



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
ENGENHARIA AUTOMOTIVA
SEMESTRE 2020.1

I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA

Código: EMB 5317 **Nome:** Aerodinâmica Veicular
Carga horária: 72 horas-aula **Créditos:** 04
Turma(s): 09603A
Professor: Leonel R Cancino

II. PRÉ-REQUISITO(S)

- EMB5304 – Motores de Combustão Interna I

III. EMENTA

- Princípios básicos de aerodinâmica.
- História do desenvolvimento da aerodinâmica em automóveis.
- Efeitos aerodinâmicos.
- Aerodinâmica e forma (Influência da forma nas forças aerodinâmicas).
- Modelos em escala (Análise dimensional e semelhança, túnel de vento, aplicações no desenvolvimento de protótipos).
- Resistência ao movimento de veículos e arrasto aerodinâmico.
- Aerodinâmica e transmissão de calor.
- Anteprojeto

IV. OBJETIVOS

Fornecer aos alunos conhecimentos fundamentais para executar com autonomia o dimensionamento, modelagem e teste de veículos automotores e equipamentos, considerando os aspectos relacionados com a aerodinâmica, a troca de calor e o desempenho.

Ao termino do curso, o aluno devera ser capaz de:

- ✓ Descrever os princípios básicos da aerodinâmica aplicados a veículos comerciais, de competição e comerciais.
- ✓ Conhecer a operação de tuneis de vento e a sua aplicação em aerodinâmica veicular.
- ✓ Adquirir destreza no uso de ferramentas de CFD aplicadas à experimentação numérica em aerodinâmica.
- ✓ Apresentar um anteprojeto usando CFD como ferramenta principal.

V. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

UNIDADE 1 - INTRODUÇÃO À AERODINÂMICA VEICULAR

- 1.1 – Princípios básicos.
- 1.2 – Peculiaridades da aerodinâmica veicular.
- 1.3 – Campos da engenharia relacionados.
- 1.4 – História do desenvolvimento da aerodinâmica em automóveis.

1.5 – Estado da arte e tendências futuras.

UNIDADE 2 – MECÂNICA DOS FLUIDOS E AERODINÂMICA VEICULAR

- 2.1 – Tipos de escoamentos e Número de Reynolds.
- 2.2 – Propriedades de escoamentos compressíveis.
- 2.3 – Introdução ao escoamento em veículos.
- 2.4 – Escoamento externo em veículos.
- 2.5 – Escoamento interno em veículos.
- 2.6 – Relação entre escoamento interno e externo em veículos.

UNIDADE 3 – TÚNEL DE VENTO E DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

- 3.1 – Túneis de vento: Introdução, Conceitos fundamentais, Limitações.
- 3.2 – Testes em túneis de vento usando modelos em escala reduzida.
- 3.3 – Introdução à Dinâmica de Fluidos Computacional.
- 3.4 – Métodos CFD usados em aerodinâmica veicular.
- 3.5 – Modelos de turbulência.
- 3.6 – Programas de CFD disponíveis.

UNIDADE 4 – DESEMPENHO DE VEÍCULOS E CAMINHÕES PEQUENOS

- 4.1 – Resistência ao movimento do veículo.
- 4.2 – Desempenho.
- 4.3 – Consumo de combustível e Economia de combustível.
- 4.4 – Estratégias para mínimo consumo de combustível.
- 4.5 – Consumo de combustível em caminhões pequenos.

UNIDADE 5 – AERODINÂMICA DE VEÍCULOS DE PASSEIO

- 5.1 – O veículo de passeio como sendo um *bluff-body*.
- 5.2 – Campos de escoamento ao redor do veículo.
- 5.3 – Análise de arrasto e locais de origem.
- 5.4 – Estratégias para geração de formas geométricas.
- 5.5 – Arrasto de veículos de passeio em produção.

