

PROJETO, EXECUÇÃO E ANÁLISE OPERACIONAL DE BOMBA HIDRÁULICA DE FLUXO SIMPLIFICADA E DE BAIXA POTÊNCIA

Yuri Martins Martinez ¹; Guilherme Wolf Lebrão ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. Bombas hidráulicas de fluxo (BHF) são aplicadas em uma imensa gama de atividades, de micro bombas para aquários com potência de algumas dezenas de Watts até bombas de movimentação de líquidos com potências superiores a 10^6 Watts. Bombas de menor responsabilidade devem oferecer como uma das suas principais características preços reduzidos, o que implica na utilização de tecnologia pouco sofisticada. O trabalho concluiu que o projeto simplificado do rotor e da carcaça e sua fabricação por impressão 3D apresenta melhor desempenho e um melhor custo na sua fabricação.

Palavras-chave: Energia, Projeto de bombas hidráulicas de fluxo, Ensaio de BHF

Introdução

Define-se uma bomba hidráulica como uma “máquina destinada a incrementar a energia de um líquido a ser transportado, à custa de energia mecânica externa fornecida por um acionador” (ABNT NBR 10131, 07.08.2015). Da mesma forma, a mesma norma define uma bomba hidráulica de fluxo como “bomba hidráulica onde a energia total (energia de pressão mais energia de velocidade de cada partícula fluida) é incrementada ao longo de seu escoamento à custa da energia dele recebida” (ABNT NBR 10131, 07.08.2015). A partir destas duas definições pode-se entender melhor o funcionamento de uma bomba hidráulica de fluxo e sua importância.

Em uma bomba hidráulica de fluxo (BHF), as características construtivas da mesma fazem com que o fluido seja admitido na região central do rotor. Existem três tipos de BHF: as bombas hidráulicas de fluxo radial, misto e axial. “Bombas radiais são aquelas nas quais o formato do rotor determina um escoamento perpendicular ao eixo de rotação, bombas axiais são aquelas onde o formato do rotor faz com que o escoamento ocorra paralelamente ao eixo de rotação e nas bombas de fluxo misto, o formato do rotor impõe um escoamento simultaneamente nas direções axial e perpendicular ao eixo de rotação” (LAURIA,2014). Desta forma, é possível analisar o comportamento do escoamento do fluido na saída dos três tipos de BHF: “as bombas radiais têm saída do fluxo perpendicular ao eixo, as axiais têm essa saída paralela ao eixo e nas mistas ocorre uma saída de forma inclinada em relação ao eixo, com determinado ângulo” (LAURIA,2014). Além disso, o diâmetro de saída do fluido é o parâmetro que caracteriza uma BHF como centrífuga. “Bombas hidráulicas de fluxo radial ou misto podem ser chamadas de centrífugas, pois ocorre uma variação no diâmetro de entrada e saída do fluxo no rotor e essa variação acontece numa faixa entre 1,1 e 3,5, enquanto nas bombas hidráulicas de fluxo axial o diâmetro de entrada é o mesmo de saída” (LAURIA,2014).

Bombas sempre foram usadas em vários setores da sociedade e para as mais variadas atividades. A primeira razão para o ser humano necessitar de uma bomba hidráulica foi a atividade da agropecuária, onde se fez necessário sistemas simples de recalque utilizados na irrigação. No presente, usamos bombas para abastecimento de água corrente, sistemas de condicionamento de ar, abastecimento de gasolina e outros combustíveis, movimentação de águas servidas sistemas de condicionamento de ar, irrigação, refrigeração, combate a enchentes, serviços em embarcações, entre outras aplicações. As inúmeras aplicações de bombas hidráulicas explicam a variedade de tamanho, formato e capacidade das mesmas.

Nesse projeto, fez-se uso de um estudo interrompido do ano de 1991 com uma bomba hidráulica simplificada de fluxo misto. Neste estudo, foram feitos o projeto e a manufatura das peças de uma bomba, além de alguns testes experimentais. Este projeto dedicou-se a projetar peças faltantes e necessárias para o funcionamento da bomba e para a bancada de testes a partir de softwares mais evoluídos de desenhos 3D e realizar testes experimentais a fim de analisar o efeito dos diferentes materiais do rotor no desempenho da bomba e seu desempenho em si.

