

DISCIPLINA DE PÓS-GRADUAÇÃO

SIGLA DA DISCIPLINA: PME 5325 SIGLA DO DEP: PME

NOME DA DISCIPLINA:

Fundamentos da Turbulência

ÁREA: ENGENHARIA MECÂNICA

Nº DA ÁREA: 3132

ANO /PERÍODO 2017 - 2º Período

Nº DE CRÉDITOS: <u>8</u>	-Aulas Teóricas: <u>3</u>
	-Aulas práticas, Seminários e Outros: <u>0</u>
	-Horas de Estudo: <u>7</u>

DURAÇÃO EM SEMANAS: 12

DOCENTE RESPONSÁVEL:

Prof. Dr Jayme Pinto Ortiz (Livre Docente - Professor Associado 3)

PROGRAMA

-OBJETIVOS:

Dar ao aluno uma formação básica no que se refere ao entendimento e utilização da teoria da turbulência e sua aplicação para escoamentos incompressíveis, possibilitando a familiarização com a literatura específica e a participação em cursos mais avançados e específicos.

-JUSTIFICATIVA:

O estudo da turbulência é fundamental tanto sob o ponto de vista da pesquisa básica, como sob o ponto de vista da pesquisa aplicada à Engenharia. No mundo real diversos são os casos de escoamentos turbulentos, que vão desde os escoamentos em sistemas arteriais do corpo humano, até os escoamentos geofísicos. Em todos esses casos, é necessário interpretar o escoamento turbulento, seja através de medições, seja através de utilização de técnicas de visualização de escoamentos, seja através de utilização de técnicas de modelagem. O curso oferece algumas ferramentas básicas para que o aluno possa compreender a teoria geral da turbulência, dentro do estado da arte atual, e possa iniciar um trabalho de entendimento das técnicas mencionadas acima, aprimorando tal entendimento em cursos subseqüentes.

-CONTEÚDO:

Trata-se de um curso básico de turbulência, que discute, sob o ponto de vista fenomenológico, matemático e experimental o estado da arte da teoria da turbulência aplicada a escoamentos incompressíveis. É portanto um curso fundamental a todos aqueles que querem se aprofundar na área de energia e fluidos.

1. INTRODUÇÃO:

Histórico. Considerações iniciais sobre escalas de turbulência. A experiência de Reynolds. Considerações complementares.

2. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A CINEMÁTICA E A DINÂMICA DOS FLUIDOS

Teoria do movimento elementar da partícula fluida. Tensor simétrico e antissimétrico. Considerações sobre fluidos newtonianos e não-newtonianos. Equações do movimento: continuidade, Navier-Stokes, energia cinética, vorticidade.

3. INSTABILIDADES HIDRODINÂMICAS E TRANSIÇÃO PARA A TURBULÊNCIA

Considerações gerais. Conceito de estabilidade de escoamentos sujeitos a pequenas perturbações. Teoria Linear da Estabilidade: Equação de Orr-Sommerfeld. Amplificações espaciais e temporais. Comparação entre a teoria da estabilidade e a análise experimental. Transição para a turbulência.

4. A NATUREZA DA TURBULÊNCIA

Definição da Turbulência. Turbulência plena e livremente desenvolvida. Métodos de análise de escoamentos turbulentos. Teoria de Kolmogorov. Escalas de turbulência. O conceito de difusividade e de viscosidade turbulenta. Dinâmica da turbulência isotrópica. O fenômeno de esticamento de vórtices (“vortex stretching”) e de cascata de energia. Interpretação das várias camadas do espectro. Exercícios.

5. A CINEMÁTICA E A DINÂMICA DA TURBULÊNCIA A PARTIR DA APROXIMAÇÃO ESTATÍSTICA UTILIZANDO-SE AS EQUAÇÕES BÁSICAS DA MECÂNICA DOS FLUIDOS

Mecanismo da turbulência. Aproximação estatística da turbulência: Equações Básicas (continuidade, quantidade de movimento, energia e vorticidade). Equação de Reynolds da quantidade de movimento do escoamento médio. Tensões de Reynolds. Equações para a energia cinética da turbulência e do escoamento médio.

