

# SIMULATION CFD RUDDER OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE (AUV)

**Eduardo Micael Bastezini**

Universidade Federal do Estado de Santa Catarina - UFSC  
Departamento de Engenharia Naval, Centro de Joinville – Joinville - SC  
[eduardomicael@gmail.com](mailto:eduardomicael@gmail.com)

**Abstract.** This paper presents the simulation in CFD an AUV rudder following a NACA0015 profile and using Star CCM + software. Where are obtained speed, pressure and coefficients of axial force and bending moment (in yaw). The simulation is done for an attack angle of zero degrees rudder compared the incidence of fluid. For zero degrees incidence rudder, the simulation obtained good results with a nice convergence of the continuity equations and the boundary-layer equations.

**Palavras-chave:** CDF,AUV, Rudder, STAR CCM+.

## 1. INTRODUÇÃO

Os softwares de Flúídos Dinâmicos COMputacionais (CFD) vem ganhando cada vez mais espaço na indústria naval. O alto custo de ensaios hidrodinâmicos em tanques prova faz do CFD uma excelente opção de análise de resultados, por conta do seu baixo custo orçamental e a agilidade em seus resultados.

Porém, essas análises necessitam de validação através através de perfis já testados em tanques de provas.

Neste trabalho será abordado a simulação do leme de um AUV com perfil NACA0015, utilizando o software Star CCM+. Como resultados serão apresentados a velocidade, pressão, coeficiente de momento em pith e a força axial( ou força de arrasto), para o leme em posição de zero graus em ralação ao escoamento incidente.

## 2. CONSTRUÇÃO DA GEOMETRIA DO LEME

A geometria foi obtida através de desenho no software CAD RHINOCEROS, seguindo as mesma dimensões geométricos da “Fig.1”. Para isso foram retirados os pontos unitários do perfil NACA0015 [1], então jogados em uma planilha excel, multiplicando os pontos pela escala em mm

para os três tamanhos de cordas (base, meio e ponta) do leme, e seus espaçamentos. Após essa etapa foram gerados os pontos tridimensionalmente (x,y,z) em um editor de texto, e então importados para o Rhinoceros como “nuvens de pontos”.

Após a importação foi interligados os pontos de cada secção(ou tamanho de corda) e assim através da ferramenta “loft” foi gerado o desenho final do leme em 3D em formato “igs”.

Tabela 4 – Dimensões do leme original e modificado<sup>[120]</sup> do AUV Pirajuba

Parâmetro	Leme original	Leme modificado
Altura	160 mm	132 mm
Corda na raiz	90 mm	155 mm
Corda média	76 mm	132 mm
Corda na ponta	60 mm	101 mm
Área	0.012 m <sup>2</sup>	0.017 m <sup>2</sup>
Razão de aspecto	2.13	1.03
Enflexamento	Simétrico	Retangular*
Perfil	NACA0012	NACA0015

\*Bordo de fuga apresenta um ângulo reto.

Figura 1- Parâmetros Leme  
Fonte: (Dantas, João; 2014).

## 3. SIMULAÇÃO NO STAR CCM+

A simulação no Star CCM+ foi separada em importação da geometria, criação da surface, criação de um volume de controle, definição da física do problema e física da malha, criação da malha e seu refinamento, criação de plots para medir os coeficientes de força de arrasto e momento fletor e por final a foi feito a analise dos resultados via gráficos e imagens.

### 3.1 IMPORTAÇÃO DA GEOMETRIA E CRIAÇÃO DA SURFACE

O início das simulações consiste na importação da geometria no formato ‘.igs’

para o software Star CCM+. Após a importação é criada uma superfície sobre o leme, que serve como um invólucro sobre a geometria para não deixar imperfeições ou furos provenientes na hora da importação, e que venham influenciar negativamente na simulação.

Após a criação da superfície inicial, é criado dois pequenos cilindros, um na borda de entrada e outro na calda do leme, com o intuito de deixar a superfície contornar as extremidades da superfície o mais semelhante possível com a geometria exportada.