Material e Métodos

Desenhos Técnicos e Projeto em CAD

O desenho técnico é uma ferramenta necessária para a interpretação e representação de um projeto, por ser o meio de comunicação entre a criação e a fabricação. Desta forma, ele pode ser interpretado como a linguagem gráfica que representa as formas, dimensões e posicionamento de objetos e suas relações com o meio. O desenho técnico se torna necessário para fabricação de peças e entendimento da função e/ou encaixe de cada elemento de certo sistema mecânico.

Neste projeto, fez-se uso do software de desenhos 3D SolidWorks tanto para a projeção das peças da bomba já existentes quanto das peças necessárias para a montagem completa da bomba e da bancada. Segue abaixo descrição da função mecânica de cada peça projetada e o seu respectivo desenho técnico.

A modelagem do projeto num ambiente de desenho virtual se tornou bastante necessária e eficaz, uma vez que permite uma melhor visualização do sistema como um todo e de um encaixe de uma peça a ser fabricada dentro do conjunto todo.

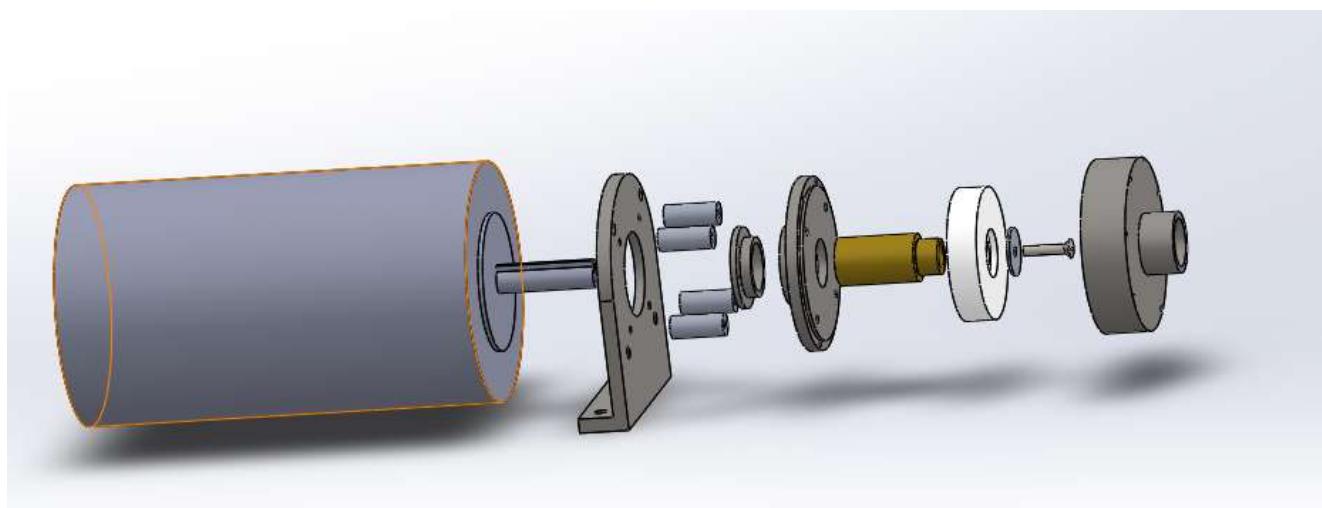


Figura 1- Vista Explodida da Montagem da Bomba com o modelo de Rotor de naylon no software SolidWorks

A partir da exibição da montagem, vale ressaltar o funcionamento da bomba hidráulica simplificada e a função de cada peça: o motor transmite torque através do eixo para o rotor de naylon (representado em modelo e em branco na figura acima) a partir de uma chaveta e a conexão entre o eixo do motor e o rotor é feita através de uma bucha de latão (representada em dourado na figura acima) que garante a vedação perante o motor e o diâmetro de entrada do eixo no rotor e na gaxeta. A água entra pelo outro lado da montagem, na carcaça e ao passar pelo rotor, sai com uma pressão maior.