UNIDADE 6 – ESTABILIDADE DIRECIONAL DO VEÍCULO

- 6.1 – Introdução.
- 6.2 – História da estabilidade direcional.
- 6.3 – Forças e momentos aerodinâmicos.
- 6.4 – Aerodinâmica e dirigibilidade.
- 6.5 – Influência das formas geométricas do veículo nas forças e momentos aerodinâmicos.
- 6.6 – Testes e métodos de avaliação.

UNIDADE 7 – VEÍCULOS DE ALTO DESEMPENHO (COMPETIÇÃO)

- 7.1 – Introdução.
- 7.2 – Algumas metas históricas.
- 7.3 – O significado de aerodinâmica em veículos de alto desempenho.
- 7.4 – Alternativas de projeto.
- 7.5 – Problemas especiais.
- 7.6 – Tendências para o futuro de veículos de alto desempenho.

UNIDADE 8 – VEÍCULOS COMERCIAIS

- 8.1 – Introdução.
- 8.2 – Resistência de tração e consumo de combustível.
- 8.3 – Redução do arrasto e consumo de combustível.

- 8.4 – Coeficiente de arrasto aerodinâmico de veículos comerciais.
- 8.5 – Redução do arrasto aerodinâmico.
- 8.6 – Vantagens de efeitos de interferência aerodinâmica.
- 8.7 – Sujidade das superfícies externas do veículo.

UNIDADE 9 – ANTEPROJETO

- 9.1 – Simulação em CFD de um veículo de passeio / comercial / competição

VI. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Estes conteúdos serão desenvolvidos com aulas expositivas / dissertativas e resolução de exercícios. Palestras e aulas expositivas / dissertativas: serão ministradas aulas expositivas / dissertativas e dialogadas pelo professor responsável, conforme cronograma distribuído a todos os alunos matriculados na disciplina, e devidamente reunidos em sala de aula para este fim.

Ao longo do curso será utilizado o programa ANSYS-FLUENT (<http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent>) para processos de simulação e anteprojeto.

Visitas técnicas. Estão programadas duas visitas técnicas à TUPY ao longo do semestre 2019.2. As visitas serão na seção de usinagem e fundição da empresa, e fazem parte do plano de ensino de esta disciplina, é altamente recomendado que os alunos participem. Data das visitas 27/09 e 29/11 – sextas feiras, no período da tarde.

VII. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Será realizada por intermédio de avaliação individual (duas provas escritas) e trabalhos ao longo do desenvolvimento do curso. As avaliações estão marcadas no item IX CRONOGRAMA.

Os trabalhos consistem na simulação da aerodinâmica de: (a) uma geometria automotiva simplificada CFD#1 e (b) um dos tipos de veículos vistos em sala de aula (passeio, comercial ou alto desempenho) CFD#2. Cada aluno deverá entregar dois **trabalhos acadêmicos, usando as normas de apresentação de trabalhos ABNT disponíveis no site da Biblioteca Universitária, <http://www.bu.ufsc.br/design/Estrutura.html>**, contendo as análises dos resultados das simulações. No final do curso (vide item IX CRONOGRAMA) cada aluno apresentará os seus resultados em forma de anteprojeto (15 min de apresentação + 5 min de perguntas). Será considerado aprovado o estudante que alcançar a média igual ou superior a 5,75 (cinco vírgula setenta e cinco) ao final do semestre letivo, e esta será sua nota na disciplina, desde que tenha comparecido a um mínimo de 75 % da carga horária da disciplina (art. 72 e art. 69 § 2ª da Resolução 017/CUn/97).

A nota final da disciplina será considerada a média ponderada das duas provas, da apresentação do anteprojeto e dos dois trabalhos de simulação realizados ao longo do curso, considerando o seguinte peso:

- **Prova 1**, correspondente a 35 % da nota,
- **Prova 2**, correspondente a 35 % da nota,
- **Trabalho em aula CFD #1**, correspondente a 10 % da nota,
- **Trabalho de simulação CFD #2 - Simulação veículo + Apresentação** correspondente a 20 % da nota,

Observação: A Prova 2 versará sobre todo o conteúdo da disciplina, incluindo os trabalhos ao longo do curso.

