



## **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSAIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS**

**Francielly Elizabeth de Castro Silva** - franciellye.castro@gmail.com

Universidade Positivo

Rua Professor Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300 - Campo Comprido

81280-330 - Curitiba - Paraná

**Fábio Alencar Schneider** - schneider@up.com.br

Universidade Positivo

Rua Professor Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300 - Campo Comprido

81280-330 - Curitiba - Paraná

***Resumo:** O ensino superior tem buscado cada vez mais proporcionar aos seus alunos um ambiente educacional similar ao que o mesmo irá encontrar na sua carreira profissional. Uma forma de atender esta premissa é a utilização de laboratórios para realização de experimentos práticos que aproximam o aluno da prática profissional. Na engenharia mecânica, o estudo das máquinas de fluxo necessita de tais experimentos para consolidar o processo ensino-aprendizagem. O objetivo desta proposta é construir uma bancada para teste de rotores centrífugos de pequeno porte, que permita ensaios confiáveis e que possa ser construída com custo reduzido. Para este projeto, buscou-se utilizar ao máximo itens comerciais, e desta forma usar o rotor, a voluta e o mínimo de peças específicas. Conhecer o comportamento desta bomba e quanto da energia mecânica fornecida no eixo é convertida em energia cinética para bombeamento do fluido, é uma questão de relevância para a engenharia. Para isso a bomba deve ser testada para medir basicamente a razão entre vazão e a altura manométrica. A construção da bancada alcançou os objetivos propostos e o custo do projeto foi bastante reduzido quando comparado com os produtos similares. Os resultados práticos nos permitem conhecer a curva da bomba que manteve compatibilidade com o projeto. Melhorias podem ser incorporadas incluindo o desenvolvimento de uma família de rotores para serem testados na mesma bancada, a utilização de instrumentos de medição de pressão e vazão mais adequados que facilitariam a interpretação dos resultados e o manuseio da bancada.*

***Palavras-chave:** bomba centrífuga, bancada didática, rotor, curva da bomba.*

### **1. INTRODUÇÃO**

As transformações tecnológicas exigem das universidades uma adequação e evolução constante dos métodos de ensino, visando formar futuros profissionais capacitados a atender as exigências de um mercado de trabalho cada vez mais dinâmico e competitivo. O ensino superior tem buscado cada vez mais proporcionar aos seus alunos um ambiente educacional similar ao que o mesmo irá encontrar na sua carreira profissional. Para tanto, uma das soluções adotadas na formação acadêmica é a aplicação de uma base teórica sólida acompanhada de uma atuação prática através de experimentos realizados sobre bancadas



didáticas em laboratórios, possibilitando ao aluno a aplicação prática da teoria estudada em sala de aula.

As máquinas de fluxo tem um importante papel na engenharia, uma vez que estão presentes em um grande número de plantas industriais, sendo a mais comum a bomba centrífuga. Isto ocorre porque a bomba centrífuga é de fácil construção e manutenção e se aplica na maioria dos projetos de bombeamento. Neste contexto, tem-se como foco principal para este trabalho a construção de uma bancada centrífuga didática de pequeno porte, isto é, para alturas manométricas e vazões reduzidas, para ensaios e levantamento da curva da bomba em laboratório e que possa ser transportada para demonstração em eventos científicos.

Para cada tipo de fluido e vazão, um tipo específico de bomba e de rotor é recomendado. Para o engenheiro, não basta apenas a escolha correta de um tipo de bomba no catálogo. O projeto deve contemplar uma solução que envolva o conhecimento em detalhes do comportamento dos sistemas de bombeamento para, por exemplo, associar bombas em série e paralelo, entender o fenômeno da cavitação, conhecer o comportamento da bomba fora do ponto de funcionamento, para então poder intervir no projeto ou na planta no momento da manutenção, ou da análise técnica de uma instalação existente.

Assim, fica evidenciado que o engenheiro deve ter pleno conhecimento dos princípios de funcionamento das bombas centrífugas. Muitos destes podem ser adquiridos ou facilitados com o desenvolvimento de testes em laboratórios, que permitam analisar o desempenho da bomba.

As bancadas comerciais para testes de bombas centrífugas são instalações de grande porte e de grande custo. Para se compreender e estudar as bombas centrífugas, pode-se projetar e construir uma pequena bancada de testes, com custo reduzido, que realize os ensaios mínimos para avaliação do desempenho da bomba, e que seja transportável para demonstrações de ensaios em feiras e eventos.

