

# 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



**9º CONGRESSO**  
Brasileiro de **P&D** em  
**PETRÓLEO E GÁS**

**Maceió, AL**  
de 09 a 11 de novembro  
**2017**

*Realização:*



**ABPG**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM  
PETRÓLEO E GÁS



## **TÍTULO DO TRABALHO:**

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO ARRASTO GERADO EM UM VEÍCULO AUTÔNOMO  
SUBMARINO

## **AUTORES:**

Thaylane da Rocha Bezerra<sup>1</sup>

Michele Agra de Lemos Martins<sup>1</sup>

Tony Herbert Freire de Andrade<sup>2</sup>

## **INSTITUIÇÃO:**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campina Grande

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO ARRASTO GERADO EM UM VEÍCULO AUTÔNOMO SUBMARINO

### Abstract

The discovery of oil and gas in the so-called pre-salt province stands out because it is composed of large accumulations of light oil, with excellent quality and high commercial value. However, since the pre-salt reservoirs are located under a large layer of salt that forms one of several rocky layers of the seabed, the discovery of these reserves and the operation with efficiency in ultra-deep water, about 1500 to 3000m requires the use of specialized tools and equipment. Among the latter are the Autonomous Underwater Vehicles (AUVs), which are used in the oil industry to perform various tasks in the underwater aquatic environment, replacing the use of divers and making it possible to reach greater depth. Due to the lack of energy transmission by umbilical cord, the autonomy of these can be impaired, since they make use of batteries to power the propulsion system. Therefore, as the drag reduction on the vehicle allows a lower power consumption, this work aims at the analysis, through the CFD (Computational Fluid Dynamics) technique, of the interference of the torpedo geometry in the drag generated, using the ANSYS CFX® 15.0. The mentioned technique is widely used in the literature since the use of this reduces costs and time in obtaining data when compared to the experimental tests. Finally, ANSYS CFX® is a high-performance tool focused on fluid dynamics for the purpose of solving large flow problems, providing fast, reliable and accurate CFD simulations. Thus, in this work, in addition to the drag force results, the pressure field is presented, the latter being important as regards the structural integrity of the vehicle.

### Introdução

Os Veículos Autônomos Submarinos – *Autonomous Underwater Vehicles* (AUVs) – são utilizados em missões aquáticas e tem revolucionado o processo de coleta de dados oceânicos. Esses são pilotados por computador a bordo e manobráveis nas três dimensões.

O potencial tecnológico e econômico dos AUVs é apreciável, principalmente, em atividades como busca e prospecção de petróleo e gás natural em águas profunda (CUTIPA-LUQUE, 2012). Os AUVs são indispensáveis em operações de prospecção e exploração de petróleo e gás natural em águas profundas e ultra profundas, uma vez que essas reservas estão situadas sob cerca de 1500 a 3000 metros de lâmina d'água, logo, inacessíveis ao ser humano.

Os AUVs e os Veículos Operados Remotamente – *Remotely Operated Vehicles* (ROVs) – são os dois principais subgrupos dos Veículos Submarinos não Tripulados, do inglês *Unmanned Underwater Vehicles* – UUVs. Os dois primeiros diferem devido ao fato dos ROVs serem caracterizados pela dependência dos comandos do operador humano, transmitidos ao veículo por um cabo umbilical, característica esta que está ausente nos AUVs, visto usufruírem de autonomia na geração de trajetórias (SOUZA, 2003).

Os AUVs geram menor gasto operacional que os ROVs e o fato desses primeiros não serem limitados pela presença de cabo, que os une a um navio superfície, proporcionam o isolamento das perturbações devido a ondas na sua operação, aumentando a velocidade, área e desempenho de operação (ZANONI, 2012).

Entretanto, ao mesmo tempo que a ausência de cabo umbilical nos AUV possibilita alcançar uma maior área de cobertura, traz como desvantagem a ausência de autonomia energética, uma vez que seu sistema de propulsão é dado por baterias. Destaca-se que quando da ausência de um sistema

embarcado responsável pelo suprimento de energia, o cabo umbilical pode ser utilizado como meio de transmissão de energia para o veículo (SOUZA, 2003).

A força de arrasto atuante em corpos imersos em um fluido que apresenta movimento é resultante da interação entre corpo e fluido, logo, fica evidente que o arrasto sobre um corpo depende de sua forma (BEZERRA et al., 2016). Portanto, o consumo de energia de um veículo pode ser reduzido através da diminuição da força de arrasto.