VIII. AVALIAÇÃO FINAL

O(a) aluno(a) com frequência suficiente e média das notas entre três (3,0) e cinco vírgula cinco (5,5) terá direito a uma **nova avaliação** no final do semestre que **versará sobre todo o conteúdo da disciplina**, conforme o que dispõe o § 2º do Art. 70 e § 3º do Art. 71 da Resolução nº 17/Cun/97. Neste caso, a média final será calculada através da média aritmética simples entre a média das notas das avaliações feitas durante o semestre e a nota obtida na nova avaliação. A nota mínima de aprovação é seis (6,0).

Caso o(a) aluno(a) **não** compareça a **75% da carga horária da disciplina** estará automaticamente reprovado com nota **0,0(zero)**, independentemente da sua média nas avaliações individuais, conforme dispõem no Art. 69 § 2º da Resolução 017/CUn/97. Os(as) alunos(as) que eventualmente faltarem em alguma avaliação que foram perdidas por motivos extremos, mediante justificativa; dentro do prazo de **3 (três) dias úteis** após a avaliação conforme o que dispõe o Art. 74, da Resolução 017/CUn/97, poderão solicitar na secretaria acadêmica do Centro Tecnológico de Joinville o pedido de segunda chamada. Após a análise do pedido e seu deferimento, os(as) alunos(as) poderão realizar a avaliação de segunda chamada na data, no local e horário definido no cronograma.

IX. CRONOGRAMA

Semana	Data	Dia de aula, na semana correspondente	Aula#	Conteúdo
S1	09/03/2020	Segunda-feira	---	Dia não letivo

	10/03/2020	Terça-feira	1 2	1.1 - 1.2 - 1.3
S2	16/03/2020	Segunda-feira	3	1.4 - 1.5
			4	
	17/03/2020	Terça-feira	5 6	2.1 - 2.2 - 2.3
S3	23/03/2020	Segunda-feira	7	2.4 - 2.5 - 2.6
			8	
	24/03/2020	Terça-feira	9 10	3.1 - 3.2 - 3.3
S4	30/03/2020	Segunda-feira	11	3.4 - 3.5 - 3.6
			12	
	31/03/2020	Terça-feira	13 14	Trabalho CFD#1 (Entrega primeira parte do trabalho de simulação CFD#2)
S5	06/04/2020	Segunda-feira	15	4.1 - 4.2 - 4.3
			16	
	07/04/2020	Terça-feira	17 18	3.3(b) (Aula CFD) - Trabalho em aula CFD#1
S6	13/04/2020	Segunda-feira	19	4.4 - 4.5
			20	
	14/04/2020	Terça-feira	21 22	3.3(b) (Aula CFD) - Trabalho em aula CFD#1
S7	20/04/2020	Segunda-feira	---	Dia não letivo

	21/04/2020	Terça-feira	---	Dia não letivo

S8	27/04/2020	Segunda-feira	23	5.1(a) - 5.2(a)
			24	
	28/04/2020	Terça-feira	25	5.1(b) - 5.2(b) - Trabalho em aula CFD#1
			26	
S9	04/05/2020	Segunda-feira	27	5.3 (a) (Entrega - Trabalho em aula CFD#1)
			28	
	05/05/2020	Terça-feira	29	5.3(b) - 5.4 - 5.5 (Entrega segunda parte do trabalho de simulação CFD#2)
			30	
S10	11/05/2020	Segunda-feira	31	Primeira Prova
			32	
	12/05/2020	Terça-feira	33	3.3(b) - (Aula CFD)
			34	
S11	18/05/2020	Segunda-feira	35	6.1 - 6.2 - 6.3
			36	
	19/05/2020	Terça-feira	37	3.3(b) - (Aula CFD)
			38	
S12	25/05/2020	Segunda-feira	39	6.4 - 6.5 - 6.6
			40	
	26/05/2020	Terça-feira	41	3.3(b) - (Aula CFD)
			42	
S13	01/06/2020	Segunda-feira	43	7.1 - 7.2
			44	
	02/06/2020	Terça-feira	45	7.3 - 7.4
			46	
S14	08/06/2020	Segunda-feira	47	7.5 - 7.6
			48	
	09/06/2020	Terça-feira	49	8.1 - 8.2 - 8.3(a)
			50	
S15	15/06/2020	Segunda-feira	51	8.3(b) - 8.4 - 8.5(a)
			52	
	16/06/2020	Terça-feira	53	8.5(b) - 8.6 - 8.7
			54	
S16	22/06/2020	Segunda-feira	55	3.3(b) - (Aula CFD)
			56	
	23/06/2020	Terça-feira	57	(Entrega do trabalho de simulação CFD#2)
			58	
S17	29/06/2020	Segunda-feira	59	9.1 - 9.2 (Apresentação de anteprojeto)
			60	
	30/06/2020	Terça-feira	61	9.1 - 9.2 (Apresentação de anteprojeto)
			62	
S18	06/07/2020	Segunda-feira	63	Segunda Prova
			64	
	07/07/2020	Terça-feira	65	Atendimento alunos
			66	

