

ELEVAÇÃO DE ÁGUA COM BASE APENAS NA ENERGIA DO PRÓPRIO ESCOAMENTO Water Elevation Using Only the Flow Energy

ALFREDO FERREIRA ⁽¹⁾, CRISTINA SANTOS ⁽²⁾ e PAULO ROSA-SANTOS ⁽³⁾

⁽¹⁾ Professor Leitor, Faculdade de Engenharia, Ciência e Tecnologia da Universidade Nacional Timor Lorosa'e,
Avenida Cidade de Lisboa, Dili, Timor-Leste. Alfredo.Ferreira@untl.edu.tl

⁽²⁾ Professor Auxiliar Convidado, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal, csantos@fe.up.pt

⁽³⁾ Professor Auxiliar Convidado, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal, pjr Santos @fe.up.pt

Resumo

Este estudo surgiu da necessidade de dotar as povoações mais isoladas da ilha de Timor-Leste de abastecimento contínuo de água para consumo humano, uso doméstico e atividades agrícolas. As bombas de aríete (carneiros hidráulicos) são mecanismos de elevação de água que utilizam o fenómeno do choque hidráulico para elevar a água dezenas de metros acima da captação. Pela sua simplicidade, baixo custo e por não necessitarem de qualquer tipo de fornecimento externo de energia, são os dispositivos mais adequados para elevar água até às povoações mais remotas.

Neste trabalho montou-se uma unidade no Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da FEUP, verificaram-se as condições de funcionamento e fez-se um projeto para uma aplicação *in-situ* em Timor-Leste. Demonstrou-se o funcionamento da bomba de aríete e a complexidade dos fenómenos que lhe estão associados e concluiu-se que a quantidade de água elevada depende de fatores relacionados com a montagem e características da instalação, e da definição das suas condições de funcionamento.

Estes dispositivos podem ter uma aplicação bastante mais generalizada, podendo mesmo substituir muitos dos atuais sistemas de bombagem.

Palavras-chave: Bomba de aríete, carneiro hidráulico, choque hidráulico.

Abstract

This study came from the need to provide potable water to the population of small villages in remote areas of Timor Lorosa'e. Hydraulic rams are the most suitable devices for such purposes since they can elevate water hundreds of meters using only the energy of the flow, by inducing the water hammer phenomena. They don't need any other source of external energy and are very simple to build and maintain.

In this study, an experimental unit was built and the conditions of operation were tested in the Hydraulics Laboratory of the Hydraulics, Water Resources and Environment Division of FEUP. An *in-situ* installation for a small village in Timor Lorosa'e was also sized. The functioning of the hydraulic ram has been shown, as well as the complexity of the phenomenon that makes it work. It was concluded that the amount of elevated water depends on several factors related to the assembling and characteristics of the device as well as the definition of its working conditions.

Hydraulic rams have a wide range of applications, and the potential to replace many of the traditional pumping systems. This is a theme of great practical interest.

Keywords: Hydraulic ram, water supply, water hammer.

1. Introdução

Este trabalho de investigação surge da necessidade de dotar as povoações mais isoladas da ilha de Timor-Leste de um abastecimento contínuo de água para consumo humano, uso doméstico e atividades agrícolas, sem necessidade de se consumir qualquer tipo de energia externa (Ferreira, 2016). Timor-Leste estabeleceu como objetivo, até 2030, melhorar o acesso de todos os cidadãos do país à água potável e saneamento (Concelho de Ministros de Timor-Leste, 2011).

Como contributo para se alcançar este importante e ambicioso objetivo, o presente trabalho pretende estudar as características de funcionamento e desempenho hidráulico da bomba de aríete para um vasto conjunto de condições de aplicação, tendo em vista a sua introdução e utilização em Timor Leste, como meio alternativo de abastecimento de água nas áreas rurais mais remotas, de uma forma eficiente e económica em relação aos sistemas tradicionais de elevação e abastecimento.

Assim, com o presente trabalho pretende-se:

- Definir e caracterizar o funcionamento da bomba de aríete;
- Estudar este equipamento em laboratório para analisar as suas condições de funcionamento e os parâmetros que mais influenciam o seu desempenho;
- Projetar uma aplicação prática do equipamento em casos de estudo de meios rurais em Timor-Leste.

2. Bomba de Aríete

A primeira bomba de aríete foi montada em 1772 (Take, 1988), tendo sido sucessivamente melhorada nos séculos seguintes. No entanto, a invenção do motor de combustão interna, o uso da eletricidade e das primeiras bombas mecânicas, em conjunto com o baixo preço da energia fóssil, conduziram, no início do século XX, ao abandono destes equipamentos e desinteresse pela sua otimização.

Hoje em dia, devido à crescente escassez dos combustíveis fósseis, aumento do seu custo e preocupações ambientais, reverteu-se essa tendência e verifica-se a necessidade de promover a implementação de sistemas de bombagem mais eficientes, sustentáveis e com custos baixos de operação.

A instalação de uma bomba de aríete apresenta diversas vantagens: não há gasto de energia externa para elevação da água, tem uma construção e manutenção económicas, e apresenta um funcionamento contínuo ao longo do tempo.