Para este projeto ainda está fora: a modelagem tridimensional do escoamento na bomba; o projeto do rotor (impelidor) para mais do que um tipo de fluido; o projeto dos elementos de máquinas comerciais como rolamentos, válvulas e mancais; e a obtenção das curvas de NPSH e de potência da bomba.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os futuros engenheiros têm claramente uma necessidade de obter conhecimento, mas o que é o conhecimento que eles precisam? Na formação do engenheiros uma das metodologias que facilitam o aprendizado são as práticas laboratoriais, que permitem a interação do aluno com os equipamentos, instrumentos e com as máquinas, que estão presentes no dia a dia do profissional engenheiro.

Gibbons et al. (1994), classifica o conhecimento como um modo de 1 e 2 . Onde o modo 1 é um modo de conhecimento acadêmico, explícita , disciplinas, "científica" e o modo 2 é o conhecimento prático, difícil de documentar, transdisciplinar e "profissional ".

Ter conhecimento, não importa o tipo ou modalidade, é por si só, insuficiente. O profissional engenheiro precisa além do conhecimento, habilidades de julgamento. O ensino de julgamento é outra área onde os métodos tradicionais de ensino universitário são deficientes, pois não pode ser ensinado por meio de palestras, aulas teóricas, ele precisa ser adquirido através da prática (Vickers, 1983).

Para o desenvolvimento da aprendizagem em manufatura, o laboratório de ensino, situado na Universidade de Cambridge, Reino Unido, foi desenvolvido e refinado durante um período de nove anos. O laboratório se destina a dar aos alunos uma experiência ao vivo das tarefas envolvidas na concepção e construção de um sistema de manufatura (Platts, 2004).

Sabendo que a experiência do aluno em práticas laboratoriais é fundamental para o desenvolvimento educacional e profissional, propomos esse trabalho com o intuito de oferecer ao aluno um contato mais próximo de uma bancada de testes de bomba centrífuga, permitindo assim, um maior entendimento dos fenômenos que ocorrem no bombeamento de um fluido, as peças que compõem uma bomba e também o dimensionamento de rotores.

O principal desafio desse trabalho é o de projetar o rotor, pois é ele quem converte a energia mecânica fornecida no eixo em energia cinética para bombeamento do fluido, o que depende basicamente das características do bombeamento ou serviço que se deseja cumprir, sendo assim a peça de maior nível de complexidade.

O método de pré-dimensionamento de rotores data do início do século passado, tendo se originado pela necessidade de um pré-projeto do rotor que possibilite a construção e posterior desenvolvimento em bancadas. Por ser um método apoiado em coeficientes experimentais sua aplicação aos vários tipos de bombas digere em função das características de cada máquina.

Peterman & Pfeleiderer (1979) apresentaram um método para pré-dimensionamento de rotores de máquinas hidráulicas de fluxo, uma vez fornecidos o fluxo e a rotação.

Souza (1991) mostra um modelo hidrodinâmico básico das turbinas hidráulicas com rotores de tipo Francis, com o estudo.

Falco (1998) apresentou um modelo com a teoria básica das turbomáquinas, que é também citado a teoria dos impelidores (rotores) e a escala das curvas de operação teórica, com o caso usual da disposição de do triângulo de velocidades na entrada e saída do rotor.

Oliveira et al. (2002) apresentaram um critério para a determinação do número ótimo de pás de rotores centrífugos de geometria arbitrária, porém fixa.

Gölcü M. et al (2004) examinou experimentalmente a influência do número de pás e a da utilização de pás direcionadoras (splitter blades).

### 3. FUNDAMENTAÇÃO DO PROJETO DO ROTOR

Para medir a eficiência de conversão de energia mecânica do eixo para energia cinética no fluido, é necessário ensaiar a bomba em uma bancada de teste que mede basicamente a relação entre a altura manométrica, que é toda a diferença de energia mecânica entre a saída e a entrada da bomba dada pela Equação (1) e a vazão (Macintyre, 1997).

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + m \quad (1)$$

Onde  $H$  é a altura manométrica em (m),  $P_1$  e  $P_2$  são as pressões de entrada e saída da bomba em (Pa), respectivamente,  $\gamma$  é o peso específico do fluido em ( $\text{N}/\text{m}^3$ ),  $V_1$  e  $V_2$  são as velocidades de entrada e saída da bomba em (m/s), respectivamente,  $g$  é a aceleração da gravidade em ( $\text{m}/\text{s}^2$ ) e  $m$  a diferença de cotas entre os manômetros que medem  $P_1$  e  $P_2$ . A Figura 1 mostra um esquema de uma bancada de ensaio de uma bomba centrífuga.