Produção e dissipação de turbulência. Análise de dados aleatórios. Processos aleatórios estacionários e ergódicos. Conceito de média estatística e média temporal. Registros finitos de séries temporais. Momentos de diversas ordens de sinal aleatório. Função de densidade de probabilidade. Função de correlação. Escala integral de comprimento e tempo.

6. TURBULÊNCIA EM ESTRUTURAS DE DISSIPÇÃO DE VERTEDORES DE USINAS HIDRELÉTRICAS COM FORMAÇÃO DO RESSALTO HIDRÁULICO - ESTUDOS DE CASOS.

Lei de parede. Lei logaritmica universal de Karman-Prandtl para parede lisa e rugosa. Discussão da sub-camada viscosa, da camada de transição e da camada logaritmica. Análise de dados experimentais em canais e tubulações. O ressalto hidráulico como dissipador de energia. Flutuações de velocidade e de pressão no ressalto hidráulico. Bacias de dissipação. Transdutores de pressão e medidores instantâneos de velocidade. Estudos de caso: Ilha Solteira, Porto Colômbia e outros.

7. JATOS E PLUMAS TURBULENTAS – EMISSÁRIOS SUBMARINOS E SUBAQUÁTICOS – ESTUDOS DE CASO.

Turbulência livre. Jatos e plumas turbulentas. Modelagem de jatos e plumas turbulentas em meio hídrico (modelagem física e computacional). Discussão de resultados. Difusão e advecção de jatos e plumas turbulentas. A disposição de efluentes no mar através de descargas submersas – Emissários Submarinos. Descargas submersas de jatos de saídas simples e múltiplas. Sistemas difusores. Modelagem computacional. O conceito de zona de mistura. Noções da legislação ambiental. Estudos de caso: emissários submarinos da costa paulista.

8. ESTRUTURA DE TURBULÊNCIA DE PAREDE NOS ESCOAMENTOS COM SOLUÇÕES POLIMÉRICAS

O fenômeno da redução de atrito em soluções poliméricas: uma visão geral. Estudos experimentais. Medição de perfis de velocidade em instalações experimentais. Lei de parede. Análise das alterações da estrutura da turbulência quando da adição de polímeros solúveis em água.

9. TURBULÊNCIA NOS ESCOAMENTOS EM SISTEMAS ARTERIAIS

O escoamento sanguíneo através do sistema circulatório. Sístole e diástole. Forças que dirigem ou que se opõem ao fluxo sanguíneo. O escoamento de Poiseuille e a resistência total periférica. A semelhança dinâmica e os números adimensionais no escoamento através do sistema circulatório. Perfil de velocidade em escoamento não permanente. O estabelecimento da turbulência em escoamentos pulsáteis fisiológicos. Fluxo em fístula artério-venosa. Fluxo em aneurisma. Fluxo em válvulas cardíacas: Simulações experimentais e computacionais. Redução de arrasto.

-BIBLIOGRAFIA: Básica:

- Tennekes, H. & Lumley, J. L. “A First Course in Turbulence”. MIT Press, Cambridge, Mass., 1972.
- Poppe, S. B. “Turbulent Flows ”. Cambridge University Press. First edition 2000.
- Davidson, P.A . Turbulence. An introduction for scientists and engineers. Oxford University Press. First published, 2004.
- Ortiz,J.P. “Fundamentos da Turbulência de Escoamentos Incompressíveis Aplicados à Engenharia, 2010|”. Site: disciplinas.stoa.usp.br

Bibliografia Adicional:

- Bazan. O. “Estudo experimental de escoamento pulsátil através de biopróteses valvulares cardíacas mitrais a partir do desenvolvimento de um simulador do lado esquerdo do coração”. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica, 2014.
- Bessa, K.L. Redução de arrasto por adição de polímero em tubos arteriais caudais de ratos normotensos e hipertensos e tubos rígidos. Tese de doutorado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Mecânica.2008.
- Bessa, K.L.; Ortiz, J.P. Flow visualization in arteriovenous fistula and aneurysm using computational fluid dynamics. Journal of Visualization, Vol.12, No.2, April 2009, pp.95-107.2009.
- Bradshaw, P. “Turbulence: the chief outstanding difficulty of our subject”. Experiments in Fluids 16 – Springer –Verlag, pp. 203-216.
- Capra,F. . A Teia da Vida. Editora Cultrix, São Paulo, 256 p.1996.
- Chevray, R. & Mathieu, T. “ Topics in Fluid Mechanics “ . Cambridge University Press, 1983, 320 p.
- Davidson, L. An Introduction to Turbulence Models. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Sweden, November 2003, 48 p.
- Fortis,R.M.; Ortiz,J.P. “Modelagem computacional da dispersão da pluma de efluente do emissário submarino do TEBAR – Petrobrás”. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH, João Pessoa-PR, 2005.
- Frisch, U. & Orszag, S. A. “Turbulence Challenges for Theory and Experiments” . Physics Today, 1990, pp. 24-32.
- Frisch, U. “ Turbulence” . Cambridge University Press, 1995.