Projetos dos Rotores

No projeto dessa bomba em 1991, foi feito um rotor de naylon com furos inclinados e neste projeto buscou-se comparar o desempenho da bomba com um rotor projetado de acordo com normas de máquinas de fluxo e cálculos sobre a inclinação das pás, o número de pás, o diâmetro de entrada e saída, entre outras variáveis a serem consideradas. A partir disso foi projetado o seguinte rotor:

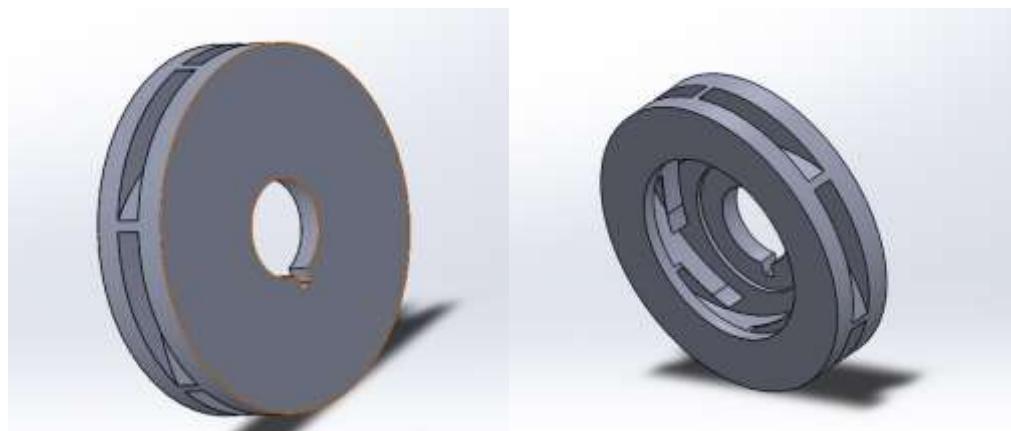


Figura 2 - Novo rotor projetado com pás e melhor ergonomia de vazão

Além disso, para se acoplar o novo rotor ao sistema de peças já existentes foi necessário fazer o projeto de uma arruela com certa curvatura. A seguir, a montagem do sistema com o rotor a ser impresso e a arruela.

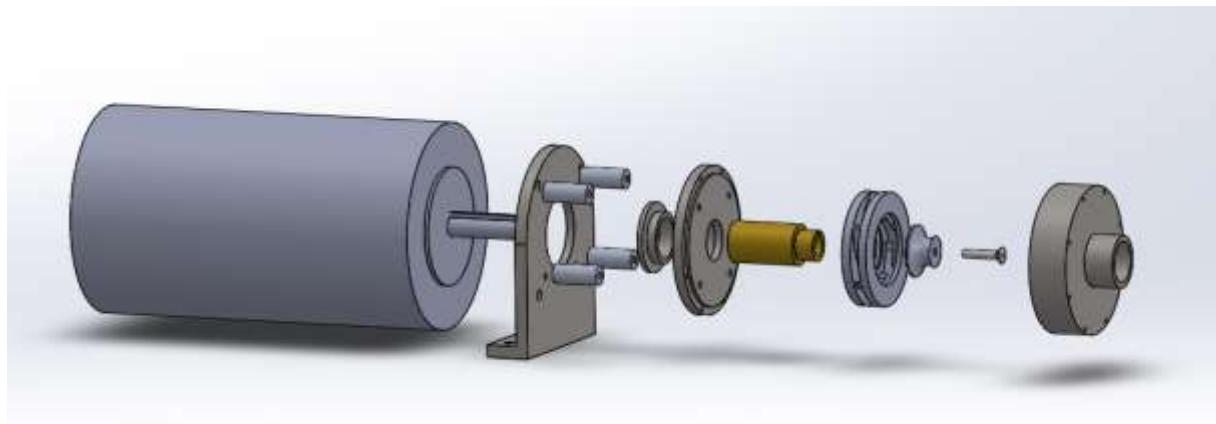


Figura 3 - Montagem com novo rotor e arruela de adaptação

Impressão 3D

A impressão 3D é uma tecnologia de prototipagem rápida de um material tridimensional a partir da deposição de material e se diferencia de outros métodos de produção pelo custo (como o processo é de acumulo de material e não de retirada como, por exemplo, o processo de usinagem, tem-se pouca sobra de material) e pela facilidade de manuseio, uma vez que as impressoras costumam dialogar com softwares difundidos no mercado comum e no ambiente acadêmico.

As impressoras conseguem interpretar somente projetos desenvolvidos em código STL (Standard Tessellation Language). O formato STL descreve as superfícies de um objeto de acordo com a posição de seus vértices e é usualmente compatível com ferramentas de CAD ou outros softwares de modelagem 3D. Desta forma, utilizou-se do SolidWorks para realizar o projeto do novo rotor pela facilidade de dialogo entre a linguagem de projeto deste software e o reconhecimento dos projetos realizados pelo mesmo por parte da impressora 3D.

