

TMEC-173 PROJETO E TESTE DE MINIFOGUETE

Aulas lecionadas em 2022/2

Atualizado em 25 Nov 2022 às 20:55 h

A última versão deste arquivo pode ser obtida [AQUI](#).

ATENÇÃO: para não reprovar por frequência nesta disciplina, cada aluno poderá faltar no máximo 3 dias de aulas.

Recesso: sem aulas de 18 Dez 2022 a 20 Jan 2023

Como entrar em contato comigo para esclarecer dúvidas:

- Você poderá entrar em contato comigo pelo e-mail minifoguete@gmail.com para esclarecer dúvidas.
- Havendo necessidade, combine por e-mail um dia e horário para conversarmos por videoconferência no Meet/Google ou reunião presencial em meu gabinete.

ATENÇÃO: esta disciplina/curso não aborda foguetes de garrafa PET, preparo de propelente nem projeto de motor-foguete. Além disso, há alunos do curso de engenharia mecânica e alunos externos (alunos e professores do ensino médio etc).

Breve apresentação sobre mim:

- Fiz graduação (1990), mestrado (1992) e doutorado (2001) em engenharia mecânica na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) em Florianópolis.
- Sou professor da UFPR (Universidade Federal do Paraná), em Curitiba, desde 1994 no Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC).
- No curso de graduação em engenharia mecânica da UFPR já lecionei Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor, Programação em Fortran, Foguetemodelismo/Minifoguetes e Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).
- Leciono várias disciplinas de CFD e Fortran nas pós-graduações de engenharia mecânica e métodos numéricos em engenharia.
- Sou **fogueteiro (praticante do foguetemodelismo) desde 1981** quando estava no ensino médio.
- Em 2005 criei o **Grupo de Foguetemodelismo Carl Sagan (GFCS)** na UFPR para lecionar esta disciplina/curso sobre foguetemodelismo e fazer pesquisa experimental sobre minifoguetes.
- A **disciplina sobre foguetemodelismo** já foi lecionada 17 vezes de forma presencial desde 2005 até o início de 2020, tendo sido realizados 166 testes estáticos de motores e 141 lançamentos de minifoguetes. Foram aprovados 292 alunos do ensino médio e superior, bem como professores. Esta disciplina também foi lecionada virtualmente em 2020/2021; as videoaulas estão disponíveis no meu canal no YouTube.
- Em 2011 criei o **Laboratório de Atividades Espaciais (LAE)** que é a sede do GFCS.
- Em 2013 criei o **Festival de Minifoguetes de Curitiba** cujo primeiro evento ocorreu em 2014 e mais cinco até 2019.
- Em 2016 fundei a **Associação Brasileira de Minifoguetes (BAR)** junto com 12 grupos de foguetemodelismo; fui seu presidente até 2020.
- Em 2018 criei o **Museu de Minifoguetes** da UFPR/BAR.
- Em 2020 criei a **Maratona Brasileira de Minifoguetes** cujo primeiro evento ocorreu em 2021/2022.

Habilidades que cada aluno deverá ter ao final da disciplina/curso:

- Entender a classificação dos motores de minifoguetes
- Calcular o impulso total e outros parâmetros dos motores de minifoguetes
- Calcular o centro de gravidade, centro de pressão e margem estática de minifoguete, prevendo a sua estabilidade
- Prever o coeficiente de arrasto de minifoguetes
- Estimar a trajetória de minifoguetes
- Com base em dados de solo, estimar o apogeu de minifoguetes
- Conhecer regras de segurança e legislação básica sobre minifoguetes
- Entender os efeitos da classe do motor, coeficiente de arrasto e massa do minifoguete sobre a sua trajetória
- Saber projetar um minifoguete e prever a sua trajetória
- Saber montar um foguetemodelo de custo baixo

Interessados sobre:

- As atividades desenvolvidas no grupo de pesquisa em *CFD, propulsão e aerodinâmica de foguetes* da UFPR: ver o arquivo [Grupo CFD novembro 2019 v10.pdf](#), o [vídeo](#) e o site www.cfd.ufpr.br.
- **Foguetes:** ver o [site do grupo de foguetes](#) da UFPR, o [blog](#) e o [Facebook](#).
- **Orientação minha para** Iniciação Científica, Estágio e Trabalho de Conclusão de Curso: ver o arquivo [temas para orientacao prof Marchi dezembro 2018.pdf](#).