Como desvantagens pode referir-se a necessidade de existir um desnível topográfico entre a fonte de água e a bomba de aríete com pelo menos 1 m de altura, bem como o facto de este equipamento apenas elevar cerca de 5 a 17 % de caudal total de alimentação (tendo por base valores experimentais obtidos por Ferreira, 2016).

2.1. Instalação

A configuração geral de uma instalação com bomba de aríete inclui uma fonte de água, a conduta de alimentação, a própria bomba, a conduta de elevação e um reservatório de armazenamento.

A bomba de aríete deverá ser posicionada a uma cota mais baixa que a fonte de água, para que o desnível topográfico existente seja suficiente para criar um escoamento gravítico na conduta de alimentação, com velocidade suficientemente elevada para que, aquando da ocorrência do fenómeno do choque hidráulico, a energia que a bomba transfere para o escoamento seja a suficiente para garantir a sua elevação até à cota pretendida.

2.2. Componentes e funcionamento

A bomba de aríete é constituída por (Figura 1):

- Válvula de escape - gera o choque hidráulico (golpe de aríete) e descarrega a água não bombeada;
- Válvula de admissão - controla a passagem da água do tubo de alimentação para o reservatório de ar comprimido (RAC);
- RAC - armazena temporariamente a energia potencial de pressão produzida durante o choque hidráulico e impulsiona a água para a conduta de elevação.

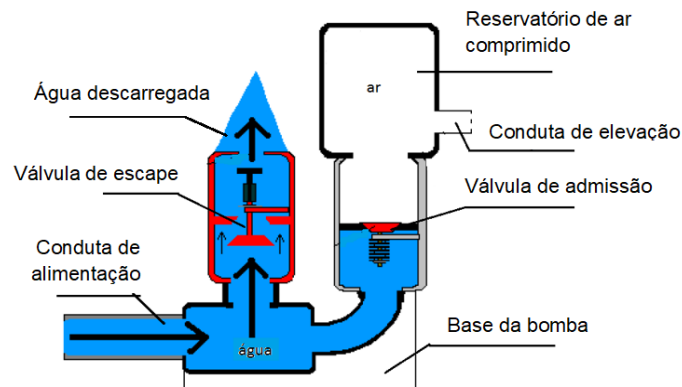


Figura 1. Esquema geral dos componentes da bomba de aríete (Calhoun, 2003).

O funcionamento da bomba é cíclico e contínuo, podendo ser descrito em quatro fases:

1ª Fase: a válvula de escape abre, a válvula de admissão fecha, a água proveniente do reservatório de alimentação escoar por gravidade na conduta de alimentação, preenche o corpo da bomba de aríete e começa a sair através da válvula de escape. Este movimento continua durante um período de tempo até que, na conduta de alimentação, se atinge a velocidade para a qual a resultante da pressão iguala o peso da válvula de escape (ou a força mínima da mola). Neste instante a válvula quase fecha.

2ª Fase: a velocidade máxima na conduta de alimentação verifica-se no instante imediatamente anterior ao fecho repentino da válvula de escape. Isso cria uma sobrepressão momentânea (i.e., choque hidráulico) que, por sua vez, força a válvula de admissão a abrir, permitindo a entrada de água no RAC. Esta entrada de água leva à compressão do ar do RAC e ao correspondente aumento de pressão da água no seu interior. Devido ao aumento de pressão (e de carga hidráulica) a água começa a fluir para a conduta de elevação.

3ª Fase: a válvula de escape está fechada e a água para de fluir através da conduta de alimentação. A onda de pressão, gerada pelo choque hidráulico, percorre a conduta desde a bomba de aríete até ao reservatório de alimentação e regressa à bomba. A subpressão no interior da bomba, em conjunto com a pressão aumentada no interior do RAC, fecha a válvula de admissão. Entretanto o volume de ar no RAC continua a expandir-se devido ao escoamento na conduta de elevação.

4ª Fase: A subpressão da conduta de alimentação, na secção de entrada da bomba, além de contribuir para o fecho da válvula de admissão (3ª fase), permite a abertura da válvula de escape - a resultante da pressão sobre esta válvula é agora inferior ao peso desta (ou da força máxima da mola comprimida). A válvula de escape abre e a água da conduta de alimentação começa novamente a fluir para a bomba e para a válvula de escape. A válvula de admissão permanece fechada. O volume de ar no RAC estabiliza e a água para de fluir para dentro da conduta de elevação. Neste ponto começa um novo ciclo.

2.3. Energia e rendimento

O rendimento energético é traduzido pela relação entre a energia potencial que a água possui no estado inicial (energia potencial de entrada, Epe), ou seja, à altura "H", e a energia potencial final (energia potencial de saída, Eps) à altura "h".

A energia potencial no reservatório de alimentação e no ponto de entrega é dada pelas equações [1] e [2], respetivamente:

$$E_{pe} = (\rho_{\text{água}} \cdot Q \cdot t) \cdot g \cdot H \quad [1]$$

$$E_{ps} = (\rho_{\text{água}} \cdot q \cdot t) \cdot g \cdot (h - H) \quad [2]$$

em que m representa a massa do fluido e ρ a massa volúmica, t é o tempo, Q e q são caudais à entrada e à saída da instalação, respetivamente, e g é a aceleração da gravidade.

