



ROMULO MATOS DOS SANTOS

**CONSTRUÇÃO DE UMA BOMBA D'ÁGUA,
ACIONADA POR RODA D'ÁGUA,
CONSTRUÍDAS COM MATERIAIS
ALTERNATIVOS.**

Paracatu-MG

2011

ROMULO MATOS DOS SANTOS

**CONSTRUÇÃO DE UMA BOMBA D'ÁGUA, ACIONADA POR RODA
D'ÁGUA, CONSTRUÍDAS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS.**

Monografia Apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Dr. Luís Antônio Lima

LAVRAS - MG

2011

ROMULO MATOS DOS SANTOS

**CONSTRUÇÃO DE UMA BOMBA D'ÁGUA, ACIONADA POR RODA
D'ÁGUA, CONSTRUÍDAS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em ____ de _____ de 2011

Dr.
Dr.

Dr. Luís Antônio Lima
Orientador

**LAVRAS – MG
2011**

DEDICO

A Deus, pela vida e oportunidade de estar cumprindo mais este desafio.

Aos meus pais, Eurico e Marli pelo amor incondicional, confiança, dedicação e amizade, que sem dúvida, contribuíram para esta conquista.

A minha irmã Adriene e meus irmãos Rosene e Ronald pela amizade, companheirismo, carinho e incentivo durante toda a minha vida.

A minha noiva Elaine, pelo amor, carinho, incentivo e paciência nos momentos que por alguma razão tive que dedicar mais aos estudos.

A todos meus tios e tias pelo apoio e incentivo.

Aos meus padrinhos pelo carinho, incentivo e apoio em toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Universidade Federal de Lavras pelo curso oferecido.

Ao coordenador do curso, Dr. Gilmar Tavares, pela disponibilidade e compromisso com o curso.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Formas Alternativas de Energia.

Aos tutores e funcionários do curso, que desempenharam papel importante no andamento do curso.

Aos professores que se disponibilizaram a participar da banca examinadora.

Finalmente, agradeço ao meu orientador Dr. Luís Antônio Lima, pela orientação na construção deste trabalho.

RESUMO

No último século, a engenharia hidráulica evoluiu muito na construção de projetos cada vez mais complexos, porém, em algumas situações o custo de um sistema para bombeamento de água torna-se inviável para a população de baixa renda. Com isso, observou-se a importância do desenvolvimento de uma bomba de água acionada por roda d'água, leve, barata e adaptável em inúmeras situações. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de bomba roda d'água que tenha baixo custo e seja de fácil montagem, instalação e manuseio. A bomba foi construída com conexões de PVC e a roda d'água com pneu e tábua, dois troncos de madeira para fixar o sistema. A avaliação da bomba com a roda d'água foi realizada variando o recalque em 10, 20, 30 e 40 metros de altura, com vazão de alimentação da roda d'água de $7,2 \text{ l.s}^{-1}$, os resultados obtidos mostraram-se coerentes com o esperado, em que a maior vazão foi conseguida com a menor altura de recalque (10 metros).

Palavras-chave: Recalque. Roda d'água. Vazão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Roda sobre axial.....	16
Figura 2	Roda sub axial.....	16
Figura 3	Bancada de ensaio <i>in loco</i>	17
Figura 4	Bomba d'água e seus componentes básicos e na sequência bomba montada.....	18
Figura 5	Corpo da bomba com as válvulas de entrada e saída.....	19
Figura 6	Válvulas de entrada e saída de água desmontadas.....	19
Figura 7	Corpo da bomba com válvulas coladas.....	20
Figura 8	Êmbolo.....	21
Figura 9	Êmbolo com sistema de transmissão para ser ligado ao eixo da roda.....	22
Figura 10	Bomba d'água com sistema de transmissão para ligar ao eixo da roda.....	22
Figura 11	Processo de montagem da roda d'água.....	23
Figura 12	Detalhes da fixação da bomba e do eixo.....	24

