



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Mecânica



PLANO DE ENSINO

Em caráter excepcional e transitório, para substituição do ensino presencial pelo ensino não presencial, enquanto durar a pandemia do novo coronavírus (COVID-19), em atenção à Portaria MEC No 544, de 16 de junho de 2020, à Resolução Normativa No 140/2020/CUn, de 21 de julho de 2020, à Portaria Normativa No 379/2020/GR, de 9 de novembro de 2020, e à Resolução N° 30/2020/CUn, de 1° de dezembro de 2020.

EMC5425 – Fenômenos de Transporte

1) Identificação

Carga horária: 72 horas-aula teóricas.

Turma: 04211

Nome do professor: Amir Antônio Martins de Oliveira Junior (amir.oliveira@gmail.com)

Período: 2° semestre de 2020

2) Curso

211 Engenharia Sanitária e Ambiental

3) Requisitos

FSC5002 ou FSC5112

4) Ementa

Conceitos fundamentais em mecânica dos fluidos; dimensões e unidades; campos escalar, vetorial e tensorial; viscosidade. Hidrostática; pressão em fluido estático, manômetros; forças sobre superfícies planas e curvas submersas. Análise de escoamento; leis básicas para sistemas e volumes de controle; conservação da massa; equação da quantidade de movimento linear; primeira lei da termodinâmica; equação de Bernoulli. Escoamento viscoso incompressível; escoamento em tubos; diagrama de Moody; perdas de carga distribuídas e localizadas. Conceitos fundamentais em transmissão de calor; dimensões e unidades; leis básicas da transmissão de calor; condução, convecção e radiação; mecanismos combinados de transmissão de calor. Condução unidimensional em regime permanente; espessura crítica de isolamento; aletas; estruturas compostas. Difusão molecular e transporte de massa.

5) Objetivos

Geral:

Ao final da disciplina, o aluno adquirirá uma compreensão dos fenômenos físicos envolvidos no escoamento de fluidos newtonianos e incompressíveis, na transferência de calor e na conversão de energia, tornando-o capaz de entender e descrever as características gerais desses fenômenos e habilitando-o a fazer análises simplificadas e projetos preliminares envolvendo o escoamento de fluidos newtonianos e transferência de calor.

Específicos:

1. Calcular forças sobre superfícies planas submersas e em flutuação.
2. Utilizar manômetros em U para a medição de pressão de fluidos.
3. Aplicar as formulações para volume de controle da conservação da massa, conservação da quantidade de movimento linear e conservação da energia na análise de escoamentos simples.
3. Resolver problemas relacionados com a medição de vazão por obstrução de escoamentos.
4. Solucionar problemas de perda de carga em tubulações e cálculo da potência de bombas, ventiladores, turbinas e rotores eólicos.
5. Compreender os mecanismos de transferência de calor e de conversão de energia mais usuais.
6. Solucionar problemas de transferência de calor envolvendo paredes compostas, condução com geração de energia térmica, aletas, e transferência de radiação entre superfícies cinzas, opacas e difusas.
7. Solucionar problemas envolvendo a conversão de energia por efeito Joule, Peltier, absorção de micro-ondas, absorção e emissão de radiação, mudança de fase e reação química.
8. Solucionar problemas transientes pela formulação da capacitância global.
9. Compreender os fundamentos da difusão de massa.
10. Desenvolver a capacidade de formular e planejar a busca de soluções para problemas de mecânica dos fluidos e transferência de calor.
11. Desenvolver a capacidade de comunicação técnica efetiva na análise e discussão de problemas que envolvam o escoamento de fluidos e transferência de calor.

