimentais calculou-se as potências de acionamento da roda d'água e das bombas e o trabalho por unidade de massa de cada uma das bombas.

A potência motriz no eixo da roda d'água  $\dot{W}_r$  é dada por (Mialhe, 1980; Macintyre, 1983)

$$\dot{W}_r = \eta \gamma Q H_m \quad (2)$$

onde  $\gamma = \rho g$ ,  $\rho = 1/v$  e considerou-se  $\eta_r = 0,7$ . Esta potência compreende a potência fornecida pelo motor ao eixo da bomba.

Assumindo que o processo de bombeamento é permanente, adiabático e reversível, e desprezando-se as variações das energias cinética e potencial, o trabalho por unidade de massa ( $W_b$ ) realizado pela bomba pode ser determinado por (Van Wylen et al, 1993):

$$W_b = (P_s - P_e) \left( \frac{v_e + v_s}{2} \right) \quad (3)$$

A potência  $\dot{W}_b$  necessária para bombear o fluido é obtida por:

$$\dot{W}_b = q(P_s - P_e) \quad (4)$$

A eficiência total roda d'água-bomba do sistema  $\eta_{br}$  é dada por

$$\eta_{br} = \frac{\dot{W}_b}{\dot{W}_r} \quad (5)$$

A Figura 6 ilustra um esquema representativo do sistema de bombeamento discutido neste trabalho. Vale salientar que, devido a dificuldade de incorporação do manômetro na tubulação de recalque e para evitar erros de medição, o mesmo foi acoplado a 2,26 m da saída da bomba. Devido a isto, os valores de pressão constantes reportadas referem-se aos valores das pressões lidas no manômetro adicionadas 19,61 kPa que corresponde aproximadamente a perda de carga da saída da bomba até o manômetro.

Outros detalhes experimentais podem ser encontrados em Holanda (2001).

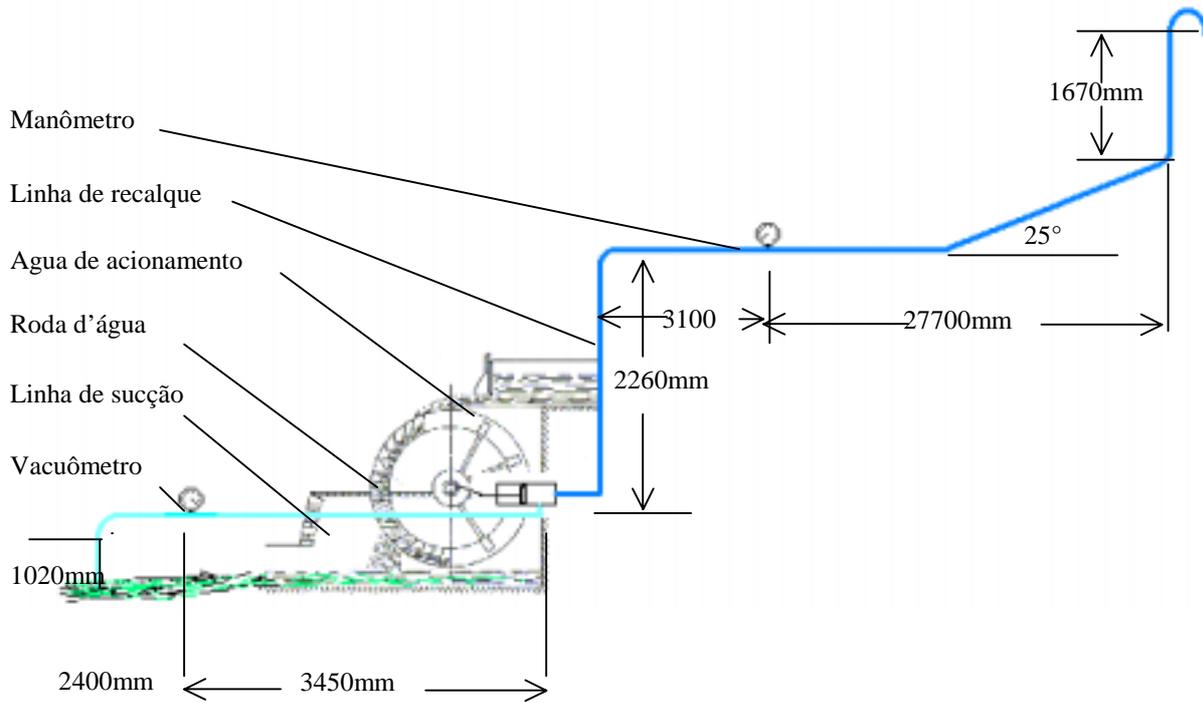


Figura 6. Esquema representativo do sistema de bombeamento.

