

# MECÂNICA DE VOO ESPACIAL - DEM 1119

## Aula 27

Prof. André Luís da Silva

### 1 Introdução

**Voo ascendente de foguete:**

- Modelo do veículo de inserção orbital;
- Rastro planetário (*ground track*).

**Referência da aula:**

[2]: TEWARI, A. Atmospheric and Space Flight Dynamics: Modelling and simulation with MATLAB and Simulink. Boston: Birkhauser, 2007.

**Seção 12.5.**

### 2 Modelo Conceitual do Veículo Lançador

Para simular a aquisição de órbita, será feita uma modelagem do foguete obtido na aula anterior, seguindo o mesmo processo adotado para o veículo de sondagem de aulas passadas.

#### 2.1 Modelo Propulsivo

Assume-se pulsos retangulares de tração. A vazão mássica é constante, dada pela massa de propelente dividida pelo tempo de queima:

$$\dot{m}_p = \frac{m_p}{T_q}$$

#### 2.2 Modelo Aerodinâmico

Adota-se o mesmo método de área de referência com 50% de peso da área da seção transversal e 50% relativos ao comprimento.

Na ausência de informação melhor, adota-se o mesmo fator de correção do arrasto do veículo VSB-30:  $f_c = 1,28$ .

## 2.3 Sequência Temporal

A sequência temporal precisa ser determinada de modo a propiciar a aquisição da órbita desejada, isso será aprofundado em aulas seguintes.

No início, para avaliar a energia específica, serão assumidos tempos genéricos de 1 segundo entre cada operação: fim de queima, separação, início da próxima queima.

## 2.4 Controle de Atitude

Serão assumidas as mesmas hipóteses do voo de sondagem:

- Um controlador de atitude está presente de modo a manter os ângulos de ataque e derapagem nulos;
- Nos primeiros instantes do lançamento, um trilho de lançamento equilibra o foguete para manter ângulos de elevação e azimute constantes.

A segunda hipótese acima, na prática, é um pouco diferente quando se trata de veículos lançadores de grande porte. Neles, a estabilização inicial da atitude é compartilhada pela base de lançamento e controle de atitude, sendo que a primeira só tem influência nos segundos iniciais de ignição do foguete. Logo que o mesmo começa a mover-se em relação ao solo, o controle de atitude é mantido por atuadores internos do foguete. Mas, para o ponto de vista da modelagem simplificada do movimento de translação, é indiferente se o controle é feito por estes atuadores internos ou pelo trilho de lançamento.

## 2.5 Origem dos Dados

Os parâmetros que modelam o foguete são provenientes de:

- Cálculo conceitual de distribuição de massa realizado na aula 26;
- Referência [1] que apresenta dados dos motores S50, S44 e RD843.

O professor vai desenvolver em aula, os grupos devem acompanhar com atenção e inserir em seus trabalhos.

## 3 Programa

Deve-se tomar como base o programa de voo de sondagem apresentado em aulas anteriores. Modificações devem ser feitas de modo a:

- Representar a aerodinâmica e a propulsão de 3 estágios ao invés de 2;
- Inserir os dados numéricos do novo foguete;
- Traçar gráficos extras, relativos às variáveis inerciais e parâmetros orbitais;

- Incluir função de determinação de conversão de parâmetros inerciais;
- Incluir função de determinação de parâmetros orbitais, a qual já foi desenvolvida em aulas anteriores.

## 4 Rastro Planetário - *Ground Track*

O **rastro planetário** da órbita, mas conhecido pelo seu nome em inglês: *ground track*, é a projeção da órbita sobre a superfície do planeta, que consiste nas coordenadas de latitude  $\delta$  e longitude  $l$ , no referencial PCPF.

No programa de simulação desenvolvido, as variáveis de estado de posição são calculadas no referencial PCPF, as variáveis  $\delta$  e  $l$  resultantes da integração das equações diferenciais constituem o próprio rastro planetário.

Para fazer o desenho da trajetória orbital projetada na superfície do planeta Terra, é necessário um programa de processamento de mapa, baseado em um determinado tipo de projeção cartográfica.

Para isso, pode-se usar um programa de mapeamento, o qual desenha o mapa terrestre em uma região pré-definida de latitude e longitude planetária e nele sobrepõe uma linha, que representa a latitude  $\delta$  e longitude planetária  $l$  do foguete ao longo do tempo.

Para realizar o procedimento acima, utilizou-se o pacote “mapping toolbox” do MATLAB, com as funções: “worldmap”, “setm”, “shaperead”, “geoshow” e “plotm”.

No programa desenvolvido, também foi inserido um gráfico 3D para mostrar o planeta Terra e a trajetória ao redor do mesmo. Para isso, é utilizado um pacote computacional aberto, compatível com MATLAB, chamado de “earth\_sphere”. A linha da trajetória foi sobreposta ao mesmo usando o comando `plot3` do MATLAB.

## Referências

- [1] Pedro L. K. da Cás, Carlos A. G. Veras, Olexiy Shynkarenko, and Rodrigo Leonardi. A brazilian space launch system for the small satellite market. *Aerospace*, 6(11), 2019.
- [2] A. TEWARI. *Atmospheric and Space Flight Dynamics: Modelling and simulation with MATLAB and Simulink*. Birkhauser, Boston, 2007.