

BANCADA DIDÁTICA PARA LEVANTAMENTO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS E MANUAL DE UTILIZAÇÃO

RESUMO

Este trabalho objetiva sistematizar o processo de construção de uma bancada didática que reproduz os ensaios laboratoriais de bombas centrífugas, em série e paralelo, que permite a elaboração dos gráficos das curvas características do equipamento. O projeto foi inspirado em similares, cujas contribuições foram utilizadas como fundamentação teórica. Sendo assim, a efetivação de um projeto dessa natureza implica em contribuir para a superação das dificuldades de ensino-aprendizagem dos alunos e professores que sofrem com a falta de equipamentos que os auxiliem no trato com os conteúdos relacionados a fluidos, além de facilitar a compreensão dos principais parâmetros operacionais das bombas como: rendimento, vazão e potência elétrica. Junto à produção da bancada, foi desenvolvido um manual com o objetivo de auxiliar os usuários no processo de manuseio do equipamento. Após a construção do recurso didático, pode-se compreender que a bancada para ensaio de bombas centrífugas será um recurso didático importante, pois possibilitará aulas práticas em disciplinas nos cursos técnicos de Mecânica e Refrigeração do IFRN/SC, melhorando a compreensão sobre o funcionamento/operação das bombas e do comportamento dos principais parâmetros operacionais do equipamento quando há modificação da vazão recalçada.

Palavras-chave: Bancada didática; Mecânica dos fluidos; Associação de bombas.

ABSTRACT

This work aims to systematize the construction process of a didactic bench that reproduces laboratory tests of centrifugal pumps in series and parallel, allowing the elaboration of characteristic curves graphics. The project was inspired by similar, whose contributions were used as a theoretical basis. Therefore, the implementation of this type of project contributes to overcoming the existing difficulties in the teaching-learning process of students and teachers which suffer from the lack of equipments. In addition, it will help them with the content relating to fluids, facilitating their understanding about the key operating parameters of the pumps, such as flow and electric power. A manual was developed together with the bench construction to assist users in the equipments handling, so, following the didactic resource construction, the centrifugal pumps tests bench will be an important didactic resource because it will promote practical classes in the technical high school courses studying Mechanics and Refrigeration at IFRN Santa Cruz. Furthermore, it will improve the understanding about operation pumps and also the behavior of the equipment key operating parameters when the repressed flow is changed.

Keywords: Teaching bench; Fluid mechanics; Bomb Association.

1. Introdução

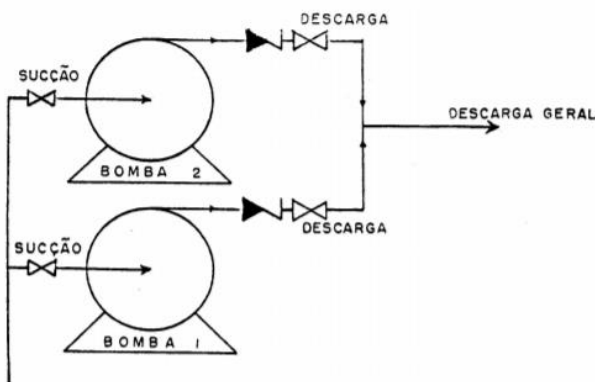
No presente trabalho, será descrito a construção de uma bancada didática para levantamento de curvas características de bombas centrífugas que tem por finalidade assistir discentes e docentes em ensaios laboratoriais com o equipamento bombas centrífugas, além da elaboração de um manual de utilização e ensaio da bancada didática.

A realização deste projeto foi motivada pela falta de equipamentos que auxiliem os alunos e professores, visando sanar a escassez de aulas práticas, além de facilitar a compreensão dos principais parâmetros operacionais das bombas como altura manométrica, rendimento, potência hidráulica, vazão e potência elétrica.

Baseando-se em um projeto similar (NUNES, 2013), desenvolveu-se a bancada didática, alterando-se do primeiro, principalmente, o modelo do desenho.

