

3.05.01 – Engenharia Mecânica / Fenômenos de Transportes

## INVESTIGAÇÃO DO TAMANHO DO DOMÍNIO COMPUTACIONAL ADEQUADO PARA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTOS EXTERNOS SUBSÔNICOS

Luiz Fernando C. P. Botti<sup>1</sup>, Edvaldo Angelo<sup>2</sup>

1. Estudante da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)
2. Professor da UPM – Escola de Engenharia

### Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar o tamanho de domínio computacional considerado ideal para uma simulação de escoamento externo, para um número de Reynolds pré-estabelecido, sendo o escoamento viscoso, bidimensional, incompressível e turbulento. O modelo de turbulência escolhido, o *k-epsilon*, ao redor de um corpo cilíndrico e utilizando o coeficiente de arrasto como valor de comparação de resultado. Foram escolhidos dois fluidos para o estudo, sendo eles: a água e o ar, ambos a 25° C (com propriedades obtidas diretamente do banco de dados do software utilizado para as simulações, o ANSYS CFX®).

Para verificar o tamanho do domínio computacional foram feitas uma série de simulações, aumentando e diminuindo suas dimensões (mantendo a proporcionalidade inicialmente e arbitrariamente escolhida).

Foi verificado a partir dos resultados que os domínios computacionais maiores apresentavam um coeficiente de arrasto menor, enquanto os domínios menores apresentavam coeficientes maiores.

**Palavras-chave:** Número de Reynolds; Coeficiente de arrasto; Ansys CFX®.

**Apoio financeiro:** PIBIC Mackenzie.

**Trabalho selecionado para a JNIC:** Coordenadoria de Fomento à Pesquisa da UPM

### Introdução

A subárea da Mecânica dos Fluidos ou Fluidodinâmica que estuda os escoamentos de ar é denominada Aerodinâmica, complementada pela Hidrodinâmica (líquidos) e a Dinâmica dos gases (para os outros gases de modo geral) (ANDERSON, 2011). O objetivo principal dos estudos de fluidodinâmica é a determinação da complexa interação entre o escoamento de ar e corpos rombudos (como uma esfera) ou afilados (como as asas ou hidrofólios), predizendo forças e a transferência de calor entre ambos.

São denominados escoamentos externos aqueles que ocorrem ao redor de sólidos e internos aqueles confinados ou limitados por dutos ou válvulas (ANGELO et al., 2012). Nestas situações a interação entre o escoamento e o sólido, para qualquer movimento relativo entre ambos, causa efeitos cujo entendimento é indispensável para inúmeras aplicações de engenharia (WHITE, 2018).

Para análise da mecânica dos fluidos computacional (ou *Computational Fluid Dynamics* – CFD – na língua inglesa) uma região de análise deve ser indicada, que, para escoamentos internos fica bastante evidente como sendo a região interna de tubulações e válvulas. Contudo, para os escoamentos externos, as fronteiras exteriores do domínio computacionais deveriam ser infinitas. A última condição inviabilizaria as determinações numéricas porque estenderia o problema computacional à condição de infinitas variáveis. Nestas situações define-se uma região de análise, denominada domínio computacional, com tamanho finito, o que obriga a imposição de condições de contorno na superfície externa da região. O tamanho do domínio computacional para obtenção de uma simulação com resultados adequados é o problema de pesquisa da presente proposta.

Objetivo geral: investigar as dimensões adequadas para um domínio computacional a serem aplicados a simulações de escoamentos permanentes, incompressíveis, externos, viscosos, turbulentos e bidimensionais, e determinar possíveis relações das dimensões com grandezas conhecidas previamente como o adimensional denominado número de Reynolds ao longe do escoamento.

### Metodologia

A metodologia empregada foi a análise numérica do escoamento ao redor do cilindro do desenvolvimento e solução de um modelo matemático bidimensional.

O modelo matemático desenvolvido resolveu as equações de conservação de massa e quantidade de movimento (ANDERSON, 1995), para um sistema de coordenadas cartesianas e bidimensional. As técnicas de CFD empregadas foram implementadas através da utilização de um software de CFD comercial denominado ANSYS CFX®, que utiliza o Método dos Volumes Finitos (MALISKA, 2012) para solução das equações de conservação.