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1	Representação gráfica da descarga pulsante em bombas de simples efeito.....	14
Gráfico 2	Representação gráfica da descarga pulsante em bombas de duplo efeito.....	14
Gráfico 3	Altura de recalque <i>versus</i> rendimento volumétrico da bomba.....	28
Tabela 1	Custo e relação do material utilizado na construção da bomba e da roda d'água.....	24
Tabela 2	Rotação da roda (RPM) <i>versus</i> altura de recalque.....	29
Tabela 3	Altura de recalque <i>versus</i> volume diário.....	29
Quadro 1	Materiais que não precisavam ser comprados.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Bombas Hidráulicas.....	12
2.1.1	Bombas volumétricas ou hidrostáticas.....	12
2.1.2	Bombas de pistão.....	13
2.2	Roda D'água.....	15
2.2.1	Sobre Axial.....	15
2.2.2	Sub Axial.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1	Bancada experimental.....	17
3.1.1	Construção da bomba.....	17
3.1.2	O corpo da bomba.....	18
3.1.3	Válvulas de entrada e saída de água.....	19
3.1.4	Êmbolo.....	20
3.1.5	Sistema de Transmissão.....	21
3.1.6	Montagem da bomba.....	22
3.2	Montagem da Roda D'água.....	23
3.3	Montagem do Sistema.....	24
3.4	Avaliação da bomba.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1	Desempenho da bomba.....	28

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
6	CONCLUSÃO.....	30
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

A água é de necessidade essencial para a vida humana. Tendo em vista que está distribuída de forma irregular, no tempo e no espaço, torna-se necessário o transporte de onde ela está disponível até os locais onde ela é necessária. Assim, a hidráulica vem sendo utilizada desde o início das primeiras sociedades urbanas organizadas, compatibilizando oferta e demanda.

Os trabalhos hidráulicos são conhecidos desde a mais remota antiguidade. As civilizações antigas que se fixaram em regiões áridas, mais próximas de cursos de água facilmente aproveitáveis, foram conservadas graças à utilização eficiente de seus recursos hidráulicos. Há mais de 3000 anos a.C., os egípcios já haviam construído obras hidráulicas monumentais para a irrigação das margens do Nilo. Os habitantes da Mesopotâmia utilizavam os recursos da irrigação para a sua produção agrícola e os babilônios, além da irrigação, já eram pródigos em serviços de drenagem.

Inicialmente, a hidráulica consistia apenas em uma arte empírica. As grandes obras hidráulicas da antiguidade foram executadas com conhecimentos obtidos pela tradição. Os primeiros conhecimentos científicos só tiveram início com Arquimedes, cerca de 200 anos a.C., quando esse sábio anunciou o seu célebre princípio de hidrostática, relativo às pressões sobre os corpos imersos. Praticamente, só a partir do século XVII, a ciência hidráulica teve progresso com os estudos de Stevin e Galileu, ainda em relação à hidrostática, e de Torricelli, que enunciou o primeiro teorema da hidrodinâmica e estabeleceu a relação entre a carga e a velocidade de escoamento de um filete líquido.

Atualmente a engenharia hidráulica está em fase de intenso desenvolvimento científico e tecnológico, com projetos cada vez mais complexos e de maior envergadura, com grande utilização na sociedade, devido ao aumento exagerado no consumo de água para o desenvolvimento econômico,

com a utilização direta para o consumo e para insumo industrial e agrícola. Necessitando, cada vez mais, fazer o uso racional dos recursos hídricos.

Esta engenharia evoluiu muito no último século, porém, em algumas circunstâncias, o preço dos equipamentos inviabiliza a utilização pela população de baixa renda que necessita fazer um simples bombeamento de água. Devido à necessidade dessa ferramenta para bombeamento de água, torna-se importante o desenvolvimento de uma bomba d'água, acionada por roda d'água, construída com materiais alternativos de baixo custo.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar uma bomba d'água acionada por roda d'água que tenha baixo custo e seja de fácil montagem, instalação e manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bombas hidráulicas

Segundo Macintyre (1997), bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

São máquinas que recebem trabalho mecânico e o transformam em energia hidráulica, fornecendo energia ao líquido (DENICULI, 2001).