### 3. Resultados e discussões

A operação de bombeamento consiste em fornecer energia ao fluido para que possa executar o trabalho necessário para vencer todas as resistências que se apresentem no seu processo. A Tab. (1) apresenta os valores das alturas do nível d'água no vertedor, vazão de alimentação e rotação da roda d'água, pressão de entrada e saída da bomba de pistão, bem como as temperaturas do ambiente e da água e a vazão da bomba de pistão. Para estes experimentos utilizou-se uma altura topográfica de recalque de aproximadamente 10 m. As propriedades termodinâmicas da água de bombeamento para cada teste experimental foram obtidas supondo um processo isotérmico. Verificou-se que o processo de bombeamento d' água realizado ocorre a entropia e volume específico praticamente constantes, implicando assim, num processo isotérmico, incompressível e aproximadamente reversível (entropia de entrada e saída da bomba praticamente iguais). Da análise da tabela verifica-se que quanto maior a altura do nível de água no vertedor maior a vazão da água fornecida pela bomba de pistão, como esperado.

Tabela 1 - Valores médios obtidos durante o funcionamento da roda d'água com a bomba de pistão.

Teste	H <sub>m</sub> (m)	Qx10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s)	N (rpm)	P <sub>b</sub> (kPa)				T (°C)		q x10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s)
				Man		Abs		Amb	Água	
				Ent	Saída	Ent	Saída			
1	1,770	0,45	6,8	-13,599	117,68	87,701	218,980	21,4	21,3	0,017
2	1,785	0,99	14	-14,665	117,68	86,635	218,980	21,5	22,0	0,052
3	1,800	1,81	25	-14,665	117,68	86,635	218,980	21,0	22,3	0,102

As Figuras 7, 8 e 9 ilustram os resultados das potências das bombas em função da vazão volumétrica para todos os experimentos com as bombas de diafragma e de pistão.

A Tabela 2 apresenta os valores das alturas do nível d'água no vertedor, vazão de alimentação e rotação da roda d'água, pressão de entrada e saída da bomba de diafragma, bem como as temperaturas da água e a do ambiente. Estes resultados correspondem aos valores médios obtidos a partir dos dados experimentais. Para estes experimentos utilizou-se uma altura topográfica de recalque de aproximadamente 10 m.

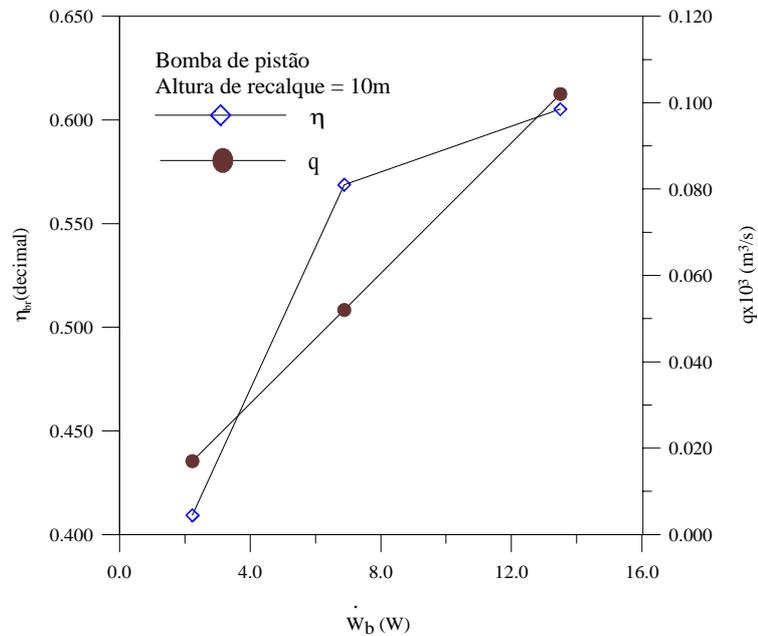


Figura 7. Rendimento total e vazão de água bombeada em função da potência no eixo da bomba de pistão. Altura de recalque = 10m

Tabela 2. Valores médios obtidos durante o funcionamento da roda d'água com a bomba de diafragma.