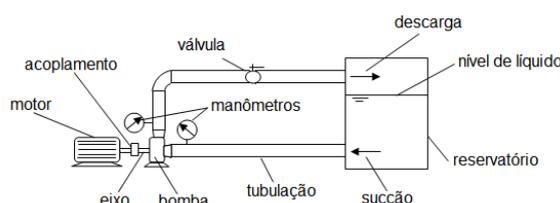


Figura 1 - Esquema de uma bancada de teste de bombas centrífugas.

Fonte: Os autores



A exemplo, estes bancos de prova são fixos e, portanto, não podem ser deslocados para feiras e eventos. Daí a proposta deste projeto de uma bancada de pequena capacidade e transportável, para atender esta demanda. A curva da bomba é catalogada e utilizada nos projetos de instalação de bombeamento que fizerem uso desta bomba. O gráfico da Figura 2 apresenta um exemplo de uma curva característica para bomba centrífuga.

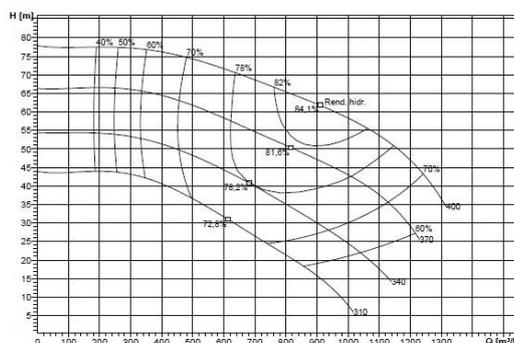


Figura 2 – Exemplo de curva característica de bomba centrífuga.

Fonte: Os autores

O comportamento da curva da bomba depende da natureza e do projeto do rotor da bomba, vazão requerida e propriedades do fluido, rotação específica, potência motriz, diâmetros de eixo, da boca de entrada e do rotor, largura, espessura, ângulos e número de pás, velocidades axiais, periféricas e relativas.

O projeto do rotor centrífugo depende basicamente das características do bombeamento ou serviço que se deseja cumprir (LIMA, 2003). Neste dimensionamento são dados de entrada a vazão de projeto, a altura de bombeamento e o tipo de fluido. Uma teoria específica de dimensionamento é empregada para determinação de diâmetros, número de pás, ângulos, etc.

Para o projeto de rotores de bombas centrífugas ou de turbinas, faz-se necessário relacionar a geometria e as características de rotação com parâmetros como a vazão e altura manométrica do sistema, importantes para a instalação desejada.

Para tanto, é necessário conhecer como se comportam as velocidades e suas componentes dentro do sistema, sendo este estudo denominado “triângulo de velocidades”.

### 3.1 Triângulo de velocidades

Algumas considerações devem ser realizadas:

- O fluido sempre entra normal à velocidade tangencial do rotor. Isto é uma característica das bombas centrífugas. Para turbinas, a saída sempre ocorre normal a velocidade tangencial;
- A componente vertical do triângulo de velocidades (apótema) é a componente absoluta normal à seção, e é esta velocidade que define a vazão do sistema;
- A velocidade tangencial do rotor;
- A velocidade absoluta da corrente fluida, e a velocidade meridional, normal ao escoamento;
- A velocidade relativa da corrente fluida, e é a velocidade que acompanha o perfil da pá do rotor.

O ângulo das pás são diferentes na entrada e na saída. O ângulo  $\beta$  é o ângulo formado entre a normal do rotor e a pá, também chamado de “ângulo de inclinação das pás” ou ainda

de “ângulo de construção das pás”. Este ângulo está entre a velocidade tangencial e a velocidade relativa, e pode possuir valores diferentes entre a entrada e a saída. Outro ângulo importante é denominado  $\alpha$ , e é o ângulo formado entre a velocidade tangencial e a velocidade absoluta.

### 3.2 Procedimentos para o modelamento do rotor

O projeto de um rotor centrífugo, basicamente é estabelecido por um conjunto de parâmetros geométricos que, ao final, são reunidos em desenho mecânico para possibilitar a confecção do rotor. A Figura a ilustra um exemplo de projeto de rotor centrífugo em que estão evidenciados alguns parâmetros do rotor e a trajetória da partícula de fluido.

