

Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Controle vetorizado de empuxo para um sistema de pouso de um foguete

Professores: Dr. Renato Maia Matarazzo Orsino e Dr. Agenor de Toledo Fleury

Grupo T

Calebe Gomes Teles 12553883

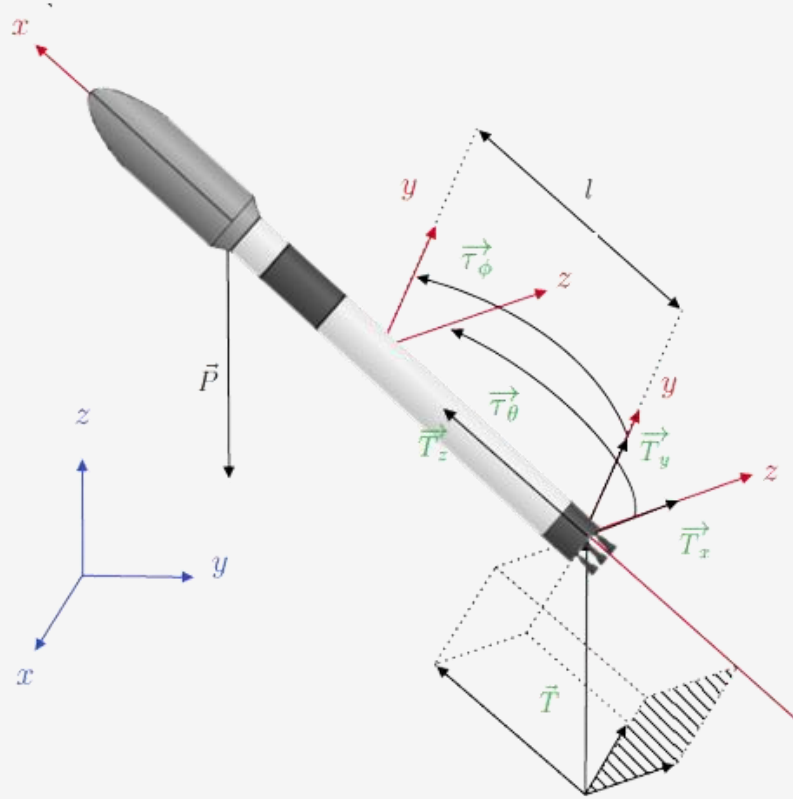
Gabriel Ribeiro Silvério 12551515

Gustavo Raul Weber Morelli 12551140

Lucas Carvalho 11850649



Modelo Físico



Fonte: Diogo Cintra (2022)

Modularmente, o sistema é composto por:

- Foguete posicionado verticalmente no início
- Foguete com velocidades baixas
- Sistema de Coordenadas Fixo
- Sistema de Coordenadas Móvel (Solidário)

Hipóteses Simplificadoras

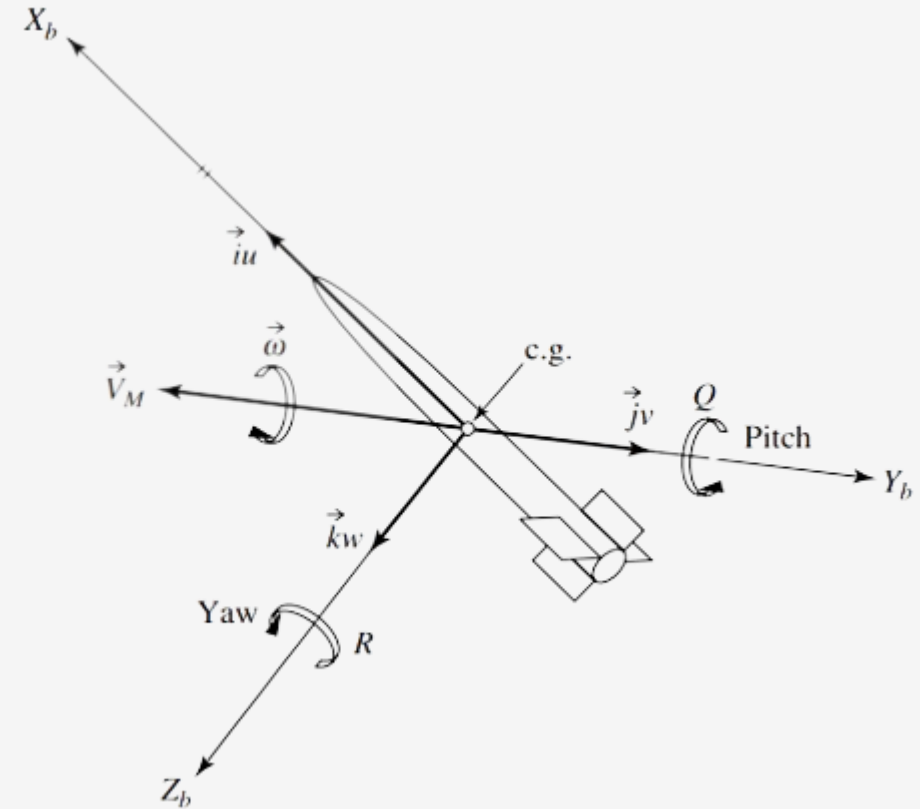
1. Considerando baixa variação de altitude, a gravidade pode ser admitida constante no tempo.
2. Efeitos causados por variação de massa são desprezíveis (Foguetes suborbitais consomem pouco combustível e o pouso é de baixa duração).
3. A estrutura do foguete se comporta como um corpo rígido.
4. Existe simetria na estrutura do foguete, coincidindo com os eixos principais de inércia e que o foguete é análogo a uma barra esbelta.
5. Efeitos de arrasto e sustentação são desprezados devido às baixas velocidades.
6. O foguete estará descendo na posição vertical.
7. Os efeitos do *roll* são desprezíveis, pois nenhuma força afeta esse ângulo.

