



## Plano de Ensino para o Ano Letivo de 2021

IDENTIFICAÇÃO		
Disciplina: Mecânica dos Fluidos II		Código da Disciplina: EMC612
Course: Fluid Mechanics II		
Materia: Mecánica de los Fluidos II		
Periodicidade: Anual	Carga horária total: 80	Carga horária semanal: 01 - 00 - 01
Curso/Habilitação/Ênfase: Engenharia Mecânica Engenharia Mecânica Engenharia Mecânica	Série: 4 4 4	Período: Diurno Noturno Noturno
Professor Responsável: Joseph Youssif Saab Junior	Titulação - Graduação Engenheiro Mecânico	Pós-Graduação Doutor
Professores: Joseph Youssif Saab Junior João de Sa Brasil Lima	Titulação - Graduação Engenheiro Mecânico Engenheiro Mecânico	Pós-Graduação Doutor Doutor
MODALIDADE DE ENSINO		
Presencial: 30% Mediada por tecnologia: 70%		
* Em qualquer modalidade a entrega de atividades e trabalhos deve ser realizada segundo orientações do professor da disciplina.		
ATIVIDADES DE EXTENSÃO		
A DISCIPLINA NÃO CONTEMPLA ATIVIDADES DE EXTENSÃO.		
EMENTA		
<p>Descrição Euleriana e Lagrangiana do movimento fluido. Linhas de Corrente, Emissão e Trajetórias. Visualização de escoamento. Cinemática do escoamento. Aceleração da partícula de fluido. Equação da Conservação da Massa diferencial (Eq. Continuidade). Equação Diferencial da Quantidade de Movimento (Navier-Stokes). Breve descrição da turbulência e problema de fechamento matemático para solução numérica. Equação Diferencial da Energia. Camada Limite Laminar e Turbulenta. Integral de Von Kármán. Arrasto sobre placa plana em escoamento laminar e turbulento. Escoamento sobre corpos rombudos. A crise do arrasto nos cilindros e esferas. O número de Strouhal. Escoamento ao redor de aerofólios. Escoamento compressível. Choque. Bloqueio. Linhas de Fanno e Rayleigh.</p> <p>Simulações em CFD (ANSYS CFD) de escoamento em junções (conservação da massa), ao redor de cilindro (Interação fluido-estrutura), propulsão à jato (conservação da quantidade de movimento) e onda de choque escoamento compressível). Simulações 2D de aerofólios (XFLR5).</p> <p>Experimentos: escoamento ao redor de cilindros e aerofólios (Túnel de Vento ou soprador Leybold); escoamento compressível (F810, Lab. de Termo).</p>		



### SYLLABUS

Eulerian and Lagrangian description of fluid movement. Streamlines, Emissions and Trajectories. Flow visualization. Flow kinematics. Acceleration of a fluid particle. Equation of Conservation of Mass in differential form (Eq. Continuity). Navier-Stokes Differential Equation of Motion. Brief description of turbulence and mathematical closure problem for numerical solution (CFD). Equation of Energy in differential form. Laminar and Turbulent Boundary Layer. Von Kármán integral equation for the boundary layer. Drag on a flat plate in laminar and turbulent flows. Flow over blunt bodies. The drag crisis on cylinders and spheres. Strouhal's number. Flow around airfoils. Compressible flow. Shock. Choking and Blockage. Fanno and Rayleigh Lines.

CFD (ANSYS codes) simulations of a mixture box or "T" joint (mass conservation); flow around a cylinder (Fluid-Structure Interaction or FSI), jet propulsion (conservation of momentum) and compressible flow with shock wave). 2D Airfoil Simulations with XFLR5.

Experiments: flow around cylinders and airfoils (Wind Tunnel or Leybold blower); compressible flow (F810, Thermodynamics Lab).

### TEMARIO

Descripción euleriana y lagrangiana del movimiento fluido. Líneas de corriente, emisiones y trayectorias. Visualización de flujo. Cinemática de flujo. Aceleración de una partícula fluida. Ecuación de Conservación de Masa en forma diferencial (Ec. Continuidad). Ecuación diferencial de movimiento de Navier-Stokes. Breve descripción del problema de turbulencia y cierre matemático para la solución numérica (CFD). Ecuación de energía en forma diferencial. Capa límite laminar y turbulenta. Ecuación integral de Von Kármán para la capa límite. Arrastre sobre una placa plana en flujos laminares y turbulentos. Fluye sobre cuerpos romos. La crisis de arrastre en cilindros y esferas. El número de Strouhal. Fluye alrededor de las superficies de sustentación. Flujo compresible. Conmoción. Asfixia y bloqueo. Líneas de Fanno y Rayleigh.