A escolha da bomba é determinada, principalmente, pelas condições de operação e de manutenção e, ainda, por considerações econômicas. Naturalmente, é de interesse instalar uma unidade que forneça a vazão desejada de fluido para a pressão necessária (AZEVEDO NETTO et al, 2003).

Assim sendo, de acordo com a utilização, os principais modelos de bombas hidráulicas são as que estão descritas a seguir.

2.1.1 Bomba volumétrica ou hidrostática

Segundo Azevedo Netto et al. (2003), os elementos móveis das bombas volumétricas deslocam uma quantidade de fluido que fixada pelas dimensões e pela geometria, contra uma pressão que é determinada pelas alturas de recalque e de sucção, e ainda pelas perdas devidas ao atrito no sistema de tubulação. A vazão é proporcional à velocidade, e a pressão máxima é limitada somente pelas folgas necessárias entre os elementos móveis e o corpo estacionário, e, ainda pela resistência dos materiais empregados. O produto das forças aplicadas aos elementos móveis pelas velocidades dará a energia gasta na bomba.

Esse tipo de bomba succiona a água pelo vácuo parcial; a pressão ambiente no poço (atmosférica) força a água pelo tubo de sucção por meio da válvula de entrada, enchendo o cilindro. Invertendo a direção do êmbolo, a válvula de entrada se fecha e a de saída se abre. Devido à pressão aplicada pelo êmbolo, a água é forçada no tubo de recalque.

2.1.2 Bombas de pistão

Todas as bombas de pistões funcionam com base no princípio do movimento alternativo executado pelos pistões, ou seja, sucção do fluido num sentido e expulsão no sentido contrário (FIALHO, 2003).

Segundo Macintyre (1997), as bombas de pistão possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento. Proporciona então as condições para que se realize o escoamento na tubulação de aspiração até a bomba e na tubulação de recalque até o ponto de utilização. Estas bombas podem ser:

- simples efeito, quando apenas uma face do pistão atua sobre o líquido;
- duplo efeito, quando as duas faces atuam sobre o líquido;

Chamam-se ainda:

- símplex, quando existe apenas uma câmara ou pistão na bomba;
- duplex, quando são dois pistões;
- triplex, quando são três pistões;
- multiplex, quando são quatro ou mais pistões na bomba.

A vazão da bomba é dada em função do tamanho da câmara, da velocidade do pistão e do rendimento volumétrico da bomba. É apresentada, nos

Gráficos 1 e 2, a descarga pulsante nas bombas de simples e duplo efeito respectivamente.