### 3.1 CRIAÇÃO DO VOLUME DE CONTROLE

Para a simulação foi criado um prisma retangular como volume de controle e fixado o leme internamente no meio de uma de suas paredes. Então foi separado suas partes em regiões, neste caso foram quatro tipos de parâmetros para cada região:

Wall (Parede) – Para Leme e parede de fixação “Fig. 2”;

Symmetry flow (Simetria com o fluido) – nas partes sobre o leme, abaixo do leme e na lateral. Como mostra a figura a “Fig. 3”.

Velocity inlet – entrada de fluido “Fig 4”;

Pressure outlet – saída de fluido “Fig. 5”.

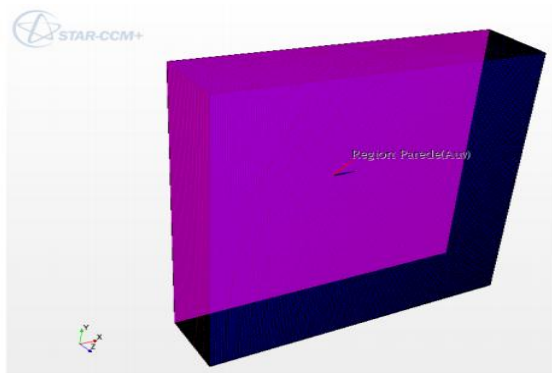


Figura 2- Parade e Leme (Autor).

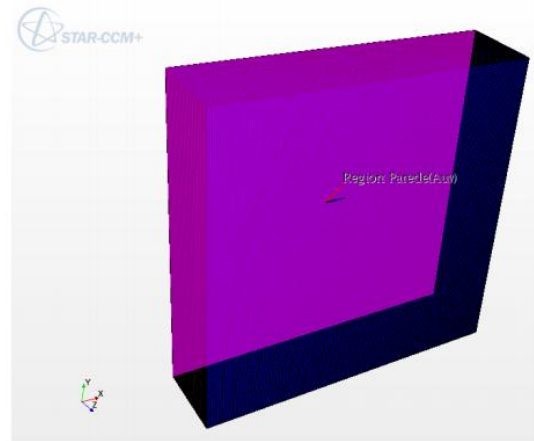


Figura 2- Parade e Leme (Autor).

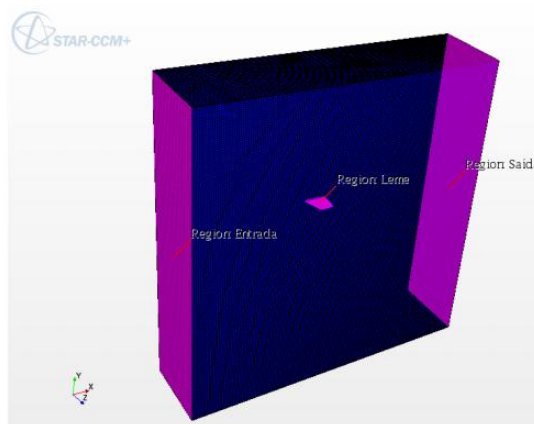


Figura 4- Inlet Flow e Pressure Outlet (Autor).

### 3.3 DEFINIÇÕES FÍSICA, CRIAÇÃO E REFINAMENTO DA MALHA DE CONTROLE

Para a criação da malha foi necessário escolher o tipo de malha, tipos de contornos, tamanho da malha e geração da malha no Software. O tamanho de malha escolhido foi 12 mm. A física utilizada na malha foi:

PRISM LAYER MESHER - permite gerar malhas de camadas avançadas, mais espessa e mais uniforme do que as malhas prismáticas simples. Divide em faces e arestas, o que ajuda a melhorar a qualidade da malha - especialmente quando a redução de assimetria celular.

TRIMMER - o modelo trimmer articulada, utiliza uma malha modelo construída a partir de células de hexaedro.