CFD (códigos ANSYS) simulaciones de una caja de mezcla o junta "T" (conservación de masa); alrededor de un cilindro (interacción fluido-estructura o FSI), propulsión a chorro (conservación del momento) y flujo compresible con onda de choque). Simulaciones 2D de perfil aerodinámico con XFLR5.

Exp: flujo alrededor de cilindros y perfiles; esc. compres.

### CONHECIMENTOS PRÉVIOS NECESSÁRIOS PARA O ACOMPANHAMENTO DA DISCIPLINA

Em se tratando de uma disciplina de Ciência de Engenharia, os conhecimentos prévios necessários para o acompanhamento devem estar contemplados nas disciplinas do ciclo básico que contemplam, particularmente, os seguintes tópicos:

- Geometria e Visão Espacial;
- Física;
- Mecânica Geral;
- Cálculo Diferencial e Integral.

Além disto, são necessários os conhecimentos ministrados na disciplina EMC611 - Mecânica dos Fluidos I.



## COMPETÊNCIAS DESENVOLVIDAS NA DISCIPLINA

### COMPETÊNCIA 1:

1) Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica. 2) Dominar o ciclo completo de investigação dos aspectos analítico, numérico e experimental de um mesmo fenômeno, aprendendo a conciliar as diferenças encontradas no conhecimento interdisciplinar coordenado entre as disciplinas da área de energia e fluidos e demais disciplinas do curso de Engenharia Mecânica. 3) Conceber modelos numéricos e simulações para prever resultados de projetos inovadores e acelerar o ciclo de desenvolvimento de produtos no ambiente da indústria.

## OBJETIVOS - Conhecimentos, Habilidades, e Atitudes

**Conhecimentos:** Ampliar a base de conhecimentos e ferramentas adquiridas pelos alunos na disciplina EMC611 - Mecânica dos Fluidos I, preparando-os para resolver problemas importantes na indústria e na pesquisa, especialmente aqueles relacionados às áreas de atuação dos engenheiros Mecânicos e Químicos.

**Habilidades:** abordagem de engenharia para a solução de problemas complexos (característica muito procurada pela indústria). Soluções analíticas, numéricas e experimentais. Modelagem de fenômenos (muito importante para quem vai fazer pesquisa ou trabalhar na área).

**Atitudes:** despertar a curiosidade do aluno na observação de fenômenos físicos não intuitivos. Despertar sua capacidade de aplicar e compartilhar o aprendizado. Estudo contínuo durante o curso e não apenas em véspera de provas. Atitude de respeito para com os colegas e professor. Atuação ética e honesta.

## ESTRATÉGIAS ATIVAS PARA APRENDIZAGEM - EAA

Aulas de Teoria - Sim

Aulas de Laboratório - Sim

## LISTA DE ESTRATÉGIAS ATIVAS PARA APRENDIZAGEM

- Peer Instruction (Ensino por pares)
- Sala de aula invertida
- Problem Based Learning

## METODOLOGIA DIDÁTICA

Disponibilização do material para estudo antes de cada aula. Discussão da importância de cada conceito introduzido, com exemplos atuais e importantes de aplicação. Explicações teóricas acompanhadas de aplicações na mesma aula (exercícios, experimentos, simulações numéricas). Amplas oportunidades de fixação dos tópicos via exercícios, pesquisas e atividades. Aplicação de atividades ativas de aprendizagem (em especial PBL e Peer Learning e alguns casos de sala de aula invertida). Amplo uso de softwares de simulação e equipamentos de laboratório. Desafios extras opcionais para desenvolver a competência em problemas complexos e multidisciplinares, nas listas de exercícios.



### INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

NENHUM INSTRUMENTO DE AVALIACAO FOI ADICIONADA.

### AVALIAÇÃO (conforme Resolução RN CEPE 16/2014) e CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO

Disciplina anual, com trabalhos e provas (duas e uma substitutiva).

Pesos dos trabalhos:

$k_1$ : 1,0  $k_2$ : 2,0  $k_3$ : 3,0  $k_4$ : 2,0  $k_5$ : 2,0  $k_6$ : 4,0  $k_7$ : 3,0

Peso de MP( $k_p$ ): 1,0

Peso de MT( $k_T$ ): 1,0

### INFORMAÇÕES SOBRE INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

### CONTRIBUIÇÃO DA DISCIPLINA

O conjunto constituído pelas disciplinas EMC611 - Mecânica dos Fluidos I e EMC612 - Mecânica dos Fluidos II são disciplinas de Ciência de Engenharia, que têm a função primordial de estabelecer uma ponte entre as disciplinas do ciclo básico e as disciplinas aplicadas da Engenharia, em particular da Engenharia Mecânica, Química e Civil, que utilizam os conceitos de Mecânica dos Fluidos. A Disciplina EMC612 prepara o aluno para atuar com desenvoltura na Indústria e em pesquisa e desenvolvimento (simulação, consultoria, transformação, química, petroquímica, aviação - tanto fabricantes quanto transporte aéreo - energias convencionais e renováveis - equipamentos hidráulicos e pneumáticos, naval, aeroespacial, tratamento de água, usinas hidrelétricas, eólicas, nucleares, etc.). A disciplina também fornece elementos importantes para todos os projetos integradores (projeto e construção de sistemas integrados e multidisciplinares, como são todos os equipamentos reais) que o aluno irá realizar na graduação e pós graduação, além da sua vida profissional.