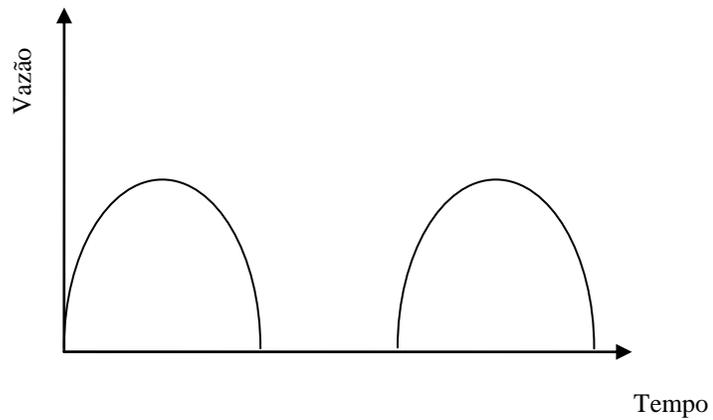


Gráfico 1 Representação gráfica da descarga pulsante em bombas de simples efeito

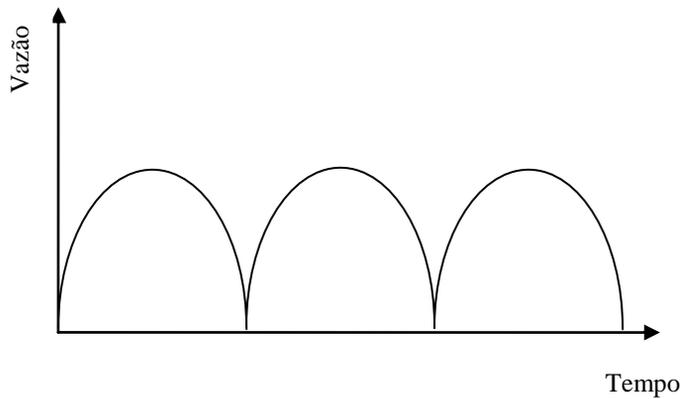


Gráfico 2 Representação gráfica da descarga pulsante em bombas de duplo efeito

Segundo Macintyre (1997), os recursos empregados para reduzir a descarga pulsante são:

- Aumentar a seção do encanamento;
- Diminuir a aceleração do êmbolo;
- Utilizar duas bombas de duplo efeito, ligadas no mesmo encanamento de modo que quando uma câmara inicia seu ciclo com descarga instantânea nula, a outra fornecerá, praticamente, a descarga instantânea máxima.

2.2 Roda d'água

A roda d'água é um dispositivo circular montado sobre um eixo, contendo, na sua periferia, cubas ou aletas dispostas de modo a aproveitar a energia hidráulica. As rodas d'água podem ser sobre axial ou sub axial.

2.2.1 Sobre axial

As rodas do tipo sobre axial possuem pequenos reservatórios montados diagonalmente na roda. A água é conduzida por um canal ou tubulação e derramada na parte alta da roda, de modo a encher as cubas à medida que estas passam pela parte alta da roda, isso faz com que um dos lados da roda fique mais pesado e faça a roda girar. Este tipo de roda extrai principalmente a energia potencial da água uma vez que faz o aproveitamento do deslocamento da água de um ponto mais alto para um ponto mais baixo (Figura 1).



Figura 1 Roda sobre axial

Fonte: Alterima

2.2.2 Sub axial

Nas rodas do tipo sub axial a água passa por baixo do eixo da roda, a qual possui aletas que ficam em contato com a água da corredeira do rio, ou do canal, elas extraem principalmente a energia cinética, uma vez que aproveita a velocidade da água (Figura 2).



Figura 2 Roda sub axial

Fonte: Alterima

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Bancada Experimental

A condução do trabalho foi realizada em uma chácara, localizada a oito quilômetros de Paracatu-MG, sendo utilizada uma queda d'água de 1 metro de altura, em relação à base da roda d'água. Para a avaliação do sistema bomba roda d'água, foi utilizado um tubo de 200 mm com vazão regulada pela abertura e fechamento na entrada do tubo, e no recalque foi utilizado tubo de $\frac{3}{4}$ com altura variando de acordo com o local e comprimento do tubo (Figura 3)



Figura 3 Bancada de ensaio *in loco*

3.1.1 Construção da bomba

Na Figura 4, encontra-se ilustrada a bomba com todos os seus componentes básicos. Ela foi construída com materiais de fácil aquisição, sendo a maior parte desses materiais tubos e conexões em PVC, que podem ser

encontrados em lojas de irrigação e materiais hidráulicos.



Figura 4 bomba d'água e seus componentes básicos e na sequência bomba montada

- 1 – Redutor soldável de 50 mm para $\frac{3}{4}$;
- 2 – Esfera de plástico (nylon) 32 mm;
- 3 – Segmento de PVC 2 mm por 50 mm (retirado em um tubo de PVC $\frac{3}{4}$ utilizado para água);
- 4 – Tê de PVC 50 mm com uma saída de $\frac{3}{4}$;
- 5 – Luva de PVC de 50 mm;
- 6 – Tubo de PVC utilizado para água quente com 15 cm de comprimento e $\frac{3}{4}$ de diâmetro;

3.1.2 O corpo da bomba

O corpo da bomba foi construído com um Tê de 50 mm com uma saída de $\frac{3}{4}$, 15 cm de tubo de PVC utilizado para água quente de $\frac{3}{4}$ (Figura 5).



