

## PROTÓTIPO DIDÁTICO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA DE ENGRENAGENS

**João Henrique Costa Thomaz** – joao.hct@hotmail.com

Centro Universitário de Belo Horizonte – UniBH

Av. Professor Mário Werneck, 1685

30575-180 – Belo Horizonte – Minas Gerais

**Tiago Evangelista Gomes** – tiagometalurgica@gmail.com

**Diego dos Santos Ribeiro** – ddiegosr@gmail.com

**Sinthya Gonçalves Tavares** – sinthya.tavares@unibh.br

**Gabriela Camargos Lima** – gabriela.lima@unibh.br

**Resumo:** Neste Trabalho é apresentada a fabricação e montagem detalhada de um protótipo de bomba de engrenagens, com um painel transparente para a visualização das engrenagens e seu funcionamento, a fim de proporcionar um entendimento concreto do funcionamento das bombas de deslocamento positivo e a bomba de engrenagens em particular. A prototipagem pode ser uma grande ferramenta para auxiliar a didática de educadores. No presente trabalho, a construção do protótipo, tem como objetivo auxiliar a melhor visualização de uma bomba hidráulica, cuja o componente hidráulico é visto em disciplinas de acionamentos hidráulicos em cursos de engenharia mecânica e outros cursos afins. Além do caráter didático, a construção da bomba teve o princípio na utilização de materiais acessíveis e de baixo custo. Primeiramente, os componentes construtivos da bomba foram dimensionados, com base em estudos na literatura. Em seguida, o protótipo completo foi desenhado no SolidWorks. Definido a geometria do protótipo, posteriormente, por meio de uma impressora 3D, produziu-se as engrenagens, e em uma máquina de corte a laser foi cortado o acrílico transparente, que foi utilizado para a visualização dos componentes internos da bomba. Por fim, acoplou-se o motor elétrico a carcaça da bomba, um motor de ventilador utilizado para girar as engrenagens da bomba. Completado a fase de montagem, a bomba foi submetida a testes para verificar sua eficiência. Por meio dos testes, verificou que a montagem da bomba foi realizada com sucesso, pois a mesma funcionou adequadamente. Porém devido à baixa precisão na impressão 3D no acabamento da engrenagens, a vazão ficou menor do que a esperada.

**Palavras-chave:** Bomba Hidráulica. Bomba Didática. Bomba de Engrenagens.

### 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, o homem primitivo habitou lugares próximos a rios e lagos para garantir a sua sobrevivência, ele criou vasos de barro e utilizou conchas para a locomoção da água, além da água saciar a sede, ela era utilizada para irrigação da plantaçoão do alimento consumido e assim contribuindo para a sobrevivência da civilização. Há 2000 a.C., os egípcios

tiveram a ideia de desenvolver a “shadoof” (cegonha), que consiste em um sistema de coleta de água, com operação escrava, que facilitou o transporte de água do rio Nilo até a cidade. Os romanos fabricaram uma roda de pás, por volta de 70 a.C., para transformar a energia hidráulica de um rio em energia mecânica conseguindo uma grande quantidade de trabalho em um único lugar.

Atualmente, as máquinas de fluxo estão presentes em vários lugares no cotidiano como, no secador de cabelos, nos sistemas de lubrificação, direção e refrigeração dos veículos, em um ar condicionado. Graças à atuação destas máquinas a água chega pressurizada nas casas. No geral, o dispositivo que realiza trabalho no fluido, ou obtém trabalho de um fluido, é chamado de máquina de fluxo.

As principais bombas disponíveis no mercado, são as bombas centrífugas ou dinâmicas, do qual algumas podem bombear fluido com algumas partículas sólidas e as de deslocamento positivo também conhecidas como volumétricas, da qual utiliza a redução do volume para transferir energia para o fluido (MACINTYRE, 1987). Dentre estas, as bombas de engrenagens externas bombeiam somente substâncias líquidas e viscosas.