### BIBLIOGRAFIA

#### Bibliografia Básica:

FOX, Robert W; McDONALD, Alan T. Introduction to fluid mechanics: SI version. 4. ed. New York: John Wiley, 1994. 781 p. ISBN 0-471-59274-9.

FOX, Robert W; McDONALD, Alan T. Introdução à mecânica dos fluidos. Tradução de Alexandre Matos de Souza Melo. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Dois, 1995. 662 p. ISBN 85-216-1078-5.

FOX, Robert W; McDONALD, Alan T; PRITCHARD, Philip J. Introdução à mecânica dos fluidos. Trad. de Ricardo Nicolau Nassar Koury e Geraldo Campolinha França. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 798 p. ISBN 8521614683.

WHITE, Frank M. Mecânica dos fluidos. 8. ed. São Paulo: AMGH, 2018. 848 p. ISBN 9788580556063.

**Bibliografia Complementar:**

CEBECI, Tuncer. Turbulence models and their application: efficient numerical methods with computer programs. Long Beach, CA: Horizons Pub, 2004. 118 p. ISBN 0966846168.

COELHO, João Carlos Martins. Energia e Fluidos: Mecânica dos Fluidos. : Blucher, 2016. v. 2. 394 p. ISBN 9788521209478.

CURRIE, I. G. Fundamental mechanics of fluids. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1993. 454 p.

DAVIDSON, Peter Alan. Turbulence: an introduction for scientists and engineers. Oxford: Oxford University, 2004. ISBN 019852949X.

FAY, James A. Introduction to fluid mechanics. Cambridge: MIT, 1998. 605 p. ISBN 0-262-06165-1.

HOERNER, Sighard F. Fluid-dynamic drag: practical information on aerodynamic drag and hydrodynamic resistance. Bakersfield: Hoerner Fluid Dynamics, 1965.

MUNSON, Bruce R; YOUNG, Donald F; OKIISHI, Theodore H. Fundamentos da mecânica dos fluidos. trad. da 4. ed. americana por Euryale de Jesus Zerbini. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2008. 571 p. ISBN 8521203438.

PANTON, Ronald L. Incompressible flow. New York: John Wiley, 1984. 780 p.

SCHLICHTING, Hermann. Boundary-layer theory. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 1968. 747 p.

SHAMES, Irving Herman. Mechanics of fluids. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1992. 858 p. (McGraw-Hill Series in Mechanical).

TENNEKES, H; LUMLEY, J. L. A first course in turbulence. Cambridge: MIT, 1972. 300 p. ISBN 0262200198.

<b>SOFTWARES NECESSÁRIOS PARA A DISCIPLINA</b>
--

<p>Ansys Campus Solution, CFD (CFX e Fluent) e Flownex. XFLR5. Matlab ou Wolfram Mathematica.</p>
---

<b>INFORMAÇÕES SOBRE PROVAS E TRABALHOS</b>
---

<p>Os coeficientes para as notas de trabalhos estão especificados a seguir:</p>
---

<p>a) Primeiro Semestre:</p>
------------------------------



k1, k3, k4 e k5: correspondem a atividades feitas em sala, em duplas.

k2: corresponde a trabalho principal de pesquisa realizado pelos alunos, em duplas, fora de sala.

b) Segundo Semestre:

k6: corresponde ao trabalho principal que terá as seguintes partes: (i) teórica, (ii) simulação numérica e (iii) experimento prático. Os alunos deverão entregar relatório completo com as 3 partes ao final do mesmo.

k7 e k8: correspondem a atividades feitas em sala, em duplas.

Em função do DECRETO Nº 64.881, DE 22 DE MARÇO DE 2020 e suas sucessivas prorrogações determinando Quarentena obrigatória no Estado de São Paulo, todas as avaliações realizadas a partir daquela data e até que haja encerramento da Quarentena e autorização Estadual para retomada específica das aulas presenciais, serão realizadas via Plataforma de Ensino Mediado por Tecnologia, incluindo mas não se limitando aos trabalhos (T1 a T5) e Provas (P1) do primeiro semestre de 2020. Todos os alunos possuem acesso à Plataforma, fornecido pelo IMT. A realização das atividades (trabalhos e provas) ocorre em forma síncrona, em dias e horários de aula ou conforme o calendário pré-estabelecido de provas da Instituição.