6) Conteúdo Programático

1 Introdução [2 horas-aula]

- 1.1 Dimensões, magnitudes e escalas características
- 1.2 Aplicações
- 1.3 Teoria e empirismo
- 1.4 Metodologia de solução de problemas
- 1.5 Escopo da disciplina

Parte I: Equilíbrio

2 Propriedades das substâncias nos estados gasoso, líquido e sólido [4 horas-aula]

- 2.1 Equilíbrio Termodinâmico
- 2.2 O estado gasoso
 - 2.2.1 Equação de estado dos gases ideais
 - 2.2.2 Mistura de gases ideais
 - 2.2.3 Comportamento de gases não-ideais
- 2.3 O estado líquido
 - 2.3.1 Equação de estado
 - 2.3.2 Equilíbrio líquido-vapor

- 2.4 O estado sólido
 - 2.4.1 Sólidos cristalinos
 - 2.4.2 Sólidos amorfos
- 2.5 O equilíbrio em interfaces

- 3 Equilíbrio estático em fluidos [10 horas-aula]
 - 3.1 Distribuição de pressão em fluidos em repouso
 - 3.1.1 Derivação da equação da estática dos fluidos
 - 3.1.2 Aplicações
 - 3.2 Forças e momentos em superfícies
 - 3.2.1 Distribuição de pressão em um fluido estático
 - 3.2.2 Forças em superfícies submersas planas
 - 3.2.3 Aplicações
 - 3.2.5 Momentos em superfícies submersas planas
 - 3.2.6 Aplicações
 - 3.3 Flutuação

Parte II: Mecânica dos Fluidos

- 4 Conservação da massa [4 horas-aula]
 - 4.1 Campo de velocidade
 - 4.2 Vazão mássica
 - 4.3 A conservação da massa para um volume de controle
 - 4.4 Aplicações
 - 4.4.1 Escoamento com múltiplas entradas e saídas
 - 4.4.2 Escoamento com interface livre
 - 4.4.3 Volume de controle com uma dimensão variável
- 5 Conservação da quantidade de movimento linear [4 horas-aula]
 - 5.1 A quantidade de movimento linear para uma partícula
 - 5.3 A conservação da quantidade de movimento linear para um volume de controle
 - 5.4 Aplicações
 - 5.4.1 Tubulação reta estacionária com seção transversal uniforme
 - 5.4.2 Tubulação curva estacionária com seção transversal uniforme
 - 5.4.3 Escoamento semi-confinado
 - 5.4.4 Volume de controle movendo-se com velocidade constante
- 6 Conservação da energia [4 horas-aula]
 - 6.1 A conservação da energia para uma partícula de fluido
 - 6.2 A conservação da energia para um volume de controle
 - 6.2.1 Energia
 - 6.2.2 Trabalho e potência
 - 6.3 Aplicações
 - 6.3.1 Tubulação reta com seção transversal uniforme
 - 6.3.2 Máquinas de fluxo
 - 6.3.3 Medição de vazão por obstrução do escoamento

7 Escoamento interno [6 horas-aula]

- 7.1 Conservação da massa
- 7.2 Conservação da energia
- 7.3 Conservação da quantidade de movimento linear
- 7.4 Escoamento laminar plenamente desenvolvido
 - 7.4.1 Placas planas paralelas
 - 7.4.2 Tubulação com seção transversal circular
 - 7.4.3 Tubulação com seção transversal arbitrária
- 7.5 Escoamento turbulento plenamente desenvolvido
- 7.6 Escoamento em acessórios de tubulações
- 7.7 Escoamento em meios porosos

8 Escoamento externo [4 horas-aula]

- 8.1 Escoamento ao redor de uma placa plana inclinada
 - 8.1.1 Conservação da massa
 - 8.1.2 Conservação da quantidade de movimento linear
 - 8.1.3 Balanço de forças sobre o sólido
- 8.2 Arrasto em corpos imersos no escoamento
 - 8.2.1 Placa plana paralela ao escoamento
 - 8.2.2 Cilindro em escoamento cruzado
 - 8.2.3 Esfera em um fluido infinito
 - 8.2.4 Bolha ou gota em fluido infinito
 - 8.2.5 Corpos com forma arbitrária