Figura 5 corpo da bomba com as válvulas de entrada e saída

3.1.3 Válvulas de entrada e saída de água

Para construção das válvulas, foram utilizados três redutores de 50 mm para $\frac{3}{4}$, sendo que um deles foi utilizado para reduzir a saída de água, duas esferas plásticas (nylon) ocas de 32 mm, uma luva de PVC de 50 mm e duas tiras de 2 mm por 50 mm de PVC (Figura 6).



Figura 6 Válvulas de entrada e saída de água desmontadas

Para construção das válvulas, esferas de plástico (Nylon) foram instaladas dentro dos redutores. Em seguida, foi colocada uma tira de PVC de 2 mm por 50 mm na borda, colando os dois redutores na mesma direção, sendo

que o que ficou invertido tem a metade para fora, onde foi colada a luva com o outro redutor (Figura 7).



Figura 7 Corpo da bomba com válvulas coladas

3.1.4 Êmbolo

O êmbolo da bomba é o dispositivo central do corpo da bomba o qual é responsável pela pressão de sucção e recalque.

Para construção do êmbolo, foram utilizados uma barra de ferro com rosca de 3/8 por 40 cm de comprimento com 8 porcas e 8 arruelas; dois segmentos de couro com diâmetro de $\frac{3}{4}$ e furo central no diâmetro da barra com rosca; e dois segmentos de PVC rígido de 7 mm de espessura e dimensões iguais a do couro (retirado de redutor de PVC de 100 para 60 mm). Na barra que serviu de eixo do êmbolo foi colocada uma porca de 13 mm até 7 cm. Em seguida, colocou-se um segmento de PVC, o pedaço de couro e uma porca, e na ponta do eixo repetiu-se o mesmo processo anterior, para diminuir as perdas ocasionadas no êmbolo (Figura 8).

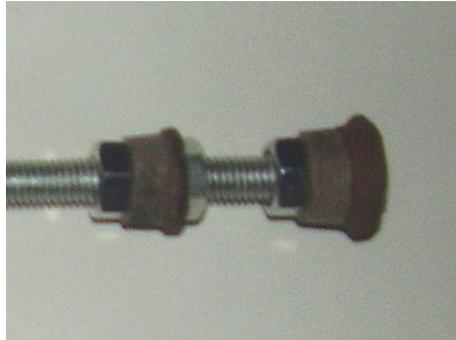


Figura 8 Êmbolo

3.1.5 Sistema de Transmissão

O sistema de transmissão é utilizado para transferir potência e movimento a outro sistema.

A montagem foi feita no eixo do êmbolo, utilizando duas placas de PVC rígido de 4 cm x 10 cm e 7 mm de espessura com um furo de cada lado no diâmetro do eixo (retirado de redutor de 100 para 60 mm, colocado em água quente, depois prensado entre duas tábuas até esfriar para ficar plano), um rolamento com diâmetro de 3,7 cm e furo de 1,1 cm, utilizado em eixo de moto; e um parafuso de 10 cm e diâmetro igual ao furo do rolamento.

A montagem foi feita colocando as duas placas de PVC, entre porcas, no centro do eixo e espaçadas no tamanho do rolamento e este colocado entre as placas e fixado excentricamente no eixo da roda por um parafuso (Figura 9).



Figura 9 Êmbolo com sistema de transmissão para ser ligado ao eixo da roda

3.1.6 Montagem da bomba

Após organizar todas as peças, foi feita a montagem da bomba. Inicialmente, foram montadas as válvulas, depois o pistão fora do tubo de PVC. Em seguida, foi montado o sistema de transmissão para fixar no eixo da roda d'água (Figura 10).



Figura 10 Bomba d'água com sistema de transmissão para ligar ao eixo roda

3.2 Montagem da Roda D'água

A roda d'água é a parte que transforma a energia cinética da água em energia mecânica. Para sua construção foi utilizado um pneu 175/70 aro 14, sem

condições de uso automobilístico, duas tábuas de 15 cm por 3 metros, 60 cm de madeira roliça com diâmetro de 4 cm e quinhentos gramas de prego 17 x 21.

