



PLANO DE ENSINO

Disciplina	ENM0194 – FUNDAMENTOS DE MAGNETOHIDRODINÂMICA
Curso	ENM - ENGENHARIA MECÂNICA
Professor(es)	FRANCISCO RICARD DA CUNHA
Semestre	2021/1
Pré-requisitos	ENM0082 – Mecânica dos Fluidos 2; IFD0179 – Física 3 ou IFD0224 – Física 3 Geral, além de exigir do aluno uma boa fluência em cálculo vetorial/tensorial.
Horário de aulas	<u>Quintas-feiras : 16h às 19h:50min.</u> Aulas expositivas teóricas e atividades no laboratório de Microhidrodinâmica e Reologia (Bancada de Microfluídica – bomba de seringa com fluido condutor em tubo capilar). Vídeos remotos no tópico magnetohidrodinâmica e aplicações. Atividades com duração semanal equivalente a 4 créditos.
Local	Laboratório de Microhidrodinâmica e Reologia – Grupo Vortex - Aplicativo MS-Temas e site: http://www.vortex.unb.br/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=692 .
Atendimento aos alunos	Sextas 16h-18h via reuniões remotas em salas no MS TEAMS, com horário pré-agendado.
Objetivos da Disciplina	<p>O objetivo desta disciplina verticalizada é contribuir para a formação do aluno de graduação em Engenharia Mecânica em temas interdisciplinares em voga, incrementar o processo de disseminação de novos conhecimentos associados à tecnologias de ponta e de grande abrangência no atual contexto da engenharia mecânica e ajudar numa formação complementar de excelência de alunos que porventura decidirem investir posteriormente em estudos de tópicos mais avançados de escoamentos fluidos em nível de pós-graduação. A disciplina tratará do estudo da interação entre um campo magnético e um fluido eletricamente condutor (não magnético ou polarizado) em movimento com uma vasto leque de aplicações em engenharia e ciências mecânicas como: lubrificação de sistema eixo-mancal de peças móveis, processos de aquecimento e bombeamento de fluidos eletricamente condutores, processos de misturas e levitação de metais líquidos. Os escoamentos MHD envolvem fluidos como metais líquidos, soluções salinas e gases ionizados aquecidos (i.e. magnetohidrodinâmica compressível). Para este fim, é necessário estabelecer os princípios fundamentais envolvidos no acoplamento entre as equações de Maxwell do eletromagnetismo e as equações hidrodinâmicas que regem o movimento do fluido condutor.</p> <p>A disciplina Fundamentos de Magnetohidrodinâmica será ofertada como disciplina optativa para o curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Tecnologia.</p> <p>A oferta da disciplina Fundamentos de Magnetohidrodinâmica tem por objetivo prover um incremento na formação do aluno de graduação em Engenharia Mecânica e áreas afins sobre os fundamentos envolvidos na formulação das equações acopladas da hidrodinâmica (equação de Cauchy/Navier Stokes) e eletromagnetismo (equações de Maxwell) para solução de escoamentos laminares de fluidos Newtonianos eletricamente condutores com ênfase em regimes de lubrificação, camada limite, difusão e advecção magnética, convecção natural de um fluido eletricamente condutor, além de propagação de ondas eletromagnéticas.</p>
Metodologia de Ensino	<p>- As aulas teóricas serão expositivas e compostas dos seguintes módulos (MOD): MOD1- Breve histórico da magnetohidrodinâmica e suas aplicações: visão qualitativa da matéria; MOD 2 - Forças e campos hidrodinâmicos e eletromagnéticos; MOD 3 - Teoremas do eletromagnetismo; MOD4 - Leis de conservação do Eletromagnetismo; MOD5- Equações Hidrodinâmicas ; MOD 6 - Equações governante de Maxwell e Navier-Stokes para Magnetohidrodinâmica (MHD); MOD7: Aproximação de escoamentos MHD para baixos números de Reynolds magnéticos.</p> <p>- 02 Atividades Experimentais: Escoamento de fluido condutor (solução salina) na bancada Bomba de Seringa – Viscometria Capilar.</p> <p>- Estudo dirigidos vinculados às aulas teóricas lecionadas e listas de exercícios de preparação dos alunos para prova.</p>

- Atividade de interpretação de fenômenos demonstrados em vídeos no tema de escoamentos magnetohidrodinâmicos.

OBS.: O material didático/pedagógico referente às listas de exercícios, aos estudos dirigidos, vídeos, roteiro experimental serão disponibilizado para os estudantes da disciplina ao longo do semestre na forma digitalizada via link:<http://www.vortex.unb.br/>.