Sabe-se que quanto maior é a força de arrasto sobre o veículo, maior é o consumo de energia desse. Desta forma, a avaliação da força de arrasto se torna interessante uma vez que possibilita o projeto e operação que garantam uma redução do consumo de energia por parte do veículo.

O arrasto em AUVs pode ser avaliado experimentalmente através de testes em tanques de prova (FALLOWS, 2004, THOMAS e WILLIAMS, 2003; ALLEN e PRESREO, 2000). Contudo, embora esses testes produzam previsões precisas de arrasto, tais testes requerem considerável tempo e esforço, além de necessitarem de instalações de alto custo para obter características hidrodinâmicas do veículo, logo, a análise experimental dos fatores que afetam a força de arrasto sobre o AUV é ineficiente em termos de custo e tempo (JOUNG et al., 2012; WON e KIM, 2015).

Em estudos anteriores relatados na literatura, a força de arrasto de navios ou corpos submersos como AUVs eram estimadas através de fórmulas empíricas ou de dados derivados de experimentos (BARROS, 2006). No entanto, as fórmulas empíricas não são capazes de calcular com precisão o arrasto de formas de casco complexas (JOUNG et al., 2012).

Por sua vez, a Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD) tem fornecido resultados encorajadores para o arrasto em corpos com formas mais complexas (MUNSON et al., 2004), além de possibilitar a obtenção de dados com redução de tempo e custos quando comparada aos testes experimentais. Desta forma, a técnica de CFD é caracterizada como um método confiável e mais rentável de previsão de arrasto.

Desta forma, devido à limitação da autonomia energética dos AUVs e certos quanto à relevância da Fluidodinâmica Computacional, esse trabalho é caracterizado pela avaliação numérica da interferência da geometria do veículo na força de arrasto exercida no corpo desse. Dados de campo de pressão ao redor do veículo também são apresentados, uma vez que os AUVs operam em altas profundidades, sendo, desta forma, dados importantes quanto à avaliação da integridade estrutural do veículo.

### **Metodologia**

A metodologia adotada para a avaliação do arrasto gerado no casco do AUV consistiu das seguintes etapas: concepção da geometria do casco do AUV, assim como do domínio físico e da malha numérica a fim de discretizar o domínio analisado por meio do método dos volumes finitos; aplicação das condições de contorno, validação do modelo e análise dos resultados.

- Geometria do casco do AUV

O corpo dos Veículos Autônomos Submarinos é dividido em três seções: proa, corpo cilíndrico e popa. O casco do AUV utilizado neste trabalho é do tipo torpedo (corpo cilíndrico com uma grande relação entre o comprimento e o diâmetro), cuja utilização é generalizada por todos os principais fabricantes de AUVs (BEZERRA et al., 2015).

O casco do AUV, seções de proa e popa, foi modelado através das equações de Myring (1976), equações teóricas que fornecem os perfis da proa e popa do torpedo e que gera o menor coeficiente de arraste possível. Essas equações são descritas pelas equações 1 e 2.

i. Proa

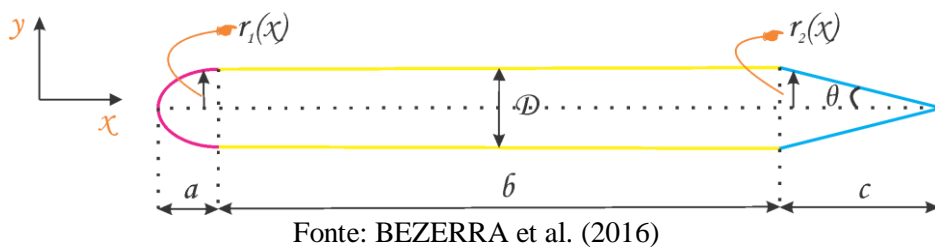
$$r_1(x) = \frac{1}{2}D \left[ 1 - \left( \frac{x-a}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

ii. Popa

$$r_2(x) = \frac{1}{2}D - \left( \frac{3D}{2c^2} - \frac{\tan \theta}{c} \right) (x - a - b)^2 + \left( \frac{D}{c^3} - \frac{\tan \theta}{c^2} \right) (x - a - b)^3 \quad (2)$$