S19	13/07/2020	Segunda-feira	67	Recuperação	
			68		
	14/07/2020	Terça-feira	69		Atendimento alunos
			70		

Observações:

- **Entrega - Trabalho em aula CFD #1:** Relatório final da simulação de uma geometria automotiva simplificada, segundo instruções a ser repassadas em sala de aula. O aluno deverá fazer up-load de todos os arquivos de simulação (geometria- arquivo em SolidWorks, malha e arquivos de ANSYS via Gdrive) e relatório final em Word / PDF.
- **Entrega - Primeira parte do trabalho CFD#2:** Documento escrito com a identificação do tipo de veículo a ser simulado: Introdução, Objetivos e Revisão Bibliográfica e Geometria a ser simulada, arquivo em SolidWorks, ou ANSYS-FLUENT. (Opcional: AVL-FIRE)
- **Entrega - Segunda parte do trabalho CFD#2:** Malha computacional, no gerador de malha do ANSYS FLUENT. (Opcional: AVL-FIRE)
- **Entrega dos trabalhos de simulação CFD#2:** Trabalho final de simulação, documento escrito compilando as duas primeiras partes e adicionando: metodologia, resultados, conclusões etc. Até a data especificada desta atividade, o aluno deverá fazer up-load de todos os arquivos de simulação (via Gdrive) incluindo o arquivo de apresentação em pptx.
- O cronograma está sujeito a alterações.

X. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- ISMARIL, K.A.R. Aerodinâmica Veicular. Grafica Cisgraf. ISBN 85-900609-6-9, 2007, 295p
- MILLIKEN, W.F.; MILLINKEN, D.L. Race Car Vehicle Dynamics. SAE International. 1994.
- PARKET, B. The Isaac Newton School of Driving: Physics and Your Car. John Hopkins University Press. 2003.

XI. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- MILLIKEN, W.F.; MILLINKEN, D.L. METZ, L.D., KASPRZA, E.M. Race Car Vehicle Dynamics Book and Problems, Answers and Experiments Set. SAE International. 2003.
- SAINTIVE, N.S. TEORIA DE VOO - PP/PC - INTRODUÇÃO A AERODINAMICA. 5ª Edição. 2010.
- SIMON, M. e ELIZALDE, P. AERODINAMICA DEL AUTOMOVIL DE COMPETICION. Editora CEAC ESPANHA. 2ª Edição. 2005.

XII. OBSERVAÇÕES

- 1) SOBRE O CALENDÁRIO: O calendário poderá sofrer algumas alterações,
- 2) SOBRE A BIBLIOGRAFIA: Adicionalmente, recomenda-se os seguintes livros para consulta:
 - Çengel, Y & Cimbala, J., Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações, Mc Graw-Hill, Rio de Janeiro.
 - Fox, R. W & McDonald, T., Introdução à mecânica dos Fluidos, 6ª ed., LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro
 - Moran, M.J. & Shapiro, H. S. - Princípios de Termodinâmica para Engenharia, LTC Editora

Atualizado em:

Joinville, 12 de Dezembro de 2019.