Para cada domínio computacional, várias malhas foram construídas e testadas, em especial, tentativas de construção de malhas estruturadas. A construção das malhas obedeceu aos padrões bem estabelecidos encontrados na literatura técnico-científica (STERN et al., 2001 e WILSON et al., 2001). Os domínios computacionais foram gradativamente alterados em tamanho, uma dimensão por vez. As dimensões foram alteradas para verificação da influência nos resultados das simulações. O aumento proposto foi com acréscimos das dimensões em dez por cento em cada alteração sucessiva.

O modelo matemático proposto tem como características: domínio computacional bidimensional, escoamento do fluido em temperatura constante, em regime permanente e em regime turbulento (no caso, modelo clássico k- $\epsilon$ ).

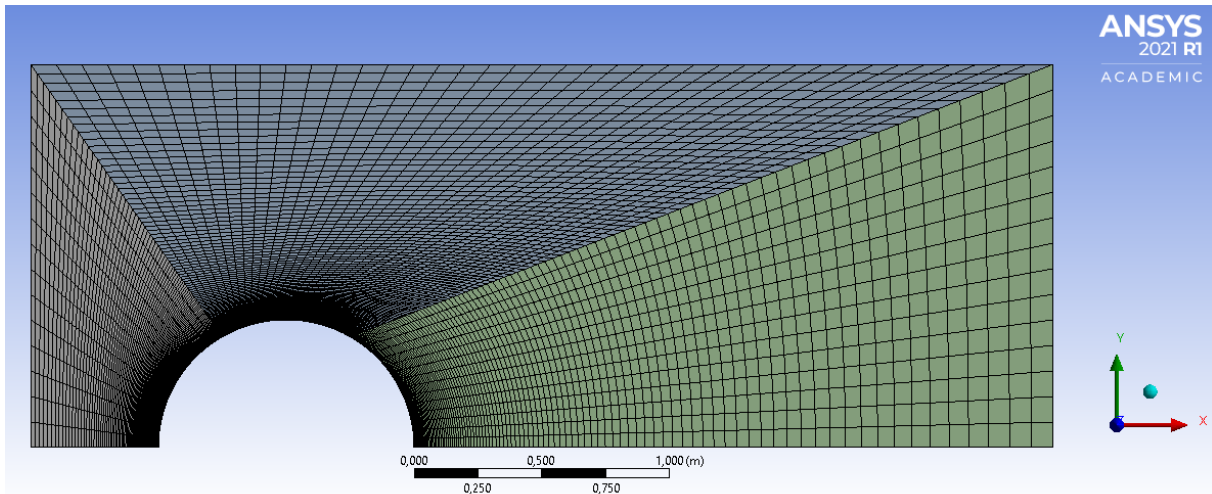
Foram seguidas as seguintes etapas de execução neste estudo: revisão bibliográfica; estudo da geometria escolhida; execução da simulação inicial; análise dos dados obtidos com as diferentes simulações.

Para a simulação usando o ANSYS CFX®, foi seguida a seguinte estrutura apresentada pelo programa:

Geometria: o corpo escolhido, como já mencionado, foi um cilindro circular liso, e a região ao redor do corpo é o domínio computacional.

Malha: Utilizando o CFX-MESHING®, foi feita uma malha não estruturada para a discretização. Porém, um estudo de malha foi feito e então implementada uma malha estruturada, como é possível ver na figura 1.

**Figura 1.** Captura de tela da ferramenta CFX-MESHING® com a malha estruturada.



Condições de contorno: foram utilizados dois fluidos neste estudo, sendo eles água e ar (ambos a 25°C, sendo as simulações isotérmicas) e que suas características (velocidade, viscosidade, densidade) estão relacionadas ao número de Reynolds, este que foi escolhido a partir da literatura, com valor de 5000. Na região de entrada foi colocada a velocidade do fluido, calculada a partir do número de Reynolds. Na região de saída, foi escolhida a pressão relativa nula. A superfície do cilindro foi tratada como uma parede sem escorregamento. Nas faces laterais e inferior, foram indicadas como regiões de simetria. Essa estratégia foi escolhida para otimizar o estudo. Vale ressaltar que o código computacional comercial utilizado, o ANSYS CFX®, na versão 2021 R1 é nativo tridimensional e a simulação bidimensional foi obtida por imposição de simetria nos planos perpendiculares à direção do escoamento.

