

PROJETO 3 – SISTEMAS MECÂNICOS

1 VISÃO GERAL

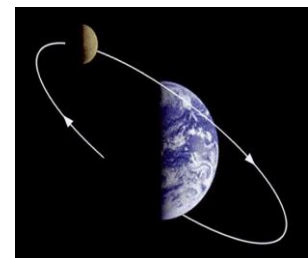
Neste projeto, nosso foco será a modelagem de sistemas mecânicos – “mecânicos” no sentido comumente utilizado na física, ou seja, o estudo do movimento de corpos macroscópicos. Assim como nos outros dois projetos, os modelos serão compostos de sistemas de equações diferenciais que, em princípio, também poderiam ser modelados usando as técnicas de diagramas de estoques e fluxos. Porém, os modelos de sistemas mecânicos tendem a ser mais complexos sob o ponto de vista matemático, além da variável espaço não poder ser caracterizada por um estoque. Em geral, sistemas mecânicos usam quantidades vetoriais em vez de quantidades escalares, e é comum que as equações diferenciais sejam de segunda ordem, ao contrário das equações de primeira ordem encontradas nos sistemas térmicos e farmacocinéticos. Outro ponto importante é que, para facilitar a abstração dos modelos mecânicos, serão apresentadas duas ferramentas fundamentais: os diagramas de corpo livre e os sistemas de coordenadas.

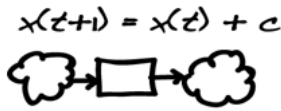
Assim como no projeto 2, vocês terão liberdade na escolha do tema que desejam abordar. Serão sugeridas algumas possibilidades, mas será muito interessante se vocês quiserem sugerir algum tema novo! A única ressalva é que vocês discutam o tema com o professor, ninjas e veteranos para ter clareza sobre onde estão se metendo. Ao contrário do projeto 2, no qual a escolha das duplas foi livre, no projeto 3 sortearemos as duplas. Faremos isso porque temos percebido que há uma tendência que os alunos com mais dificuldades fiquem juntos e também porque é uma forma de experienciar um pouco da vida profissional, na qual vocês muito raramente escolherão com quem trabalhar. Lembrem-se de que um dos objetivos do trabalho em dupla é exercitar tanto a compreensão das dúvidas ou do ponto de vista do seu colega, como também a explicação do seu ponto de vista e do seu entendimento sobre o que estão fazendo. Quem ensina, aprende!

Um ponto muito relevante na escolha do tema do projeto é o nível de conhecimento de física que ele exige. Com o objetivo de ajudar nesse sentido, foram definidos 4 tipos de temas, descritos a seguir. Indicamos também possíveis exemplos de projetos para cada um deles.

1.1 TIPO 1: PONTOS MATERIAIS EM MOVIMENTO LIVRE

Muitos sistemas podem ser simulados como um conjunto de pontos materiais que não restringem o movimento um do outro. Por exemplo, se vocês quiserem modelar o nosso sistema solar, seria razoável considerar o sol e cada um dos planetas como pontos materiais. A interação entre eles pode ser determinada pela Lei da Gravitação Universal. Apesar do sistema poder apresentar comportamento bastante complexo, o conhecimento em física

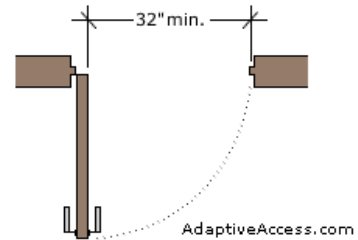




necessário seria bem simples.

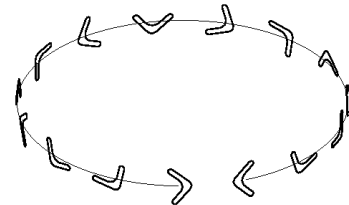
1.2 TIPO 2: ROTAÇÃO PURA

Existem sistemas para os quais a hipótese de ponto material não é adequada, porém é razoável considerar um ou mais corpos como Corpos Rígidos em rotação pura. Um exemplo é o movimento de uma porta em torno de sua dobradiça. Nesse caso, seria necessário apenas a utilização das equações relacionadas ao momento angular.



1.3 TIPO 3: CORPOS RÍGIDOS EM MOVIMENTO LIVRE

Para muitos sistemas, é necessário considerar, ao mesmo tempo, os movimentos de translação e rotação. Por exemplo, se vocês quiserem modelar o movimento de um bumerangue, seria necessário considerar o movimento de seu centro de massa, além de sua rotação em torno do centro de massa. No caso específico do bumerangue, o movimento não estaria confinado a um único plano e isso implicaria na necessidade de modelagem em três dimensões. O problema ficaria bastante complicado!