O seu funcionamento é simples, a base do seu funcionamento é por meio de uma engrenagem motora, esta gira uma outra engrenagem, está por sua vez recebe o nome de engrenagem movida. As engrenagens deste tipo de bomba podem ser de dentes retos ou de dentes helicoidais, as de dentes retos sofrem um esforço longitudinal ao ocorrer o engrenamento dos dentes, as engrenagens helicoidais anulam esse esforço e geram menos ruídos.

A prototipagem, hoje, é utilizada como uma poderosa ferramenta em diversas áreas. Trata-se de uma metodologia rápida e eficiente de demonstrar projetos que serão executados em escala reduzida, ou até mesmo, para uma simples visualização do escopo do projeto. Desta maneira, a impressão 3D de objetos, por meio de impressoras 3D, soma-se como um instrumento de grande potencial para a elaboração e construção de protótipos. Uma das áreas que estas ferramentas de prototipagens estão sendo aplicadas é na área de ensino, como no presente estudo, afim de obter um maior entendimento dos alunos, por meio de um protótipo, semelhante ao equipamento real.

O objetivo de trabalho é projetar e desenvolver um protótipo de uma bomba hidráulica de engrenagens, para auxiliar em didática de disciplinas que envolvam o conteúdo de hidráulica. Esta bomba, além de seu pleno funcionamento, tem um caráter didático, pois esta será utilizada em aulas práticas de hidráulica, no laboratório do UniBH, a fim de facilitar o entendimento dos alunos sobre o princípio de funcionamento das bombas de engrenagens.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento do protótipo da bomba hidráulica de engrenagens utilizou-se uma chapa de acrílico totalmente transparente de 50x50x0,2cm.

O filamento utilizado para a impressão em 3D das peças foi de Polímero ABS, este é indicado devido a sua resistência mecânica e facilidade de impressão.

Para mover as engrenagens utilizou-se um motor de ventilador com 50W de potência e rotação de 250rpm.

A base da bomba, onde os demais elementos são fixados e apoiados foi utilizado de madeira, por ser um material barato e de fácil obtenção e manuseio. Além disso, foram

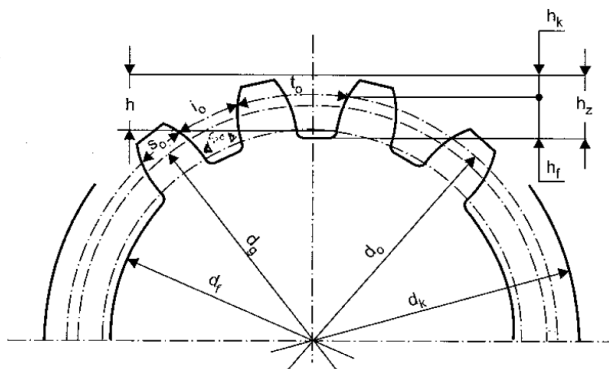
utilizados conjuntos de parafusos, porcas, arruelas e juntas de borracha para a fixação dos componentes.

A montagem e fabricação do protótipo foi realizada no Laboratório Makers, Anima Lab, no UniBH Campus Estoril.

## 2.2 EXPERIMENTAL

Para o dimensionamento da carcaça da bomba precisou-se, primeiramente, dimensionar o par de engrenagens, através de cálculos de engrenagem, obteve-se o passo, módulo, diâmetro interno, diâmetro externo, diâmetro primitivo, altura do dente, espessura do dente, raio no fundo do dente e raio na cabeça do dente, logo após, calculou-se a distância entre centros.

Figura 1- Projeto de engrenagem.



Fonte: SARKIS, 2007.

Para calcular o diâmetro primitivo, necessitou-se primeiro calcular o módulo, utilizando a equação (1) e (2) onde:

$$m = t_0/\pi \quad (1)$$

$t_0$  = Passo predefinido.

$m$  = Módulo

$$d_f = m.Z \quad (2)$$

$d_0$  = Diâmetro primitivo.

$Z$  = Número de dentes predefinido.

