



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, e à Resolução Normativa Nº 140/2020/CUn, de 21 de julho 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: 1º 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 [2 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 [8 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 [8 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 [7 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 [2 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 [4 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 no YOUTUBE aos alunos matriculados 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) nas 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-estabelecidos e devolvidos via MOODLE. A duração da avaliação mudará de acordo com a avaliação. Espera-se que o aluno trabalhe individualmente na solução dos problemas das provas e discuta com seus colegas de classe a 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	
3	Setembro	31	Seg	Revisão dos Módulos 1 e 2	Síncrono
		1	Ter		
		2	Qua		
		3	Qui	Módulo 3 - 3.1. Equilíbrio estático em fluidos	Síncrono
		4	Sex		

4	5	Sab		
	6	Dom		
	7	Seg	(feriado)	
	8	Ter		
	9	Qua		
	10	Qui	3.2. Manometria	Síncrono
	11	Sex		
	12	Sab		
5	13	Dom		
	14	Seg	3.3 Forças e momentos em superfícies	Síncrono
	15	Ter		
	16	Qua		
	17	Qui	3.4 Flutuação	Síncrono
	18	Sex		
	19	Sab		
	20	Dom		
6	21	Seg	Módulo 4 - Conservação da Massa	Síncrono
	22	Ter	<b>Entrega Trabalho 1</b>	
	23	Qua		
	24	Qui	Exercícios	Assíncrono
	25	Sex	<b>Prova 1</b>	Avaliação
	26	Sab		
	27	Dom		
	7	28	Seg	Módulo 5 - Conservação da Quantidade de Movimento Linear
29		Ter		
30		Qua		
1		Qui	Exercícios	Assíncrono
2		Sex		
3		Sab		
4		Dom		
8		5	Seg	Módulo 6 - Conservação da Energia
	6	Ter		
	7	Qua		
	8	Qui	Exercícios	Assíncrono
	9	Sex		
	10	Sab		
	11	Dom		
	9	12	Seg	(feriado)
13		Ter		
14		Qua		
15		Qui	Módulo 7 - escoamento interno	Síncrono
16		Sex		
17		Sab		

		18	Dom		
10		19	Seg	Exercícios	Assíncrono
		20	Ter		
		21	Qua		
		22	Qui	Exercícios	Assíncrono
		23	Sex		
		24	Sab		
		25	Dom		
11		26	Seg	Módulo 8 - Escoamento externo	Síncrono
		27	Ter	<b>Entrega Trabalho 2</b>	
		28	Qua		
		29	Qui	Exercícios	Assíncrono
		30	Sex	<b>Prova 2</b>	
		31	Sab		
		1	Dom		
12		2	Seg	(feriado)	
		3	Ter		
		4	Qua		
		5	Qui	Módulo 9 - Conservação da Energia Térmica	Síncrono
		6	Sex		
		7	Sab		
		8	Dom		
13		9	Seg	Módulo 10 - Conversão de energia térmica	Síncrono
		10	Ter		
		11	Qua		
		12	Qui	Exercícios	Assíncrono
		13	Sex		
		14	Sab		
		15	Dom		
14		16	Seg	Módulo 11 - Condução de calor	Síncrono
		17	Ter		
		18	Qua		
		19	Qui	Exercícios	Assíncrono
		20	Sex		
		21	Sab		
		22	Dom		
15		23	Seg	Módulo 12 - Convecção superficial	Síncrono
		24	Ter		
		25	Qua		
		26	Qui	Exercícios	Assíncrono
		27	Sex		
		28	Sab		
		29	Dom		



16	Dezembro	30	Seg	Módulo 13 - Radiação	Síncrono
		1	Ter		
		2	Qua		
		3	Qui	Exercícios	Assíncrono
		4	Sex		
		5	Sab		
		6	Dom		
17		7	Seg	Módulo 14 - Combinação de mecanismos	Síncrono
		8	Ter	<b>Entrega Trabalho 3</b>	
		9	Qua		
		10	Qui	Exercícios	Assíncrono
		11	Sex	<b>Prova 3</b>	
		12	Sab		
		13	Dom		
18		14	Seg	Recuperação	Síncrono
		15	Ter		
		16	Qua		
		17	Qui	Recuperação	Síncrono
		18	Sex		
	19	Sab	Encerramento do semestre letivo		

## 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*, 7<sup>a</sup>. ed., Edgar Blucher, 2010 e edições posteriores.
2. Incropera, F. P., De Witt, D. P., *Fundamentos da Transferência de Calor*, 5<sup>a</sup>. 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