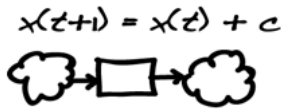
1.4 TIPO 4: CORPOS RÍGIDOS EM MOVIMENTO RESTRINGIDO

Os casos mais complexos para a modelagem em sistemas mecânicos envolvem corpos rígidos cujos movimentos estão atrelados uns aos outros. Exemplos incluem pêndulos duplos ou corpos presos a trilhos. Em geral, as equações de Newton não são a abordagem mais simples para chegar às equações que descrevem o comportamento do sistema. Caso estejam interessados nesse tipo de sistema, tenham em mente que vocês, provavelmente, terão de aprender novos conteúdos em mecânica, como as equações de Euler-Lagrange.



2 ENTREGAS

Independentemente do sistema com o qual vocês escolham trabalhar, nós recomendamos que criem as entregas descritas a seguir. Neste projeto, são definidas algumas datas de entrega, **mas vocês deverão criar seus próprios cronogramas**. É interessante que vocês discutam o cronograma com o professor, e será **papel de vocês** cuidar para que ele seja cumprido.



2.1 ENTREGA 1: DESCRIÇÃO DO PROJETO – QUINTA-FEIRA, 11 DE MAIO, COMEÇO DA AULA

No início da aula do dia 11 de maio, vocês deverão entregar um documento impresso intitulado “Descrição do Projeto”. Nesse documento, deverão constar os seguintes itens:

- Sistema físico** – Vocês deverão apresentar uma brevíssima descrição do sistema mecânico que estão pensando em modelar, juntamente com um esboço do sistema. Façam uma pesquisa preliminar on-line sobre o sistema físico escolhido e listem os links principais que trazem informações sobre possíveis modelagens para o sistema.
- Perguntas e gráficos** – Descrevam possíveis perguntas sobre o sistema escolhido, apresentando esboços de gráficos que as responderiam. Lembrem-se de nomear os eixos e as unidades dos gráficos.
- Abstração do modelo** – Façam uma primeira abstração do modelo (primeira iteração). Lembrem-se de que seu modelo deve conter um diagrama de corpo livre e um conjunto de equações diferenciais. Não se preocupem se não conseguirem equacionar completamente o modelo nesse momento. Apresentem as equações que conseguiram deduzir!
- Análise de sensibilidade** – Apresentem qual será o seu gráfico conclusivo. Pense em parâmetros que possam ser alterados e esboce gráficos com várias séries temporais da variável que está sendo modelada, assim como um esboço de um gráfico com parâmetros no eixo das abscissas. Lembrem-se: um esboço é um gráfico qualitativo desenhado!

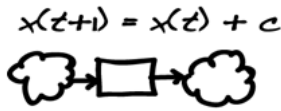
O objetivo aqui é fazer um “plano de trabalho” sobre o que será o projeto 3 de vocês. Não se preocupem em procurar parâmetros, unidades ou aprofundar as iterações nesse momento. Queremos um documento simples, conciso e bastante objetivo com, no máximo, 2 folhas (impresso frente e verso). Tragam esse documento impresso no início da aula do dia 11 de maio.

2.2 ENTREGAS 2 E 3: CHECKS INTERMEDIÁRIOS - QUINTA-FEIRA, 18 DE MAIO E TERÇA-FEIRA, 23 DE MAIO

Como no projeto 2, essas entregas são checks com o professor. Para cada check, você e seu parceiro devem ter esboço, códigos, gráficos etc. com uma breve descrição do andamento do trabalho. Esperamos que vocês usem os checks como uma oportunidade para mostrar onde vocês se encontram e tomarem decisões sobre os próximos passos a seguir.

Neste terceiro projeto, esperamos que tenham percebido a necessidade de organizar a realização do trabalho. Essa organização não será cobrada explicitamente de vocês, mas a criação de um cronograma de execução, com as entregas intermediárias e finais, é fundamental. Definam o que vocês esperam ter pronto em função do tempo total para a realização do projeto. Vocês podem usar aplicativos on-line para esse tipo de atividade.

Documentos que podem facilitar o check são:



1. Um relatório descrevendo a pesquisa que você fez sobre o sistema, em que estejam identificados modelos úteis, dados e relações físicas que possam ajudá-lo a justificar algumas decisões de abstração ou de modelagem.
2. Diagramas com anotações claras explicando o seu modelo. Sequência das principais posições e diagramas de corpo livre.
3. Um conjunto de equações diferenciais para cada iteração do seu modelo, com uma explicação de cada termo dessas equações.
4. A implementação em Python bem comentada para cada iteração do seu modelo.
5. Os resultados de cada uma das suas iterações e evidências de que o modelo faz sentido em cada fase de iteração.