Como o rendimento energético é igual ao quociente entre a energia potencial de saída e a energia potencial de entrada, segundo Rankine pode ser calculado da seguinte forma (Eq. [3] (Take, 1988)):

$$\eta_R = \frac{q \cdot \rho_{\text{água}} \cdot t \cdot g \cdot (h - H)}{Q_D \cdot \rho_{\text{água}} \cdot t \cdot g \cdot H} = \frac{q \cdot (h - H)}{Q_D \cdot H} \cdot 100\% \quad [3]$$

em que Q_D representa o caudal de descarga.

Por seu lado, D'Aubuisson (Take, 1988) calcula o rendimento de outra forma (Eq [4]):

$$\eta_D = \frac{(q \cdot \rho_{\text{água}} \cdot t) \cdot g \cdot h}{((Q_D + q) \cdot \rho_{\text{água}} \cdot t) \cdot g \cdot H} = \frac{q \cdot h}{(Q_D + q) \cdot H} \times 100\% \quad [4]$$

Há ainda um outro método apresentado por fabricantes de bombas de aríete (Take, 1988) que resulta, usualmente, em valores de rendimento mais elevados (Eq. [5]):

$$\eta_c = \frac{q \cdot h}{Q_D \cdot H} \times 100\% \quad [5]$$

3. Trabalho Experimental

3.1. Introdução

O trabalho experimental realizado pretendeu (i) comprovar que este sistema permite a elevação de água e (ii) identificar os parâmetros que mais influenciam o seu funcionamento, nomeadamente: a proporção entre a altura de alimentação e a altura de elevação, o tamanho do RAC e/ou o diâmetro e o material (rigidez) do tubo de alimentação.

Foi também necessário determinar o rendimento do sistema elevatório, para diferentes condições de funcionamento, para se poder prever, com rigor, o seu desempenho quando aplicado em Timor Leste.

3.2. Instalação experimental

A bomba de aríete foi construída e instalada no Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, estando os seus diversos componentes representados na Figura 2.

Na Figura 3 está representado o esquema da instalação de elevação. O reservatório de alimentação foi colocado 1 m acima da válvula de escape (nível de referência) e foi inicialmente usado um tubo de alimentação em PVC com 6 m de comprimento, substituído depois por um tubo de aço galvanizado com o mesmo comprimento. Ambos os tubos tinham o mesmo diâmetro interior (25.4 mm, ou seja, 1 polegada).

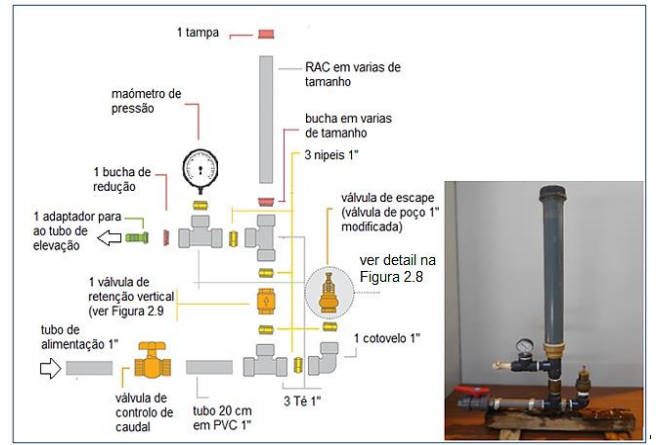


Figura 2. Montagem da bomba de aríete modelo (baseando em Globo Rural, 2015).

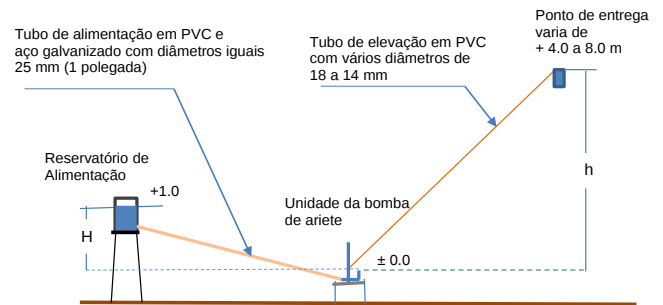


Figura 3. Esquema da instalação.

A jusante da válvula de escape, o tubo de alimentação foi elevado a diferentes alturas, tendo sido considerados no estudo experimental os seguintes quocientes entre a altura de alimentação e as alturas da elevação (H/h): 1/4, 1/5, 1/6, 1/7 e 1/8.

A conduta de alimentação, que estabelece a ligação entre o reservatório de alimentação e a bomba de aríete, foi materializada em tubo de aço galvanizado (material rígido) e posteriormente em PVC (material elástico). A geometria dessa conduta era a mesma em ambos os casos.

3.3. Análise de resultados

O caudal médio elevado pela bomba de aríete, para cada uma das alturas de elevação e para os dois materiais que foram considerados para a conduta de alimentação, está apresentado na Figura 4. Os valores diferem consoante o material da conduta de alimentação (rígido ou elástico).