SURFACE REMESHER - alinha as linhas de envoltório (surface wrapper) relativas

ao sistema cartesiano global. Ou seja, você pode direcionar as linhas de malha ao longo do x, y, z, direções. Esta facilidade é útil quando envolvendo múltiplas regiões e o alinhamento de cada malha de envolto ao seu vizinho é importante para a fusão a fins de interface.

**SURFACE WRAPPER** - O envoltório superfície fornece uma superfície fechada, a geometria importada não se intersecta a partir de dados de CAD, então ela: fornecer, uma definição superfície fechada, triangulada; Fecha buracos, lacunas e incompatibilidades; Simplifica a geometria da superfície removendo detalhes Indesejados; Inclui refinamentos que são baseados em curvatura, de proximidade, e superfícies individuais.

A malha criada pode ser vista na “Fig. 5”.

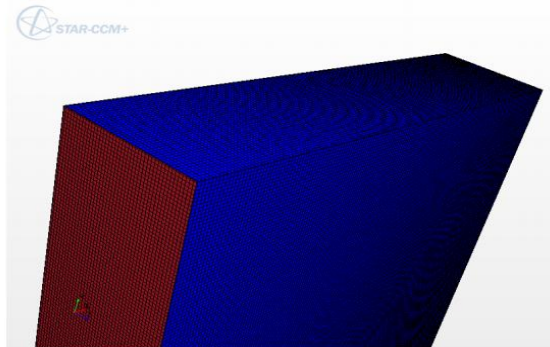


Figura 5 – Malha criada (Autor)  
Imagem: Software Star CCM+ 11.02.009

### 3.4 DEFINIÇÕES DA FÍSICA DO PROBLEMA

Os modelos físicos tem como objetivo simplificar ou dar maior grau de complexibilidade para a solução das equações de Navier-Stokes ou equação da continuidade. Para esse teste foram selecionados os seguintes parâmetros físicos:

- Tridimensional – Simulação em 3D.
- Gradientes de pressão e velocidade.
- Solução das Equações de Navier-Stokes e Equação de Reynolds
- Líquido - Fluido Água.
- Densidade Constante (~999 kg/m<sup>3</sup>).
- Segregated Flow - Pressão e Densidade são calculadas juntas.

- Escoamento Turbulento
- Modelo de turbulência do tipo K-Epsilon Two-Layer

#### 3.4.1 MODELO DE TURBULÊNCIA K-EPSILON TWO-LAYER

O Modelo de turbulência K-Epsilon é um modelo de duas equação que resolvem equações de transporte para a energia cinética turbulenta e sua taxa de dissipação. Têm sido utilizados por várias décadas, e tornou-se o modelo mais amplamente utilizado para aplicações industriais.

A equação para a energia cinética turbulenta é resolvido por todo o fluxo. Já a taxa de dissipação turbulenta e a viscosidade turbulenta são especificadas como funções de distância da parede. Os valores especificados na camada próxima da parede são misturados suavemente com os valores calculados a partir da resolução da equação de transporte longe da parede.

### 3.5 PLOTS

À partir da solução das equações da continuidade que nos fornece pressão e velocidade do fluido ao longo do volume de controle, é possível plotar gráficos de grandezas que venham depender da pressão e da velocidades. Assim foi feito dois plots para saber o valor da Força Axial na borda frontal do leme e outra do Momento Fletor em torno do “eixo z”.

## 4 RESULTADOS

Os valores de convergência para as Equações de Navier-Stokes e as equações de Turbulência foram definidos para um erro menor que 0,0001, e limite de mil iterações, sendo que a simulação obteve convergência para aproximadamente quinhentas iterações, com erro abaixo de 0,0001.