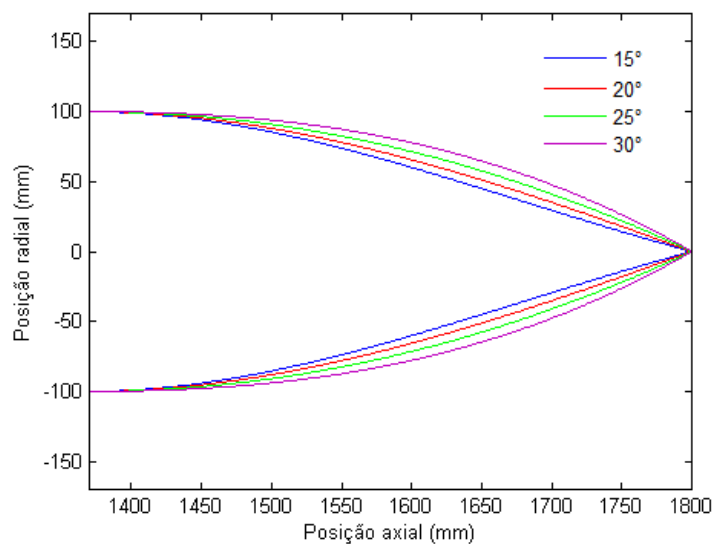
onde todos os parâmetros, exceto o parâmetro  $n$ , são geométricos, como é possível observar através da Figura 1.

Figura 1 - Esquema de um AUV e parâmetros das Equações de Myring



Analisou-se a influência da geometria da popa do AUV, atribuindo os valores de 15, 20, 25 e 30° para o parâmetro  $\theta$  apresentado na Equação 2. Essa variação de forma da popa do veículo é exibida na Figura 2.

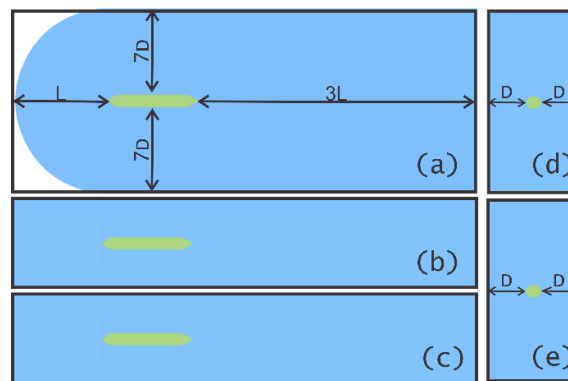
Figura 2 - Geometria da proa do AUV de acordo com o parâmetro  $\theta$  das Equações de Myring



- Domínio físico e malha numérica

Definiu-se o domínio físico do problema como uma função do diâmetro máximo ( $D$ ) do torpedo e seu comprimento ( $L$ ), conforme Figura 3.

**Figura 3** - Dimensões do domínio físico: (a) Vista lateral; (b) Vista superior; (c) Vista inferior; (d) Vista anterior; (e) Vista posterior



Fonte: Autores (2017)

Para dividir o domínio físico do problema em subdomínios discretos ou volumes elementares se faz necessário definir uma malha computacional. Malha computacional é uma representação discretizada do domínio geométrico no qual o problema irá ser resolvido. De acordo com Gonçalves (2007), a malha divide o domínio da solução em um número finito de subdomínios (elementos, volumes de controle, etc.).

A criação da malha é composta por elementos característicos. A ferramenta ICEM CFD® 15.0 disponibiliza os seguintes elementos para geração de malhas 3D: hexaedro, tetraedro, prisma e pirâmide. Segundo Vergel (2013), no caso dos volumes finitos, método utilizado para discretização do domínio, as malhas estruturadas sempre utilizam elementos hexaédricos.

Logo, objetivando a discretização do domínio físico, gerou-se a malha numérica do tipo estruturada através da ferramenta ICEM CFD® 15.0 por meio do método dos volumes finitos.

- Modelo

As condições, quanto ao escoamento externo, atribuídas ao modelo foram as seguintes: escoamento turbulento, incompressível e isotérmico e regime permanente. Utilizou-se o modelo de turbulência k-épsilon, uma vez que esse fornece robustez e economia computacional e precisão quando comparado a outros (GONÇALVES, 2007).

As condições de contorno utilizadas, por sua vez, são apresentadas na figura 6. Na entrada inseriu-se a condição de entrada (*inlet*), com inserção da velocidade de entrada do fluido; nas laterais do leito marinho inseriu-se a condição de simetria (*symmetry*) e na sua parte superior e inferior, assim como na saída, atribui-se a condição de abertura (*opening*) com pressão relativa de 21 atm; e por fim, para o casco do AUV foi imposta a condição de parede (*wall*) com rugosidade de 0,011 m.