Graus de Liberdade

Trata-se de um sistema de cinco graus de liberdade:

$$X = [x \ y \ z \ \theta \ \psi]$$

- Os três primeiros representam a posição do foguete no espaço.
- Os três últimos representam a inclinação do foguete em relação aos eixos respectivos.



Fonte: Siouris (2004)

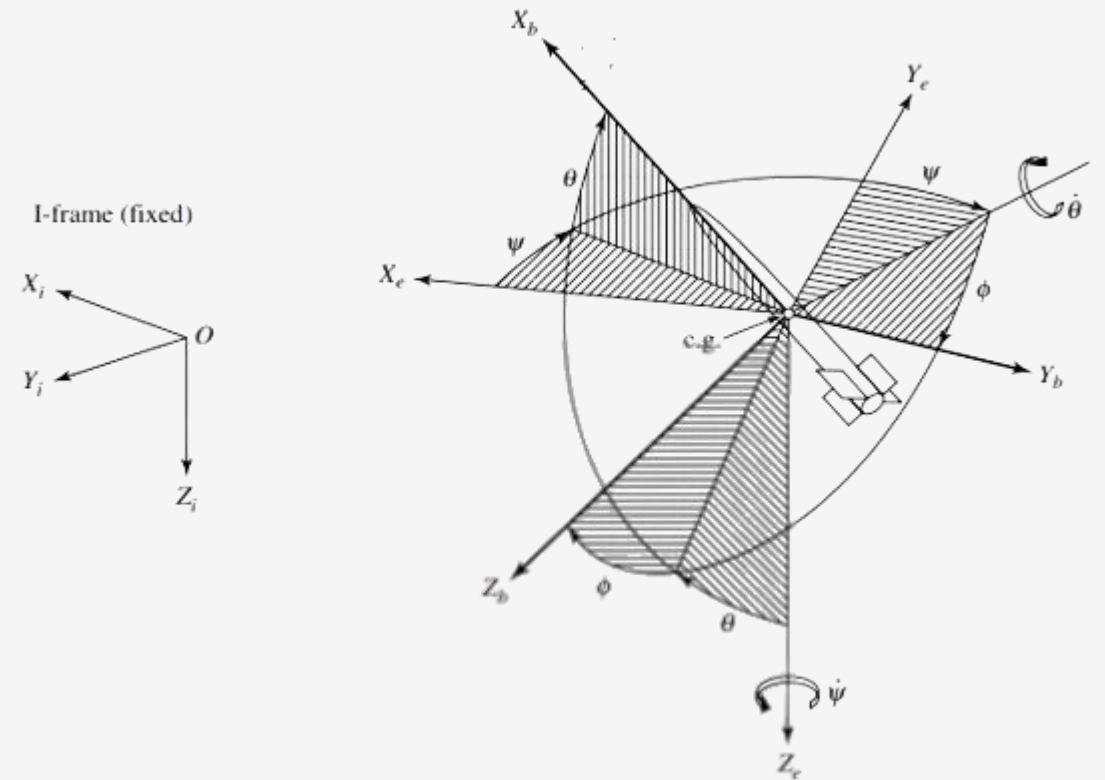
Vetor de Estados

O vetor de estados, de ordem 10, pode ser definido da seguinte forma:

$$x = [x \ y \ z \ \theta \ \psi \ u \ v \ w \ q \ r]$$

Nessa formulação, existem a velocidade linear, a velocidade angular, os deslocamentos nas três direções e os Ângulos de Euler, em que:

$$\vec{v} = (u, v, w) \quad \vec{\omega} = (p, q, r)$$



Fonte: Siouris (2004)

Parâmetros do Sistema

Os parâmetros foram obtidos do foguete *Juno 3*, do Projeto Júpiter.

Esses dados vieram dos testes de voo realizados pela equipe.

Símbolo	Parâmetro	Valor
X_{CM}	Distância do centro de massa até o bocal	1,052 m
L	Comprimento do foguete	3,304 m
I_{xx}	Momento de inércia do eixo x	0 kg·m ²
I_{yy}	Momento de inércia do eixo y	15,07 kg·m ²
I_{zz}	Momento de inércia do eixo z	15,07 kg·m ²
M	Massa do foguete	23,545 kg
g	Aceleração da gravidade	9,8055 m/s ²
ρ	Massa específica do ar	1,091 kg/m ³

Referências

KISABO, Aliyu Bhar et al. State-Space Modeling of a Rocket for Optimal Control System Design. In: Ballistics. IntechOpen, 2019.

CEOTTO, Giovani H. et al. RocketPy: Six Degree-of-Freedom Rocket Trajectory Simulator. Journal of Aerospace Engineering, v. 34, n. 6, p. 04021093, 2021.

CINTRA, Diogo Nobre de Araújo. Controle vetorizado de empuxo baseado em dispositivos flexíveis para sistemas propulsivos. Insper, 2022.

SIOURIS, George M et al. Missile guidance and control systems, New York, 666p., NY, 2004.