

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTO EXTERNO COM TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM REGIME PERMANENTE USANDO O ANSYS FLUENT

WELLINGTON GOMES MACHADO¹; LETICIA BARROS DIAS SOARES²; JAIRO VALÕES DE ALENCAR RAMALHO³

¹Universidade Federal de Pelotas – wgmachado@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – leticiabarro1996@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Pelotas – jairo.ramalho@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A análise numérica de escoamentos externos com transferência de calor por convecção em regime permanente é um desafio complexo, que depende de diversas variáveis físicas e geométricas. Para essa finalidade, a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) se consolidou como uma ferramenta relevante, permitindo a predição detalhada do comportamento dos fluidos e da troca de calor sob diferentes condições (VOLLARO; VALLATI, 2015).

A literatura apresenta diversas aplicações da CFD em problemas térmicos. RODGERS; EVELOY (2003) investigaram a convecção forçada em placas de circuito impresso, comparando resultados simulados com dados experimentais para validar os modelos. Em outro estudo, MEHRPOOYA; GANJALI (2024) analisaram trocadores de calor de poços demonstrando que parâmetros como vazão mássica, porosidade e infiltração de água subterrânea influenciam diretamente o processo convectivo. A capacidade de simular a interação entre escoamento e transferência de calor contribui para projetos mais eficientes em áreas como eletrônica, geração de energia e equipamentos industriais.

Nesse cenário, este estudo propõe uma simulação numérica de um escoamento externo em regime permanente, com transferência de calor por convecção, em um domínio bidimensional com um obstáculo quadrado. As análises foram feitas no software *ANSYS Fluent*¹, com base nas equações de conservação de massa, momento e energia. A confiabilidade dos resultados foi validada por meio de um teste de independência de malha.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização da simulação foi dividida em três etapas: modelagem da geometria, geração da malha e configuração da solução no ANSYS Fluent.

A geometria foi desenvolvida no módulo *DesignModeler*². O domínio computacional, bidimensional, foi definido com 50 m de comprimento por 10 m de altura. Dentro dele, um obstáculo quadrado de 1 m x 1 m foi posicionado a 5,5 m da entrada do escoamento, e a geometria foi então exportada para a etapa de malha.

¹ Software especializado em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). Disponível em: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>

² *DesignModeler* é um módulo do *ANSYS Workbench* que disponibiliza recursos específicos para simulação, permitindo a criação de geometrias detalhadas, modificação e simplificação de modelos CAD, além de ferramentas para a elaboração de modelos conceituais. Site: <https://www.solvusoft.com/pt-br/file-extensions/software/ansys-inc/ansys-designmodeler/>

No módulo **Mesh**, a malha computacional foi discretizada em elementos quadriláteros. Para refinar as áreas de gradientes de velocidade e temperatura, aplicou-se um controle de tamanho de aresta (**Edge Sizing**) em torno do obstáculo, com 7 divisões verticais e 8 horizontais. Adicionalmente, um fator de viés (**Bias Factor**) de 5 concentrou o refinamento próximo às paredes. Os dados das três malhas geradas para o teste de independência são mostrados na Tabela 1

Tabela 1: Dados de cada malha

Malha	Nós	Volumes
1	2336	2204
2	4223	4042
3	5655	5458

Fonte: Autoria própria

A simulação usou um modelo de escoamento laminar em regime permanente, bidimensional. O modelo de energia foi ativado para considerar a transferência de calor. As propriedades termofísicas do ar foram definidas como constantes: densidade de 1 kg/m^3 , calor específico (C_p) de $14,2 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, condutividade térmica de $1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ e viscosidade de $0,05 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$.