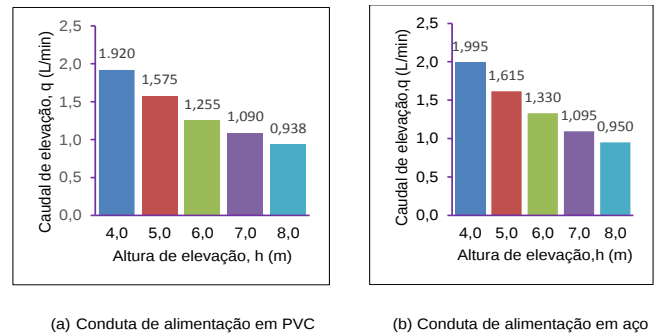


Figura 4. Caudais de elevação em função da altura de elevação, para conduta de alimentação em PVC e em aço galvanizado.

Verifica-se que, com a utilização de uma conduta de alimentação em material rígido (aço galvanizado), a bomba consegue elevar um caudal maior comparativamente com a situação em que se utiliza um material elástico (PVC).

Os resultados da Figura 4 podem ser explicados pelo facto do módulo de elasticidade do aço ($E = 210 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ou 210 GPa) ser muito superior ao do PVC ($E = 3,10 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ou 3,1 GPa). Com efeito, sabe-se que quanto maior for o módulo de elasticidade do material da conduta, maior é o valor da celeridade das ondas de choque e mais intenso é o fenómeno do choque hidráulico. Por outras palavras, um material mais rígido não absorve o impacto do choque hidráulico tão bem como um material elástico, pelo que o escoamento sofre um maior aumento de pressão.

Ao se utilizarem condutas fabricadas em dois materiais diferentes (PVC e aço galvanizado), mas com o mesmo diâmetro e comprimento, pretendeu-se obter resultados experimentais que permitissem uma análise comparativa sobre o tipo de material que torna a bomba mais eficiente.

O aumento de pressão que resulta do fenómeno do choque hidráulico depende não apenas do material da conduta de alimentação, mas também da velocidade e do tempo de manobra da válvula de escape.

Se a mola for regulada de modo a permitir um maior deslocamento da válvula, os batimentos são mais espaçados e mais fortes (até ao limite de energia potencial na entrada da válvula, altura em que os batimentos acabam por parar). Neste caso, a quantidade de água que entra no RAC a partir da válvula de admissão é maior por batida, mas é também maior o intervalo de tempo entre batidas, por isso a quantidade de água elevada por minuto poderá ser menor. Por outro lado, se a mola limitar mais o deslocamento da válvula, os batimentos tornam-se mais rápidos e diminui a força de cada batimento até ao limite máximo de abertura da válvula, no qual os batimentos vão parar. Neste caso, a quantidade de água que entra no RAC a partir da válvula de admissão é menor por batida mas é também menor o intervalo do tempo entre batidas.

Nas Figuras 5 e 6, apresenta-se a relação entre o número de batidas da válvula e o caudal elevado, para cada conduta de alimentação e para os diferentes cenários estudados em laboratório. Pode concluir-se que o máximo caudal elevado ocorre para cerca de 60 batidas por minuto.

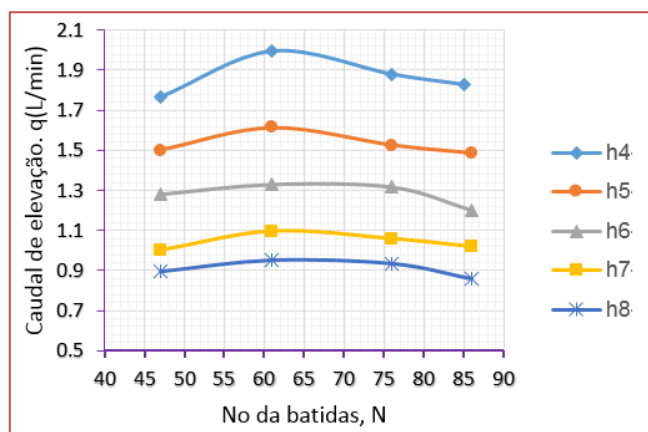


Figura 5. Variação do caudal elevado com o número de batidas (conduta de alimentação em aço galvanizado).

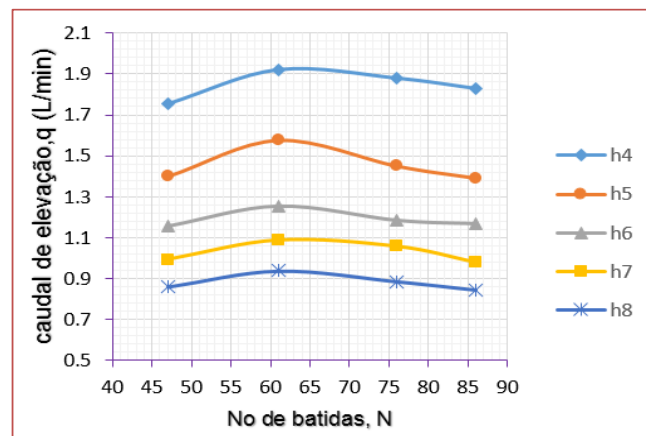


Figura 6. Variação do caudal elevado com o número de batidas (conduta de alimentação em PVC).

Para se determinar a influência da configuração do RAC no desempenho da bomba de aríete, foram ainda testados os quatro grupos de RAC apresentados nas Figura 7 a 10, onde se pode também consultar os resultados obtidos.