Aula 14: PLANO para 18 Fev 2023

Objetivos:

- Lançamentos dos minifoguetes projetados pelas equipes de alunos

Aula 11: PLANO para 28 Jan 2023

Objetivos:

-

Aula 10: PLANO para 21 Jan 2023

Objetivos:

-

Recesso: sem aulas em 24 e 31 Dez 2022, e 7 e 14 Jan 2023

Aula 9: PLANO para 17 Dez 2022

Objetivos:

-

Aula 8: PLANO para 10 Dez 2022

Objetivos:

- Lançamentos dos minifoguetes de custo baixo das equipes

Aula 7: PLANO para 3 Dez 2022

Objetivos:

- Receber trabalho TE

Aula 6: PLANO para 26 Nov 2022

Roteiro-10 [a aula com duração de 1h14m está disponível no link: <https://youtu.be/3qujKgZz03E>]

Roteiro-11 [a aula com duração de 2h5m está disponível no link: https://youtu.be/s_ZjRiBnqe8]

Objetivos:

- Continuar a apresentar o **Capítulo 3. Estabilidade de foguetemodelo**
Arquivo [Capitulo-3 Estabilidade-de-foguetemodelo v3b.pdf](#):
 - Revisão das seções 3.1 a 3.3 até fig. 3.4
 - 3.3 Margem Estática (E) a partir da fig. 3.5
 - 3.4 Cálculo do CP com o Método de Barrowman
 - [Sondinha II: o primeiro foguetemodelo brasileiro](#)
 - 3.5 Exemplo de cálculo do CP
 - 3.6 Exemplo do efeito da geometria das empenas sobre o CP
 - 3.7 Exemplos reais de trajetória de minifoguetes
 - 3.8 Comentários
- Esclarecer dúvidas do [Trabalho sobre testes estáticos](#)
- Oficina sobre foguetemodelo de custo baixo:
 - Distribuir os materiais às equipes, anotando o nome de um membro de cada equipe
 - Cada equipe deverá montar um minifoguete seguindo o [tutorial](#), com auxílio do professor e fotos ilustrativas

- Após montar o minifoguete, marcar nele um nome definido pela equipe
- Entregar o minifoguete pronto ao professor. Junto, entregar uma folha com o nome do minifoguete e os nomes dos membros da equipe que participaram da montagem do minifoguete na aula

Atividades recomendadas para cada aluno fazer até a próxima aula (não valem nota; não precisa enviar ao professor):

- Estudar o conteúdo do [Capítulo-3 Estabilidade-de-foguetemodelo_v3b.pdf](#) visto na aula de hoje.
- Fazer os exercícios 3.5 a 3.8, sobre CP, que estão nas páginas 19 e 20 do [Capítulo-3 Estabilidade-de-foguetemodelo_v3b.pdf](#); as respostas estão na página 20.