Testes	Hm (m)	Q x10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s)	N (rpm)	Pb (kPa)				T (°C)		q x10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s)
				Man		Abs		Amb	Água	
				Ent	Saída	Ent	Saída			
1	1,7801	0,78	16,50	-5,33	130,43	95,97	231,73	23,10	22,75	0,020
2	1,785	0,99	21,50	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,10	23,4	0,022
3	1,790	1,23	25,85	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,60	24,95	0,027
4	1,795	1,51	31,00	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,67	25,00	0,027
5	1,800	1,81	33,47	-5,33	130,43	95,97	231,73	25,17	24,35	0,026

Da análise da Tab. (2) verifica-se que há inicialmente um aumento da vazão na bomba em função do aumento da vazão do vertedor, em seguida a vazão da bomba permanece constante e finalmente decresce, isto é esperado visto que com o aumento da velocidade da roda d'água o seguidor não trabalha mais em sua amplitude total. Em conseqüência tem-se uma redução no deslocamento do diafragma. Como a vazão é função da amplitude desse deslocamento justifica-se a redução da vazão na bomba. Este comportamento é bem diferente daquele apresentado pela bomba de pistão. Verifica-se que para um H<sub>m</sub>, a rotação N na roda é maior na bomba de diafragma que na bomba de pistão. Isto é explicado da seguinte maneira: Tratando-se de uma roda de cima, quando a velocidade angular diminui, devido ao aumento da resistência útil, o momento motor aumenta numa proporção que pode atingir até 1:3 com relação ao momento resistivo (Macintyre et al., 1969). Isto se justifica devido ao fato de que, em velocidades mais baixas, as cubas enchem-se mais, aumentando o momento motor em relação ao eixo, devido ao peso da água contida nas cubas da roda.

As propriedades termodinâmicas da água de bombeamento foram obtidas supondo um processo isotérmico. Verificou-se que o processo de bombeamento d' água realizado ocorre a entropia e volume específico praticamente constantes, implicando assim, num processo isotérmico, incompressível e aproximadamente reversível.

A Figura 8 mostra os dados de desempenho da bomba de diafragma em operação, referente aos resultados reportados na Tab. (2) e a Fig. (9) mostra os dados de desempenho da bomba de diafragma em operação para uma altura de recalque de 5m. Observando-se os testes 2 e 3 da Tab. (1) correspondente a bomba de pistão, nota-se o crescimento do rendimento, enquanto que na Tab. (2), para as mesmas condições, o rendimento da bomba de diafragma permanece constante com tendência de redução.

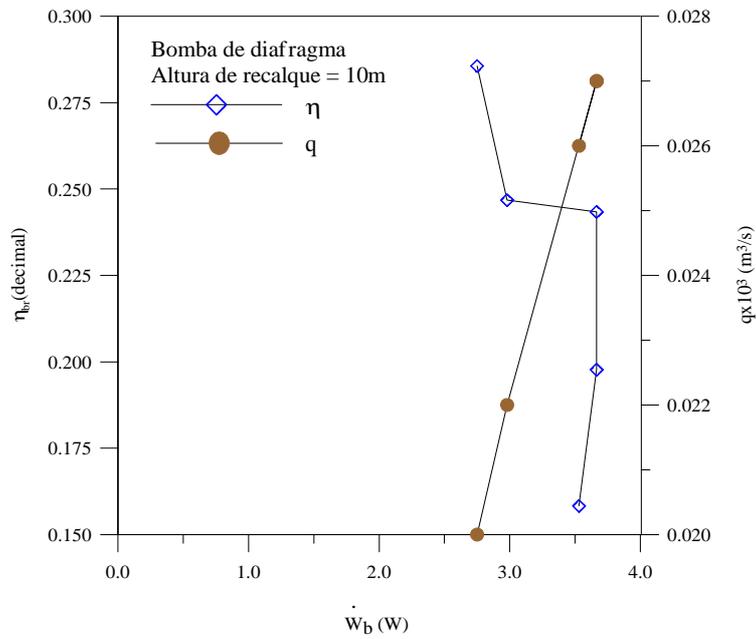


Figura 8. Rendimento total e vazão de água bombeada em função da potência no eixo da bomba de diafragma. Altura de recalque 10m.

