



## PROTÓTIPO: BOMBEIO POR CAVIDADE PROGRESSIVA

**Resumo:** Este trabalho descreve um protótipo de um sistema elevação artificial desenvolvido no contexto de ensino de graduação em Engenharia de Petróleo e Gás. O desenvolvimento do protótipo leva os discentes a uma experiência de aprendizado multidisciplinar intrinsecamente ligado à atividades práticas e à experiência de projeto. O objetivo deste projeto é a construção de um protótipo automatizado de um sistema de bombeio por cavidades progressivas (BCP). A automação se fará presente no monitoramento e controle de variáveis pertinentes ao processo tais como vazão, velocidade de bombeio e nível com auxílio da plataforma Arduino. O modelo é construído na horizontal visando a melhor didática do escoamento do fluido tratado no projeto. Apesar das dificuldades encontradas ao longo do estudo a respeito de vedação e ajuste dos sensores, o projeto foi concluído com êxito, a construção do modelo com funcionamento e objetivos alcançados.

**Palavras-chave:** BCP, protótipo, automação, supervisor, Arduino.

### 1. INTRODUÇÃO

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





A cadeia produtiva do petróleo contempla diversas e complexas etapas que vão desde a prospecção de possíveis reservas petrolíferas até a destinação dos derivados do óleo extraído para o consumidor final. Esta cadeia exige do Engenheiro de Petróleo e Gás um perfil que agregue habilidades de diferentes áreas, como Processos, Automação, Computação, entre outras. O ensino desses diversos conhecimentos exige uma metodologia que ofereça aos discentes a vivência de projetos e experiência prática. No projeto apresentado nesse trabalho, um protótipo de sistema de elevação artificial é construído com componentes de baixo custo, integrando soluções relacionadas à mecânica, processos, automação e computação.

A inicialização da produção do poço representa uma etapa crucial, pois é onde de fato há o contato com os fluidos do reservatório. Quando a pressão do reservatório é elevada o suficiente, os fluidos nele contidos alcançam livremente a superfície, dizendo-se assim produzidos por elevação natural. Os poços que produzem dessa forma denominam-se poços surgentes. De outra forma, quando a pressão do reservatório é relativamente baixa e os fluidos não conseguem alcançar a superfície é necessário que seja implementado um meio artificial para elevá-lo. O mesmo ocorre ao final da vida produtiva de um poço surgente, quando é necessária suplementação da energia natural através de “elevação artificial”. Através de equipamentos específicos reduz-se a pressão de fluxo no fundo do poço, aumentando o diferencial de pressão sobre o reservatório e, consequentemente, a vazão.

A seleção do método que melhor se enquadra em determinado poço ou campo depende de diversos fatores, entre os quais os principais considerados são: número de poços, diâmetro do revestimento, produção de areia, razão gás-líquido, vazão, profundidade do reservatório, viscosidade dos fluidos, segurança, entre outros.

Como todo método de elevação, o bombeio por cavidade progressiva apresenta vantagens e desvantagens a respeito de sua utilização:

- a. Vantagens: maior adaptação à produção de óleo viscoso, facilidade de instalação e operação, alta eficiência energética, baixa manutenção, capacidade de produção com altas concentrações de areia, ausência de válvulas sujeitas a desgaste, baixo ruído;
- b. Desvantagens: limitação de produção (máximo de 500m<sup>3</sup>/dia), limitação de elevação (máximo de 2000m), limitação de temperatura (máximo de 170°C), sensível à presença de aromáticos ( $CO_2$  e  $H_2S$ ).

Este trabalho tem como objetivo geral a construção de um protótipo automatizado de um bombeio por cavidade progressiva. Este protótipo demonstrará de forma prática o processo de bombeio, a automação em diferentes modos de operação e o estudo e a análise do sistema através das variáveis de processo.

Para os objetivos específicos podem-se dividir as atividades nos seguintes pontos:

- a. Estudo em literaturas sobre o comportamento e funcionamento de um BCP;
- b. Construção da estrutura completa através da utilização de materiais de policloreto de polivinila (PVC);
- c. Automação e utilização de sensores de vazão, nível e um motor de passo para controle do bombeio.