Aula 5: lecionada em 19 Nov 2022

Roteiro-8 [a aula com duração de 1h22m está disponível no link: <https://youtu.be/4c2V3U6OU00>]

Roteiro-9 [a aula com duração de 2h5m está disponível no link: <https://youtu.be/z-bJcXKHSY4>]

Objetivos:

- Treinar o uso do aplicativo **Curva_Empuxo_1p2.exe**:
 - Fazer os 3 exercícios do [tutorial](#).
 - A partir do arquivo **dados_BT-8.txt**, criar o arquivo **dados_novo.txt**.
Alterar este arquivo para analisar o motor BT-16, ou seja, executar o aplicativo com:
 - **original = BT-16_HBM.txt**
 - **M = 0.004956 kg**
 - **caso = saida_novo.txt**
 - **título = adaptá-lo**
- Apresentar o texto do [trabalho sobre testes estáticos](#) (em equipe)
- Apresentar o **Capítulo 3. Estabilidade de foguetemodelo**
Arquivo [Capítulo-3 Estabilidade-de-foguetemodelo_v3b.pdf](#):
 - 3.1 Centro de Gravidade (CG); exemplificar com tubo PVC, FM e MFE
 - 3.2 Centro de Pressão (CP); [figura 9.5 do Stine](#)
 - 3.3 Margem Estática (E); [figuras 9.6 e 9.10 do Stine](#)

AVISOS:

- Recomenda-se que cada aluno sempre traga um pendrive para a aula, para copiar seus arquivos gerados durante a aula.
- O aplicativo **Curva_Empuxo_1p2** também está disponível no arquivo **curva-empuxo_1p2_2022.zip** que está no seguinte link: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Aplicativos/>

Atividades recomendadas para cada aluno fazer até a próxima aula (não valem nota):

- Estudar o conteúdo do [Capítulo-3 Estabilidade-de-foguetemodelo_v3b.pdf](#) visto na aula de hoje.
- Fazer os exercícios 3.1 a 3.4, sobre CG, que estão na página 19 do [Capítulo-3 Estabilidade-de-foguetemodelo_v3b.pdf](#); as respostas estão na página 20.
- Ver o [vídeo \(03:24\) sobre o foguete brasileiro VLS](#): animação da integração do foguete VLS e seu voo.

Tarefa em equipe, valendo nota: Trabalho sobre testes estáticos

Aula 4: lecionada em 12 Nov 2022

Roteiro-6 [a aula com duração de 1h28m está disponível no link: <https://youtu.be/bXBWUTx4uEQ>]

Roteiro-7 [a aula com duração de 2h6m está disponível no link: <https://youtu.be/T1u-IJnP3m8>]

Objetivos:

- Receber preenchido o formulário de AUTORIZAÇÃO DE MENOR dos alunos pertinentes.
- **Receber a Lista-2 de Exercícios da aula de 5 Nov 2022.**
- Ensinar a usar o aplicativo **Curva_Empuxo_1p2**:
 - Fazer download e descompactar o arquivo [curva-empuxo_1p2_2022.zip](#).
 - Executar o aplicativo **Curva_Empuxo_1p2.exe** seguindo o seu [tutorial](#).
- **No LMH:** explicar o funcionamento da bancada usada para realizar testes estáticos de motores para foguetemodelos, com aquisição de dados da força de empuxo ao longo do tempo de queima do propelente.
- **No LMH:** realizar testes estáticos dos seguintes tipos de motores:
 - 5 da classe A do tipo booster, só com carga propulsora, com aquisição de dados da força de empuxo ao longo do tempo de queima do propelente; motores Bandeirante.
 - 2 da classe C (C6-5 e C6-7) em uma morsa para verificar as 3 fases de um motor completo com cargas propulsora, temporizadora e ejetora; motores Bandeirante.
 - 6 motores de fogos-de-artifício, ainda não classificados, só com carga propulsora, com aquisição de dados da força de empuxo ao longo do tempo de queima do propelente; provavelmente são da classe 1/2A ou A; motores Super Fogos.
 - **Passar lista de presença.**

AVISOS:

- Recomenda-se que cada aluno sempre traga um pendrive para a aula, para copiar seus arquivos gerados durante a aula.
- O aplicativo **Curva_Empuxo_1p2** também está disponível no arquivo **curva-empuxo_1p2_2022.zip** que está no seguinte link: <http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/Aplicativos/>

Atividades recomendadas para cada aluno fazer até a próxima aula (não valem nota):

- Ver o vídeo do teste de um [motor para foguetemodelo em câmara a vácuo](#) (05:28).
- Ver o vídeo que mostra os [tipos de motores comerciais brasileiros para foguetemodelos](#) (10:00).
- Com o aplicativo Curva Empuxo 1.2, analisar os motores LV-6, TA-300, MLB-5 e NM-8 cujos dados estão no seguinte link: [Exercícios Capítulo 2](#).
- Ler o arquivo [2015 Moro Banco Estatico Caseiro v1 em 2015-10-20.pdf](#).

