



PLANO DE ENSINO

Programa	Ciências Mecânicas (53001010053P0)
Nome	DINÂMICA DOS FLUIDOS
Sigla	PCMEC
Número	3999
Créditos	4
Período de Vigência	01/01/2004 - presente
Professor responsável	Francisco Ricardo Cunha
Disciplina obrigatória	Não (Um conhecimento prévio de Mecânica dos Fluidos seria vantajoso para o discente, mas não é um requisito obrigatório.)

EMENTA

Objetivos:

A presente disciplina visa aperfeiçoar a formação de discentes do Programa de Ciências Mecânicas nos seguintes tópicos teóricos avançados da Mecânica dos Fluidos: cinemática da vorticidade, dinâmica de vorticidade, equações gerais do movimento na forma diferencial, equações constitutivas, fluidos condutores, fluidos polares (não-simétricos), equações governantes da ferrodinâmica e magnetohidrodinâmica, ondas em Fluidos e fundamentos de estabilidade hidrodinâmica. Com o oferecimento da disciplina espera-se introduzir aos discentes os fundamentos físicos para o tratamento de tópicos avançados em dinâmica dos fluidos, visando explicar as técnicas de formulação e modelagem matemática necessárias para soluções quantitativas de escoamentos fluidos, além de mostrar como os tópicos desenvolvidos podem ser aplicados para situações industriais, ambientais e biomédicas.

Justificativa:

Os tópicos de dinâmica dos fluidos tratados na disciplina são importantes para o entendimento de fenômenos físicos envolvidos em escoamentos de fluidos Newtonianos incompressíveis e compressíveis. Adicionalmente, a disciplina fornecerá os fundamentos básicos aos discentes interessados na área de fluidos para proposição de modelos matemáticos vinculados à pesquisas científicas em reologia de fluidos, dinâmica de vorticidade, teoria de lubrificação, ondas e instabilidade hidrodinâmica em fluidos, interação de ondas e (ou) distúrbios com escoamentos médios, escoamentos internos como ocorre em artéria e microcanais, escoamento em oleodutos, escoamentos internos de fluidos condutores e de fluidos polares, escoamentos externos em torno de corpos desde a escala de um aerofólio até a escala de micro-organismos, escoamentos de larga-escala na atmosfera entre um vasto número de escoamentos fluidos de interesse em aplicações tanto fisiológicas como ambientais e industriais.

Conteúdo:

Módulo 1 - Cinemática de Escoamentos: Fluido discreto (molecular) versus contínuo, tensores taxa de deformação e vorticidade, Teorema transporte

de Reynolds, Equação da continuidade na presença de reação química, cinemática da vorticidade, linhas de vórtice, tubos de vórtice, circulação, teorema de Kelvin para fluidos barotrópicos, conceito de helicidade de Moffat e conservação de helicidade, Inversão vorticidade-velocidade (lei de Biot-Savart para vorticidade), funções de Green e escoamento induzido por vórtice; **Módulo 2 – Equações de Escoamentos Fluidos na Forma Diferencial** - Princípios da Equação do movimento, Equação de Cauchy (referenciais inercial e não inercial), fluido em repouso, fluido ideal (equação de Euler e Teoremas de Bernoulli), Relações de Maxwell da Termodinâmica, Equação do balanço térmico de Kirchhoff e a equação da Energia, princípios de equações constitutivas, Fluido Newtoniano não-Stokesiano e segundo coeficiente de viscosidade (i.e. viscosidade expansional), equações de Navier Stokes e variações, condições de contorno: interface sólido-fluido e fluido-fluido, dinâmica de vorticidade: *stretching*, difusão, convecção e estratificação, analogia entre transporte de vorticidade e transporte de densidade de fluxo magnético, equação da vorticidade para fluido compressível e fluido barotrópico, escoamentos Geostróficos: a força de coriolis, o número de Rossby e de Erkmann, escoamentos estratificados – aproximação de Boussinesq, teorema de Proudman-Taylor, equações de Stokes e aproximação da lubrificação, fluidos eletricamente condutores e equações da magnetohidrodinâmica, fluidos polares (i.e. ferrofluidos) e equações da ferrohídrodinâmica; **Módulo 3 - Ondas em Fluidos:** Fundamentos da teoria de ondas, teoria linear da propagação de ondas e perturbações em meio fluido, ondas de gravidade e ondas planas em águas profundas, relações de dispersão, teoria de ondas em águas rasas, equação da dinâmica dos gases – ondas sonoras (acústicas), método das características; **Módulo 4 – Fundamentos de Estabilidade Hidrodinâmica:** - Introdução a teoria de estabilidade hidrodinâmica, Equação de Landau, equação de Orr-Sommerfeld, instabilidade de Tollmien-Schlichting (T-S), ondas de Rayleigh e vórtices de Görtler.