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte maneira: na Seção 2, todos os conceitos utilizados durante o projeto são apresentados na Seção 3, é apresentado o modelo inicial de construção; na Seção 4, um fluxograma do processo construído é detalhado; finalmente, a Seção 5 projeta as conclusões do trabalho.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A engenharia de petróleo abrange todo o processamento do petróleo, desde sua prospecção, perfuração, completação, produção e distribuição. A produção petrolífera envolve diversos sistemas distintos, os quais estão conectados tanto ao reservatório como ao fluxo e estruturas artificiais, incluindo o poço, os equipamentos de elevação, produção, separadores, armazenamento, dentre outros (ROCHA, 2009).

A produção de poços é a área dentro da engenharia de petróleo que tem por objetivo a maximização da produção de fluido. Na elevação, o fluido é transportado do fundo do poço até a superfície. (VIDAL, 2005).

A elevação artificial tem como objetivo principal reduzir essa pressão de fluxo no fundo do poço aumentando o diferencial de pressão sobre o reservatório, resultando em um aumento de vazão. Inclui métodos como: (THOMAS, 2001).

- a. Gás-Lift Contínuo e Intermitente (GLC e GLI);
- b. Bombeio Centrífugo Submerso (BCS);
- c. Bombeio Mecânico com Hastes (BM);
- d. Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP).

### 2.1. Bombeio por cavidade progressiva (BCP)

O bombeio por cavidades progressivas (BCP) consiste num método de elevação artificial onde a transferência de energia ao fluido dá-se por uma bomba de cavidades progressivas. Essa bomba é de deslocamento positivo que trabalha imersa em poço de petróleo, constituída de rotor e estator. A geometria do conjunto é tal que forma uma série de cavidades herméticas idênticas. O rotor, ao girar no interior do estator, cria um movimento axial das cavidades, progressivamente, no sentido da sucção para a descarga, realizando a ação de bombeio. O acionamento da bomba pode ser originado em superfície, através de uma coluna de hastes e um cabeçote de acionamento, ou diretamente no fundo do poço, através de um acionador elétrico ou hidráulico acoplado à bomba.

Esse sistema foi inventado no final da década de 1920 por Rene Moineau. No Brasil, a sua utilização teve início em 1984, no campo da Fazenda Belém, no Ceará. Devido à simplicidade do método e a eficiência na produção de fluidos viscosos, o número de instalações tem se difundido rapidamente (VIDAL, 2005).

Dentre as principais aplicações do BCP podemos destacar:

- a. Produção de petróleo pesado ( $<18^\circ$  API) e altos teores de areia;
- b. Produção de petróleo médio com limitações de teores de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ;
- c. Óleos leves com limites de concentração de aromáticos;
- d. Áreas que exigem baixo impacto visual.

O BCP consiste de um rotor no formato de uma hélice simples externa que, quando gira dentro de um estator moldado no formato de uma hélice dupla interna, produz uma ação de bombeio (VIDAL, 2005). O autor acrescenta que o BCP consiste em uma bomba do tipo deslocamento positivo, composta de um motor metálico, com a forma de um parafuso sem fim e de um estator. As folgas existentes entre o rotor e o estator formam os volumes das cavidades. A rotação do rotor produz o deslocamento dos fluidos dentro das cavidades.

O autor ainda afirma que o bombeio é constituído de três partes principais:

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção

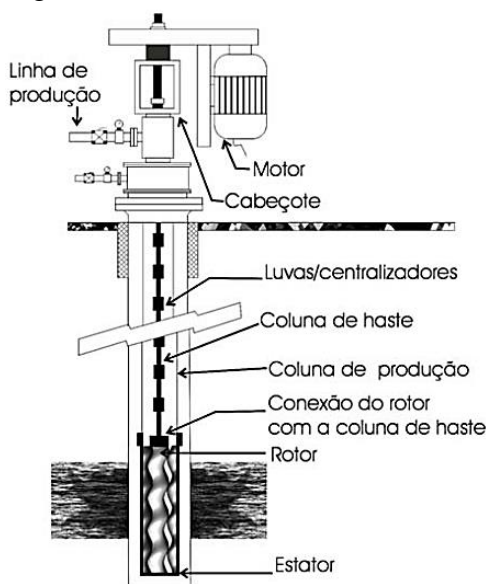




- Equipamentos de superfície: composto por cabeçote, motor elétrico e quadro de comandos;
- Coluna de Hastes;
- Bomba de Fundo: constitui basicamente o rotor e o estator.

Ainda é um método novo se comparado aos métodos mais tradicionais como o bombeio mecânico. No entanto, é o método que tem mostrado maior capacidade de superar suas próprias limitações diante das enormes perspectivas de evolução tecnológica que apresenta. O sistema de um BCP pode ser demonstrado na “Figura 1”.