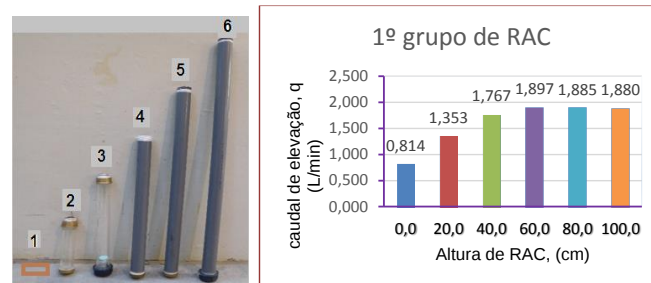


Figura 7. Caudal de elevação para RACs com 20 cm de diâmetro e diferentes alturas de elevação.

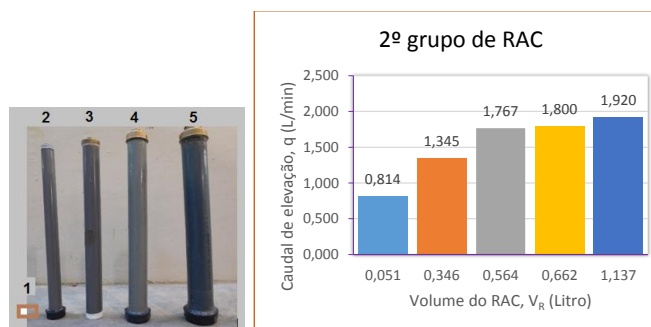


Figura 8. Caudal de elevação para RACs com 60 cm de altura e diferentes diâmetros.

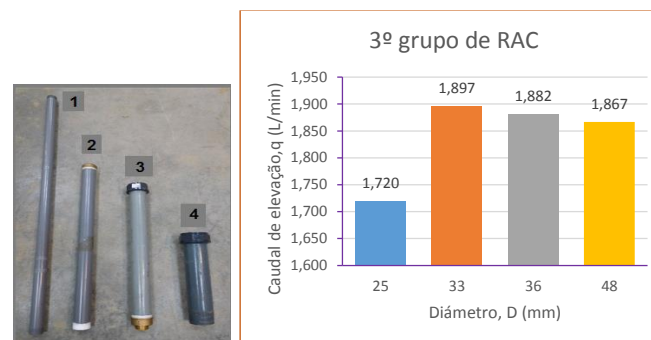


Figura 9. Caudal de elevação para RACs com 0,564 L de volume e diferentes diâmetros.

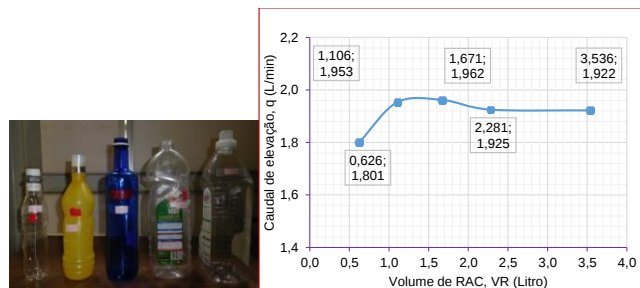


Figura 10. Caudal de elevação para RACs materializados com objetos deformáveis.

Para todos os RAC experimentados, a altura de elevação foi de 4.0 m, tendo sido utilizada a conduta de alimentação em PVC com 6.0 m de comprimento. Com esta análise pretendeu-se determinar qual o tamanho do RAC que permitia obter o máximo caudal de elevação e o mínimo caudal de descarga, sem vibrações que pudessem comprometer a integridade da bomba. Para saber como varia o rendimento da bomba de aríete, foi variada a proporção altura de alimentação e altura de elevação: $H/h = 1/4, 1/5, 1/6, 1/7$ e $1/8$.

Os rendimentos obtidos estão apresentados no Quadro 1 e foram calculados pelas equações [3], [4] e [5]. O caudal de alimentação (Q) corresponde à soma do caudal de elevação (q) com o caudal descarregado (Q_D) na válvula de escape. Pode-se constatar que o aumento da altura de elevação resulta na diminuição do caudal de elevação e no aumento do caudal descarregado.

Quadro 1. Rendimentos da bomba de aríete estudada.

	H	h	q	Q_D	Q	Rendimento, η		
						η_D	η_R	η_C
Conduta de alimentação em Aço	1.0	4.00	1.995	12.725	14.720	59.9	53.6	69.3
	1.0	5.00	1.615	13.495	15.110	59.4	54.5	66.5
	1.0	6.00	1.330	14.636	15.966	56.2	52.2	61.3
	1.0	7.00	1.095	14.631	15.726	54.6	51.2	58.7
	1.0	8.00	0.950	15.026	15.976	53.5	50.6	56.9
Conduta de alimentação em PVC	1.0	4.00	1.918	12.113	14.031	59.6	53.2	69.1
	1.0	5.00	1.575	13.354	14.929	58.0	53.0	64.8
	1.0	6.00	1.255	13.421	14.676	56.4	52.3	61.7
	1.0	7.00	1.090	14.052	15.142	55.7	52.2	60.0
	1.0	8.00	0.938	14.570	15.508	53.8	50.9	57.3

De entre os três métodos de determinação do rendimento, o proposto por Rankine apresenta valores de rendimento mais baixos do que o de D'Aubussion e do que o definido pelos fabricantes que, dos três, é o que apresenta valores mais elevados. Tendo por base os resultados obtidos e o princípio de cada método, no caso de estudo analisado decidiu-se utilizar o método de D'Aubussion no dimensionamento do sistema elevatório.