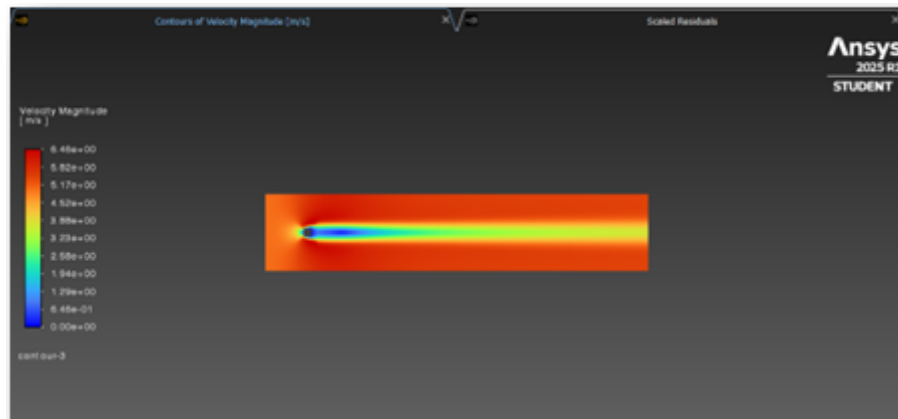
As condições de contorno aplicadas foram de entrada: A condição "*velocity-inlet*" foi definida com velocidade de 5 m/s e temperatura de 300 K . Saída: A condição "*pressure-outlet*" foi utilizada, com pressão manométrica de 0 Pa . Simetria: As paredes superior e inferior do domínio foram definidas com a condição "*symmetry*", indicando que o fluido não sofre restrições de movimento ao atingi-las. Obstáculo: A superfície do obstáculo foi configurada como uma parede estacionária com condição de não-deslizamento e temperatura de 301 K .

Para a discretização numérica, adotou-se o esquema de acoplamento pressão-velocidade *SIMPLE*. Os critérios de convergência dos resíduos foram fixados em 1×10^{-4} para continuidade, 1×10^{-5} para as velocidades X e Y , e 1×10^{-8} para energia. A inicialização foi realizada a partir da entrada, e o cálculo executado para 10.000 iterações. A convergência foi alcançada em 118 iterações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra que a maior pressão está na face frontal do obstáculo (indicada em vermelho), onde o escoamento desacelera e converte energia cinética em pressão. A pressão diminui à medida que o fluido contorna o objeto, atingindo valores negativos (em azul) na esteira. Essa região de baixa pressão é causada pela separação do escoamento e pela formação de vórtices. O gradiente de pressão resultante (alta pressão na frente e baixa pressão atrás) é a principal causa da força de arrasto sobre o corpo.

Figura 1: Mapa dos Contornos de Pressão Estática

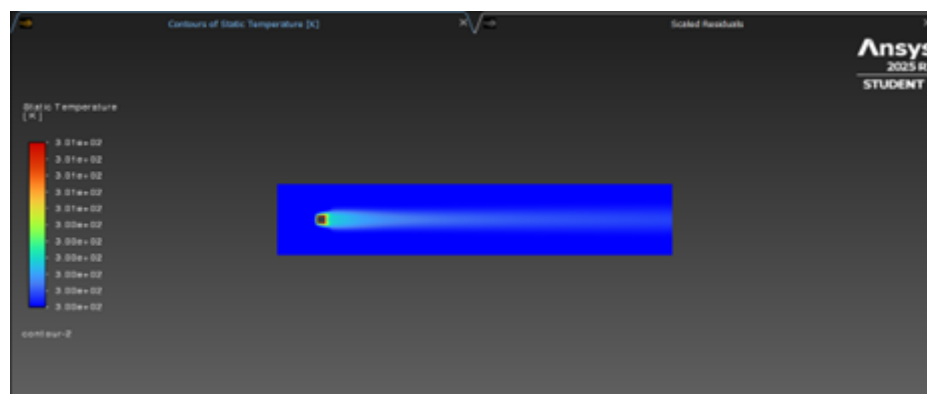


Fonte: Autoria Própria

Na Figura 2, o obstáculo, mantido a uma temperatura de 301 K, é a fonte de calor. O escoamento de ar, com uma temperatura de entrada de 300 K, absorve o calor do obstáculo. A cor vermelha e os valores mais altos ($3.01e+02$ K) indicam a região mais quente, concentrada na superfície do obstáculo. À medida que o ar escoar, o calor é transferido por convecção para as camadas de fluido adjacentes, criando uma pluma térmica que se estende por uma distância considerável a jusante do obstáculo. Essa pluma é caracterizada pela gradual diminuição da temperatura do fluido, indicada pela transição das cores vermelha para o azul, até que a temperatura do ar se estabiliza na temperatura ambiente de 300 K, longe do obstáculo.