Parte III: Transferência de Calor

9 Conservação da energia térmica [2 horas-aula]

- 9.1 O vetor fluxo de calor
- 9.2 Equação da conservação da energia térmica na forma integral
- 9.3 Divergente do fluxo de calor
- 9.4 Conservação da energia térmica na forma integral
- 9.5 Conservação da energia térmica na forma diferencial
- 9.6 Metodologia de solução de problemas de transferência de calor

10 Conversão de energia térmica [4 horas-aula]

- 10.1 Conversão de energia eletromagnética
 - 10.1.1 Efeito Joule
 - 10.1.2 Efeitos termelétricos
 - 10.1.3 Absorção de microondas
 - 10.1.4 Absorção de radiação térmica
 - 10.1.5 Emissão de radiação térmica
- 10.2 Conversão de energia potencial
 - 10.2.1 Ligação física - Mudança de fase
 - 10.2.2 Ligação química - Reação química
- 10.3 Conversão de energia mecânica
 - 10.3.1 Compressão e expansão
 - 10.3.2 Dissipação viscosa

- 10.3.3 Atrito mecânico
- 10.3.4 Absorção de ultrassom
- 10.4 Conversão de energia por reação nuclear
 - 10.4.1 Fissão nuclear
 - 10.4.2 Fusão nuclear
 - 10.4.3 Decaimento radioativo

- 11 Condução [4 horas-aula]
 - 11.1 A equação da condução de calor
 - 11.1.1 Integração da equação da condução de calor
 - 11.1.2 Resistência térmica de condução
 - 11.1.3 Associação de resistências
 - 11.2 Metodologia de solução de problemas

- 12 Convecção superficial [4 horas-aula]
 - 12.1 Resistência térmica de convecção superficial
 - 12.2 Superfícies estendidas - aletas
 - 12.3 Previsão do coeficiente de convecção superficial
 - 12.4 Transferência de calor por convecção transiente – capacitância global

- 13 Radiação [4 horas-aula]
 - 13.1 O espectro de radiação eletromagnética
 - 13.2 Radiação térmica de corpo negro
 - 13.3 Propriedades de radiação
 - 13.3.1 Resistência superficial
 - 13.3.2 Resistência de fator de forma
 - 13.4 Transmissão de calor entre duas superfícies cinzas, difusas e opacas
 - 13.5 Modelagem por circuito térmico equivalente

- 14 Combinação de mecanismos [6 horas-aula]
 - 14.1 Questões teóricas
 - 14.2 Projetos

7) Metodologia

Nessa disciplina, desenvolvemos uma compreensão dos fenômenos de transporte de massa, de quantidade de movimento linear e de energia e das suas consequências em diversas aplicações da engenharia. Para obter esse entendimento, revisamos as teorias físicas fundamentais, formulamos essas teorias em modelos matemáticos, aplicamos os modelos em problemas típicos da engenharia e analisamos os resultados, identificando o alcance desses resultados e outros problemas relacionados que podem ser entendidos com os mesmos fundamentos. Para alcançar esses objetivos, o seu trabalho nessa disciplina consistirá em: (1) Entender os fenômenos físicos através do desenvolvimento das formulações e então, (2) entender as consequências desses fenômenos através da solução das atividades sugeridas.

Para desenvolver essas duas ações, a disciplina será oferecida por meios síncronos e assíncronos. As aulas expositivas, realizadas com ferramenta síncrona de vídeo-conferência, serão gravadas e

disponibilizadas aos alunos matriculadas na disciplina. As aulas síncronas terão por objetivo apresentar as deduções principais e discutir as dúvidas originadas na solução de problemas. Estas aulas síncronas serão realizadas no horário oficial da disciplina, nas segundas e quintas, das 13h30min às 15h00min, nos dias identificados no cronograma.