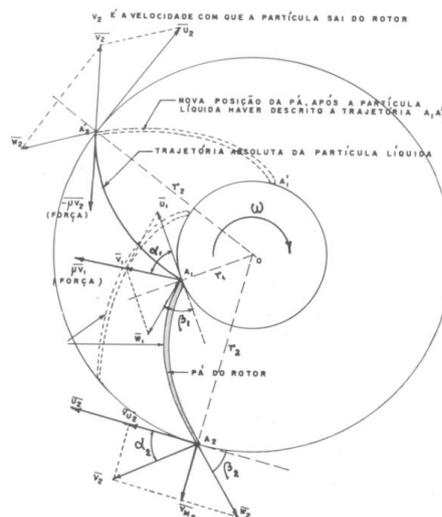


Figure 4 - Design of centrifugal rotor  
 Source: Macintyre (1997)

Para desenvolver o rotor foram inseridos como dados de entrada: a potência do motor  $W = 100W$ , rotação  $n = 2000rpm$ , diâmetro de entrada  $d_1 = 0,019m$ , diâmetro de saída  $d_2 = 0,055m$ , espessura da pá  $b = 0,005m$ , ângulo de entrada e de saída da pá  $b_1 = 20 \text{ graus}$  e  $b_2 = 23 \text{ graus}$  e o coeficiente empírico  $K_2 = 0,074$ .

### 3.3 Método apresentado pelo Macintyre (1997)

O modelo utilizado nesse projeto foi proposto pelo Macintyre (1997) que apresenta um roteiro simplificado para o dimensionamento de rotores centrífugos, em que estão envolvidas grandezas como:

Velocidade periférica ou tangencial na entrada:

$$u_1 = \frac{\pi d_1 n}{60} = 1,9897 \text{ m/s} \quad (2)$$

Velocidade absoluta na entrada:

$$Vm_1 = u_1 \tan b_1 = 0,724 \text{ m/s} \quad (3)$$



Velocidade relativa na entrada:

$$W_1 = \sqrt{Vm_1^2 + u_1^2} = 2,1174 \text{ m/s} \quad (4)$$

Vazão corrigida:

$$Q' = \pi d_1 V m_1 b = 0,000217 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

Componente meridiana da velocidade absoluta na saída:

$$Vm_2 = \frac{Q}{\pi d_2 b} = 0,2515 \text{ m/s} \quad (6)$$

Componente periférica da velocidade relativa:

$$Wu_2 = \frac{Vm_2}{\tan b_2} = 0,5925 \text{ m/s} \quad (7)$$

Velocidade relativa na saída:

$$W_2 = \sqrt{Vm_2^2 + Wu_2^2} = 0,6436 \text{ m/s} \quad (8)$$

Velocidade periférica na saída:

$$u_2 = \frac{\pi d_2 n}{60} = 5,7595 \text{ m/s} \quad (9)$$

Componente periférica da velocidade absoluta:

$$Vu_2 = u_2 Wu_2 = 5,1732 \text{ m/s} \quad (10)$$

Altura manométrica:

$$H = \frac{(Vm_1 k_2)^2}{2g} = 4,91 \text{ m/s} \quad (11)$$

Uma vez definido o projeto do rotor, são levantadas as curvas deste rotor para a publicação de catálogos.

#### 4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO E CONSTRUÇÃO DA BANCADA

Após calcular a vazão requerida, as velocidades do fluido e também o modelo matemático para o projeto desse rotor, iniciamos o modelamento da bancada.

A Figura 5 abaixo mostra o projeto da bancada de bomba centrífuga modelado no software ProEngineer, fornecido pelo curso de engenharia mecânica na universidade, onde a montagem no software segue basicamente o modelo proposto inicialmente e também nos mostra uma vista explodida com o motor e as demais peças que formam o conjunto da bomba.

O rotor está na cor marrom somente para poder destacá-lo das demais peças, para critério de uma melhor visualização na montagem, pois o mesmo é de alumínio, bem como a voluta.