Obteve-se os diâmetros interno, externo e de base após calcular as alturas, onde:

$$h = 2.m \quad (3)$$

$h$  = Altura comum do dente.

$$h_t = 2,2.m \quad (4)$$

$h_t$  = Altura total do dente.

$$h_k = m \quad (5)$$

$h_k$  = Altura da cabeça do dente.

$$h_f = 1,2.m \quad (6)$$

$h_f$  = Altura do pé do dente.

Diâmetros:

$$d_f = d_0 - 2.h_f \quad (7)$$

$d_f$  = Diâmetro interno.

$$d_k = d_0 + 2.h_k \quad (8)$$

$d_k$  = Diâmetro externo.

$$d_g = d_0.\cos(\alpha) \quad (9)$$

$d_g$  = Diâmetro de base.

$\alpha$  = Ângulo de pressão ( $20^\circ$ ).

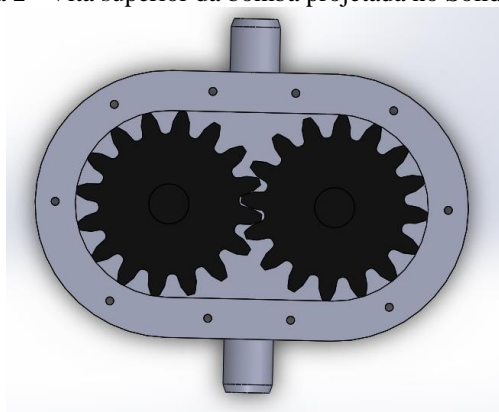
Distância entre centros:

$$C_c = (d_0 + d_0)/2 \quad (10)$$

$C_c$  = Distância entre centros.

O desenho da bomba foi feito no software SolidWorks. Este desenho foi utilizado para a posterior impressão dos elementos que compõem a bomba hidráulica. Na figura 2 é apresentada uma vista frontal das engrenagens e da carcaça da bomba.

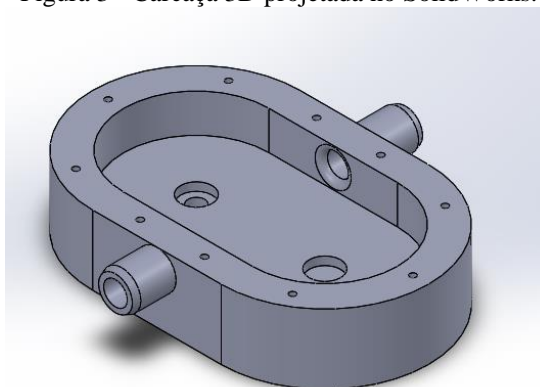
Figura 2 - Vista superior da bomba projetada no SolidWorks.



Fonte: Os próprios Autores.

Na figura 3 é apresentada apenas a carcaça da bomba. Através dessa é possível ver os furos feitos para receber as engrenagens, as conexões por onde o fluido escoa, além dos pontos de fixação da própria carcaça.

Figura 3 - Carcaça 3D projetada no SolidWorks.



Fonte: Os próprios autores, 2017.

Após o dimensionamento da carcaça e engrenagens, imprimiu-se os componentes na impressora 3D do Anima Lab do UniBH-Estoril.

Utilizou-se a chapa de acrílico 50x50x0,2cm formado por duas chapas de 20x20x0,2cm, de acrílico uma sobre a outra, projetou-se os cortes no software AutoCad e executou-se os cortes na máquina de corte a Laser do Anima Lab, para fabricar tampa. O acrílico transparente foi utilizado, para facilitar a visualização e compreensão do princípio de funcionamento deste tipo

de bomba hidráulica. Utilizou-se parafusos de 3mm para fixação dos componentes, e para fixar toda a bomba em uma tábua de madeira. O motor foi fixado em outra tábua de madeira, afim de minimizar vibração do conjunto de bomba e motor.

Vedou-se o encaixe entre as chapas e entre a carcaça de polímero com uma malha de borracha. Na vedação do eixo do motor a bomba utilizou-se um anel de borracha para evitar a passagem de fluido até o motor, como pode ser visto na figura 4. Para diminuir as tensões do parafuso ao acrílico utilizou-se também uma malha de borracha em cada parafuso, além de auxiliar na vedação do sistema.