As atividades assíncronas, principalmente de solução de problemas e desenvolvimento de projetos, serão realizadas com o auxílio das Notas de Aula disponibilizadas no MOODLE. As notas de aula são organizadas em módulos, em linha com o cronograma apresentado abaixo. Cada módulo contém o conteúdo necessário e os problemas propostos, com respostas. Também serão propostos problemas especiais e projetos. Além das notas de aula, outros conteúdos poderão ser disponibilizados no MOODLE, conforme a necessidade.

Não será permitido gravar, fotografar ou copiar as aulas disponibilizadas no MOODLE. O uso não autorizado de material original retirado das aulas constitui contrafação – violação de direitos autorais – conforme a Lei nº 9.610/98 – Lei de Direitos Autorais.

8) Avaliação

A avaliação terá 3 componentes: 3 Provas (P1, P2, P3) e 3 Trabalhos (T1, T2, T3). Cada uma dessas atividades receberá uma nota entre 0,0 e 10,0. A média final será computada na forma:

$$MF = 0,6 \times (P1 + P2 + P3)/3 + 0,4 \times (T1 + T2 + T3)/3$$

As provas e os trabalhos serão realizados de forma não presencial (online) em datas e horários a serem definidos no Cronograma e anunciadas no MOODLE. O enunciado das avaliações será disponibilizado no MOODLE em dia e hora pré-estabelecidas e devolvidos via MOODLE. A duração da avaliação poderá mudar de acordo com a avaliação. As provas e trabalhos deverão ser feitos à mão, mas enviados como um arquivo no formato pdf. Gráficos, quando solicitados, poderão ser feitos usando Excell, Matlab, Octave, EES ou qualquer outro programa matemático.

As provas serão individuais. Espera-se que os alunos consultem apenas o próprio material, não se comuniquem com os colegas durante a realização das provas e não divulguem as suas soluções e/ou respostas. Espera-se que os alunos interajam com seus colegas na solução dos trabalhos.

Ao longo das aulas síncronas, também faremos alguns exercícios, conforme indicado no Cronograma. Os exercícios lhe ajudarão a avaliar o seu entendimento dos conteúdos e espera-se a sua participação nessas atividades.

Para ser aprovado, além do requisito da nota, o aluno deverá ter frequência igual a superior a 75%, que será aferida pela participação nas atividades síncronas e pelo acesso nas atividades assíncronas. Conforme parágrafo 2º do artigo 70 da Resolução 17/CUn/97, o aluno com frequência suficiente (FS) e média final no período (MF) entre 3,0 e 5,5 terá direito a uma nova avaliação ao final do semestre (REC), sendo a nota final (NF) calculada conforme parágrafo 3º do artigo 71 desta resolução, ou seja: $NF = (MF + REC) / 2$.

9) Cronograma

Sem.	Mês	Dia	Conteúdo	Modalidade	Horas-aula	
1	Fevereiro	1	Seg			
		2	Ter	Módulo 1. Introdução	Síncrona	2
		3	Qua			
		4	Qui	Módulo 2. Propriedades das substâncias nos estados gasoso, líquido e sólido	Síncrona	2
		5	Sex	Exemplos	Assíncrona	2
		6	Sab	Divulgação do Trabalho 1		
		7	Dom			
2		8	Seg			
		9	Ter	Módulo 3. Equilíbrio estático em fluidos: 3.1 Distribuição de pressão em fluidos em repouso	Síncrona	2
		10	Qua			
		11	Qui	Módulo 3. Equilíbrio estático em fluidos: 3.2 Forças e momentos em superfícies	Síncrona	2
		12	Sex	Exemplos	Assíncrona	2
		13	Sab			
3		14	Dom			
	15	Seg				
	16	Ter				
	17	Qua				
	18	Qui	Módulo 3. equilíbrio estático em fluidos - 3.3 Flutuação	Síncrona	2	
	19	Sex	Exemplos	Assíncrona	2	
	20	Sab	Entrega do Trabalho 1			
4	21	Dom				
	22	Seg	PROVA 1	Assíncrona	2	
	23	Ter				
	24	Qua				
	25	Qui	Módulo 4 - Conservação da Massa	Síncrona	2	
	26	Sex	Exemplos		2	
	27	Sab				
5	Março	28	Dom			
		1	Seg	Módulo 5 - Conservação da Quantidade de Movimento Linear	Síncrona	2
		2	Ter	Exemplos	Assíncrona	2
		3	Qua	Divulgação do Trabalho 2		
		4	Qui	Exemplos	Síncrona	2
		5	Sex			
		6	Sab			
6		7	Dom			
		8	Seg	Módulo 6 - Conservação da Energia	Síncrona	2