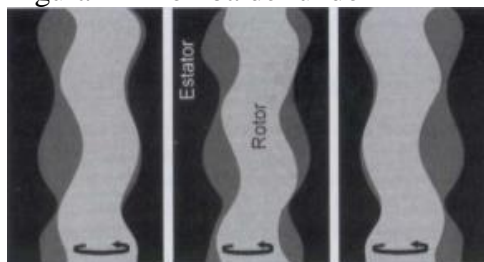
Figura 1 – Sistema de um BCP



### Bomba de Fundo

Consta de um rotor helicoidal e de um estator, ou também chamado de camisa. O rotor é uma peça usinada de aço em forma de espiral macho, revestida por uma camada de cromo para produzir o efeito da abrasão. O estator é confeccionado em material macio, normalmente um elastômero, moldado na forma de espiral fêmea, com uma espira a mais que o rotor (THOMAS, 2001). As duas peças encaixam-se, como visto na “Figura 2”, formando uma série de espaços sequenciais entre si, onde o fluido produzido se aloja.

Figura 2 – Bomba de fundo



### Coluna de hastes e de tubos

A coluna de hastes é um eixo responsável pela transmissão de torque do motor de superfície para a bomba de fundo, e deve ser dimensionada de forma que suporte

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





esforços combinados como carga axial e torque, os quais ocorrem na haste polida.

### **Equipamentos de superfície**

O cabeçote é um equipamento instalado na cabeça do poço, situado entre o motor e a coluna de hastes, que transmite o movimento de rotação do motor para a coluna de hastes, reduzindo a velocidade do motor para a velocidade de bombeio (que gira entre 100 a 500 rpm).

Os motores utilizados em instalações de BCP podem ser elétricos ou de combustão interna. Os elétricos apresentam maior eficiência, menor custo de manutenção, menor ruído, menor custo operacional e também são de fácil operação. Os motores de combustão interna costumam ser utilizados apenas onde não há energia elétrica disponível em local próximo ao poço.

Finalmente, o quadro de comandos é equipado com equipamentos de proteção que protegem o motor, o cabeçote e a bomba contra eventuais danos como, por exemplo, quando a amperagem excede a máxima permitida no sistema, para motores elétricos; ou quando o motor está a uma temperatura acima da permitida, para motores a combustão.

### **2.2. Proposta de construção e automação do protótipo BCP**

Primeiramente serão listados todos os componentes necessários para implementação de um protótipo funcional que proporcionará uma visão prática de uma das áreas de atuação do engenheiro de petróleo. O uso destes componentes automatizou o trabalho de forma que é possível experimentar várias situações possíveis que ocorrem em uma planta real.

#### **Arduino**

O Arduino é um microcontrolador com várias funções em eletrônica e tem como objetivo facilitar o desenvolvimento de projetos, desde os mais simples aos mais complexos, como projetos de monitoramento, medição da temperatura, sistemas de irrigação, dentre vários outros (NEPUMUCENO 2013).

O Arduino Uno possui as seguintes especificações:

- a. Microcontrolador: ATmega328
- b. Portas Digitais: 14
- c. Portas Analógicas: 6
- d. Memória *Flash*: 32 KB (0,5 KB usado no *bootloader*)
- e. SRAM: 2 KB
- f. EEPROM: 1 KB
- g. Velocidade do *Clock*: 16 MHz

#### **Sensores de fluxo**

Sensores de fluxo de líquido são dispositivos capazes de medir a taxa de fluxo de um líquido que passa por um ponto pré-determinado em um tubo ou outro meio de transmissão em projetos eletrônicos. O Sensor de Fluxo de Água YF-S201 utilizado neste projeto é instalado em um cano para medir a quantidade de água que circula por ele, enviando pulsos PWM para o Arduino (ELETROGATE).