Pode-se observar na Figura 3 que o escoamento de ar atinge o obstáculo com uma velocidade uniforme (indicada pela cor vermelha e pelo valor de $5.82e+00$ m/s), que é a velocidade de entrada. Ao se aproximar do obstáculo, o escoamento desacelera na região frontal, onde a velocidade se aproxima de zero (indicada pelas cores azul-claro e azul-escuro). O escoamento então se divide para contornar o obstáculo, acelerando nas laterais. Essa aceleração é visível pela mudança de cor, indo de amarelo a verde na região lateral do obstáculo.

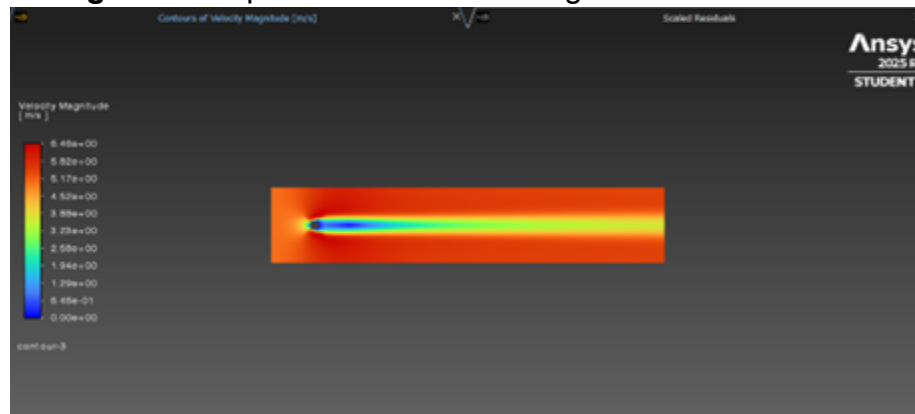
Figura 2: Mapa de contorno de Temperatura Estática



Fonte: Autoria Própria

Após contornar o corpo, o escoamento se recompina, formando uma esteira com velocidades mais baixas (indicada pelas cores verdes e azuis na esteira). A largura e o comprimento desta esteira dependem das propriedades do fluido e da geometria do obstáculo.

Figura 3: Mapa de Contorno da Magnitude da Velocidade



Fonte: Autoria Própria

A magnitude da velocidade na esteira se recupera gradualmente, retornando à velocidade de entrada mais a jusante. A ausência de vórtices visíveis no contorno de velocidade e a formação de uma esteira estável são consistentes com um escoamento laminar.

4. CONCLUSÕES

A simulação numérica demonstrou ser uma ferramenta eficaz para o estudo de fenômenos de escoamento e transferência de calor. A metodologia detalhada, incluindo a modelagem da geometria, o refinamento da malha e a configuração da solução, resultou em uma análise precisa do problema. O sucesso do teste de independência de malha comprova a robustez e a validade dos resultados obtidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RODGERS, P. J.; EVELOY, V. C. **An Experimental Assessment of Numerical Predictive Accuracy for Electronic Component Heat Transfer in Forced Convection—Part I: Experimental Methods and Numerical Modeling.** Journal of Electronic Packaging, v. 125, n. 1, p. 57-67, 2003.

MEHRPOOYA, M.; GANJALI, M. R. **A comprehensive transient heat transfer simulation of U-tube borehole heat exchanger considering porous media and subterranean water seepage.** Chemical Papers, v. 78, p. 6315-6329, 2024.

VOLLARO, A.; VALLATI, A. **CFD Analysis of Convective Heat Transfer Coefficient on External Surfaces of Buildings.** Sustainability, v. 7, n. 7, p. 9088-9099, 2015.