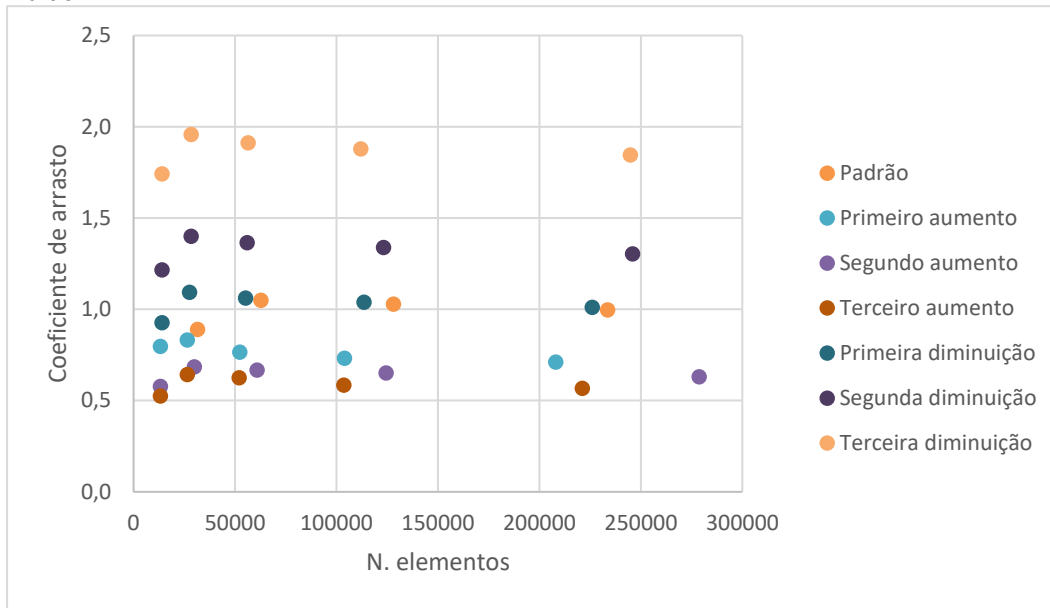
### Resultados e Discussão

Como já descrito, a partir de uma simulação padrão, foram feitos aumentos e diminuições do tamanho do domínio computacional para verificar a variação do coeficiente de arrasto. Foi possível verificar que o fluido ao se aproximar do corpo sofre uma diminuição de velocidade nas circunvizinhanças da parte frontal e um aumento de velocidade na porção superior do cilindro. A pressão, conforme esperado tem comportamento inverso ao descrito para a velocidade. As linhas de corrente na porção mais superior do domínio computacional apresentam pouca ou nenhuma curvatura.

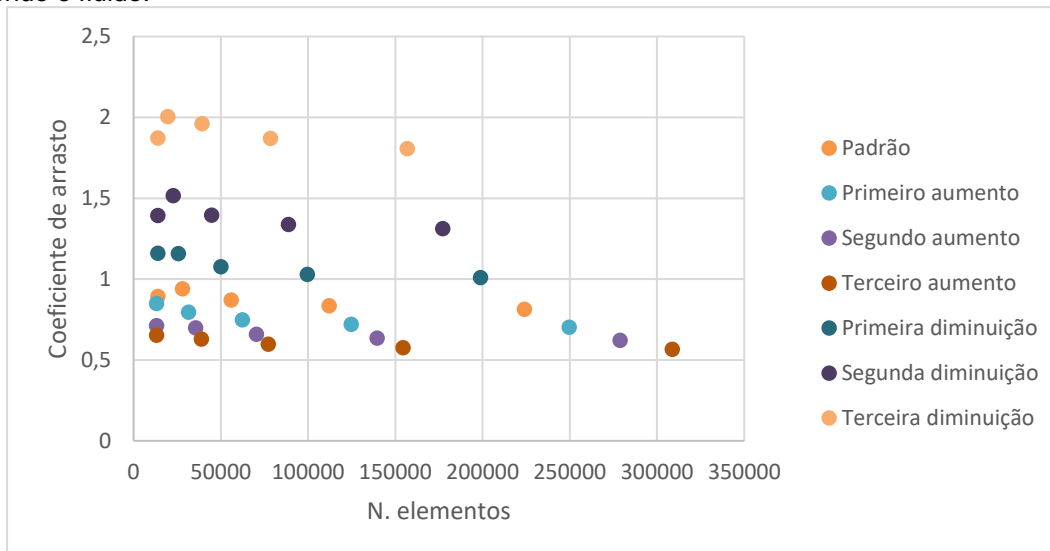
A cada simulação, eram calculados os coeficientes de arrasto. Foram feitos três aumentos no tamanho do domínio computacional e três diminuições. Cada mudança (seja aumento ou diminuição) consistia em alterar o valor da cota vertical (altura) do domínio computacional em 10%, de forma gradativa, e alterar a cota horizontal de forma proporcional, para assim preservar a geometria do domínio computacional.