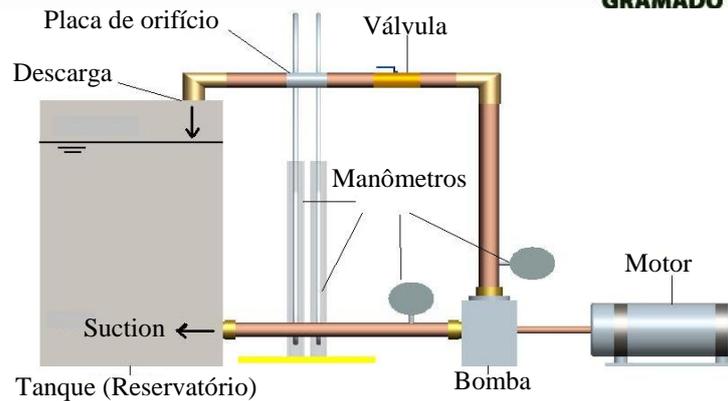


Figura 5 – Projeto da bancada de bomba centrífuga

Fonte: Os autores

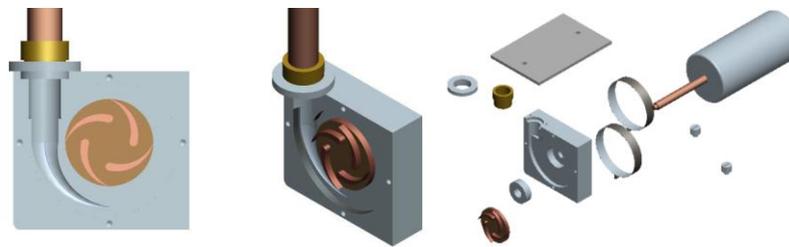


Figura 6 – Montagem do rotor e voluta.

Fonte: Os autores

#### 4.1 Sistemas de controle do motor

O projeto do rotor foi baseado no modelo proposto pelo Macintyre, como já mencionado, onde é necessária uma potência que é fornecida ao eixo que rotaciona o rotor. Para obtermos a potência, utilizamos um motor reformado da Bosch modelo DPG 9 130 451 116 (fornecido por um parceiro da universidade), que possui uma potência de 100W e rotação variável de até 3000 rpm, podendo ser alterado a cada 100 rpm, auxiliando no levantamento da curva da bomba  $H \times Q$ .

O sistema de comando da placa possui um display, onde é possível visualizar a rotação em que o motor está operando. Também possui um teclado com três botões, sendo que o primeiro é para ligar e desligar o motor, e os outros dois botões controlam a rotação para mais ou para menos.

Com uma chave seletora para selecionar a tensão de 220V ou 110V e um transformador com uma ponte retificadora para a mudança de corrente alternada para corrente contínua, para alimentar a placa controladora.

#### 4.2 Correção da planilha de dimensionamento

A correção da planilha foi extremamente necessária, devido a disponibilização do material utilizado nesse projeto, como por exemplo, os tubos inicialmente calculados no projeto deveriam ser de 22 mm de diâmetro, porém tinha-se a possibilidade de utilizar tubos de 3/4 de polegada (19 mm), estocados no laboratório, não necessitando a compra desse material, igualmente para as conexões. Devido a essa situação, foi necessário mudar alguns

parâmetros para poder não só projetar a bomba centrífuga com também construí-la com os materiais disponíveis na universidade.

Tornou-se mais viável entrar com dados já pré-determinados, como por exemplo, a rotação do motor, o diâmetro da boca de entrada do rotor, o diâmetro de saída, a espessura e os ângulos das pás, pois esses parâmetros proporcionariam um funcionamento mais adequado para esse projeto proposto, devido aos modelos encontrados na literatura, serem para bombas de médio e grande porte.

#### 4.3 Desenho mecânico do rotor e esboço da voluta

O desenho do rotor foi baseado no traçado das pás por pontos, que é indicado quando se deseja uma pá traçada dentro das exigências da melhor técnica, baseia-se na teoria elementar das turbobombas, segundo a qual o numero de pás sem espessura sendo extremamente grande haverá igualdade de condições de escoamento para todos os pontos de uma mesma circunferência cujo centro é o traço do eixo sobre o seu plano.

Em linhas gerais, o processo consiste em escolher uma grandeza que defina a corrente como, por exemplo, uma das velocidades para cada ponto da pá, determina-se suas velocidades e por meio de coordenadas convenientemente escolhidas e que são funções da velocidade determina-se a posição dos pontos da pá (Macintyre).

O número de pás adotado foi baseado numa observação inicial em que de 6 a 14 pás para os rotores de médias e grandes dimensões, sendo os valores maiores os indicados para as bombas de pequena velocidade específica, e de 4 a 6 pás para os rotores de pequenas dimensões, especialmente se a rotação for elevada. Por isso adotamos 4 pás no rotor projetado como mostra a Figura 7.

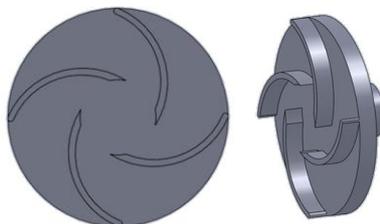


Figura 7 – Projeto do rotor.

Fonte: Os autores

O desenho da voluta foi baseado em um perfil que melhor descrevesse a trajetória do fluido. Não utilizado nenhum padrão ou modelo para a modelagem da voluta, por isso as dimensões e curvas projetadas no desenho da voluta são apenas para orientar o fluido para a saída na descarga da voluta. A Figura 8 mostra o projeto da voluta.