### OUTRAS INFORMAÇÕES

Veja o planejamento detalhado de aulas no MoodleRooms para mais informações.



## APROVAÇÕES

Prof.(a) Joseph Youssif Saab Junior  
Responsável pela Disciplina

Prof.(a) Susana Marraccini Giampietri Lebrao  
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Núcleo Docente Estruturante (NDE)

Data de Aprovação:





PROGRAMA DA DISCIPLINA		
Nº da semana	Conteúdo	EAA
1 T	Semana PRINT (programa de acolhimento dos calouros, somente).	0
2 L	Apresentação da Disciplina. Ementa. Avaliação. Competências. Metodologia de Ensino. Referências Bibliográficas. Regras de Convivência. Termo de Compromisso. Atividades Ativas (i) e (ii)	11% a 40%
3 T	Revisão de conceitos importantes: classificação de escoamento, campo de velocidades, aceleração, derivadas, série de Taylor, etc. Exercícios de recordação, em sala.	11% a 40%
4 L	Cinemática dos Escoamentos. Linhas de Corrente, Trajetórias, Linhas de Emissão. Atividade: baixar aplicativo e discutir escoamentos com o professor. Filme sobre visualização + quiz	11% a 40%
5 T	A Equação Diferencial da Conservação da Massa. Casos especiais. Exercícios em sala.	41% a 60%
6 T	Resolução de exercícios.	61% a 90%
7 L	Laboratório CFD: Equação de Conservação da Massa.	91% a 100%
8 T	Dia não letivo.	0
9 L	Entrega do T2 com apresentação das equipes sorteadas	41% a 60%
10 T	Semana de Provas P1	0
11 L	Teoria e Exercícios: A Equação Diferencial da Conservação da Quantidade de Movimento (Navier-Stokes). Casos Particulares. Exercícios. Recomendação de Atividade (Lista 03).	11% a 40%
12 T	Exercícios (ECQM).	41% a 60%
13 L	Fundamentos do método de CFD. Exercícios. Lista 4	11% a 40%
14 T	Conceitos de turbulência. O problema de fechamento das EQ NS no escoamento Turbulento.	0
15 L	Semana SMILE	0
16 T	Exercícios e realização atividade avaliativa T4.	91% a 100%
17 L	Dia não letivo.	0
18 T	Solução numérica de problema envolvendo Eq Diferencial da Quantidade de Movimento (NS).	41% a 60%
19 L	Prova P2	0
20 T	Prova P2	0
23 T	Teoria e Exercícios: Camada limite: solução integral.	11% a 40%
24 L	Teoria e Exercícios: Arrasto sobre Placa Plana, camada limite laminar e turbulenta.	41% a 60%
25 T	Escoamento ao redor de corpos rombudos. Vibração Induzida por vórtices. Escoamento ao redor de Cilindros. Filmes recomendados e aplicativos de visualização. Descrição dos fenômenos envolvidos. A crise do arrasto.	11% a 40%
26 L	Laboratório: escoamento ao redor de cilindro.	91% a 100%
27 T	Laboratório CFD, escoamento ao redor de cilindro.	91% a 100%



28 L	Teoria de escoamento sobre corpos aerodinâmicos. Visualização de arrasto e sustentação no App Wind Tunnel Pro ou Wind Tunnel Light.	11% a 40%
29 T	Semana P3	0
30 L	Entrega do T6 com apresentação das equipes sorteadas.	91% a 100%
31 T	Usando o XFRL5 para simular o escoamento em torno de aerofólios. Exercícios sobre escoamento em torno de corpos aerodinâmicos.	61% a 90%
32 L	Laboratório: Escoamento compressível: a distribuição de pressão e o fenômeno do afogamento (choking) em Bocal Convergente (C) e Convergente-Divergente (A). Equipamento F810, sala F9 (Nozzle Pressure Distribution Unit).	91% a 100%
33 T	Teoria: Revisão de Termodinâmica para Escoamento Compressível, velocidade do som, escoamento permanente, adiabático e isentrópico.	0
34 L	Propriedades locais de estagnação. Propriedades Críticas. Equações 1D para Escoamento Compressível. Exercícios.	11% a 40%
35 T	Escoamento isentrópico em bocais convergentes. Escoamento isentrópico em bocais convergentes-divergentes. Exercícios.	11% a 40%
36 L	Estudo para a P4.	91% a 100%
37 T	Semana P4	0
38 T	Semana P4	0
39 L	Escoamento compressível em canais, com choque. Escoamento com atrito. Escoamento com troca de calor.	0
40 T	Plantão de Dúvidas	0
41 L	PS2	0
Legenda: T = Teoria, E = Exercício, L = Laboratório		