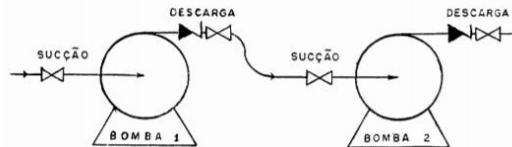
Uma associação em série consiste na junção de duas ou mais bombas que transportam o líquido com maior energia, possibilitando uma maior altura manométrica. Quanto a associação em paralelo, um conjunto de bombas transmitem energia ao líquido permitindo maior vazão – quantidade de fluido por secção. Essas associações podem ser visualizadas nas figuras 1 e 2 abaixo.

Figura 1- Associação de bombas centrífugas em paralelo



Fonte: ANDRADE, AMARAL (2018).

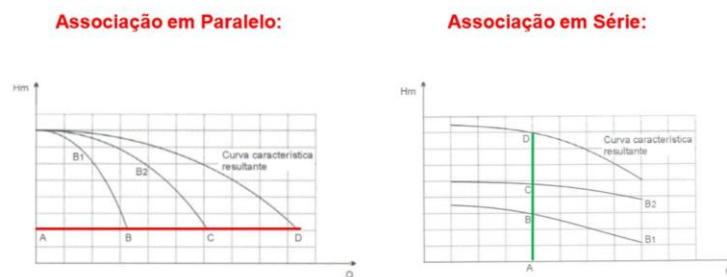
Figura 2 - Associação de bombas centrífugas em série



Fonte: ANDRADE, AMARAL (2018).

As curvas características de uma bomba são construídas em bancadas de ensaios de laboratórios, sendo gráficos cartesianos no plano x-y, que retratam o comportamento dos principais parâmetros operacionais (altura manométrica, rendimento, potência requerida e NPSH) com a vazão desenvolvida pelo equipamento. As bombas podem ser associadas em paralelo ou em série. Uma associação em paralelo é utilizada quando há necessidade de aumentar a vazão recalçada, enquanto a associação em série é empregada para aumentar a altura manométrica da instalação, como mostra a Figura 3.

Figura 3- Desenho esquemático de curvas características de bombas centrífugas em associações em série e em paralelo.



Fonte: SOARES, Homero (2018).

Com as bancadas didáticas pode-se simular e reproduzir fenômenos reais nos laboratórios de ensino. A bancada constituída de 2 (duas) bombas centrífugas (XKM80 – 1HP – 220V – 60Hz; AMANCO), que poderão ser ensaiadas individualmente, associadas em série ou em paralelo, sendo possível determinar a altura manométrica, a potência solicitada pelo(s) equipamento(s) ao motor e o rendimento delas, individualmente ou quando em associação, a partir da variação da vazão recalçada, bem como elaborar as principais curvas da bomba e da associação ($H_{\text{man}} \times Q$, $P_{\text{ot}} \times Q$, $\eta \times Q$) (CARVALHO, 1977).

Os instrumentos mais difundidos na medição de pressão são os manômetros de Bourdon. Para bombas com sucção negativas, a altura manométrica é determinada por Carvalho (1977):

$$H_{\text{man}} = \frac{P}{\gamma} - (h - y) \quad (1)$$

A medição de vazão pode ser realizada por instrumentos de área variável denominados rotâmetros, quando um flutuador de grande densidade varia seu posicionamento no interior de um tubo transparente, proporcionalmente à vazão do fluido (DUNN, 2013).

Nas instalações de bombeamento, os diâmetros econômicos são determinados pelo critério do custo total mínimo. Uma das expressões utilizadas é a fórmula de Bresse que é dada por:

$$d = k \sqrt{Q} \quad (2)$$

O diâmetro obtido por essa expressão é o de recalque, sendo o de sucção o imediatamente superior. Caso o diâmetro encontrado pela fórmula de Bresse não coincida com um diâmetro comercial, deve-se adotar o diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado como o de sucção, e o diâmetro imediatamente inferior ao de recalque (CARVALHO, 1977).