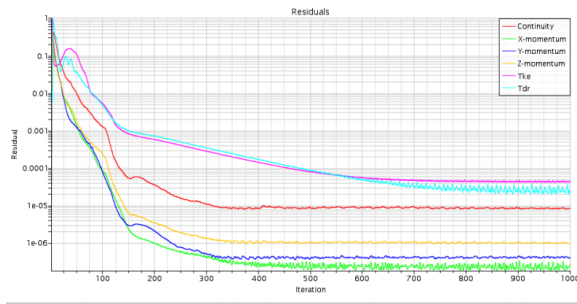


Gráfico 1- Resultados Equações de Navier Stokes (Autor)  
Imagens: Software Star CCM+ 11.02.009

Os valores de Coeficiente de Força Axial e Momento Fletor obtiveram um boa convergência “Graf. 1”, ”Gra. 2” e “Graf. 3”.

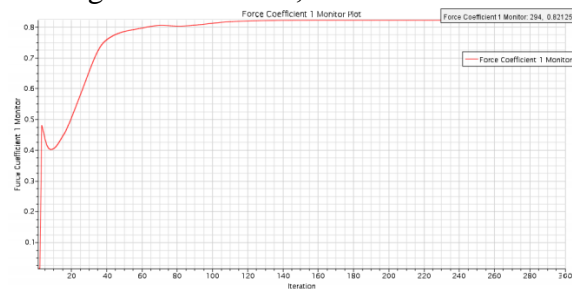


Gráfico 2- Resultados Força Axial x Iterações (Autor)  
Imagens: Software Star CCM+ 11.02.009

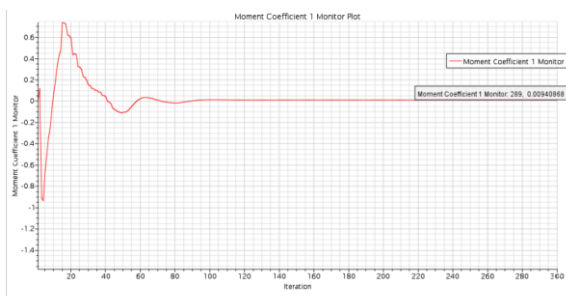


Gráfico 3 - Resultado Momento Fletor x Iterações (Autor)  
Imagens: Software Star CCM+ 11.02.009

## 5 - FIGURAS

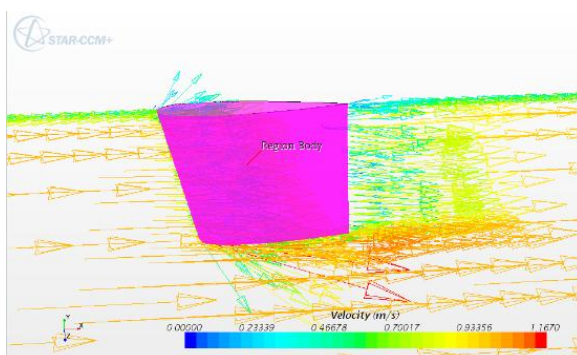


Figura 6 – Vetores de indicação da direção do fluido.

## 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A simulação obteve uma boa convergência para todos os parâmetros calculados. Porém, se melhorar a surfacewrapper é possível de se obter melhores resultados. Um futuro trabalho seria a variação do ângulo de ataque do leme e novos plot's de coeficientes de momento e força em outras direções.

## REFERÊNCIAS

- [1] DANTAS, João Lucas Dozzi. Metodologia numérica para estimativa da manobrabilidade de veículos autônomos submarinos. 2014. 356 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânico, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- [2] Fossen, T. I., T. A. Johansen and T. Perez. A Survey of Control Allocation Methods for Underwater Vehicles. Chapter 7, In "Intelligent Underwater Vehicles. I-Tech Education and Publishing (A. V. Inzartsev, Ed.), Vienna, Janeiro 2009

- [3] De Barros E, Dantas J, Pascoal A, de Sa E (2008) Investigation of normal force and moment coefficients for an AUV at nonlinear angle of attack and sideslip range. IEEE J Oceanic Eng33:538–549