



Estudo numérico do deslocamento de um cilindro rotativo imerso em um campo de velocidade

RESUMO

Pedro Henrique Martinez de Barros
phb.martinez@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Marcos Antonio de Souza Lourenço
mlourenco@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Carlos Eduardo Alves Feitosa
cea.feitosa@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

No presente trabalho é feita uma investigação do deslocamento de um cilindro rotativo em queda imerso em um campo de velocidade e também a implementação numérica do problema em linguagem Python. Um corpo rotativo em um fluido cria uma força perpendicular chamada sustentação (Lift) e outra força oposta chamada arrasto (Drag), a esse fenômeno dá-se o nome de Efeito Magnus. Para a realização da implementação numérica é feita uma interpolação das curvas dos coeficientes de sustentação (C_L) e de arrasto (C_d) em função da rotação, obtidas pela bibliografia. Deste modo é possível aplicar a segunda lei de Newton e o teorema Pi de Buckingham nas duas direções e integrar o equacionamento resultante de modo a verificar as coordenadas do cilindro enquanto este está em queda.

PALAVRAS-CHAVE: Arrasto. Deslocamento. Sustentação.

INTRODUÇÃO

Um cilindro em rotação gera uma força normal ao escoamento livre, esse efeito é conhecido como **Efeito Magnus**. Este fenômeno tem sido muito estudado para aplicações na hidrodinâmica e aerodinâmica.

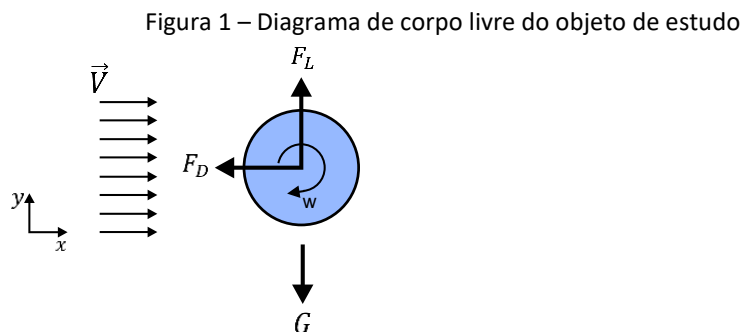
Atualmente, com a rápida evolução das tecnologias e a tentativa de alcançar grandes eficiências energéticas, estudos de fenômenos como o Efeito *Magnus* voltam à tona e são alvos de grandes esforços científicos. São várias as aplicações que podem decorrer do estudo do escoamento em cilindros rotativos, como por exemplo o escoamento em rotores, em aeronaves (onde os perfis são aproximados por cilindros) e muitos outros (Carstensen et al. (2014)).

O Efeito *Magnus* é um fenômeno por meio do qual um corpo rotativo em um fluido cria uma força perpendicular chamada sustentação e outra força oposta chamada arrasto (Fox e McDonald (2011)). Em um referencial em que o fluido a grande distância está em repouso, o escoamento descreve o deslocamento do cilindro dentro do fluido, e a circulação pode ser obtida imprimindo uma rotação ao cilindro (Moysés (1981)).

A linguagem Python é uma linguagem de programação de alto nível que tem como característica uma tipagem forte e dinâmica. Outra característica marcante da linguagem Python é que ela é multiplataforma, ou seja, todos os programas que forem escritos em uma determinada plataforma, podem facilmente ser executados na maioria das plataformas existentes (Downey, Elkner e Meyers (2002)). Não menos importante, a biblioteca padrão da linguagem Python é muito extensa, contendo métodos e funções variadas para a resolução essencialmente de qualquer tarefa e isso inclui as ferramentas para trabalhar com dados científicos.

METODOLOGIA E MATERIAIS

O objeto de estudo do presente trabalho é a queda de um corpo cilíndrico rotativo imerso em um campo de velocidade $\vec{V}$. Foi considerado um cilindro com massa M distribuída uniformemente, girando à velocidade constante ω e sobre ação da força peso G . O Diagrama de Corpo Livre é então ilustrado a seguir na Figura 1:



Fonte: Autoria própria (2017)