Figura 3 – Sensor de Fluxo YF-S201



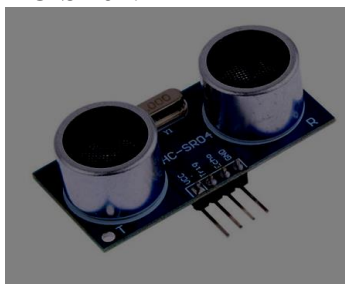
As especificações do Modelo YF-S201 apresentado na “Figura 3” são as seguintes:

- a. Tipo de sensor: Efeito *Hall*
- b. Tensão de Operação de 5-24 V
- c. Corrente Máxima: 15 mA (5 V)
- d. Faixa de fluxo: 1-30 l/min
- e. Pressão Máxima: 2 MPA
- f. Pulsos por litro: 450
- g. Frequência em Hz:  $7,5 * \text{fluxo (L/min)}$
- h. Temperatura de trabalho: -25 a 80 °C
- i. Exatidão: 10%
- j. Comprimento do Cabo: 15 cm.
- k. Dimensão da conexão: 1/2”
- l. Dimensão do diâmetro interno: 0,78”
- m. Dimensão externa: 2,5”x 1,4” x 1,4”

### Sensor Ultrassônico

Sensor ultrassônico é um tipo de sensor utilizado na detecção de pequenos objetos a uma certa distância. O princípio de funcionamento desse sensor é o seguinte: um oscilador emite ondas ultrassônicas, que resultam em um comprimento de onda na ordem de centímetros, o que permite detectar objetos relativamente pequenos (ARDUINO).

Figura 4 – Sensor Ultrassônico HC-SR04.



Especificações do sensor apresentado na “Figura 4”:

- a. Alimentação: 5 V DC
- b. Corrente de operação: 2 mA
- c. Ângulo de efeito: 15 °

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





### Motor de passo

A “figura 5” mostra um tipo de motor elétrico usado quando algo tem que ser posicionado e/ou precisamente rotacionado em um ângulo exato. Nesse tipo de motor, a rotação do balancete é controlado por uma série de campos eletromagnéticos que são ativados e desativados eletronicamente.

Figura 5 – Motor de Passo ROHS.



### Dimmer

Dimmers são dispositivos utilizados para variar a intensidade de uma corrente elétrica média em uma carga. O utilizado no protótipo é mostrado na “Figura 6”.

Figura 6 – Dimmer PW.



### Óleo lubrificante

O Oil Lubrioil Lubrificante Moto 4 Tempos 20W50SJ é composto de óleos minerais derivados do petróleo, aditivos anticorrosivos, antioxidantes, antiespumantes, agentes dispersantes para controle de resíduos, melhoradores de viscosidade e fluidez, utilizado especialmente em motocicletas (COLFAX).

### ESCOPO DO PROTOTIPO

Para a construção do projeto, primeiramente, algumas considerações foram feitas. São elas: regime contínuo, ou seja, o fluido a ser deslocado completará ciclos em consequência ao deslocamento provocado pelo rotor; e, montagem horizontal para não haver diferença de pressão por influência do nível.

O modelo construído teve seu modelo desenvolvido no AutoCAD conforme a

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



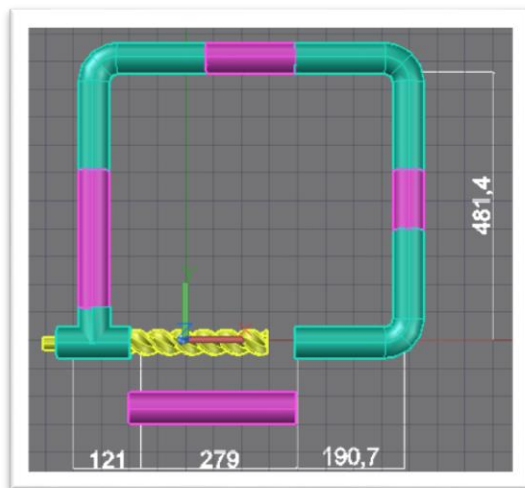
Promoção





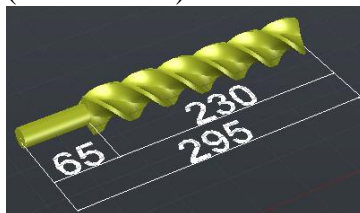
“Figura 7”.

Figura 7– Modelo proposto (cota em mm).



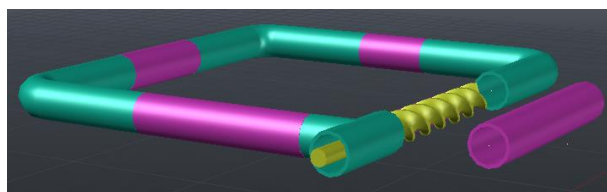
Conforme o modelo apresentado foi necessário à aquisição da tubulação de PVC, especificada posteriormente, onde os elementos em rosa indicam canos retos, enquanto os em azul indicam conexões. As características do rotor acoplado ao motor elétrico, cuja rotação será acionada por um controlador Arduino, também foram confeccionadas no software AutoCAD. O *design* adotado é mostrado na “Figura 8”.