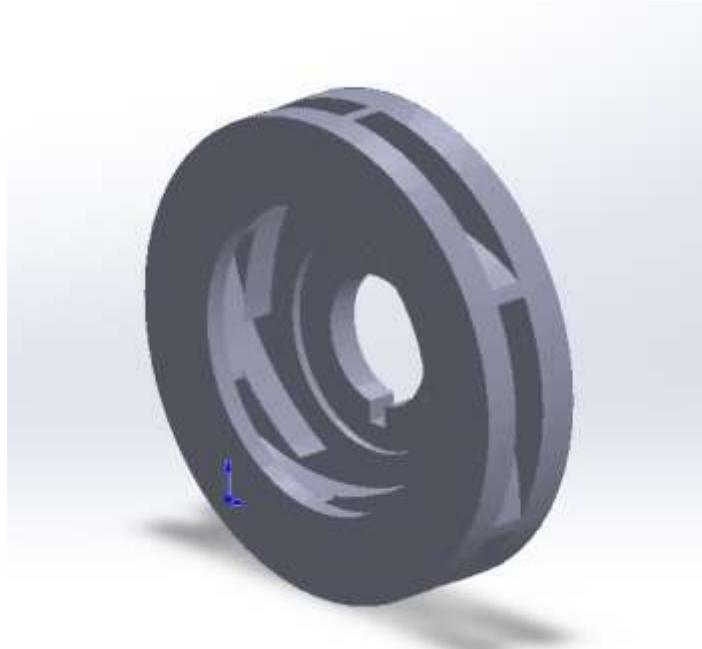


Figura 4 - Rotor projetado em ambiente STL graphics

Existem alguns tipos de impressoras e de técnicas de impressão no mercado. A usada neste projeto foi a Modelagem de Deposição de Material Fundido (FDM). Estas impressoras funcionam com filamentos que são esquentados e depositados camada a camada. Ao entrar em contato com a camada anterior, o plástico esfria e se funde, formando o objeto. A partir da espessura do filamento que gera as unidades mínimas do objeto (normalmente são os menores quadrados ou triângulos com os quais se pode dividir a peça) define-se a densidade da peça a ser fabricada.

Ensaios

Após a conclusão da montagem da bomba e da bancada, foi possível realizar os ensaios com todos os elementos de medida instalados e com o rotor de naylon e o novo rotor impresso de ABS. Vale aqui nomear alguns objetos que serão citados posteriormente e seus respectivos papéis nos ensaios. São eles:

- Tubulação: conjunto de tubos interligados que determinam a trajetória do fluido (no caso da bancada da bomba construída, o fluido é a água)
- Válvula de Esfera: válvula acoplada na tubulação que determina a passagem ou não de água pela mesma
- Tanque: tanque com capacidade de 50 litros de onde a bomba retira a agua para o seu funcionamento e para onde parte da água pode ou não retornar após passar pela tubulação (depende da abertura ou não da válvula do trecho final)
- Balde: localizado embaixo da tubulação final para despejo de água
- Balança: mede a massa de água despejada dentro do balde
- Cronômetro: usado para determinar em quanto tempo certa quantidade de água atende determinada altura no balde
- Anel Piezométrico: objeto circular construído para medir pressão em determinada região da tubulação. No caso do experimento aqui estudado, foram instalados dois desse equipamento, um na tubulação jusante e outra na tubulação montante da bomba.
- Manômetro diferencial de Mercúrio: medidor de pressão coletada nos anéis piezométricos.

Os primeiros procedimentos visaram medir a carga na jusante e na montante da bomba a partir da variação de vazão na tubulação, que por sua vez, foi medida usando uma balança para medir a massa de água e um cronômetro para determinar o tempo até se atingir determinada massa.