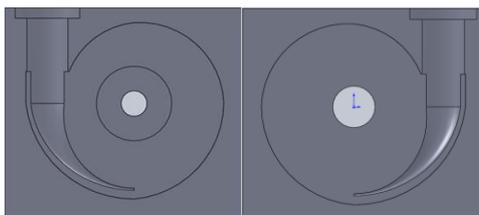


Figura 8 – Projeto da voluta.

Fonte: Os autores

#### 4.4 Usinagem do rotor e volutas

Após o projeto da bancada em geral, foi identificadas as peças a serem usinadas, tendo a necessidade de desenhar peças como a voluta, rotor, eixo do motor, placa de orifício, dentre outras, para posteriormente serem usinadas.

Casos específicos como o rotor e a voluta, tiveram de ser usinados no centro de usinagem, utilizando a plataforma CAM, que possibilitou a usinagem das pás do rotor, bem como a cavidade da voluta e o “sweep” de saída do fluido conforme a Figura 12 (A) e (B) que mostram o rotor e a voluta usinados respectivamente.

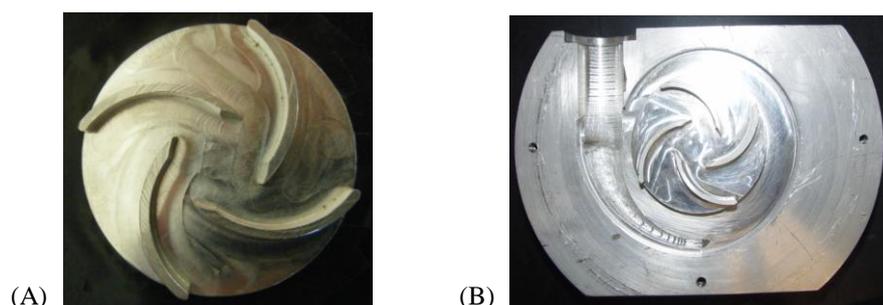


Figura 12 – Usinagem do rotor e voluta.  
 Fonte: Os autores

#### 4.5 Montagem da bancada de bomba centrífuga

Com todas as peças usinadas e a montagem da placa de comando no motor, iniciou a montagem do tanque ‘reservatório’, a montagem do rolamento na voluta, o rotor no rolamento, a junção das volutas, a conexão dos tubos e finalmente, o posicionamento dos manômetros, mostrados a seguir nas Figuras 13 (A) e (B):

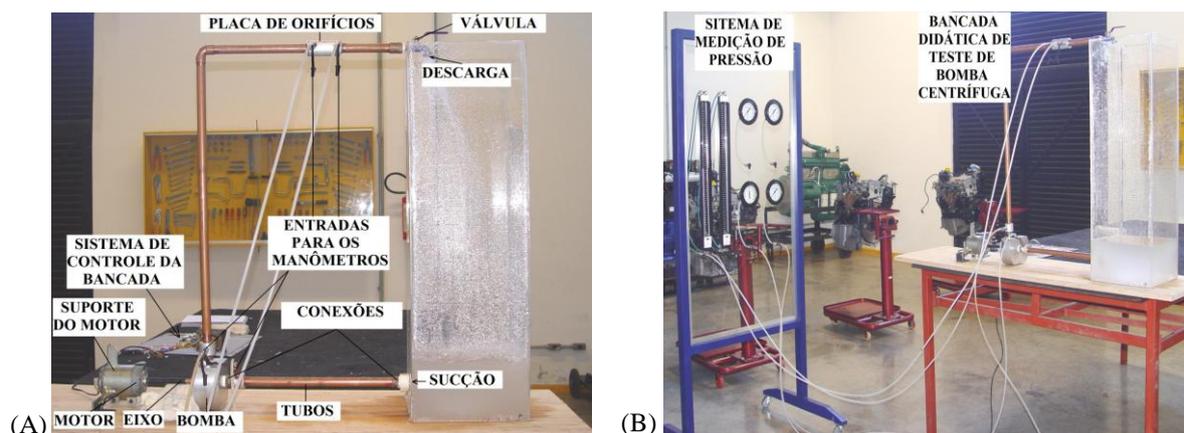


Figura 13 – (A) Bancada de bomba centrífuga (B) sistema de medição de pressão da bancada.  
 Fonte: Os autores

#### 4.6 Testes e resultados

A Tabela 1 mostra as pressões da boca de entrada e da boca de saída da bomba, que foram obtidas nos ensaios e compiladas nessa tabela.