4. Projeto de Aplicação

4.1. Caso de estudo

O Suco Tutuala é um dos 2 sucos do subdistrito de Tutuala, localizado a leste do distrito de Lautem, a cerca de 300 km da capital de Timor Leste, Dili (Figura 11).



Figura 11. Localização do caso de estudo.

O suco Tutuala tem 4 aldeias com 1652 habitantes (censos realizados em 2010). Geograficamente localizado no topo de zonas montanhosas, é um local onde é difícil captar água. Em Tutuala existem apenas duas fontes de água, a fonte de Cene e a fonte de Came, que não são suficientes para satisfazer os consumos domésticos das populações locais. Por isso, algumas famílias vivem em grupos nas zonas baixas, na proximidade de cursos de água onde podem desenvolver atividades agrícolas.

Em relação às condições topográficas, algumas destas zonas permitem um abastecimento gravítico, mas outras precisam de sistemas de elevação. O local escolhido para a instalação do sistema elevatório é um aglomerado de 12 famílias da aldeia Pitilete, situado a cerca de 250 m da fonte de água Cene. Neste grupo, a comunidade é composta por 12 casas de família, num total estimado de 84 habitantes no ano de projeto (2015), que se estima aumentar para 100 habitantes no ano horizonte (2025).

4.2. Condições de instalação

Uma visita de reconhecimento ao local permitiu registar as seguintes informações relevantes:

- Caudal médio na fonte no mês de novembro (período do ano em que se registam os valores mínimos): 15 L/s;
- Cota topográfica da alimentação: $Z_a = +262$ m;
- Cota de instalação da bomba: $Z_b = +252$ m;
- Cota de instalação do reservatório de armazenamento: $Z_r = +287$ m;
- Comprimento máximo da conduta de alimentação: $L_{max} = 50$ m;
- Comprimento da conduta de elevação: $L_e = 260$ m.

Na Figura 12 são apresentadas algumas informações gerais sobre a fonte de alimentação, ponto de instalação da bomba e local de armazenamento da água elevada.

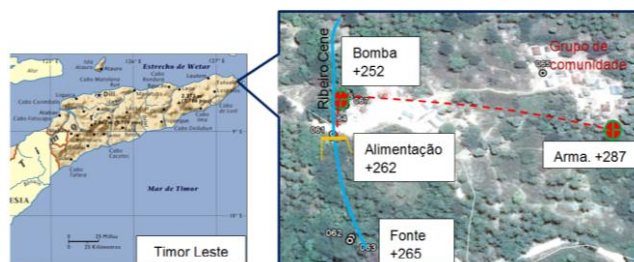


Figura 12. Localização do caso de estudo (esquerda) e implantação da instalação elevatória (direita).

Tendo em conta a quantidade de água na fonte, a utilização de água neste fornecimento será, para já, exclusivamente para garantir as necessidades básicas da população abastecida (consumo doméstico).

4.3. Critérios de dimensionamento

Os critérios de dimensionamento usados no estudo foram os seguintes:

- Capitação de consumo em zonas rurais de Timor Leste: (30 a 60) L/hab/dia (Jeffrey *et al*, 2005);
- Fator de ponta diária, $f_{p,diaria} = 1,1$ a $1,15$ (Jeffrey *et al*, 2005);
- Caudal mínimo necessário no local: 0,50 L/s (30 L/min);
- Altura de alimentação: $H_a = 10,0$ m;
- Altura de elevação: $h_p = 35,0$ m (nível de água no armazenamento);
- Comprimento proposto para a conduta de alimentação, após definição do traçado: $L_a = 25$ m;
- Temperatura média da água $T = 15^\circ\text{C}$ (estimativa);
- Comprimento da conduta de elevação, $L_e = 260$ m.

Tendo em conta os resultados do trabalho experimental e a disponibilidade de materiais no local, preconiza-se uma conduta de alimentação em aço galvanizado e uma conduta de elevação em PEAD.

Como referido anteriormente, considerou-se que o caudal de elevação seria unicamente o necessário para assegurar o consumo diário médio anual da população, afetado de um fator de ponta de 1.15 e considerando também 20% para rega. Assim, foi possível chegar a um caudal de projeto $q_{r,p} = 4,313$ L/min, ao qual corresponde um diâmetro 25 mm, que será metade do diâmetro da conduta de alimentação. O valor utilizado para caracterizar a rugosidade equivalente, k , do tubo de PEAD é 1 mm.

Atendendo às condições topográficas no local de projeto, considerou-se mais favorável em termos económicos e de segurança, escolher uma altura de alimentação $H = 10,0$ m, desde a válvula de escape até ao nível mínimo da superfície livre da água na fonte de alimentação.