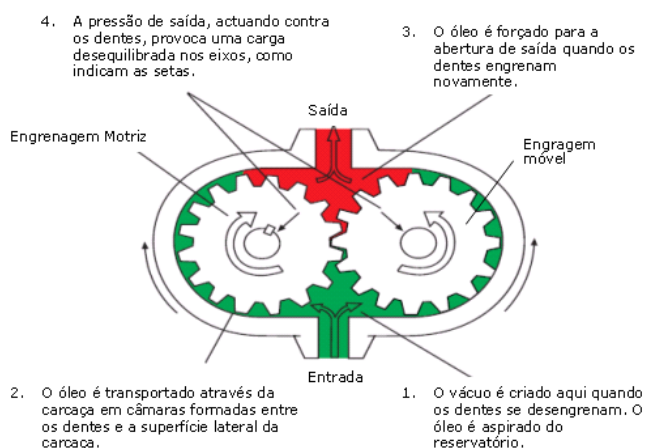
Figura 4 - Malha de vedação do eixo.



Fonte: Os próprios autores.

Na figura 5 é apresentado o esquema de uma bomba de engrenagem, assim como a explicação de seu princípio de funcionamento. A bomba construída neste projeto terá esta mesma base de funcionamento.

Figura 5 - Princípio de funcionamento de uma bomba de engrenagens.



Fonte: (GONÇALVES, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 DESENHO NO SOLIDWORKS

Antes de ser projetado a bomba no solidworks, foi realizado alguns cálculos iniciais, para determinar a capacidade da bomba, em seguida o desenho foi realizado no software, como é mostrado nas figuras 2 e 3.

Após o dimensionamento realizou-se um cálculo para determinar a vazão volumétrica máxima que a bomba pode recalcar, obtendo-se o valor de 12,3 Litros por minuto, encontrou-se este valor multiplicando o volume em litros, entre dois dentes de uma das engrenagens e a carcaça da bomba, pelo número de dentes, rotação do motor e a quantidade de engrenagens, no caso duas. A bomba suga o fluido de um reservatório e recalca para outro reservatório a um desnível de 2 metros.

Obteve-se a vazão prevista através do cálculo:

$$V = (2.v.n)/60 \quad (11)$$

Onde:

V= Vazão. [L/s]

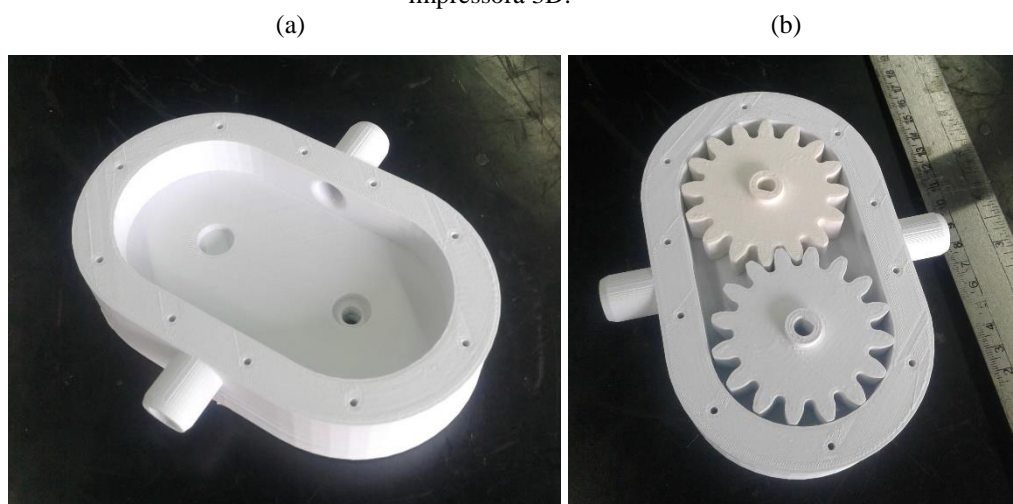
v = Volume entre dois dentes e a carcaça. [L]

n = Rotação. [rpm]

### 3.2 IMPRESSÃO 3D

Na figura 6 é apresentada a carcaça da bomba e a montagem das engrenagens na carcaça, esta foi impressa pela impressora 3D. A carcaça se mostrou bem resistente, porém não forneceu a precisão requerida, houve, portanto, a necessidade de redimensionar as engrenagens, por meio de uma redução de 2mm nos diâmetros externos e reduções nos diâmetros internos e primitivos relativos às reduções dos diâmetros externos.