Tabela 1 – Pressões da Bomba

	1000 rpm		1500 rpm		2000 rpm		2500 rpm		3000 rpm	
	Pe	Ps								
1	0,02	0,15	0,02	0,34	0,02	0,42	0,02	0,51	0,02	0,60
2	0,02	0,16	0,02	0,36	0,02	0,45	0,02	0,57	0,02	0,62
3	0,02	0,18	0,02	0,38	0,02	0,48	0,02	0,58	0,02	0,66
4	0,02	0,19	0,02	0,40	0,02	0,50	0,02	0,60	0,02	0,68
5	0,02	0,19	0,02	0,41	0,02	0,53	0,02	0,62	0,02	0,72

Após a tomada das pressões durante os ensaios, podemos calcular a altura manométrica utilizando a Equação (12) para um fluido estático, como é apresentado na Tabela 2:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho H_2 O g} \quad (12)$$

Tabela 2 – Altura manométrica da bancada

	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm	3000 rpm
	H	H	H	H	H
1	1,33	3,27	4,09	5,01	5,93
2	1,43	3,48	4,40	5,62	6,13
3	1,64	3,68	4,70	5,73	6,54
4	1,74	3,88	4,91	5,93	6,75
5	1,74	3,99	5,21	6,13	7,16

Para calcularmos a vazão (Q) no ensaio, utilizamos um volume conhecido de 2,5 l (litros) e cronometramos o tempo para encher esse recipiente, variando a rotação e fechando a válvula para mudar a altura manométrica, portanto a medição nomeada como 1, corresponde a válvula totalmente aberta, dando sequência ao ensaio fechando a válvula aos poucos, até que na medição de número 5 a válvula esteja totalmente fechada, ou seja, vazão igual a zero.

Os valores estão em l/s, conforme a Tabela 2, abaixo:

Tabela 3 – Vazão da bomba

	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm	3000 rpm
	1	0,147	0,278	0,3125	0,357
2	0,125	0,227	0,278	0,227	0,357
3	0,0658	0,1316	0,208	0,125	0,208
4	0,0454	0,0595	0,0926	0,0893	0,125
5	0	0	0	0	0

#### 4.7 Curva característica da bomba H x Q

Após realizado os testes podemos plotar a curva característica da bomba, utilizando os valores obtidos nas tabelas acima e posteriormente compará-los com os valores obtidos analiticamente. A Figura 14 permite avaliar o projeto e verificar o comportamento dessa bancada.

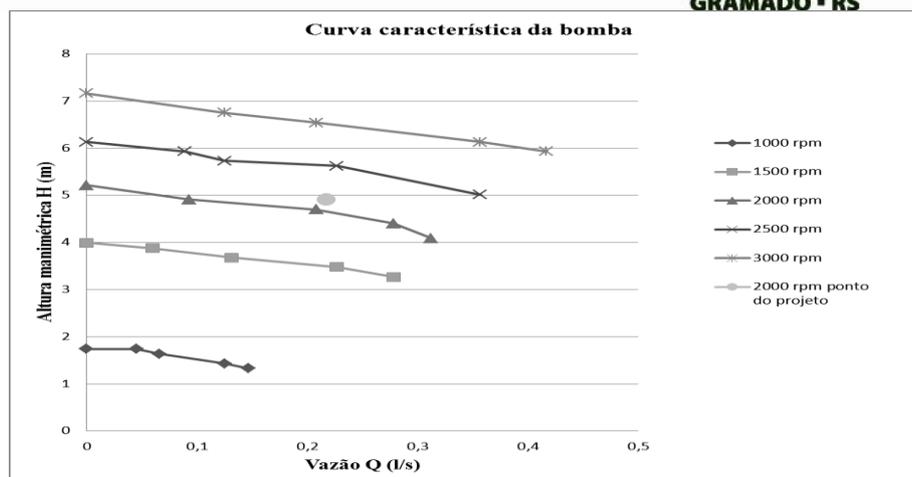


Figura 14 – Curva característica da bomba

Fonte: Os autores

## 6. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou o projeto e construção de uma bancada didática de ensaio de bomba centrífuga de pequeno porte, que permite a utilização em práticas acadêmicas e de natureza didática, onde foi utilizada uma metodologia de traçado de pás para a construção do rotor centrífugo, em que podemos concluir que o objetivo proposto foi atingido.

A curva característica da bomba mostra os resultados para cinco níveis de rotação, o que não foi cogitado inicialmente no projeto, pois o projeto e a modelagem do rotor foram baseados numa rotação de 2000 rpm, portanto a curva da bomba mostra mais quatro curvas de rotações diferentes, variando a vazão e também a altura manométrica por uma válvula que restringe a passagem do fluido, como por exemplo, para uma vazão 125ml/s e com 3000 rpm, a altura manométrica é de 6,75 metros, o que é um resultado bastante significativo, para uma bomba de porte tão pequeno.