- Validação

Para validação do modelo gerou-se a geometria do veículo de acordo com os parâmetros das equações de Myring do AUV MAYA (Tabela 1) e variou-se a velocidade de entrada do fluido, leito marinho, no domínio físico gerado, entre 1,0 e 1,8 m/s, com variação de 0,1 m/s, obtendo como resposta da simulação a força de arrasto atuante no veículo de acordo com as velocidades atribuídas. Tais valores obtidos foram comparados com os dados da força de arrasto do AUV MAYA em função da velocidade, obtido experimentalmente através de teste em um tanque de prova na Índia (MADHAN et al., 2006).

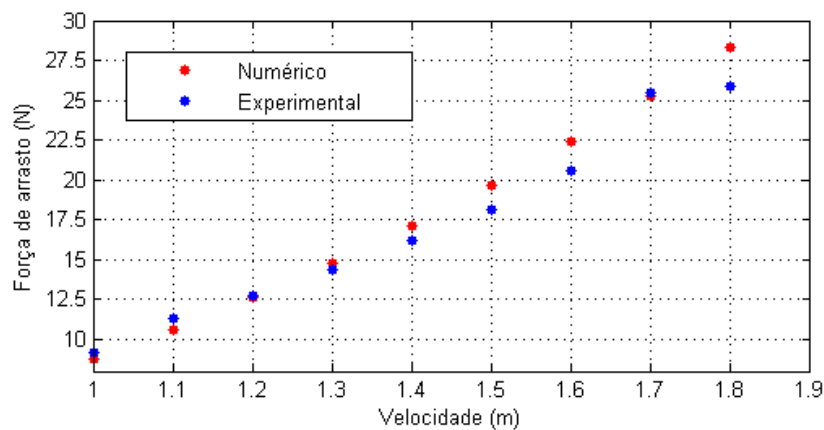
**Tabela 1** - Valores dos parâmetros das Equações de Myring para geração da geometria do casco do AUV MAYA

Parâmetros	
<i>a</i>	217 mm
<i>b</i>	1246 mm
<i>c</i>	279 mm
<i>D</i>	234 mm
<i>n</i>	2
<i>θ</i>	25°

Fonte: Autores (2017)

A comparação entre os dados obtidos numericamente e experimentalmente são exibidos no Gráfico 1. Destaca-se que os resultados obtidos numericamente para a força de arrasto foram satisfatórios, apresentando um erro máximo de 9,3 % correspondente ao arrasto sobre o AUV em uma velocidade de 1,8 m/s, quando comparado aos dados experimentais.

**Gráfico 1** - Comparação da força de arrasto simulada e experimental em função da velocidade



Fonte: BEZERRA et al. (2016)

## Resultados e Discussão

A fim de verificar qual geometria do AUV, entre as que foram geradas a partir do parâmetro  $\theta$  igual a 15, 20, 25 e 30°, fornece um menor arrasto, fixou-se a velocidade de entrada do fluido em 1,5 m/s e utilizou-se o modelo validado para realizar as simulações.

Os resultados obtidos quanto à força de arrasto em relação a geometria da proa do veículo são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Força de arrasto de acordo com a geometria da proa do AUV torpedo

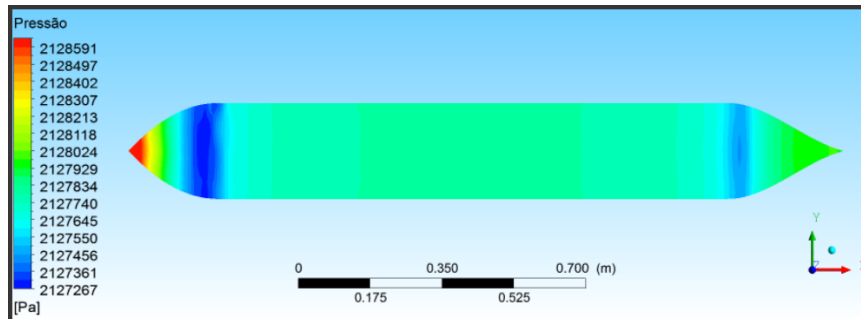
Parâmetro $\theta$ das Equações de Myring	Força de Arrasto (N)
15°	18,59
20°	18,64
25°	18,80
30°	18,69

Fonte: Autores (2017)

Observa-se, através dos dados apresentados na Tabela 2, que o valor de  $\theta$  que gerou a menor força de arrasto foi o igual a 15°, sendo, desta forma, esse ângulo referente à geometria de teste do AUV que possibilitaria um menor consumo de energia, embora a variação para cada caso analisado não tenha sido tão significativa.

Para todos os casos analisados, o perfil do campo de pressão ao redor do casco do AUV foi semelhante ao apresentado na Figura 4, que é referente ao caso desenvolvido para o parâmetro  $\theta$  igual a  $25^\circ$ . Observa-se, através da figura citada, que a proa do veículo é a região que sofre maior pressão devido ao fluxo do leito marinho.