Forma de Avaliação

01 avaliação (prova subjetiva) (50% da nota); Estudo dirigidos e exercícios computacionais (30% da nota); 01 Seminário por discente, baseado em artigo científico publicado em periódicos da área, relacionado aos tópicos da disciplina (20% da nota).

Listas de exercícios serão entregues no decorrer da disciplina para auxiliar na preparação dos discentes para prova de avaliação. No entanto, não necessariamente entraram no cômputo da menção final.

Serão atribuídas menções aos estudantes com base nas notas finais obtidas, de acordo com o critério de menções da UnB. Casos omissos serão resolvidos pelos professores da disciplina.

Observação:

Vale informar que não existe ainda um livro específico cobrindo todo o conteúdo da disciplina. No entanto, sugere-se as referências bibliográficas a seguir.

Bibliografia:

1) Batchelor, G.K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 1967. **2)** Drazin, P.G. & Reid, W.H. Hydrodynamic Stability. Cambridge University Press, 1981. **3)** Leal, G.L. Laminar Flow and Convective Transport Processes, B-H, 1992. **4)** Landau, L.D. & Lifschitz, E.M. Fluid Mechanics. Pergamon. 1987 (2a. edição). **5)** Paterson, A.R. A first Course in Fluid

Dynamics. Cambridge University Press, 1983. **6)** Saffman, P.G., Vorticity Dynamics. Cambridge University Press. 1993. **7)** Whitham, R.S. Linear and Nonlinear Waves. John Wiley & Sons, 1974. **8)** Odenbach, S. (editor). Lecture Notes in Physics: Colloidal Magnetic Fluids (basics developments and application of ferrofluids), Springer, 2009. **9)** Davidson, P.A. Introduction to Magnetohydrodynamics (second edition), Cambridge University Press, 2017. **10)** Slattery, J.C. Advanced Transport Phenomena. Cambridge University Press, 2005 (reprint). **11)** Logan, J.D. Applied Mathematics. John Wiley & Sons, Inc. 2013.



Unit information

Program	Mechanical Science (53001010053P0)
Course unit	FLUID DYNAMICS
Unit code	PCMEC
Unit number	3999
Credit points	4
Period	01/01/2004 - Current
Professor	Francisco Ricardo da Cunha
Prerequisites	No. Preliminary knowledge on fluid mechanics is recomendable, but it is not a requirement.

Unit outline

Objective:

These lectures aim to improve the training of students of the Mechanical Sciences Program in the following advanced theoretical topics of Fluid Mechanics: kinematics of vorticity, dynamics of vorticity, general equations of motion in differential form, constitutive equations, conducting fluids, polar fluids (not-symmetric), governing equations of ferrohydrodynamics and magnetohydrodynamics, waves in fluids and fundamentals of hydrodynamic stability. By offering this discipline, it is expected to introduce students to the physical fundamentals for the treatment of advanced topics in fluid dynamics, aiming to explain the formulation techniques and mathematical modeling necessary for quantitative solutions of fluid flows, in addition to showing how the topics developed can be applied to industrial, environmental and biomedical situations.