O processo de tomadas de medidas foi bastante sistemático. Primeiramente, usando o inversor de frequência, ligou-se a bomba e verificou-se o comportamento do escoamento de água na entrada do tanque, pois um escoamento turbulento seria prejudicial para o experimento porque alteraria o volume de água presente no tanque. Após constatar um escoamento laminar, fechou-se a válvula da tubulação de entrada no tanque, abriu-se totalmente a válvula da tubulação de saída e desta forma foi possível regular a vazão a partir da válvula da tubulação lateral ao tanque. Posteriormente, em todas as medidas o processo foi o mesmo: determina-se uma vazão de água a partir da abertura ou fechamento da válvula, o cronometro inicia-se quando água começa a cair da tubulação final até a mesma atingir nível pré-determinado e é justamente esse tempo que se tem para anotar os valores de carga em uma folha sulfite localizada atrás do manômetro e fazendo uso de um esquadro.

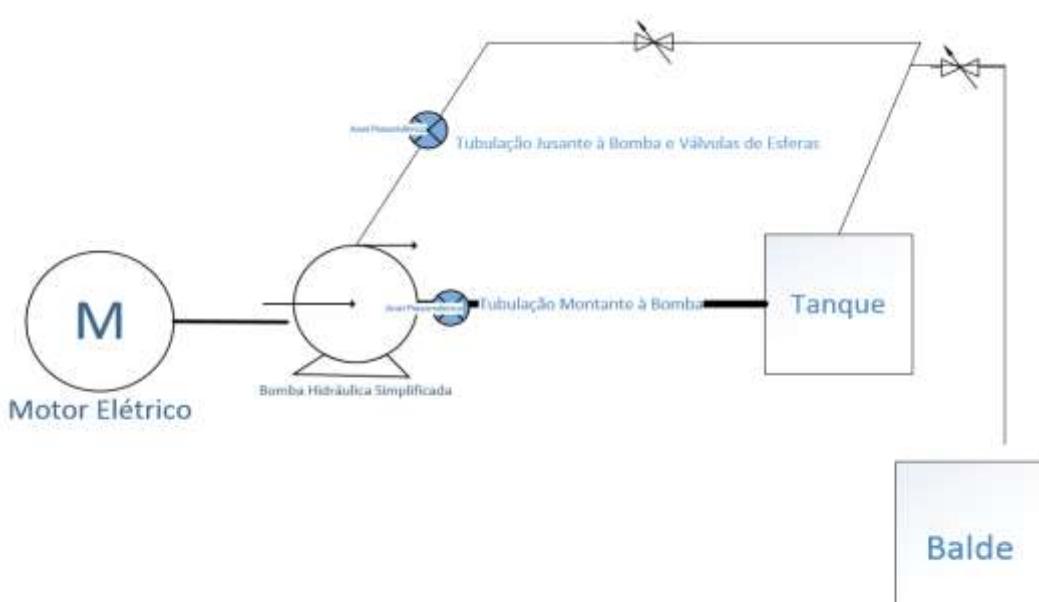


Figura 5 - Esquema da bancada, bomba e tubulação para o ensaio de testes

Resultados e Discussão

Resultados Experimentais

Após a realização dos testes e da coleta de dados, transferiu-se os mesmos para o ambiente de trabalho do Microsoft Excel e a partir das tabelas geradas, foi possível gerar os gráficos de vazão em função da carga da bomba convencional e da bomba simplificada:

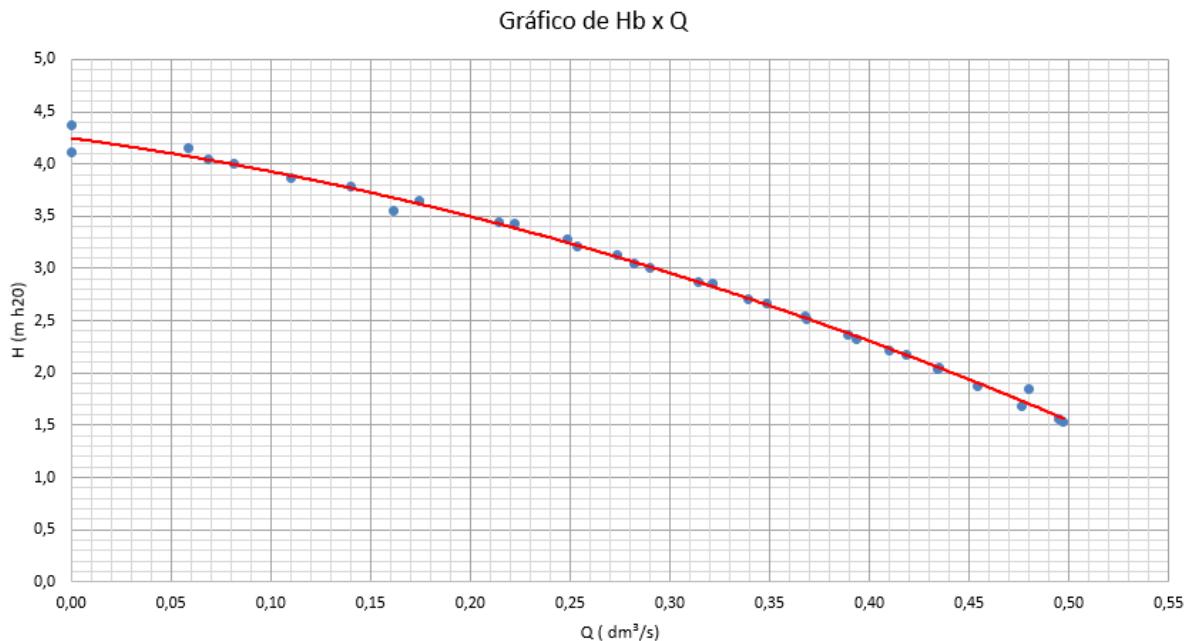


Figura 6 - Gráfico de Carga em função da vazão para a bomba convencional com o rotor antigo

O gráfico acima é o comportamento esperado para a relação entre carga e vazão na maioria das bombas existentes, pelo menos uma curva de formato parecido. No entanto, algumas derivações desta forma dependem do tamanho, formato e/ou aplicação da bomba.

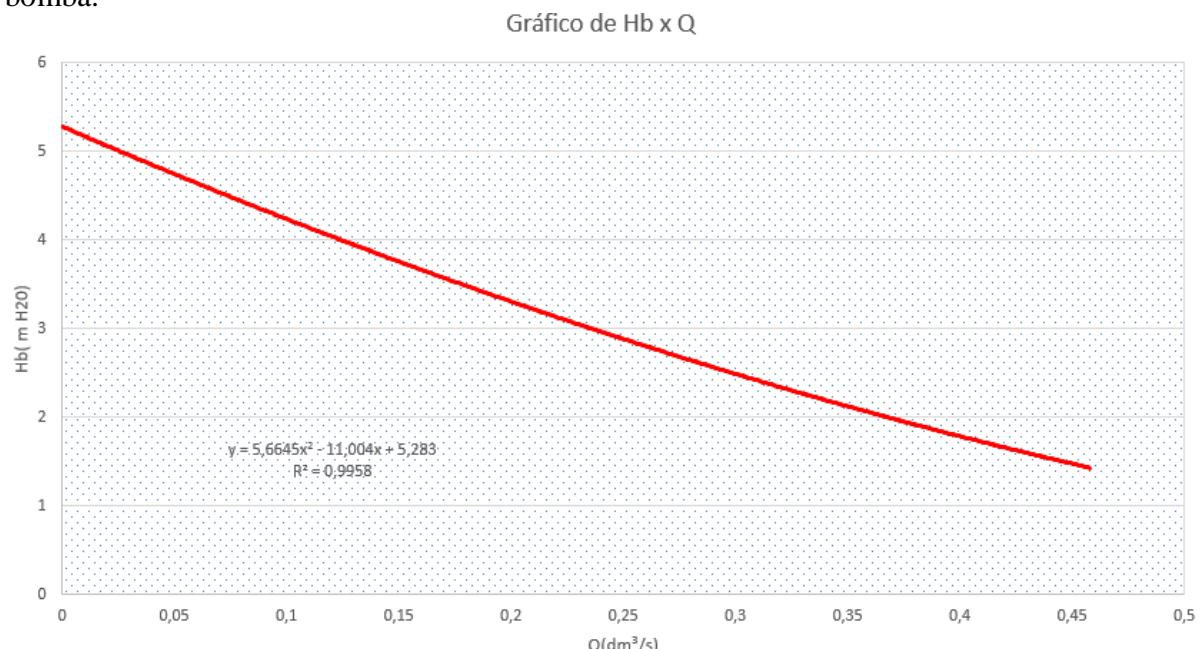


Figura 7 - Gráfico de carga em função da vazão para a bomba com o rotor projetado

A partir da visualização do gráfico acima do rotor projetado, percebe-se um comportamento diferente em relação a curva padrão de carga por vazão de uma bomba convencional. Tal diferença pode ser explicada por alguns fatores a serem citados a seguir:

1. Amostra de dados: como o projeto baseou-se em um estudo não terminado, o rotor usado para as primeiras análises foi o de naylon e com a bancada toda já configurada para o mesmo. Desta forma, foi possível determinar mais dados com essa formação de sistema da bomba. Com o rotor projetado e impresso em ABS, foi possível realizar os mesmos testes, no entanto em uma quantidade menor, devido a problemas técnicos com medidores de potencia, e sob uma análise menor, pois não existem muitas bombas hidráulicas com rotores impressos neste material e, assim, não se sabia muito bem o que esperar.
2. Estudo singular: assim como já citado, o estudo de rotores feitos de ABS usados em bombas hidráulicas simplificadas não é muito comum, logo não se esperava ter a tendência de curva que está relacionado com a maioria das bombas convencionais.

Vale ressaltar, pela análise dos gráficos, que a carga máxima obtida com o rotor projetado e impresso foi maior do que o rotor de naylon. Ainda assim esperava-se uma maior vazão, uma vez que a entrada de agua no rotor impresso seria maior que a do rotor convencional, mas isso não ocorreu, talvez por rugosidade ou imperfeições da impressão causadas pela falta de pequenos ajustes no projeto que a impressora reconhece de forma mais clara.

Avaliação de custo

Ao longo do desenvolvimento deste projeto, foi possível observar o baixo custo de produção de um objeto fabricado em um equipamento de impressão 3D. A partir de um cálculo estimativo de amortização do maquinário, foi possível estabelecer o preço da peça. Considerando uma amortização de 5 anos de uma impressora 3D de R\$ 20.000,00 reais, tem-se:

$$\frac{20.000 \text{ reais}}{5 \text{ anos}} \times \frac{1 \text{ ano}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1 \text{ mês}}{20 \text{ dias produtivos}} \times \frac{1 \text{ dia}}{20 \text{ horas operando}} = \frac{0,8 \text{ reais}}{\text{hora}}$$

A partir deste cálculo estimativo é possível analisar o quanto a impressão 3D se sobressai perante outros processos produtivos. Com um custo de apenas aproximadamente 1 real por hora, sem necessidade de operador e com a facilidade de diálogo entre interfaces de softwares de desenho virtual. Neste projeto, por exemplo, o rotor exigiu 14 horas de funcionamento da máquina logo aproximadamente R\$ 14,00 reais o custo total do rotor produzido.

Conclusões

Com este projeto, pode-se concluir algumas relações entre desempenho e custo dos objetos e processos realizados. Ficou evidente a superioridade do processo de impressão 3D sobre outros processos produtivos, em inúmeros quesitos. A facilidade de se produzir uma peça impressa é razoavelmente maior, uma vez que não é necessário nenhum operador ou algo do tipo, somente interpreta-se o projeto em um formato que a impressora lê e a deixa trabalhando. Além disso, o custo de produção é extremamente inferior, como já analisado na avaliação de custo.

O desempenho nos testes realizados, mecanicamente falando, não foi possível analisar com todos os parâmetros que deveriam ser levados em consideração até por causa do tempo de projeto e da complexidade de tal estudo, mas tornou-se evidente que o rotor fabricado pela impressora 3D e a partir de cálculos bem estabelecidos sobre rotores é显著mente superior ao rotor fabricado de forma convencional (fazendo somente 7 furos em curva), uma vez que a vazão de água pelo mesmo é maior. Tal superioridade não ficou clara nos gráficos gerados, devido aos fatores já comentados como tempo de testes e análises e precedentes de estudos na área.

De forma geral, o projeto reiterou uma ideia que vem crescendo bastante no universo produtivo, que é a produção por meios alternativos, como a impressão 3D. Ficou evidente a facilidade de se projetar e executar um objeto ou sistema a partir dessa técnica de produção.

Referências

LAURIA, Douglas (2014) *Apostila de Máquinas de Fluxo - 1^a Edição*

LAURIA, Douglas (2014) *Apostila de Máquinas de Fluxo - 2^a Edição*

https://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidr%C3%A1ulica

<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/Aula05-Rec.pdf>

<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/31147/nbr10131-bombas-hidraulicas-de-fluxo>

MUNSON, Bruce R.(2002) *Fundamentos da Mecânica dos Fluidos*