De modo a descrever a ação das forças atuantes no cilindro é aplicada a segunda lei de Newton:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (1)$$

$$\vec{P} = \int_M \vec{V} dm \quad (2)$$

As forças que atuam sobre o cilindro são as forças de arrasto, F_D , de sustentação, F_L e a força peso, G . Enquanto a força peso é constante, as forças de arrasto e de sustentação dependem da velocidade de rotação ω do cilindro e da corrente livre $\vec{V}$. Portanto a formulação para as duas direções é dada da seguinte maneira:

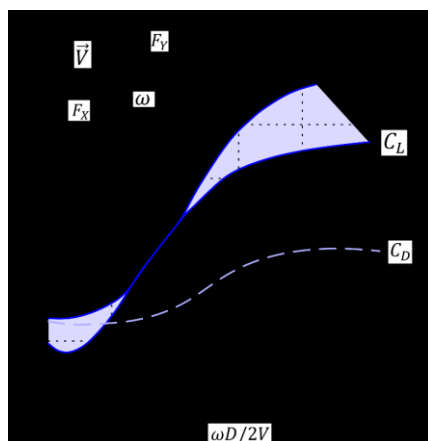
$$\sum \vec{F}_x = F_{Dx} + F_{Lx} = M \frac{du}{dt} = \frac{\rho L D V^2}{M} (C_{Dx} + C_{Lx}) \quad (3)$$

$$\sum \vec{F}_y = G + F_{Dy} + F_{Ly} = M \frac{dv}{dt} = \frac{\rho L D V^2}{M} (C_{Dy} + C_{Ly}) + G \quad (4)$$

Com intuito de realizar a implementação numérica é necessário interpolar curvas de C_L e C_D em função da razão de rotação e desta maneira obter os respectivos vetores.

Para a realização do trabalho a coleta de dados foi obtida através do gráfico fornecido por Fox e Mcdonald (2011), como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Arrasto e sustentação em um cilindro em rotação como uma função da velocidade relativa de rotação.



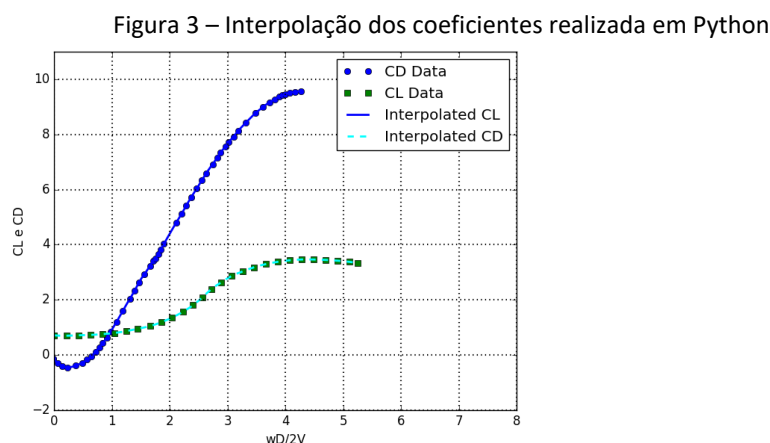
Fonte: Fox e Mcdonald (2011)

Para adquirir as coordenadas dos pontos que compunham as curvas dos coeficientes de arrasto e de sustentação, dadas pela imagem fornecida na referência foi utilizado o software open source Engauge Digitizer®, sendo que esse identifica curvas plotadas em imagens e converte os vários pontos de interesse desta imagem em coordenadas. O usuário define a origem e os valores de mínimo e de máximo dos eixos, e o software armazena estes pontos em um arquivo de extensão .csv. Este arquivo posteriormente pode ser utilizado como entrada de dados para o programa em linguagem Python.

RESULTADOS

O primeiro objetivo do trabalho e também muito essencial para as etapas posteriores é uma boa interpolação das curvas dos coeficientes de arrasto e de sustentação através das figuras fornecidas pelas referências bibliográficas.

Usou-se o software open source Engauge Digitizer® para aquisição de coordenadas e a biblioteca `scipy.interpolate` do Python de maneira tal a realizar essa tarefa. A interpolação realizada é mostrada na Figura 3.