O comprimento total da conduta de alimentação ficou então definido em 25,0 m, tendo-se preconizado a sua instalação com ancoragens, para evitar qualquer deslocamento longitudinal da mesma. Para maximizar o fenómeno do choque hidráulico e os seus efeitos, a conduta de alimentação será de aço galvanizado (material rígido), e terá um diâmetro interior de 50 mm, com uma espessura igual ou superior a 3 mm.

As especificações definidas para a bomba são as seguintes:

- diâmetro de entrada do corpo da bomba (duas vezes o diâmetro da conduta de alimentação), $D_b = 100$ mm;
- Diâmetro da conduta de elevação (metade do diâmetro da conduta de alimentação), $d = 1$ polegada (25,4 mm);
- De acordo com a recomendação de Krol (Schiller, 1984), o volume de RAC deve ser cerca de 100 vezes o volume de água fornecida por cada ciclo, pelo que: $VR = 100 \times q_{ciclo} \approx 7,2$ L ($q_{ciclo} = q_{r,p} / 60$)

- Material do RAC em tubo aço galvanizado com ($e = 3$ mm) 100 mm de diâmetro e 92 cm de altura.
- Diâmetro do tubo de saída para a junta na conduta de elevação: 25 mm;
- Válvula de escape com 85 mm de diâmetro e 1,75 kg de peso próprio incluindo a força da mola;
- Válvula de admissão com 100 mm de diâmetro, do tipo de *flexible rubber washer*;
- Base em aço L 100.100.7 soldada no corpo da bomba e ancorada na fundação.

A capacidade de armazenamento foi determinada com base no caudal médio afluyente ao reservatório e nas necessidades de abastecimento, para um dia médio. Neste caso, a bomba de aríete vai funcionar durante 24 horas elevando o caudal de 4,313 L/min (ou seja, cerca de 6211 L/dia).

A Figura 13 representa a regularização necessária neste caso de estudo. Verifica-se que a capacidade de armazenamento, sendo o somatório dos valores a e b da figura, terá de ser igual a 1718 L (aproximadamente $2,0$ m³).

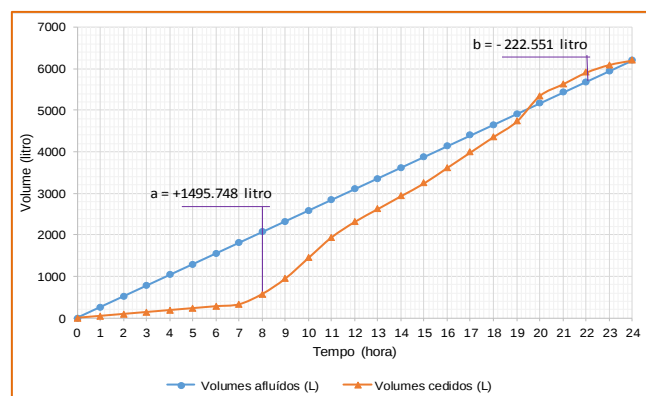


Figura 13. Determinação do volume total de regularização do reservatório de armazenamento.

Preconiza-se, assim, um reservatório com secção circular, diâmetro interno de 1,50 m, altura máxima de água 1,20 m, espaço livre entre a superfície e a plataforma de 0,20 m e um tubo de saída 0,20 m acima do fundo. O uso da água armazenada será feito por um sistema comum, com torneiras públicas.

4.4. Tarefas e custos de instalação

Para construir o sistema de elevação de água projetado na aldeia Pitilete suco Tutuala, serão necessários os seguintes trabalhos e materiais:

- Execução da captação (reservatório de alimentação) - cimento, areia, cofragens e mão-de-obra para regularização do terreno e execução do reservatório;
- Instalação da conduta de alimentação - tubos em aço galvanizado de 50 mm ($e \geq 3$ mm), acessórios, e mão-de-obra;
- Bomba de aríete e fundação - bomba, cimento, aço L.100.100.7, acessórios, porcas e anilhas, areia e mão-de-obra;
- Execução de ancoragens - cimento, areia e mão-de-obra;
- Sistema de abastecimento a jusante do armazenamento: tubagens, acessórios, mão-de-obra.

As estimativas de custos relativos aos trabalhos e materiais descritos são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Custos de instalação do sistema em dólares.

No.	Materiais	Preço (USD)
I	Captação (reservatório de alimentação)	250.00
II	Conduta de alimentação	350.00
III	Bomba	350.00
IV	Ancoragens	250.00
V	Conduta de elevação	570.00
VI	Armazenamento	650.00
VII	Distribuição	300.00
VIII	Drenagem	150.00
IX	Mobilização	250.00
X	Mão-de-obra	1500.00
Custo total (USD) =		4620.00

4.5. Instalação e manutenção

A energia que faz a bomba de aríete funcionar tem origem na conduta de alimentação, pelo que este componente terá de ser cuidadosamente instalado no local, de acordo com as especificações técnicas de dimensionamento, e cada uma das conexões deve ser reforçada com betão, ancorada contra qualquer deslocamento, e não se deve mover ou vibrar por efeito do choque hidráulico.

Na extremidade inicial (superior) deve-se instalar um crivo, que deverá ficar pelo menos 30 cm abaixo do nível da água e 10 cm acima do fundo.