Primeiro foi preparado o material. O pneu foi cortado deixando somente as laterais. As tábuas foram cortadas em oito pedaços de 15 por 15 cm, dezesseis pedaços de 13 por 15 cm e dois do tamanho interno do pneu. Na madeira, foram feitas duas cavas no centro, uma de cada lado com 15 cm de comprimento e 1 cm de profundidade para fixar na tábua. Em seguida, com a parte interna do pneu virada para fora, foram pregadas as tábuas de 15 por 15 cm ao redor da parte interna. Depois, a madeira foi centralizada e pregada entre as duas tábuas para servir de eixo e, neste, foi colocado um rolamento de cada lado. Este conjunto foi centralizado e pregado nas tábuas da parte interna do pneu; posteriormente, foram pregadas as tábuas inclinadas por dentro do pneu, formando as cubas. (Figura 11).



Figura 11 Processo de montagem da roda d'água

Após a montagem da roda, foi feito o balanceamento, colocando-a com os rolamentos fixados no eixo sobre duas bases, foi-se girando e colocando um pedaço de madeira no lado que estava mais leve, até quando rodá-la por várias vezes e parar em pontos diferentes.

3.3 Montagem do sistema

Ao lado do córrego, foram colocados dois troncos com 40 cm de diâmetro, distanciados em 40 cm. Sobre eles, com duas abraçadeiras de 6 cm e dois pregos de 17 x 21, foram pregados os rolamentos que sustentam a roda. Depois, a bomba foi fixada em um dos troncos com 3 abraçadeiras (duas de 6 cm e 1 de 3 cm) e o eixo de transmissão com duas de 4 cm (Figura 12).



Figura 12. Detalhes da fixação da bomba e do eixo

Na tabela 1, são apresentadas as peças e seus custos, e no quadro 1 são mostrados materiais que não precisaram ser comprados.

Tabela 1 Custo e relação do material utilizado na construção da bomba e da roda d'água

Especificação	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Total (R\$)	Análise vertical (%)
Tê sold. 50 mm Com saída $\frac{3}{4}$	1m	2,5	2,50	3,81

Joelho sold. ¾	2 un	0,70	1,40	2,13
Redutor de 50mm para ¾	3un	1,10	3,30	5,03
Tê ¾ sold. com saída 1” rosca	1 un	2,80	2,80	4,27
Luva PVC de 50 mm	1 un	1,80	1,80	2,74
Válvula de retenção ¾	1 un	18,0	18,00	27,43
Adaptador sold./rosca ¾	2un	0,35	0,70	1,07
Prego 17x21	0,5kg	7,00	3,50	5,33
Tábua 15 cm por 3m	2 un	9,00	18,00	27,43
Madeira roliça diâmetro 4 cm	0,6 m	5,00	3,00	4,57
Parafusos	3 un	0,70	2,10	3,20
Arruelas 8 mm	4un	0,13	0,52	0,80
Abraçadeira	6 un	0,70	4,20	6,40
Barra de ferro com rosca mais 8 porcas e 8 arruelas	1 m	3,80	3,80	5,79
TOTAL (R\$)			65,62	100

Nota: Preço do dólar 1,60 R\$

Quadro 1 Materiais que não precisaram ser comprados.

Especificação	Quantidade
Pneu 175/70 aro 14	1 unidade
Madeira para suporte	2 troncos 40 cm de diâmetro
Couro para êmbolo	2 unidades
Tubo PVC 200 mm	6 metros
Rolamento de esfera com diâmetro de 3,7	

cm e furo de 1,1 cm (utilizado em moto)	1 unidade
Rolamento de esfera com diâmetro de 7 cm e furo de 4 cm (utilizado em moto)	2 unidades
Garrafa pet 2 litros	1 unidade

3.4 Avaliação da bomba

O sistema bomba roda d'água foi testado utilizando a água de um córrego com queda de 1 metro e vazão aproximada de 250 litros por segundo, localizada em uma chácara na região de Paracatu-MG.