Muitas dessas entregas internas serão úteis na comunicação do seu trabalho durante as atividades de acompanhamento do projeto. Assim, vocês devem decidir se essas entregas internas deverão ser “apresentáveis” (ou seja, alguém além de vocês poderá lê-las e compreendê-las). Os checks, dependendo da dinâmica e da complexidade dos projetos, podem não ser realizados na sala de aula. Usaremos também os horário de atendimento!

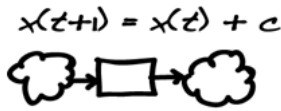
2.3 ENTREGA 4: RASCUNHO DA APRESENTAÇÃO E SIMULAÇÃO DA APRESENTAÇÃO PARA ALUNOS – QUINTA-FEIRA, 25 DE MAIO, DURANTE DA AULA

Nesse dia, realizaremos uma seção de apresentação de rascunhos na qual você e seu parceiro(a) apresentarão seu projeto para outro grupo. Como sugestão para melhorar ainda mais o nível das apresentações, sugerimos que vocês **escrevam** a narrativa da apresentação, indicando quem falará o quê e quando.

2.4 ENTREGA 5: APRESENTAÇÕES FINAIS - TERÇA-FEIRA, 30 DE MAIO

Novamente, faremos as apresentações finais dos cartazes do projeto 3 nos mesmos moldes das apresentações do projeto 2. Neste projeto, permitiremos que vocês escolham se querem trabalhar com um cartaz ou com uma apresentação em Power Point. Lembrem-se que na Expo Engenharia do Insper vocês poderão mostrar seus projetos a amigos e parentes, e neste caso um cartaz será necessário!

O cronograma de apresentações será enviado a vocês com alguns dias de antecedência. Estejam preparados para impressionar sua audiência, afinal, vocês não são mais novatos nessa atividade!



3 POSSÍVEIS TEMAS

A seguir apresentamos apenas algumas sugestões de possíveis temas para o seu trabalho.

3.1 ESTRELAS BINÁRIAS

A questão sobre se um planeta de massa relativamente baixa pode existir em um sistema com uma estrela binária tem bastante interesse científico. Um artigo publicado por Holman e Wiegert (The Astronomical Journal, Volume 117, págs. 621–628, ano 1999) detalha resultados numéricos a esse respeito. No artigo, eles consideram a situação de um planeta de baixa massa que está em órbita em torno de uma estrela binária com relação de massa μ , sabendo que as duas estrelas estão em órbitas elípticas em torno do seu centro de massa. Se você quiser trabalhar nesse assunto, certamente vale a pena usar uma parte de seu tempo lendo o artigo, de forma que você possa verificar as possibilidades de trabalho futuro propostas pelos autores. Certamente esse projeto seria sobre um sistema do tipo 1.

3.2 VIBRAÇÕES MOLECULARES

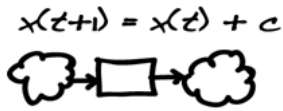
Se você considera que estrelas são muito grandes, você pode se interessar pelo problema de vibrações moleculares. Moléculas diferentes – CO_2 ou H_2O por exemplo – apresentam várias frequências de vibração, resultantes das interações entre os átomos que compõem as moléculas. Você pode construir modelos baseados na mecânica de Newton (deixemos a física quântica para uma outra oportunidade) que sejam capazes de prever essas frequências de vibração. Muito possivelmente, seu projeto seria sobre um sistema do tipo 1.

3.3 FÍSICA DO ESPORTE

As oportunidades são inúmeras: analise a cobrança de uma falta com curva, uma rebatida de baseball, o movimento de um surfista... Como as possibilidades de sistemas são muitas, os modelos podem ser de qualquer tipo nesse caso.

3.4 PÊNDULOS INVERTIDOS

Existem muitos problemas de Controle – uma área específica da engenharia que vocês conhecerão em detalhes no quarto semestre do curso – relacionados com a dinâmica de um pêndulo. Como exemplo, considere um pêndulo formado por uma barra e uma massa na ponta, com um motor na articulação. Sabendo que o motor não tem torque suficiente para inverter o pêndulo, qual seria uma estratégia de acionamento do motor de forma a possibilitar a inversão? Como acionar o motor para que o pêndulo se mantenha de ponta cabeça? Esse seria um projeto do tipo 2.



Uma outra possibilidade, mais complexa do ponto de vista da mecânica, e menos do ponto de vista do controle, é a análise de pêndulos invertidos que são mantidos na vertical através do movimento de sua base. Nesse caso temos um problema do tipo 4. Veja, por exemplo, esse [vídeo](#).

3.5 MÁQUINAS DE GUERRA MEDIEVAIS

Máquinas de cerco utilizadas na idade média, como os trebuchets, apresentam comportamento dinâmico bastante interessante. A modelagem dessas máquinas pode ser bastante complexa do ponto de vista da física – estamos falando certamente de modelos do tipo 4. Porém, explorar o funcionamento dessas máquinas é uma das oportunidades que temos nesse projeto.