**Figura 4 - Campo de pressão ao redor do casco do veículo**



Fonte: Autores (2017)

### Conclusões

O modelo obtido por meio da ferramenta ANSYS CFX 15.0 apresentou-se capaz de prever a força de arrasto para o caso apresentado, promovendo dados de arrasto de acordo com os obtidos experimentalmente através de testes em tanques de prova.

Encontrou-se a geometria de teste do veículo que possibilita um menor consumo de energia, baseado na forma da popa do torpedo. Entretanto, vale destacar que os resultados obtidos numericamente apresentam que não há variações expressivas na força de arrasto a partir das alterações realizadas na forma da popa do AUV. Sendo interessante, desta forma, a avaliação da interferência da geometria da proa no arrasto gerado, podendo essa ser encontrada no trabalho realizado por Bezerra et al. (2016).

Obteve-se ainda o campo de pressão ao redor do casco do AUV e verificou-se que a pressão máxima ocorre no início da proa do veículo, uma vez que nessa posição há uma menor área de contato com o fluxo de fluido.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP/PRH40/UFAL), ao Laboratório de Computação e Visualização Científica (LCCV/UFAL) e ao Programa Especial de Capacitação Discente (PEC/UFAL) pelo estímulo e apoio na realização deste trabalho.

### Referências Bibliográficas

ALLEN, W. S. V.; PRESREO, T. Propulsion system performance enhancements on REMUS AUVs. OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, 3:1869–1873, 2000.

BARROS, E. A. Progress towards a method for predicting AUV derivatives. IFAC Conference on Maneuvering and Control of Marine Craft, 2006.

BEZERRA, T. R.; MARTINS, M. A. L.; ANDRADE, T. H. F. Análise da Fluidodinâmica Computacional de Veículos Autônomos Submarinos. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia. v. 2, n. 25, 2016.

## 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

BEZERRA, T. R.; MARTINS, M. A. L.; ANDRADE, T. H. F. Fluidodinâmica de Veículos Autônomos Submarinos: Modelagem e Simulação. 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, Curitiba-PR, 2015.

CUTIPA-LUQUE, J. C. Identificação e Controle de um Veículo Submersível Autônomo Sub-atuado. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 149 p., São Paulo, 2012.

SOUZA, E. C. Modelagem e Controle de Veículos Submarinos não Tripulados. Tese de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

FALLOWS, C. D. Characterization of the Propulsion System of Autonomous Underwater Vehicles. Tese de PhD, University of Southampton, 2004.

GONÇALVES, N. D. F. Método dos Volumes Finitos em Malhas Não Estruturadas. Dissertação de Mestrado - Departamento de Matemática Aplicada/Departamento de Matemática Pura, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 71 p., Portugal, 2007.

JOUNG, T.; SAMMUT, K.; HE, F.; LEE, S. Shape optimization of an autonomous underwater vehicle with a ducted propeller using computational fluid dynamics analysis. *Inter J Nav Archit Oc Engng*, 4:44-56, 2012.

MADHAN, R.; ELGAR DESA; PRABHUDESAI, S.; SEBASTIAO, L.; PASCOAL, A.; EHRlich DESA, MASCARENHAS, A.; MAURYA, P.; NAVELKAR, G.; AFZULPURKAR, S.; KHALAP, S. Mechanical Design and Development Aspects of a Small AUV MAYA. 7ª IFAC Conference MCMC, Lisboa, 2006.

MUNSON, B. R., YOUNG, D. F., OKIISHI, T. H. Fundamentos da mecânica dos fluidos. Blucher. 4 ed. São Paulo, 2004.

MYRING, D.F. A Theoretical Study of Body Drag in Subcritical Axisymmetric Flow. *The Aeronautical Quarterly*, 27:186-194, 1976.

THOMAS, BOSE, N., WILLIAMS, C. D. Propulsive performance of the autonomous underwater vehicle 'C-Scout'. *Oceans 2003 Conference Proceedings*, 2003.

VERGEL, J. L. G. Estudo da Influência da Malha Computacional, Modelos de Turbulência e Aspectos Numéricos da Modelagem CFD em Impelidores PBT usando Malhas Não Estruturadas. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 157 p., Campinas, 2013.

WON, D., KIM, J. *Intelligent Service Robotics*. Springer, Issue 4, 8:233-245, 2015.

ZANONI, F. D. Modelagem e Implementação do Sistema de Navegação para um AUV. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2012