Programa da Disciplina

MOD 1. Breve histórico da magnetohidrodinâmica e sua

aplicações: visão qualitativa da matéria;

MOD 2. Forças e campos hidrodinâmicos e

eletromagnéticos;

MOD 3. Teoremas do eletromagnetismo;

MOD 4. Leis de conservação do Eletromagnetismo

4.1 eq. Da continuidade, lei de Ampere, lei de

Ohm e lei de Biot-Savart

4.2 teorema de Poynting

4.3 equações de Maxwell

4.4 condições de contorno

4.5 força de campo eletromagnética (Lorentz)

tensor de tensões de Maxwell

4.6 lei de Faraday e vetor potencial

4.7. deslocamento de corrente, ondas eletromagnéticas

e ondas de Alfvén

MOD 5. Equações Hidrodinâmicas

5.1 Equação de Cauchy e equação de Navier-Stokes

5.2 Vorticidade, helicidade hidrodinâmica, momento ang

5.3. Lei de Biot-Savart - inversão da

vorticidade-velocidade

5.4. Equação geral da vorticidade e taxa de deformação

de linhas de vórtices

MOD 6. Equações governantes de Maxwell e

Navier-Stokes para Magnetohidrodinâmica (MHD)

6.1 parâmetros adimensionais em MHD

6.2 MHD incompressível - uma analogia com vorticidade

6.3 difusão e advecção de um campo magnético

6.4. Teorema de Alfvén para condutores ideais

6.5. Invariância da helicidade magnética em MHD ideal

MOD 7. Aproximação de escoamentos MHD

para baixos números de Reynolds magnéticos

7.1 escoamento unidirecionais de fluidos condutores

em regime de lubrificação

7.2 camada limite MHD (Hartmann) e escoamentos

em dutos

7.3 convecção natural em campos magnéticos

Legenda - MOD: módulo

Calendário de Atividades

- 29/07: Primeiro dia de aula da disciplina;
- 05/08: **MOD 1, MOD2**
- **12/08, 19/08, 26/08**: MOD3, MOD4
- **2/09, 9/09**: MOD4
- **9/09**: Entrega de todos os estudos dirigidos dos MODs 1 a 4
- **16/09, 23/09**: MOD5
- **30/09, 7/10, 14/10, 21/10**: MOD6 e
- Experimento na Bancada de Seringa – Fluido condutor
- **21/10, 28/10, 04/11**: MOD7
- **05/11**: Prova de Avaliação Final e entrega de estudos dirigidos MODs 5 a 7
- **06/11**: Último dia de aula do semestre 1/2021

Fig 1: Calendário UnB – 1/2021

JULHO							AGOSTO							SETEMBRO							OUTUBRO							NOVEMBRO																																																																																																																																													
D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S																																																																																																																																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
01 – Primeiro dia de aula.							13 – 25% de realização das aulas							07 – Independência do Brasil 10 – 50% de realização das aulas							31 07 – 70% de realização das aulas 12 – Nossa Senhora Aparecida 28 – Dia do Servidor Público							02 – Finais 05 – Último dia de aula 15 – Proclamação da República																																																																																																																																													

- ED: Média dos Estudos Dirigidos do Semestre
- EXP: Experimento Bomba de Seringa – Fluido Condutor
- PFA: Prova Final de Avaliação
- PA: Participação do Aluno

Critério de Avaliação

MÉDIA FINAL (MF): $(0.3 ED + 0.2 EXP + 0.4 PFA + 0.1PA)$

Obs: ED, EXP, PFA e PA variam de 0 a 10 na equação acima.

Aprovação na disciplina $MF \geq 5$

Controle de frequência

Presença do aluno nas aulas da disciplina, na atividade experimental e nas avaliações.
Alunos com mais de 25% de ausência serão reprovados com SR.

Principais Bibliografias Recomendadas

- Introduction to Magnetohydrodynamics, P.A. Davidson, (2017), CUP-Cambridge, UK.
- Introduction to Eletrodynamics, D.J. Griffiths, (2017), CUP-Cambridge, UK.
- Electrodynamics of continuous media, L.D. Landau and E.M. Lifshitz, (1987), Pergamon Press – Oxford, UK.
- Introduction to Fluid Dynamics, G.K. Batchelor, (1967), CUP-Cambridge, UK.
- Fluid Dynamics, R.H.F. Pao, (1966), C. E. Merrill, Inc, Columbus, Ohio.