A sucção foi feita por gravidade, retirando água do próprio córrego e o recalque foi feito com tubulação de $\frac{3}{4}$. As alturas foram conseguidas aumentando o comprimento da tubulação, que para elevar a 10, 20, 30 e 40 metros foram necessários 126, 186, 288 e 384 metros de tubo respectivamente.

A avaliação da bomba foi feita mantendo a vazão de alimentação sobre a roda de $7,2 \text{ l.s}^{-1}$ e altura de recalque variando em 10, 20, 30 e 40 metros acima do nível do córrego. Sendo comparada a altura de recalque com seu respectivo rendimento.

Para a coleta da vazão, foi aguardada uma hora para que o sistema entrasse em equilíbrio. A água foi coletada em balde com capacidade para 10 litros e o volume medido em proveta graduada com precisão de 10 ml.

O rendimento volumétrico (λ) foi calculado para cada altura de recalque, conforme equação 1:

$$\lambda = V_{\text{real}} / V_{\text{teórico}}$$

Em que:

λ - rendimento volumétrico da bomba (%)

V_{real} – Volume real coletado no recalque (ml);

$V_{\text{teórico}}$ – Volume teórico da bomba ou volume referente ao curso do pistão (ml).

O volume teórico foi medido conforme equação 2:

$$V_{\text{teórico}} = R \Omega_e$$

Onde:

R = curso do êmbolo (cm);

Ω_e = área nítida da face ativa do êmbolo (cm²)

Volume recalado nas bombas de pistão (equação 3)

$$V \text{ (cm}^3\text{)} = R \Omega_e \lambda$$

Segundo Macintyre (1997), o rendimento volumétrico resulta das seguintes causas:

- A aspiração é feita em consequência de uma depressão ocorrida na câmara da bomba devido ao deslocamento do êmbolo, o que provoca o desprendimento parcial dos gases dissolvidos no líquido e que passam a ocupar uma parte do volume gerado pelo movimento do êmbolo, no curso do recalque, que volta a situação inicial. Portanto, λ depende da pressão mínima reinante na bomba, na fase de aspiração, e da percentagem de gás que o líquido traga em dissolução;
- Fugas devidas ao atraso no fechamento das válvulas;
- A eventual deficiência na estanqueidade das válvulas;
- Perdas nos anéis de vedação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho da bomba

No Gráfico 3, está representado o rendimento da bomba para cada altura de recalque, mostrando que com o aumento do recalque o rendimento foi decrescendo. Os dados representam a média de todas as vazões em todas as alturas de recalque.

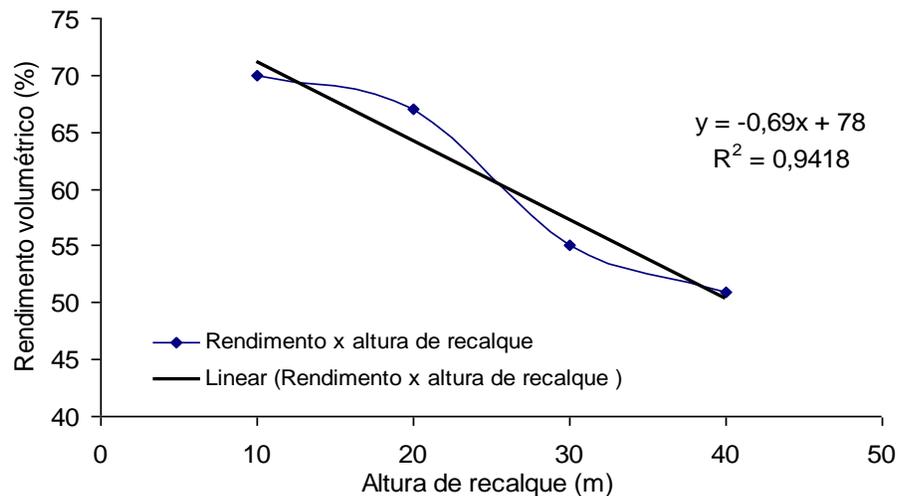


Gráfico 3 Altura de recalque *versus* rendimento volumétrico da bomba

A redução no rendimento pode ser devido à ocorrência de fuga da água nas válvulas e no pistão, por este apresentar vedação de couro flexível, diminuindo, assim, o volume de água recalçada pelo volume do corpo da bomba.