A vazão calculada inicialmente no projeto era de 217 ml/s e a vazão obtida no ensaio foi de 208 ml/s, similarmente a altura manométrica calculada inicialmente era de 4,91 m e a altura manométrica obtida no ensaio foi de 4,7 m, ambas tiveram um erro de aproximadamente 4%, podemos assim concluir que os resultados da bomba em funcionamento coincidiram com os valores calculados para o projeto, ou seja, a resolução analítica pode ser validada nos ensaios práticos.

Por se tratar de um projeto de cunho educativo, ele também atende á expectativa em relação ao uso em demonstrações laboratoriais, nas disciplinas de máquinas de fluxo e mecânica dos fluidos. Entretanto, para o desenvolvimento tecnológico, a metodologia deve ser reajustada.

Melhorias podem ser incorporadas a esse projeto, incluindo o desenvolvimento de uma família de rotores para serem testados na mesma bancada, a utilização de um rotâmetro para medir a vazão e um sistema de medição de pressão mais adequado, devido as baixas pressões, o que também facilitaria na locomoção da bancada.

## 7. REFERÊNCIAS

GÖLCÜ, M; PANCAR, Y; SEMKEN Y. Energy saving in a deep well pump with splitter blade. Elsevier Energy Conversion and Management. Denizli, Turquia, 2006, 2006 638-651p.



GIBBONS, M., LIMOGES, C., NOWOTNY, H., SCHWARTZMAN, S., SCOTT, P. e TROW, M. The New Production of Knowledge. Sage, London, 1994.

LIMA, E. P. C. Mecânica das Bombas. 2. Ed. Interciência, Rio de Janeiro – RJ, 2003.

MACINTYRE, A. J. Bombas e Instalações de Bombeamento. 2. ed. LTC, Rio de Janeiro – RJ, 1997.

MATTOS, E. E. e FALCO, R. Bombas Industriais. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro – RJ, 1998.

Motor, Datasheet DPG 9 130 451 116 BOSCH. Disponível em <[http://www.casaferreira.com.br/bosch/pdf\\_bosch/DPG451116.pdf](http://www.casaferreira.com.br/bosch/pdf_bosch/DPG451116.pdf)>, Acesso em: 20 ago. 2012.

OLIVEIRA, W., MANZANARES, F. N; FERNANDES E. C. Um Critério Baseado nas Características Locais do Escoamento para a Determinação do Número Ótimo de Pás de Rotores de Turbomáquinas, ENCIT, IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, ABCM, Caxambu – MG, 2002.

PFLEIDERER, C; PETERMANN, H. Máquinas de Fluxo, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. – Rio de Janeiro – RJ, 1979.

PLATTS, K, W. Developing knowledge and skills in engineers:a learning laboratory. Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge, UK, 2004.

SOUZA, Z. Dimensionamento de Máquinas de fluxo Turbina – Bombas – Ventiladores. ed. Edgard Blücher Ltda - São Paulo – SP, 1991.

VICKERS, G. The Art of Judgment: A Study of Policy Making, Harper & Row, London, 1983, (originally published by Chapman & Hall, London, 1965).

## **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DIDATIC WORKBENCH FOR TESTING OF CENTRIFUGAL PUMP**

**ABSTRACT:** *The higher education has increasingly sought to provide its students an educational environment similar to what it will encounter in their professional careers. One way to meet this premise is the use of laboratories for conducting practical experiments that approximate the student's professional practice. In mechanical engineering, the study of flow machines such experiments need to consolidate the teaching-learning process. The purpose was to build a test board for small centrifugal impellers, allowing for reliable testing and that could be built with reduced cost. For this project, we attempted to use the most, commercial items, and thus the minimum machining of individual parts, the impeller and the volute. To measure the conversion efficiency of the mechanical energy of the shaft to kinetic energy in the fluid, the pump must be tested in a board test that measures basically the ratio of the total head height and flow, where the head height is the conversion, in meters, of all mechanical energy difference between the output and the input of the pump. The centrifugal impeller design basically depends on the characteristics of pumping or service that you wish to keep. The construction of the board reached the proposed objectives and the cost of the project was greatly reduced when compared to similar commercial products. The practical results allowed us to know the pump curve and were compatible with the project. Improvements may be incorporated including the development of a family of rotors that may be tested on the same board.*

**Keywords:** *centrifugal pumping, didactic board, rotor, pump curve.*