A potência do jato (hidráulica) é a quantidade de energia que no líquido absorve quando passa pela bomba pode ser encontrada por:

$$Pot_{\text{h}} = \gamma \cdot Q \cdot H_{\text{man}} \quad (3)$$

A quantidade de energia que é solicitada pela bomba e é fornecida pelo motor elétrico é dada pela fórmula:

$$Pot_e = V \cdot I \quad (4)$$

O rendimento do conjunto motor-bomba corresponde ao percentual de energia entregue e que é efetivamente aproveitada para por o motor e a bomba em funcionamento e energizar o fluido, sendo definido por Carvalho (1977) e Macintyre (1997):

$$\eta = \frac{Pot_h}{Pot_e} \quad (5)$$

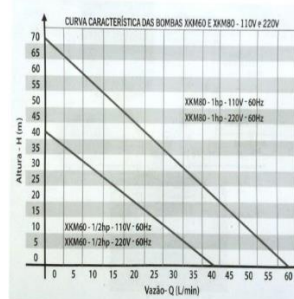
Considerando essas exposições, pode-se determinar a altura manométrica, a potência solicitada pela bomba ao motor, o rendimento e a vazão bombeada que permita plotar as curvas características de uma bomba centrífuga individual, quando associadas em paralelo e em série.

A construção da bancada didática foi precedida de estudos e pesquisas que indicassem o projeto mais eficiente para ser efetivado. Para tanto, buscou-se informações em artigos e livros, para só então dar-se início à construção da bancada, que foi dividida pela escolha de materiais, desenho e construção da base, acoplamento das tubulações e teste de verificação.

2. Metodologia

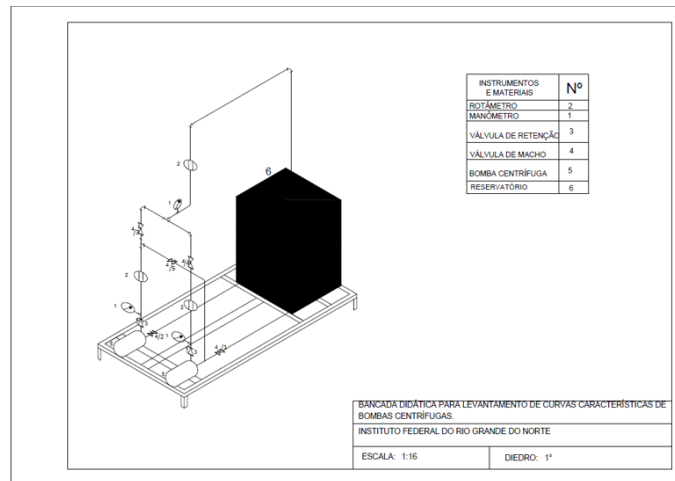
A bancada é constituída por uma base em cantoneira, reservatório plástico, tubos e conexões em PVC, duas bombas centrífugas (98664. Nº X150536320N; XKM80 – 1HP – 220V – 60Hz; AMANCO), rotâmetros e manômetros, conforme a Figura 12. Os rotâmetros são de acrílico transparente (LZM-25G; 20 GPM) e faixa de medição de 0-70 lpm; os manômetros (Figura 12) são da marca *GENEBRE SPAIN*, Ø50 e possuem escalas com faixa de medição de 0-10 bar e 0-20 kgf/cm², respectivamente. Os diâmetros das tubulações foram calculados a partir da equação (2) com $k = 1,0$ (CARVALHO, 1997) e as vazões e pressões máximas obtidas da curva da bomba, mostrada abaixo.

Figura 4 - Curva do fabricante



Fonte: AMANCO (2019)

Figura 5- Desenho isométrico da bancada didática com as tubulações hidráulicas



Fonte: Própria, 2019.

Para ensaiar a bomba montada no lado esquerdo da bancada, os registros de gavetas 4/1, 4/4 e 4/5 (como demonstrado na figura 16) devem estar inicialmente fechados, sendo aberto completamente o registro de números 4/2. Depois, o registro 4/3, vai sendo aberto, progressivamente, até a sua abertura total e determinados, para cada abertura parcial, os valores de vazão, pressão e corrente elétrica (Figura 16). A altura manométrica será determinada pela equação (1) e o rendimento pela equação (5), fazendo uso das equações (3) e (4). A associação em série das bombas é conseguida quando as válvulas de números 4/1 e 4/3 estiverem fechadas e as 4/2, 4/5 e 4/4 abertas; já a associação em paralelo, quando as válvulas de número 4/5 estiver fechada e todas as outras (4/1, 4/2, 4/3 e 4/4) abertas.