Figura 6 - Carcaça da bomba (a) e a montagem da engrenagens na carcaça (b), ambas peças produzidas pela impressora 3D.



Fontes: Os próprios autores, 2017.

Nota-se na figura 7 que as engrenagens possuem um desnível em relação a carcaça, o desnível ocorreu devido as estruturas projetadas pelo software para a impressão, houve necessidade de usinar as engrenagens para retirar o excesso de material, nivelando as engrenagens com a carcaça.

Figura 7 - Imperfeições das engrenagens.

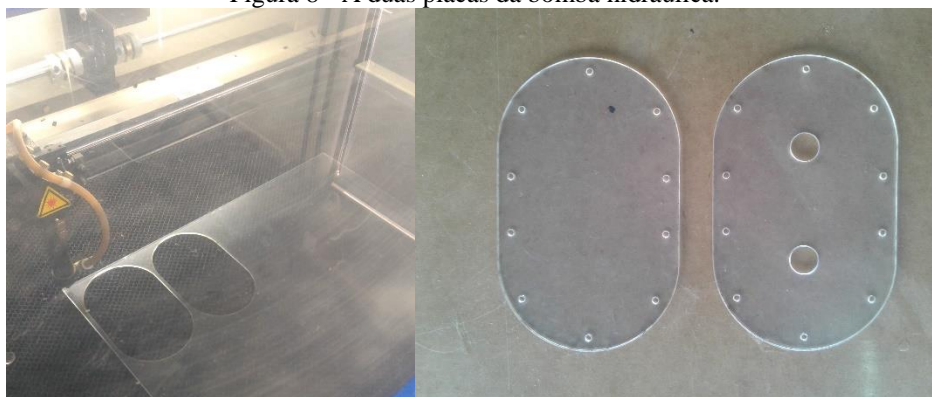


Fonte: Os próprios autores, 2017.

### 3.3 CORTE A LASER

A placa de acrílico foi cortada no formato projetado no solidWorks, o corte foi realizado pela máquina CNC Router do Anima Lab localizado no UniBH Estoril, a máquina recebeu o desenho do corte em arquivo DXF e realizou o corte com uma excelente precisão, como pode ser visto na figura 8.

Figura 8 - A duas placas da bomba hidráulica.



Fonte: Os próprios autores, 2017.

### 3.4 MONTAGEM

A transparência das placas de acrílico permitem a visualização do princípio de funcionamento das engrenagens, dessa forma será possível entender a trajetória do fluido que passa pela bomba.

Para controlar a rotação foi necessário a instalação de um potenciômetro, o potenciômetro regula a potência do que chega ao motor através de uma resistência ajustável, facilitando a visualização dos componentes em baixa rotação. Na figura 9 é apresentada a montagem final do protótipo, a engrenagem foi fixada numa tábua de madeira.

Figura 9 - fixação da bomba na madeira.



Fonte: Os próprios autores.

A bomba foi fixada na madeira, por meio de um conjunto de 10 parafusos, arruelas e porcas. Uma malha de borracha foi utilizada entre as tampas de acrílico e a carcaça de polímero para impedir a passagem de líquido, e assim garantindo a eficiente vedação da bomba, de acordo com a figura 10. A malha de borracha também foi utilizada para reduzir a tenção dos parafusos entre as arruelas e as chapas de acrílico, evitando trincas placa.

Figura 10: Montagem completa.



Fonte: Os próprios autores.