A eficiência mecânica determina que parte do trabalho fornecido é convertido em trabalho útil, que pode ser obtido diretamente no eixo do equipamento. Então, esta eficiência leva em conta todas as perdas mecânicas causadas por fricção e resistência no equipamento tais como fricção entre o pistão e as paredes do cilindro e o suporte do eixo, assim como as perdas relacionadas com o acionamento da bomba, compressão e outras unidades auxiliares requeridas para operação das máquinas. Já o rendimento hidráulico se refere às perdas de carga no interior da bomba, devido o acabamento interno e restrições de ar (quando for o caso).

O rendimento volumétrico por sua vez decorre das perdas por vazamento interno do sistema da bomba e devido à recirculação de água, a depender do tipo de bomba. Observou-se que existe uma pequena diferença entre as entalpias da água nas entrada e saída e o trabalho específico na bomba. Esta diferença pode ser atribuída ao aquecimento da água durante o processo de compressão no interior da bomba, bem como a variação de velocidade do fluido ao passar pela bomba e até mesmo, erros na medição das pressões de entrada e saída da água na bomba.

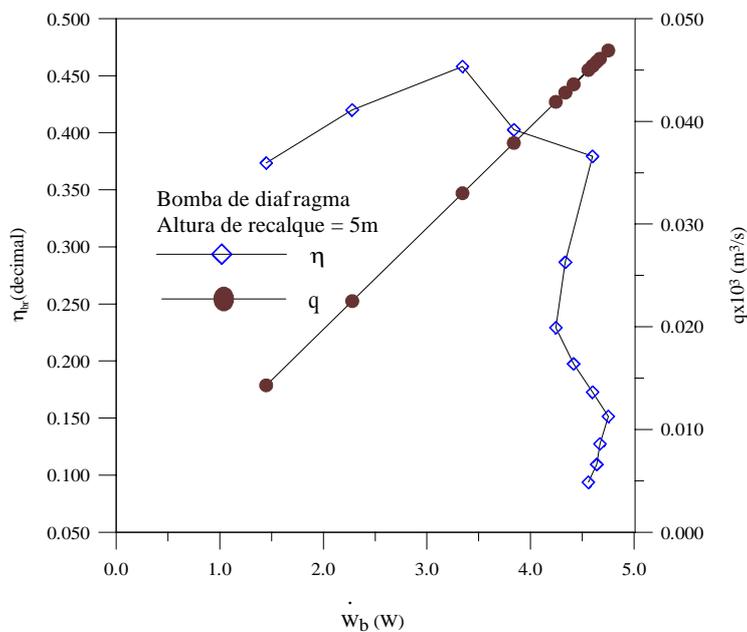


Figura 9. Rendimento total e vazão de água bombeada em função da potência no eixo da bomba de diafragma. Altura de recalque de 5m.

A bomba de diafragma e o mecanismo transformador funcionam bem. O maior problema apresentado e que é o ponto crítico, está nas válvulas de admissão e recalque que não responderam bem ao pequeno volume, proporcionado pelo deslocamento do diafragma.

Uma falha em qualquer uma das válvulas faz com que a bomba não faça o vácuo necessário ao auto-escorvamento, impedindo a realização do recalque. A troca das válvulas pode corrigir este defeito na bomba construída. Na falta do vácuo, a bomba respondeu ao recalque muito bem quando trabalha afogada, isto é, com a água ao nível da câmara molhada ou superior a esta. Com a troca das válvulas o problema de vedação foi solucionado e o vácuo necessário ao bombeamento foi realizado. No entanto, pesquisas para melhoramento neste sentido devem ser conduzidas.

#### 4. Conclusões

Dos resultados obtidos com esta pesquisa pode-se observar que:

- A vazão de água fornecida pela bomba de pistão aumenta com o aumento da potência no eixo da roda d'água, comportamento não verificado na bomba de diafragma;
- Para vazões fixas de alimentação da roda d'água, o rendimento da bomba de pistão foi muito superior ao apresentado pela bomba de diafragma;
- O rendimento da bomba de diafragma aumentou com o decréscimo da altura de recalque, no entanto, em alguns casos, ainda inferior àqueles apresentados pela bomba de pistão.
- A bomba de diafragma e o mecanismo transformador funcionaram bem, no entanto as válvulas de recalque e admissão necessitam de melhoramentos.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (processo nº 476457/2001-7), pelo apoio financeiro concedido e aos pesquisadores referenciados que com suas pesquisas, ajudaram no melhoramento deste trabalho.