	9	Ter			
	10	Qua			
	11	Qui	Exemplos	Síncrona	2
	12	Sex			
	13	Sab			
	14	Dom			
7	15	Seg	Módulo 7 - Escoamento interno	Síncrona	2
	16	Ter	Exemplos	Assíncrona	2
	17	Qua			
	18	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	19	Sex			
	20	Sab			
	21	Dom			
8	22	Seg	Módulo 8 - Escoamento externo	Síncrona	2
	23	Ter			
	24	Qua			
	25	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	26	Sex	Entrega do Trabalho 2		
	27	Sab			
	28	Dom			
9	29	Seg	PROVA 2	Assíncrona	2
	30	Ter			
	31	Qua			
	1	Qui	Módulo 9 - Conservação da Energia Térmica	Síncrona	2
	2	Sex			
	3	Sab			
	4	Dom			
10	5	Seg	Módulo 10 - Conversão de energia térmica	Síncrona	2
	6	Ter			
	7	Qua	Divulgação do Trabalho 3		
	8	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	9	Sex			
	10	Sab			
	11	Dom			
11	12	Seg	Módulo 11 - Condução de Calor	Síncrona	2
	13	Ter			
	14	Qua			
	15	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	16	Sex			
	17	Sab			
	18	Dom			
12	19	Seg	Módulo 12 - Convecção Superficial	Síncrona	2
	20	Ter	Exemplos	Assíncrona	2

Abril

	21	Qua			
	22	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	23	Sex			
	24	Sab			
	25	Dom			
13	26	Seg	Módulo 13 - Radiação	Síncrona	2
	27	Ter			
	28	Qua			
	29	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	30	Sex			
	1	Sab			
	2	Dom			
14	3	Seg	Módulo 14 - Combinação de mecanismos	Síncrona	2
	4	Ter			
	5	Qua			
	6	Qui	Exemplos	Assíncrona	2
	7	Sex			
	8	Sab			
	9	Dom			
15	10	Seg	Exemplos	Assíncrona	2
	11	Ter			
	12	Qua	Entrega do Trabalho 3		
	13	Qui	PROVA 3	Assíncrona	2
	14	Sex			
	15	Sab			
	16	Dom			
16	17	Seg	Recuperação	Assíncrona	
	18	Ter			
	19	Qua			
	20	Qui	Recuperação	Assíncrona	
	21	Sex			
	22	Sab	Total de horas-aula		72

10) Bibliografia Básica

Oliveira Jr., Amir A. M., **Notas de Aula de Fenômenos de Transporte**, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 2020. (Disponibilizado integralmente no MOODLE).

11) Bibliografia Complementar

1. Fox, R. W., McDonald, A. T. e Pritchard, P.J., *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, 7ª. ed., Edgar Blucher, 2010 e edições posteriores.
2. Incropera, F. P., De Witt, D. P., *Fundamentos da Transferência de Calor*, 5ª. ed., LTC, 2003 e edições posteriores (com co-autoria de Bergmann e Levine).
3. Livi, C. P., *Fundamentos de Fenômenos de Transporte*, LTC, 2004 e edições posteriores