Figura 8 – Modelo do rotor (cota em mm).



O intuito operacional do modelo busca realizar o deslocamento do fluido em sentido anti-horário. O escopo geral do projeto é mostrado na “Figura 9”.

Figura 9 - Escopo do projeto.



Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção







### 3. CONCLUSÃO

O protótipo construído mostrou-se eficaz e sua interação com a automação pôde representar o funcionamento de forma mais otimizada. Com um protótipo funcional foram propostos roteiros de experimentos com a finalidade de estudar o comportamento do sistema ao longo do tempo e monitorar e controlar as variáveis de processo presentes nesse sistema como: nível, vazão e velocidade de produção.

O trabalho proporcionou um estudo e análise aprofundada tanto sobre o método de elevação artificial bombeio por cavidades progressivas (teoria e prática), cascadeamento de sensores e aprendizado prático em automação, controle e monitoração de processos.

As dificuldades encontradas foram muitas e relacionadas com o controle e manuseio dos componentes para a automação, porém com o estudo e análise dos resultados obtidos foi possível solucionar os problemas encontrados relacionados a vedação e ajuste e calibração dos sensores. Assim, o projeto foi finalizado com êxito pois foi construído um modelo em escala reduzida de um método de elevação com a estrutura, codificação e documentação que ajudarão os futuros alunos de engenharia de petróleo e gás a visualizar uma aplicação prática, familiarizar-se com projetos práticos e entender com clareza o funcionamento dos equipamentos desta área.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. **Arduino 2017**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>> Acesso em: 20 nov. 2016.

COLFAX. **COLFAX Fluid Handling**. Disponível em: <<http://www.colfaxfluidhandling.com/>> Acesso em: 20 nov. 2016.

ELETROGATE. Apostila Arduino Básico V1.0 – **Eletrogate Componentes Eletrônicos**. Disponível em: <[http://apostilas.eletrogate.com/Apostila\\_Arduino\\_Basico-V1.0-Eletrogate.pdf](http://apostilas.eletrogate.com/Apostila_Arduino_Basico-V1.0-Eletrogate.pdf)>. Acesso em: 16 de fev. 2017.

NEPOMUCENO, A.L.S; COZENDEY, G.C. UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, FACULDADE DE TECNOLOGIA, Desenvolvimento e um Módulo de Medição de Energia Wireless com Transmissor em Tempo Real de Parâmetros para Cargas até 10 KW. 2013.18 p, Monografia (TCC).

TIGRE. **Catálogos Técnicos**. Disponível em: < <http://www.tigre.com.br/catalogos-tecnicos> > Acesso em: 20 nov. 2016.

THOMAS et al. Fundamentos da Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro 1. ed.: INTERCIÊNCIA, 2001.

VIDAL, F. J. T. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, CENTRO DE TECNOLOGIA. Desenvolvimento de um simulador de Bombeio por Cavidades Progressivas. 2005. Dissertação (Mestrado).

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





VIEIRA, G. O **Bombeio por Cavidades Progressivas**. Disponível em:  
<<http://camposmarginais.blogspot.com.br/2011/12/o-bombeio-por-cavidades-progressivas.html>>  
> Acesso em: 20 nov. 2016.

### **PROTOTYPE: PROGRESSIVE CAVITY PUMPING**

**Abstract:** *The most used artificial elevation methods are: continuous and intermittent gas-lift, submerged centrifugal pump, mechanical pump with stems and progressive cavity pump (PCP). The operation of the PCP can be summarized as follow: the drive head converts energy from an electric motor or internal combustion into rotating motion, providing torque to the rod column. This, in turn, transmits the rotation movement to the bottom pump. In addition, the rotation of the rotor moves the fluids to the surface, non-pulsating, at the desired flow rate, maintaining a reduced pressure on the producing formation. The objective of this project was the construction of a prototype that will lead to the use of automation for a better analysis of the project. Automation will be present in the monitoring of variables relevant to the process such as and level. The Arduino sensor was also used for control. The model was built horizontally, aiming at the best didactic of the flow of the treated fluid in the project. Despite difficulties encountered throughout the study regarding sensor sealing and adjustment, the project successfully completed the construction of the model with its operation and objectives achieved.*

**Key words:** PCP, prototype, automation, supervisory, Arduino.