Para o ensaio das bombas em série e em paralelo, deve-se proceder de maneira análoga ao ensaio de uma das bombas. Para elaborar a curva $H_{man} \times Q$ da associação em série das duas bombas, deve-se ligá-las (Figura 5) com todos os registros fechados, sendo, posteriormente, abertos paulatinamente os de números 4/2, 4/5 e 4/4, e lidos nos instrumentos, para cada vazão a pressão correspondente. Para calcular a altura manométrica, deve-se utilizar o valor observado no manômetro (1 da figura 16) para cada valor de vazão. Na associação em paralelo, as bombas devem ser ligadas com todos os registros fechados, sendo abertos progressivamente: 4/1, 4/2, 4/3 e 4/4, com a mesma abertura e coletadas vazões que passam pelos rotâmetros e a

pressão indicada em um dos manômetros (1 da figura 16). Após o cálculo da altura manométrica, deve-se somar as vazões em cada rotâmetro e plotar a curva $H_{man} \times Q$.

Examinou-se quais materiais disponíveis na *Campus Santa Cruz* para poder ser utilizado. Após esta verificação, selecionou-se, para a produção da base, cantoneiras em L, 25 x 25 e chapas de aço 1020 de 50 mm. Decidiu-se o tamanho do projeto, foi realizado os cálculos da resistência dos materiais, foi decidido o tamanho, sendo ele: 1400 x 700 mm. Em seguida, foi efetivada a compra dos rotâmetros e manômetros de acordo com a curva característica quando se pôde observar a faixa de vazão e altura manométrica máxima da bomba centrífuga que correspondem a 60 lpm e 70 m, respectivamente. Logo após foi iniciado o desenho no AutoCAD 2015 – Português – da base bancada nas vistas ortogonais.

Após feito o desenho no AutoCAD e a escolha dos materiais, cedidos pelo próprio instituto, deu-se início as medições dos materiais por meio da trena e paquímetro. Depois, foi executado o processo de corte dos mesmos, todos realizados na máquina policorte. O corte foi realizado nas chapas em três pedaços de 700 mm e uma de 1400 mm. A cantoneira foi cortada em ângulo de 45° para que pudesse proceder a soldagem, dois fragmentos de 700 mm e outros dois de 1400 mm. Além disso, a confecção dos quatro pés da base também se deu a partir da cantoneira, com comprimento de 100 mm.

Terminada a parte de medidas e cortes, prosseguiu-se a soldagem, na qual foram unidos todos os componentes pelo processo de eletrodo revestido. Foi utilizado o eletrodo E6013 em faixa de corrente entre 80 e 90 amperes. Durante essa etapa, percebeu-se pequenas falhas no comprimento das chapas, das quais teve-se que retirar 10 mm de seu comprimento de cada uma para a adequação do seu acoplamento transversal e longitudinal. Após realizada a soldagem, foram feitos os furos.

Por meio de medições feitas anteriormente do tamanho da bomba, usou-se a punção para marcar o local na bancada onde seria delimitado o local de cada furo que foram realizados pela máquina furadeira de coluna. Foram acopladas as bombas centrífugas, por meio de parafusos sextavados com porca e arruela de 8 mm e concluída a execução da base da bancada. Terminada a etapa de construção da base da bancada, desenhou-se as tubulações em isométrico, que após ser finalizado o desenho isométrico das tubulações hidráulicas, foi feita a montagem das tubulações.

Concluída a etapa das tubulações hidráulicas, partiu-se para a etapa da instalação elétrica, utilizando cabos pp de 2,5 mm² e três plugues, juntamente com disjuntores e plugs tipo macho para ligação à rede elétrica. Depois disso, realizou-se o teste de verificação de funcionamento. Por fim, a base da bancada foi lixada com lixas para aço de número 80 e pintada com esmalte sintético da cor cinza médio para impedir oxidação e melhorar o visual.