É possível verificar os resultados gráficos das simulações nas figuras 2 e 3 que seguem.

**Figura 2.** Gráfico de coeficiente de arrasto por número de elementos, referente as simulações com ar sendo o fluido.



**Figura 3.** Gráfico de coeficiente de arrasto por número de elementos, referente as simulações com água sendo o fluido.



Todas as simulações utilizaram como critério de convergência resíduos médios quadráticos inferiores a 0,00001 para as simulações. O que se observou de modo consistente nos testes realizados foi que domínios computacionais menores tendiam a maiores valores de coeficiente de arrasto (já em condição de convergência) e domínios computacionais maiores, valores menores para coeficiente de arrasto.

De um modo geral para escoamentos externos se espera que o aumento do domínio computacional obtenha naturalmente resultados melhores. Então, os resultados para os casos estudados não corroboraram, ao menos aparentemente essa expectativa. Infere-se que o comportamento de não obtenção de resultados adequados para os domínios computacionais maiores possa estar relacionado ao estabelecimento de um critério de convergência fixo para todas as condições, obtido através de resíduo quadrático médio. É possível, que elementos distantes da região de influência da presença do corpo, nestas situações possam, em decorrência de valores baixos de variação das grandezas na solução iterativa, contribuir para interrupção do método numérico antes de uma verdadeira convergência.

Também foi investigado se havia a existência de uma relação entre o tamanho do domínio computacional ótimo através de relações geométricas, porém não foi encontrada uma relação ótima através da análise.

### Conclusões

Foram realizadas simulações numérico computacionais para escoamento externo, incompressível, viscoso, bidimensional e turbulento ao redor de um cilindro. O emprego da malha estruturada foi decisivo para obtenção dos resultados, devido sua melhor precisão nos valores finais. Está verificação foi possível comparando os resultados com uma malha não estruturada, feita de forma automática pelo software, e uma malha estruturada

usando o método *MultiZone Hexa*.

Verificou-se uma relação existente entre o tamanho do domínio computacional e o coeficiente de arrasto nas simulações executadas, sendo estes inversamente proporcionais, ou seja, à medida que era aumentado o domínio computacional, os valores de coeficiente de arrasto encontrados com as simulações iam gradativamente diminuindo seu valor, o mesmo acontecendo no cenário contrário.

Na literatura é reportado que o aumento do domínio computacional implica em um resultado mais preciso, porém não foi possível verificar esse fato. Portanto, é necessária uma investigação mais abrangente para o entendimento completo dos resultados aqui apresentados. Infere-se que esse fato está relacionado ao critério de convergência estabelecido.

### **Referências bibliográficas**

ANGELO, E.; ANGELO, G.; ANDRADE, D. A. A mathematical model for metastable condition determination in highly flashing liquid flows through expansion devices. *Nuclear Engineering and Design*, v. 242, p. 257-266, 2012.

ANDERSON, John D. *Computational fluid dynamics. The basics with applications*. New York: McGraw-Hill, 1995.

ANDERSON, John D. *Fundamentals of aerodynamics*. New York: McGraw-Hill, 2011. 1106p.  
ANSYS INC. *Design Exploration User Guide*. Canonsburg: [s.n.], 2011.

MALISKA, C. R. *Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional*. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2012. xv, 453 p.

STERN, F.; WILSON, R.; COLEMAN, H.; PATERSON, E. Comprehensive approach to verification and validation of CFD simulations - Part 1: Methodology and procedures. *Journal of Fluids Engineering*, v. 123, n. 4, p. 793-802, 2001.

WHITE, Frank M. *Mecânica dos fluidos*. 8 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2018.

WILSON, R.; STERN, F.; COLEMAN, H.; PATERSON, E. Comprehensive approach to verification and validation of CFD simulations - Part 2: Application for RANS simulation of a cargo/container ship. *Journal of Fluids Engineering*, v. 123, N. 4, pp. 803-810, 2001.