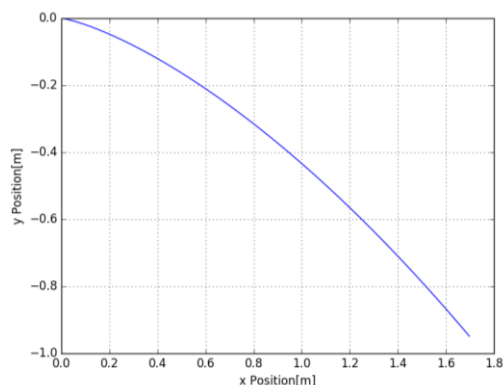
Fonte: Autoria própria (2017)

Com a interpolação feita, pode-se realizar o estudo numérico do cilindro rotativo em queda como exposto no presente trabalho. Para criação do programa são levadas em consideração as formulações descritas anteriormente.

As variáveis de entrada do programa são a densidade do ar ρ , as dimensões do cilindro, sendo L seu comprimento e D seu diâmetro, a massa M e a rotação ω do cilindro. Portanto é possível realizar uma análise paramétrica da resposta em deslocamento em função da variação das características de entrada do programa (características do sistema).

A Figura 4 mostra a resposta para uma configuração de entradas específica.

Figura 4 – Coordenadas do cilindro em queda ao longo do tempo, com $\rho = 1,225\text{Kg/m}^3$, $L = 0,5\text{m}$, $D = 0,1\text{m}$, $M = 0,8\text{Kg}$ e $\omega = 32\text{rad/s}$.



Fonte: Autoria própria (2017)

CONCLUSÕES

Dado o exposto, é possível observar que a linguagem Python é uma ferramenta muito útil para aplicações científicas, pois além de ser altamente legível e dinâmica, possui ainda uma biblioteca padrão muito extensa que contém métodos e funções variadas para resolução de tarefas e ferramentas para trabalhar com dados científicos.

Também é demonstrado no presente trabalho a possibilidade de modelar numericamente um corpo imerso em um campo de velocidade, e dessa maneira verificar o comportamento ao longo do tempo para variadas condições de entrada, nesse caso, as dimensões do cilindro, a rotação e a massa do mesmo.

Percebe-se que a razão de rotação do cilindro, bem como a velocidade do campo ao qual ele está imerso influencia a desaceleração de sua queda. Trabalhos posteriores podem ser realizados abordando essa mesma formulação, como por exemplo uma análise experimental para confirmar os coeficientes de sustentação e arrasto fornecidos pela bibliografia e também o levantamento dos mesmos para razões de rotação maiores, outra proposta seria utilizar este conceito para estudar o comportamento de outros corpos imersos em um campo de velocidade, tal qual o escoamento em aerofólios a medida que esses sofrem uma mudança no ângulo de ataque (ângulo aerodinâmico formado pela corda do aerofólio em relação ao movimento relativo do ar, segundo Roskan e Lan (1997)) utilizando da linguagem Python e suas ferramentas que garantem uma boa abordagem numérica.

Numerical study of displacement of a rotating cylinder immersed in a velocity field

ABSTRACT

In this present work is made an investigation of the displacement of a falling rotating cylinder immersed in a velocity field and also the numerical implementation of the problem using Python language. A rotating body in a fluid creates a perpendicular force called lift and another opposing force called drag. This phenomenon is called Magnus Effect. For the numerical implementation, an interpolation of the lift (C_l) and drag (C_d) coefficients as a function of the rotation obtained by the bibliography, is made. So it is possible to apply Newton's second law and Buckingham's Pi theorem in both directions and integrate the resulting equation in order to check the coordinates of the cylinder while it is falling.

KEYWORDS: Displacement. Drag. Lift.

REFERÊNCIAS

CARSTENSEN, Stefan et al. Lift of a Rotating Circular Cylinder in Unsteady Flows. **Journal Of Ocean And Wind Energy**. [s. l.], p. 41-49. fev. 2014.

DOWNEY, Allen; ELKNER, Jeffrey; MEYERS, Chris. **How to Think Like a Computer Scientist: Learning with Python**. [s. l.]: Green Tea Press, 2002.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

MOYSÉS, Nussenzveig Herch. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas de Calor**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 2 v.

ROSKAN, Jan; LAN, Chuan-tau Edward. **Airplane Aerodynamics and Performance**. Lawrence: Darcorporation, 1997.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

BARROS, P. H. M.; LOURENÇO, M. A. S.; FEITOSA, C. E. A. Estudo numérico do deslocamento de um cilindro rotativo imerso em um campo de velocidade. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Pedro Henrique Martinez de Barros

Rua dos Expedicionários, número 713, Centro, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