3. Resultados e Discussões

Após o cálculo dos diâmetros dos tubos, foi encontrado os seguintes valores: 50 mm, 40 mm e 32 mm (2", 1 1/2", e 1 1/4") (TIGRE, 2018). Os tubos foram acoplados na bancada, de modo que foram distribuídos da seguinte maneira: o de 40mm no recalque das bombas; o de 32 mm na sucção das bombas, junto com os rotâmetros e manômetros, além de válvulas de retenção, união e registros; e por fim, o de 50 mm foi usado no encontro dos dois canos para a maior vazão.

Toda a montagem aconteceu com sucesso, com pequenas alterações no designer da estrutura final para maior acessibilidade e economia dos componentes, mas sem comprometer o funcionamento. Posteriormente à montagem, foi encerrado todos os processos e realizado um teste de verificação de possíveis falhas, como vazamento. Com o teste de funcionamento do equipamento, pôde-se perceber que tudo funcionou como o esperado, após um reajuste no flange que estava mal apertado e deixando vazar um pouco de água. Desse modo, modificou-se o desenho do projeto no AutoCAD 2015 – Português – e assim foi feito o reparo final.

O modo de funcionamento é simples, com o interruptor ligado, a bomba centrífuga entrará em modo de trabalho. Após a decisão do ensaio da bomba ser individual ou não, deve-se verificar os registros. Em seguida, é indispensável averiguar os rotâmetros e manômetros para se ter acesso aos dados de vazão e pressão do fluido, respectivamente. Com o ensaio individual, apenas uma bomba estará em funcionamento, não haverá possibilidade de executar associações em série e/ou paralelo, restando apenas o sistema composto por uma bomba centrífuga.

Visto os dados, deve-se fazer o cálculo da altura manométrica da bomba, utilizando a equação (1), quando a pressão será dividida pelo peso específico da água. Além disso, se desejado a potência requerida da bomba, esta pode ser obtida por meio da equação (3), cuja potência será resultado da multiplicação do peso específico da água, vazão e altura manométrica.

Pode-se também calcular a potência elétrica solicitada pelo motor por meio da equação (4), onde se obterá o resultado por meio do produto da corrente e tensão. Essas duas últimas, serão constatadas por meio de aparatos como multímetros e amperímetros.

Figura 6 - Bancada finalizada.



Fonte: Própria, 2019.

Logo após a finalização do projeto, iniciou-se a elaboração do manual da bancada, tanto na forma escrita quanto na composição de fluxograma, como demonstrado abaixo.

1º passo: para o funcionamento da bancada didática deve-se verificar se tudo está devidamente correto, verificando a seguinte sequência:

- Se há água no reservatório;
- Se há vazamento;
- Verificar a parte elétrica;
- Observar como estão os registros (abertos ou fechados).

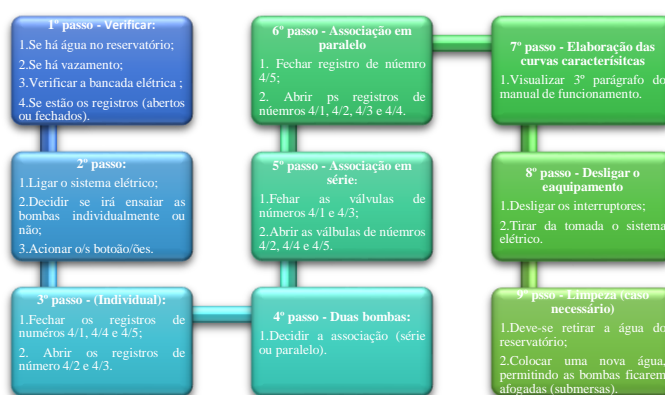
2º passo: deve-se ligar a parte elétrica na tomada. Será necessário o acionamento do botão para o controle do funcionamento. A partir do momento em que o interruptor for acionado, deve-se decidir se irá ensaiar as bombas individualmente ou não, e ligá-la(s) apertando o(s) botão(ões).