Aula 3: lecionada em 5 Nov 2022

Roteiro-4 [a aula com duração de 2h5m está disponível no link: <https://youtu.be/A7dT08tTwRo>]

Roteiro-5 [a aula com duração de 1h25m está disponível no link: <https://youtu.be/S64RKh4zVlc>]

Objetivos:

- Continuar o **Capítulo 2. Motor para foguetemodelo**
Arquivo [Capítulo-2 Motor-para-foguetemodelo v5.pdf](#):
 - **2.1 Componentes do motor-foguete**
 - ✓ Mostrar fisicamente tubo-motor, tampa, tubeira e propelente de um motor-foguete da Bandeirante próprio para foguetemodelo
 - **2.2 Classificação dos motores**
 - ✓ [NAR tabela classes 2020-11-12.pdf](#)
 - ✓ Mostrar fisicamente motores de fogos de artifício que são adaptados para foguetemodelos: 1/4A, A e C
 - **2.3 Curva de empuxo**
 - ✓ **Demonstrar ao vivo o uso do SI Quest:** unir jacarés, acionar o SI sem e com chave de segurança; com um squib, acionar o SI sem e com chave de segurança, mostrando também o teste de continuidade com squib.
 - ✓ Mostrar vídeos de motores em funcionamento que são próprios para foguetemodelos:
 - A6-0/Bandeirante (BT-128): <https://youtu.be/4rIonqaYByQ>
 - A8-3/Estes (ET-15): <https://youtu.be/ItZMxgDaE0I>
 - B6-0/Bandeirante (BT-129): <https://youtu.be/CCpI6sPo1ZA>
 - C6-0/Bandeirante (BT-130): https://youtu.be/X7_pM8bshzA
 - C6-5/Bandeirante (BT-123): <https://youtu.be/moIcL-WbU0s>
 - E6-0/Bandeirante (MLB-3): <https://youtu.be/Guw3b4hjstI>
 - ✓ Mostrar vídeos de motores em funcionamento de fogos de artifício que são adaptados para foguetemodelos:
 - 1/4A0.5-0/Fogos Imperial (HV-3): <https://youtu.be/6mnw44UsZ8Q>
 - A0.9-0/Fogos São Jorge (CJ-2): <https://youtu.be/J2B1wjC9kEk>
 - C10-3/Super Fogos/Fogos Vitória (VT-3): <https://youtu.be/SN9LorA8dP8>
 - ✓ Mostrar vídeos da queima de grão-propelente do tipo:
 - Cilíndrico (sem oco/alma): <https://youtu.be/EkzDHx-c5vc>
 - Tubular (com oco/alma): https://youtu.be/jmSqbwly_E0
 - **2.4 Parâmetros da curva de empuxo**
 - ✓ [Stine-6 p-78-9 2017-08-18.pdf](#)
 - ✓ folha de certificação da NAR do motor Apogee A2 [[Apogee A2.pdf](#)]
 - **2.5 Propelentes de minifoguetes**
- Receber preenchido o formulário de AUTORIZAÇÃO DE MENOR dos alunos pertinentes.
- **Receber a Lista-1 de Exercícios da aula de 29 Out 2022. Fazer chamada só dos presentes que não a entregaram.**
- Mostrar [vídeo](#) de motores-foguete funcionando submersos em água

Atividades recomendadas para cada aluno fazer até a próxima aula (não valem nota):

- Estudar o conteúdo do [Capítulo-2 Motor-para-foguetemodelo v5.pdf](#).
- Material adicional sobre o capítulo 2 pode ser obtido no arquivo [Referências](#).
- Ver o [vídeo](#) (3:01) que compara o tamanho de vários foguetes
- Ver o vídeo sobre o lançamento do minifoguete experimental [Netuno-F/Galateia-2](#)
- Fazer os exercícios da seção 2.7 da apostila; [respostas](#) para conferir.