#### 6. Referências

- Alfa Laval, 1999, "Understanding and selecting air operated diaphragm pumps". World Pumps. Nov.
- All-Flo Pump Co., 1999, "Double-Diaphragm Pumps". Developments.
- All-Flo Pump Company Inc., 2000, "Interchangeability Among Diaphragm Pumps". World Pumps. Jun.
- Bowan, G.J, 1997, "Specifying air-operated double-diaphragm pumps". World Pumps. Jan.
- Charles Austen Pumps Ltd., 2000, "Rotary Diaphragm Pump" World Pumps. Feb.
- Charles Austen Pumps Ltd., 2000, "Self-priming Rotary Diaphragm Pump". World Pumps. Jun.
- Eckle, F J; Bickert, P; Lachenmann, R and Wortmann, B., 1966, "Pumping speed of diaphragm pumps for various gases". Vacuum, Vol. 47, No. 6-8, pp. 799 – 801.
- Eckle, F J; Bickert, P; Lachenmann., 1995, "Rotary vane and roots pumps backed by diaphragm pumps – progress in corrosive applications and clean vacuum requirements" Vacuum. Vol. 46 No. 8-10, pp. 793 – 796.
- Holanda, P.R.H. 2001, "Projeto, Construção e Experimentação de uma Bomba de Diafragma Acionada à Baixa Rotação". Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande, Brasil. 95 p.
- Lewa Herbert Ott GmbH Co. 2000, "Process Diaphragm pumps in More Compact Form". World Pumps. Set.
- Liebenberg, R; Enslin J. H. R; Van der Merwe. 1995, "High efficiency, long-life actuator for PV water pumping applications." Renewable Energy. v. 6, n. 8, p. 1029-1032, Mar.
- Macintyre, A. J., 1983, "Máquinas Motrizes Hidráulicas". Guanabara Dois, Rio de Janeiro, Brasil, 643p.
- Mialhe, L.G., 1980, Máquinas Motoras na Agricultura. EDUSP, São Paulo, Brasil, 289p
- Timm, U., Klein, H.H., Schreck, S., Hafner H.U., Mattern-Klosson, and M., Mundinger, H.J., "Refrigerator cryopumps with a simple oil-free roughing pump". Vacuum, Vol.46, No.8-10 pp. 879 – 881.
- Van Wylen G., Sontag R. and Borgnakke C., 1993, Fundamentos da Termodinâmica Clássica. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil, pp. 244 –251.
- Zengerle, R., Geiger, W., Richter, M., Ulrich, J., Kluge, S, and Richter, A., 1995 a, "Transient measurements on miniaturized diaphragm pumps in microfluid systems". Sensors and Actuators A. No. 46-47, pp. 557-561.
- Zengerle, R., Ulrich, J. Kluge, S., Richter, M., and Richter, A. 1995 b, "A bidirectional silicon micropump". Sensors and Actuators A. No.50 pp. 81-86.

## CONSTRUCTION AND EXPERIMENTATION OF A DIAPHRAGM PUMP OPERATED TO THE LOW ROTATION.

### **Pedro Ronaldo H. de Holanda**

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB - 58109 970.  
[pronaldo@dem.ufpb.br](mailto:pronaldo@dem.ufpb.br)

### **Natanael Victor de Oliveira**

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB - 58109 970.  
[natanael@dem.ufpb.br](mailto:natanael@dem.ufpb.br)

### **Antonio Gilson Barbosa de Lima**

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB - 58109 970.  
[gilson@dem.ufpb.br](mailto:gilson@dem.ufpb.br)

***Abstract.** In the current times it is important to think in economy of energy, be electric or originating of burns of fuels. To use alternative energy in a rational way is a form of saving the conventional energy produced. Another advantage of the use of the energy non conventional is the production in small scale disseminated in the agricultural areas. This work has as objective presents the construction and test of a diaphragm pump. The efficiency of the diaphragm pump is evaluated by comparison with the efficiency of a piston pump, operating in the same conditions. The power of the pump is given by a paddle wheel submitted at many levels of rotation. Results of the power in the axes of the paddle wheel and of the pump, as well as of the volumetric flow and total efficiency of the pumps are presented and analyzed.*

**Keywords:** pump, diaphragm, piston, low rotation, experimental.