1. Individual: Para ensaiar uma das bombas individualmente, os registros de gavetas 4/1, 4/4 e 4/5 devem estar inicialmente fechados, sendo aberto progressivamente os registros de números 4/2 e 4/3; até a abertura total e determinados, para cada abertura da válvula, os valores de vazão, pressão e corrente elétrica. A altura manométrica será determinada pela equação (1) e o rendimento pela equação (5), fazendo uso das equações (3) e (4).
2. Duas bombas:
 - Associação em série: é conseguida quando as válvulas de números 4/1 e 4/3 estiverem fechadas e as 4/2, 4/4 e 4/5 abertas; já a associação em paralelo, quando as válvulas de número 4/5 estiver fechada e todas as outras (4/1, 4/2, 4/3 e 4/4) abertas.
 - Para o ensaio das bombas em série e em paralelo, deve-se proceder de maneira análoga ao ensaio de uma das bombas. Para elaborar a curva $H_{man} \times Q$ da associação em série das duas bombas, deve-se ligá-las (Figura 2) com todos os registros fechados, sendo, posteriormente, abertos paulatinamente os de números 4/2, 4/4 e 4/5, e lidos nos instrumentos, para cada vazão a pressão correspondente.

A bancada didática proporciona esses três (3) tipos de associações e seus respectivos cálculos de curvas características.

3º passo: Após o resultado desejado, é necessário desligar o equipamento. Primeiramente deve-se desligar o interruptor para que a bomba pare com a centrifugação da água. Depois deve-se retirar a água fazendo a limpeza do reservatório (quando necessário).

Tabela 1- Manual de Funcionamento da bancada.



Fonte: Própria, 2019.

4. Considerações Finais

Ao concluir o projeto da bancada didática de associações de bombas centrífugas, compreende-se que ela possa contribuir de forma positiva na realização de aulas práticas tornando-as mais dinâmicas e compreensivas, cumprindo assim, seu objetivo. São nítidas as vantagens de se ter aulas práticas – como a melhor interação nas disciplinas – sabe-se que a efetivação de um projeto dessa natureza implica em apontar alternativas para minimizar as dificuldades inerentes ao processo de ensino-aprendizagem.

Com base nisso, foi implementado um manual com o objetivo de auxiliar os discentes e docentes no processo de aula, considerando a possibilidade de haver confusões no momento de produção do conteúdo, por isso, foi necessário o manual para que essas complicações não viessem a ocorrer.

O projeto teve inspiração de alguns dos autores citados, os quais influenciaram no planejamento, funcionalidades e praticidade, aspectos desejados pelos integrantes do grupo, para que assim fosse construído o projeto.

Infer-se, portanto, que se pode executar, com auxílio do manual de instruções, todos os comandos para a elaboração das curvas características e principais parâmetros operacionais da bancada didática de associações de bombas centrífugas. Desse modo, todos os objetivos do presente trabalho foram cumpridos.

Referências

- ANDRADE, Alan Sulato de. **Máquinas hidráulicas**. Universidade Federal do Paraná; Curso de engenharia industrial madeireira. AMANCO, Manual de Bombas Periféricas.
- CAVALHO, Djalma Francisco. **Instalações Elevatórias-Bombas**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Civil-IPUC, 1977. 355 p.
- DUNN, William C. **Fundamentos de Instrumentação Industrial e Controle de Processos**. 1ª edição, Bookman 2013. 336 p.
- MACINTYRE, Arquibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2ª. ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1997. 408 p.
- SOARES, Homero. **Departamento de engenharia sanitária e ambiental-ESA**. Universidade Federal de Juiz de Fora. 7-30 de Abril de 2018. 23 f. Notas de aula.
- NUNES, Prisley de Oliveira. **Roteiro-Prática-STT-500-Associação de bombas**. Porto Alegre, 2013. p36.
- TIGRE. **Catálogo Técnico Industrial**, 2018. p92.
- BRASIL, Alex N. **Máquinas Termohidráulicas de Fluxo. Bombas classificação geral e descrição**, 2010. 30 p.
- LOUREIRO, Luiz Valcov. **Bombas e bombeamentos líquidos**. Departamento de engenharia química. São Paulo, 2013. 37 p.