Lista-2 de exercícios (tarefa individual valendo nota; para entregar na próxima aula):

- 2.1 – Um motor tem empuxo médio de 0,163 N e tempo de queima de 0,83 s. Qual é o valor do seu impulso total?
- 2.2 – Um motor tem empuxo médio de 6,17 N, tempo de queima de 0,75 s e massa de propelente de 6,5 gramas. Qual é o valor da sua velocidade de ejeção dos gases?
- 2.3 – Um motor tem empuxo médio de 4,74 N, tempo de queima de 1,86 s e massa de propelente de 10,8 gramas. Qual é o valor do seu impulso específico?

Aula 2: lecionada em 29 Out 2022; 34 alunos

Roteiro-2 [a aula com duração de 1h59m está disponível no link: <https://youtu.be/pHTms5ILBzc>]

Roteiro-3 [a aula com duração de 1h48m está disponível no link: <https://youtu.be/Y4aG-MvUj54>]

AVISO: quem preferir ou achar melhor pode acompanhar a aula abrindo cada arquivo da apostila em seu computador.

Objetivos:

- Concluir a introdução à disciplina: **Capítulo 1. Foguetes e Minifoguetes**
Arquivo [Capítulo-1 Foguetes e Minifoguetes v3b.pdf](#): página 9 até 24]; seções:
 - 1.3 Motor-foguete a propelente líquido

- 1.4 Cálculo do empuxo de um motor-foguete
- 1.5 Minifoguetes
- 1.6 Minifoguetes x foguetes
- Comentar e mostrar alterações neste **ARQUIVO AULAS**.
- Entregar formulário de AUTORIZAÇÃO DE MENOR aos alunos pertinentes.
- Entregar o plano de ensino aos alunos que ainda não o receberam.
- Mostrar fisicamente um motor-foguete a propelente líquido do INPE, de 200 N, e sua tubeira
- Mostrar fisicamente o motor-foguete experimental a propelente sólido Saturno-Gama, do GFCS, e sua tubeira
- Mostrar fisicamente um kit comercial de foguetemodolo: VS-40 da Bandeirante
- Mostrar fisicamente o foguetemodolo LAE-22 montado em uma rampa de lançamento: Alpha (motor classe C; H = 159 m; campeão H150 Festival 2014)
- Mostrar fisicamente três tipos de altímetro de bordo (Alt15k/WD; Altimeter Two; MicroPeak) e um computador de bordo (StratoLogger)
- Mostrar fisicamente motores-foguete brasileiros próprios para foguetemodelos: A6-0, B6-0, C6-5, D6-10 e E6-0 da Bandeirante
- Mostrar fisicamente um motor-foguete dos Estados Unidos próprio para foguetemodolo: A8-3 da Estes
- Mostrar fisicamente um sistema de ignição da Quest e 3 tipos de ignitores (Bandeirante, Estes e squib)
- Mostrar fisicamente um minifoguete experimental: Netuno-R-Beta/Paraná-VIIIb (H = 799 m; recordista motor classe G)
- Iniciar o **Capítulo 2. Motor para foguetemodolo**
Arquivo [Capitulo-2_Motor-para-foguetemodolo_v5.pdf](#):
 - 2.1 Componentes do motor-foguete
 - 2.2 Classificação dos motores (página 8 até C6-0)
- **Fazer chamada**