### 3.5 FUNCIONAMENTO

Organização:

Realização:



O motor de ventilador inicialmente instalado não forneceu torque suficiente para mover o conjunto de engrenagens, foi necessário a substituição do motor por outro de mixer do fornecedor Black & Decker que possui 200W de potência. A bomba foi projetada para encaixe direto do eixo do motor de ventilador, para a substituição pelo motor de mixer houve a necessidade de soldagem do eixo do motor anteriormente usado ao novo.

A vedação do eixo na carcaça utilizando anel de vedação reduziu bruscamente a potência do motor estudou-se um novo método de isolamento, então um furo de diâmetro menor que o do eixo foi cortado na malha de borracha, esta foi posicionada entre a carcaça e a madeira e pressionada pelo aperto dos parafusos.

Foi marcado o tempo necessário para recalcar 1 litro de óleo de soja, a bomba recalcou 1 litro em 56 segundos, obteve-se a vazão de 1,075L/min.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vazão da bomba apresentou valor menor ao calculado devido à falta de preenchimento nos dentes das engrenagens, isto se deve à falta de precisão na impressão 3D, fazendo com que o fluido utilizado escoasse dentre os dentes das engrenagens, causando uma perda de pressão, porém o objetivo geral foi alcançado, pois a bomba mostra o princípio de funcionamento das bombas de engrenagens, proporcionando a visualização dos componentes internos em trabalho com a possibilidade de alterar a rotação para rotações lentas através do potenciômetro para que haja melhor facilidade de visualização dos componentes em trabalho.

Novos estudos de fabricação das engrenagens com chapas de acrílico estão sendo realizados para obter uma maior precisão nas engrenagens e assim um melhor rendimento da bomba.

No entanto, a produção deste protótipo foi um processo de grande valia no sentido educacional. Pois, por meio do desenho em solidworks, dos cálculos de geometria da bomba, dos cálculos de vazão, e dos procedimentos de impressão 3D e montagem da bomba pode-se envolver e colocar em prática conhecimentos adquiridos nas disciplinas dos cursos de engenharia, como Elementos de máquinas, mecânica dos fluidos e acionamentos pneumáticos.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem o departamento de mecânica da UNIBH e o Anima lab pelas facilidades no decorrer do trabalho, disponibilizando laboratórios e seus técnicos.

## 5 REFERÊNCIAS

GONÇALVES, Emerson José Ramiro. **Pré-projeto de uma caçamba compactadora estacionária**. 2014. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

MACINTYRE, A. JOSEPH. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois SA, 1987.

SARKIS, Melconian. **Elementos de Máquina**. São Paulo: Editora Érica, 2007.

Nice Mech. Pump History, Disponível em <<http://nicemech.com/tag/pump-history>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

ROBERT W. F.; ALAN T. M.; PHILIP J. P. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

Organização:



Realização:



## DIDACTIC PROTOTYPE OF A HYDRAULIC GEAR PUMP

**Abstract:** *This work presents the fabrication and detailed assembly of a prototype gear pump with a transparent panel for the visualization of the gears and their operation in order to provide a concrete understanding of the operation of the positive displacement pumps and the gear pump in particular. Prototyping can be a great tool for teaching educators. In the present work, the construction of the prototype, aims to help the best visualization of a hydraulic pump, whose hydraulic component is seen in disciplines of hydraulic drives in mechanical engineering courses and other related courses. Besides the didactic character, the construction of the pump had the principle in the use of accessible and low cost materials. Firstly, the constructive components of the pump were dimensioned, based on studies in the literature. Then the complete prototype was designed in SolidWorks. Once the prototype geometry was defined, the gears were produced by means of a 3D printer and the transparent acrylic was cut in a laser cutting machine, which was used to visualize the internal components of the pump. Finally, the electric motor was coupled to the pump housing, a fan motor used to rotate the pump gears. After completing the assembly phase, the pump was subjected to tests to verify its efficiency. Through the tests, he verified that the assembly of the pump was successful, because it worked properly. However, due to the low precision in the 3D impression in the finishing of the gears, the flow was smaller than expected.*

**Key-words:** *Hydraulic pump. Didactic Pump. Gear Pump.*