Purpose:

The topics of fluid dynamics treated in the course are important for understanding the physical phenomena involved in incompressible and compressible Newtonian fluid flows. Additionally, the discipline will provide the basic fundamentals to students interested in the area of fluids to propose mathematical models linked to scientific research in fluid rheology, vorticity dynamics, lubrication theory, waves and hydrodynamic instability in fluids, wave interaction and (or) disturbances with mean flows, internal flows such as in arteries and microchannels, flow in pipelines, internal flows of conducting fluids and polar fluids, external flows around bodies from the scale of an airfoil to the scale of microorganisms, flows in the atmosphere among a vast number of fluid flows of interest in both physiological and environmental and industrial applications.

Contents:

Module 1 - Flow Kinematics: Discrete (molecular) versus continuous fluid, strain rate and vorticity tensors, Reynolds transport theorem, continuity equation in the presence of chemical reaction, kinematics of vorticity, vortex lines, vortex tubes, circulation, Kelvin's theorem for barotropic fluids, Moffat's concept of helicity and conservation of helicity, vorticity-velocity inversion (Biot-Savart's law for vorticity), Green's functions and vortex-induced flow; **Module 2 – Fluid Flow Equations in Differential Form** - Principles of the Equation of Motion, Cauchy's Equation (inertial and non-inertial frames), fluid at rest, ideal fluid (Euler's equation and Bernoulli's Theorems), Maxwell's

relations of Thermodynamics, Kirchhoff thermal Balance equation and Energy Equation, Principles of constitutive equations, Non-Stokesian Newtonian fluid and second coefficient of viscosity (i.e. expansional viscosity), Navier Stokes equations and variations, boundary conditions: solid-fluid and fluid-fluid interfaces, vorticity dynamics: stretching, diffusion, convection and stratification, analogy between vorticity transport and magnetic flux density transport, vorticity equation for compressible fluid and barotropic fluids, Geostrophic flows: the Coriolis force, the Rossby number and Ekman number, stratified flows – Boussinesq approximation, Proudman-Taylor theorem, Stokes equations and lubrication approximation, electrically conducting fluids and magnetohydrodynamics equations, polar fluids (ferrofluids) and ferrohydrodynamics equations; **Module 3 - Waves in Fluids:** Fundamentals of wave theory, linear theory of wave propagation and disturbances in fluid media, gravity waves and plane waves in deep water, dispersion relations, theory of waves in shallow water, equation of gas dynamics – sound waves (acoustic), the method of characteristics; **Module 4 – Fundamentals of Hydrodynamic Stability:** introduction to hydrodynamic stability theory, Landau Equation, Orr-Sommerfeld equation, Tollmien-Schlichting (T-S) instability, Rayleigh waves and Görtler vortices.

Assessment

01 exam (50% of the final grade), self-student exercises and computational exercises (30% of the final grade), 01 student seminar based on a scientific article related to course's topics.

Exercise lists will be delivered during the course in order to prepare students for the assessment test. However, they did not necessarily enter into the calculation of the final grade.

Obs:

There exist no books covering the whole content of this course. However the following books below can be recommended.

Reference:

1) Batchelor, G.K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 1967. **2)** Drazin, P.G. & Reid, W.H. Hydrodynamic Stability. Cambridge University Press, 1981. **3)** Leal, G.L. Laminar Flow and Convective Transport Processes, B-H, 1992. **4)** Landau, L.D. & Lifschitz, E.M. Fluid Mechanics. Pergamon. 1987 (2a. edição). **5)** Paterson, A.R. A first Course in Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 1983. **6)** Saffman, P.G., Vorticity Dynamics. Cambridge University Press. 1993. **7)** Whitham, R.S. Linear and Nonlinear Waves. John Wiley & Sons, 1974. **8)** Odenbach, S. (editor). Lecture Notes in Physics: Colloidal Magnetic Fluids (basics developments and application of ferrofluids), Springer, 2009. **9)** Davidson, P.A. Introduction to Magnetohydrodynamics (second edition), Cambridge University Press, 2017. **10)** Slattery, J.C. Advanced Transport Phenomena. Cambridge University Press, 2005 (reprint). **11)** Logan, J.D. Applied Mathematics. John Wiley & Sons, Inc. 2013.