- Gyr A. & Bewersdorff, W. “ Drag Reductions of Turbulent Flows by Additives”. Kluwer Academic Publishers, 1995.
- Kleinstreuer, C. “Engineering Fluid Mechanics”. Cambridge University Press, 1997, 534 p.
- Ku David N. “Blood Flow in Arteries”. Annual Review Fluid Mechanics, 29:399 – 434, 1997.
- Landahl, M.T. & Mollo-Christensen, E. “ Turbulence and Random Processes in Fluid Mechanics”. DCW Industries, La Canada, California, 1991.
- Lamparelli, C.; Ortiz, J.P. “Emissários Submarinos: Projeto Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento”. CETESB/EPUSP, 2006, 240 p.
- Legendre, D.F..Estudo do comportamento do fluxo através de modelo físico computacional de aneurisma de aorta infra-renal obtida por tomografia. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Mecânica.2009.
- Lesieur, M. “Turbulence in Fluids”. Second revised edition, Kluwer Academic Publishers, 1990.
- Munson, B.R.; Young, D.F.; Okiishi, T.H. “ Fundamentos da Mecânica dos Fluidos”. Ed. Edgard Blucher, 571 p., 2002.
- Nezu, I. & Nakagawa, H. “Turbulence in Open-Channel Flows”. IAHR Monograph Series. A.A. Balkema/Rotherdam/Brookfields, 1993, 281 p.
- Ortiz, J. P. “ As pressões e velocidades instantâneas induzidas pelo escoamento turbulento”. Revista Latinoamericana de Hidráulica, nº 1, 1987, 55p.
- Ortiz, J. P. “ Estrutura e resolução de pressões flutuantes – sua análise randômica na base do ressalto hidráulico”. Tese apresentada a EPUSP, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, 1989, vol. 1 e 2.
- Ortiz, J. P.; Toso, J. W.; Bowers, C.; Farel, C. “ A velocidade de convecção no ressalto hidráulico”. Memória do XIV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, vol.1, 1990, pp. 261-272.
- Ortiz, J. P.; Spinola, F.; Saltara, F. “Critérios de escolha de transdutor elétrico de pressão como padrão de medida para laboratório de hidráulica”. Anais do XV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, vol.3, 1992, pp. 487-498.
- Ortiz, J. P. & Alonso, G. V. “ Estudo da influência da poliacrilamida IQAPOL PA na redução de atrito em escoamento turbulento”. Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, Vol.XX –No.2 – pp.219-232, 1998.
- Ortiz, J. P.; Almeida, F. M.; Carvalho, E.; Borsari, R. D. “Medições em protótipo de flutuações de pressão na bacia de dissipação da Usina de Porto Colômbia” . Anais Transição e Turbulência – I Escola de Primavera Vol.1, 1998, pp. 293-320.

- Potter, M.C.; Wiggert, D.C.; Hondzo, M. “Mechanics of Fluids”. Books International, Second Edition, 752 págs.
- Streeter, V.L.; Wylie, E.B.; Bedford, K.W. “Fluid Mechanics”. McGraw – Hill, Ninth Edition, 1998, 740 págs.
- White, F. “Viscous Fluid Flow”. McGraw-Hill. Series in Mechanical Engineering Second Edition, 1991.
- Waite, L; Fine J. “Applied Biofluid Mechanics”. Copyright@2007, by McGraw – Hill Companies, 333p.
- Outras referências serão apresentadas durante o curso.

Critério de Avaliação

$$MF = 0,6 * MP + 0,4 * MES$$

onde: MF → média final;

MP → nota de prova;

MES → média de exercícios, trabalhos práticos e seminários.