O corpo da bomba deve ser montado em cima de uma base plana, horizontal e devidamente fixada no solo. Se a bomba instalada funcionar sem problemas, apenas será necessária uma inspeção a cada três ou quatro meses e, eventualmente, reforçar o aperto dos acessórios, porcas e parafusos, limpar o interior da bomba de sedimentos acumulados, e verificar as válvulas no sentido de detetar alguma fuga e/ou sinais de desgaste.

As válvulas devem ser lubrificadas duas vezes por ano, a bomba e outras partes expostas ao sol devem ser pintadas uma vez por ano e outros locais de acumulação de sedimentos devem ser inspecionados conforme necessário.

5. Conclusões

A bomba de aríete funciona, exclusivamente, com a energia associada ao próprio escoamento da água, aproveitando o fenómeno do choque hidráulico produzido pela abertura e fecho repentino da válvula de escape.

Salienta-se que na instalação experimental não houve qualquer fornecimento de energia elétrica, nem mesmo no arranque da bomba.

Como o escoamento na conduta de alimentação é do tipo não permanente (as suas características variam no tempo), a sua análise é complexa. De facto, o choque hidráulico que é, no fundo, o motor da bomba de aríete, é um regime transitório hidráulico de difícil análise, especialmente em aplicações menos correntes.

Como o tempo de execução deste estudo foi limitado, não foi possível aprofundar muito o tema e analisar a aplicabilidade/validade das expressões teóricas apresentadas na literatura da especialidade para descrever o fenómeno.

No entanto, da análise experimental do desempenho da bomba, concluiu-se que o volume de água elevado depende dos seguintes fatores:

- Rigidez dos materiais - a conduta de alimentação fabricada com um material rígido (aço galvanizado) permitiu bombear um caudal acerca de 4% superior ao bombeado utilizando um material elástico (PVC);
- Altura de alimentação - esta altura não deve ser nunca inferior 1 m, de forma a assegurar uma velocidade do escoamento e/ou pressão adequados ao funcionamento do dispositivo, e tendo em conta o limite de resistência dos materiais da conduta e da bomba;
- Número de batidas da válvula de escape - este parâmetro variou entre 45 batidas por minuto (limite abaixo do qual a pressão da mola superior é maior do que a pressão de água no tubo de alimentação, e a válvula passa a estar aberta), até 90 batidas por minuto (pressão da mola é inferior à pressão da água no tubo de alimentação, altura em que a válvula passa a estar fechada). Constatou-se que o número de batidas que resulta no máximo caudal elevado é de cerca de 60 por minuto (1 batida por segundo);
- Tamanho do RAC - o tamanho ideal do RAC não é fácil de determinar. Tendo por base o trabalho experimental, assim como recomendações anteriores, conclui-se que o volume do RAC deve ser aproximadamente igual ao volume de água contido dentro no tubo de elevação. Quanto maior for o comprimento do tubo de elevação, maior será o volume do RAC, devendo considerar-se o volume mínimo adequado;
- Ainda em relação às dimensões do RAC, nos projetos de aplicação em que o comprimento da conduta de elevação é maior, será mais adequado utilizar a recomendação de Krol (*Schiller, 1984*);
- Diâmetro da conduta de elevação - está associado ao diâmetro do tubo de alimentação. Se for pequeno, terá elevadas perdas de carga, mas se for muito grande terá menor pressão e menor velocidade. É um parâmetro que precisa de um estudo cuidado para encontrar o valor mais adequado ao problema em estudo.

O rendimento da bomba de aríete foi calculado por três métodos (*D'Aubuisson, Rankine* e dos fabricantes), de forma a ser possível uma análise comparativa dos mesmos para diferentes valores da proporção alturas de alimentação e de elevação. De entre os três métodos, o de *D'Aubuisson* foi o usado para dimensionar o sistema a aplicar na aldeia Pitilete suco Tutuala, em Timor-Leste.

Em relação ao projeto da instalação, tratando-se de uma instalação experimental numa zona rural de Timor-Leste, é importante a monitorização do seu funcionamento, após entrada em funcionamento e durante os primeiros anos.

Referências

- Calhoun, J. (2003). *Home Built Hydraulic Ram Pumps*, NW Independent Power Resources, North Bend.
- Concelho de Ministros de Timor-Leste (2011). *Plano Estratégico de Desenvolvimento Timor-Leste*, (2011 – 2030), Díli.
- Ferreira, A., 2016. *Aplicação e otimização da bomba de aríete para elevação de água em meios rurais de Timor-Leste*, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil (Especialização em Hidráulica), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Globo Rural (2015). <http://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/noticia/2015/05/como-fazer-o-carneiro-hidraulico.html> [Último acesso em 2/07/2017].
- Jeffery T. D., Thomas T. H., Smith A. V., Glover P. B. (2005). *Design, Sizing, Construction and Maintenance of Gravity-Fed System in Rural Areas (Module 6 hydraulic ram pump)*, Department Technology Unit-Warwick University, Action Centre la Faim, Paris.
- Schiller E. J. (1984). *Proceedings of a Workshop on Hydraulic Ram Pump (Hydram) Technology*, International Development Research Centre (IDRC), Tanzania.
- Take. J. (1988), *Hydraulic Rams and Comparative Investigation*, Communications on Hydraulic and geotechnical engineering. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering. Netherlands.