Devido a bomba não ser construída de materiais rígidos, ao aumentar a pressão interna, diminui sua eficiência, uma vez que a eficiência depende do

bom funcionamento das válvulas, como do sistema de vedação das partes móveis da bomba.

A rotação da roda, com mesma vazão de alimentação, também teve uma diminuição com o aumento da altura de recalque (Tabela 2), devido ao aumento da pressão exigida pelo aumento da altura de recalque.

Tabela 2 Rotação da roda (RPM) versus altura de recalque

Altura de Recalque (m)	Rotação da Roda D'água (RPM)
10	75
20	71
30	68
40	59

Na Tabela 3, está representado o volume diário recalcado pela bomba para cada altura de recalque, em que se pode ter uma ideia do volume disponível a ser utilizado em cada situação.

Tabela 3 Altura de recalque *versus* volume diário

Altura de recalque (m)	Volume diário (l)
10	1310
20	1180,8
30	936
40	748,8

As alturas de recalque, apresentadas anteriormente no trabalho, são somente a altura geométrica não levando em consideração a perda de carga na tubulação, devido à baixa velocidade da água, o que torna esta perda de carga pouco expressiva.

Ao observar os resultados obtidos, em que o rendimento da bomba para a altura 10 m foi 70%, 20 m 67 %, 30 m 55% e 40 m 51%, percebe-se que a diminuição do rendimento é evidente e deve ser levada em consideração em sua utilização.

Segundo Macintyre (1997), o rendimento das bombas volumétricas varia de 85%, em bombas pequenas, a 98% em bombas grandes. Este tipo de bomba, quando construída com materiais rígidos, é utilizado para elevação em grandes alturas manométricas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à bomba não ser construída com materiais rígidos, os resultados obtidos mostraram-se coerentes com o esperado. Devido a isso, sua utilização exige uma etapa final de avaliação e adequação às operações específicas a que se deseja efetuar em seu funcionamento.

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista o objetivo do trabalho e a análise dos resultados obtidos, conclui-se que:

- A bomba mostrou-se eficiente para elevação de água em pequenas alturas;
- A construção foi relativamente fácil e de baixo custo;
- A bomba apresentou melhor desempenho com menor altura, ou seja, a 10 m;
- Necessita-se de aperfeiçoamento no sistema de transmissão da roda para a bomba, uma vez que apresentou desgaste em tempo relativamente curto (30 dias).

- Com o aumento da altura de recalque, conseqüentemente, a velocidade da roda foi diminuindo, mostrando assim, que se houver necessidade de aumentar a altura de recalque, também haverá necessidade de aumentar o diâmetro da roda.
- Faz-se necessário um novo ciclo de avaliações e adaptações para melhorar o rendimento e aumentar a vida útil do sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAKER, A. Captação, elevação e melhoramento da água; A água na Agricultura, 2º. vol. 6ª. Ed. rev. Ampl. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. 408p.

DENÍCULI, W. Bombas Hidráulicas; Cadernos didaticos, viçosa: UFV, 2001. 162p.

FIALHO, A. B. Automação Hidráulica; Projetos, Dimencionamento e Análise de Circuitos. 4ª. Ed. São Paulo: Érica, 2003. 284 p.

LARA, M. e BAPTISTA, M. Fundamentos de engenharia hidráulica. 2ª. Ed. rev. Belo Horizonte:UFMG, 2003. 440 p.

MACINTYRE, A.J. Bombas e Instalações de Bombeamento. 2ª. Ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 1997.782 p.

AZEVEDO NETTO. et al. Manual de Hidráulica. 8. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 669 p.

ALTERIMA. Roda d'água. Disponível em:
<<http://www.alterima.com.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