Atividades recomendadas para cada aluno fazer até a próxima aula (não valem nota):

- Ler a postagem sobre [minifoguete de baixo custo](#) (menos R\$ 2).
- Ver o vídeo sobre [foguetes transparentes](#), com 9:12 minutos.
- Estudar o conteúdo do [Capitulo-1 Foguetes e Minifoguetes v3b.pdf](#).
- Material adicional sobre o capítulo 1 pode ser obtido no arquivo [Referências](#)

Lista-1 de exercícios (tarefa individual valendo nota; para entregar na próxima aula):

- 1.1 - Pesquisar e citar dados de 3 foguetes a propelente sólido que sejam diferentes dos mencionados na apostila. Para cada foguete, informar: seu nome, país/empresa fabricante e tipo de foguete (lançador, sondagem, auxiliar/booster).
- 1.2 - Repetir o item anterior para 3 foguetes a propelente líquido.
- 1.3 - Pesquisar e citar dados de 3 minifoguetes brasileiros que sejam diferentes dos mencionados na apostila. Para cada minifoguete, informar: seu nome, empresa ou grupo/equipe de foguetemodolismo fabricante e tipo de minifoguete (foguetemodolo ou minifoguete experimental).

Aula 1: lecionada em 22 Out 2022; 43 alunos

Roteiro-1 [a aula com duração de 1h6m está disponível no link: <https://youtu.be/ZH5iQ4fKaiU>]

AVISO: quem preferir ou achar melhor pode acompanhar a aula abrindo cada arquivo da apostila em seu computador.

Objetivos:

- Apresentar o [plano de ensino da disciplina](#) e entregar uma cópia impressa
- Mostrar fisicamente o manual da NAR (Stine)
- Mostrar [vídeo](#) sobre os lançamentos de 12 Out 2022 do GFCS/UFPR
- Apresentar este arquivo [Aulas_FM_2022-2.pdf](#)
- Mostrar fisicamente o foguetemodolo LAE-22 montado em uma rampa de lançamento: Alpha (motor classe C; H = 159 m; campeão H150 Festival 2014)
- Mostrar fisicamente um foguetemodolo de custo baixo
- Mostrar fisicamente o foguetemodolo Félix que é impresso em 3D
- Mostrar fisicamente o motor-foguete experimental Saturno-Gama do GFCS
- Mostrar fisicamente um motor-foguete a propelente líquido do INPE de 200 N
- Mostrar fisicamente um kit comercial de foguetemodolo: VS-40 da Bandeirante
- Mostrar fisicamente três tipos de altímetro de bordo (Alt15k/WD; Altimeter Two; MicroPeak) e um computador de bordo (StratoLogger)
- Mostrar fisicamente motores-foguete brasileiros próprios para foguetemodelos: A6-0, B6-0, C6-5, D6-10 e E6-0 da Bandeirante
- Mostrar fisicamente um motor-foguete dos Estados Unidos próprio para foguetemodolo: A8-3 da Estes
- Mostrar fisicamente um sistema de ignição da Quest e 3 tipos de ignitores (Bandeirante, Estes e squib)
- Iniciar a introdução à disciplina: **Capítulo 1. Foguetes e Minifoguetes**
Arquivo [Capitulo-1 Foguetes e Minifoguetes v3b.pdf](#): até a página 8]; seções:
 - 1.1 Alguns tipos de motores-foguete operacionais
 - 1.2 Motor-foguete a propelente sólido
- Mostrar [vídeo](#) (1:47 a 1:50) com experimento simples sobre a 3ª Lei de Newton (ação-reação)
- Mostrar [vídeo](#) (0:19) sobre “efeito antigravidade”
- **Passar chamada**

Atividades recomendadas para cada aluno fazer até a próxima aula (não vale nota):

- Ver o vídeo de 58:04 minutos sobre minifoguetes: [**It's Rocket Science! with Professor Chris Bishop**](#)