

ESTUDO DE TRAJETÓRIAS ESPACIAS

Gislaine de Felipe

Aluna da Universidade de Taubaté - Bolsa PIBIC / CNPQ

R: Aimorés, nº 371 - Guaratinguetá - SP - 12.500-000

Orientador: Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado

Engenheiro de Desenvolvimento Tecnológico,

INPE - DMC - CP 515 - São José dos Campos - SP - 12227-010

O objetivo deste trabalho é o estudo de trajetórias para veículos espaciais. Em particular, será estudado trajetórias obtidas com o modelo matemático dado pelo problema restrito tri-dimensional de três corpos. Trata-se de uma continuação dos trabalhos desenvolvidos por Moreira e Prado (1995), que estuda trajetórias obtidas com o modelo de dois corpos e Prado (1993), Prado (1995) e Prado e Broucke (1995) que estudam trajetórias no modelo dado pelo problema restrito plano de três corpos.

Esse modelo significa que estudaremos o movimento de uma partícula de massa desprezível (como um veículo espacial) em um sistema governado por dois corpos dotados de massa finita (como os sistemas Terra-Lua, Sol-Terra, etc...). Este trabalho não pretende estudar uma missão específica, mas sim efetuar um estudo numérico geral de trajetórias aonde o veículo espacial faça uma passagem próxima do menor corpo de massa finita.

Essas trajetórias serão numericamente classificadas de acordo com os efeitos causados pelo encontro do veículo espacial com o corpo celeste. Esses efeitos são as variações da Energia e do Momentum Angular do veículo espacial entre os instantes imediatamente anterior e posterior ao encontro. Do ponto de vista dessas duas grandezas, temos quatro categorias possíveis para a classificação de cada trajetória:

- Elíptica direta (Energia negativa e Momento Angular positivo);
- Elíptica retrógrada (Energia negativa e Momento Angular negativo);
- Hiperbólica direta (Energia positiva e Momento Angular positivo);
- Hiperbólica retrógrada (Energia positiva e Momento Angular negativo).

As grandezas utilizadas para descrever as condições iniciais de cada trajetória foram: a) Dois ângulos (α e β) e uma distância para especificar a posição do periapse em um sistema de coordenadas esféricas centrado no segundo corpo; b) A magnitude da velocidade do veículo neste instante; c) A razão entre as massas dos dois primários usado como $\mu = 0.0121$ em todas as simulações mostradas nesse trabalho. O trabalho consistiu então de simulações numéricas para um conjunto de condições iniciais. Foi utilizado um integrador de Runge-Kutta combinado com a dinâmica clássica do problema restrito-circular de três corpos em três dimensões. As equações de movimento utilizadas foram:

$$\begin{aligned} y'' &= -2x' + y - \frac{\mu^* y}{r_1^3} - \frac{\mu y}{r_2^3}; & x'' &= 2y' + x - \frac{\mu^*(x+\mu)}{r_1^3} - \frac{\mu(x-\mu^*)}{r_2^3}; & z'' &= -\frac{\mu^* z}{r_1^3} - \frac{\mu z}{r_2^3} \\ r_1 &= ((x+\mu)^2 + y^2 + z^2)^{1/2}; & r_2 &= ((x-\mu)^2 + y^2 + z^2)^{1/2}; & \mu^* &= 1 - \mu. \end{aligned}$$

Com isso classificou-se as trajetórias antes e depois do encontro conforme já mencionado. Isso gera as 16 possibilidades mostradas na tabela I. A fig.1 mostra os resultados para o caso $r_p = 0.00476$ em unidades canônicas. O eixo horizontal representa o ângulo α e o eixo vertical o ângulo β . Foi feita uma figura para cada valor de V_p .

TABELA I: NOMENCLATURA PARA AS ÓRBITAS

Depois:	Antes:	Elíptica Direta	Elíptica Retrógrada	Hiperbólica Direta	Hiperbólica Retrógrada
Elíptica Direta		A	E	I	M
Elíptica Retrógrada		B	F	J	N
Hiperbólica Direta		C	G	K	O
Hiperbólica Retrógrada		D	H	L	P

Referências:

- Moreira, M.I.A. e Prado, A.F.B.A. Estudo de Manobras Orbitais Impulsivas. **Primeiro Seminário de Iniciação Científica do INPE**, São José dos Campos, Julho 24-25, 1995. p. 53-54.
- Prado, A.F.B.A. Optimal Transfer and Swing-By Orbits in the Two and Three-Body Problems; Dissertação de Doutorado; Universidade do Texas, Austin, Texas, EUA, 1993 (INPE-5572-TAE/022).
- Prado, A.F.B.A. The Dynamics of the Gravity-Assisted Maneuver. **Proceedings of the VI Symposium on Dynamic Problems of Mechanics (DINAME 95)**, Caxambu, Minas Gerais, Março 6-10, 1995. p. 256-259.
- Prado, A.F.B.A e Broucke, R.A. A Classification of Swing-By Trajectories using The Moon. **Applied Mechanics Reviews**, 48(11):138-142, Nov. 1995, (INPE-5662-PRE 1837).

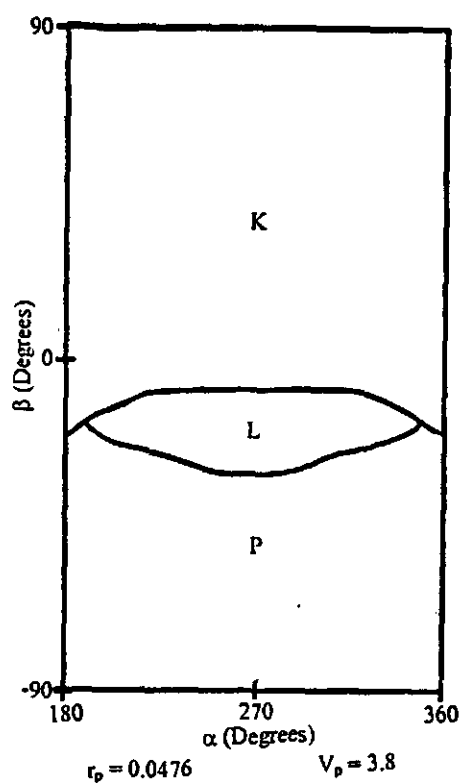
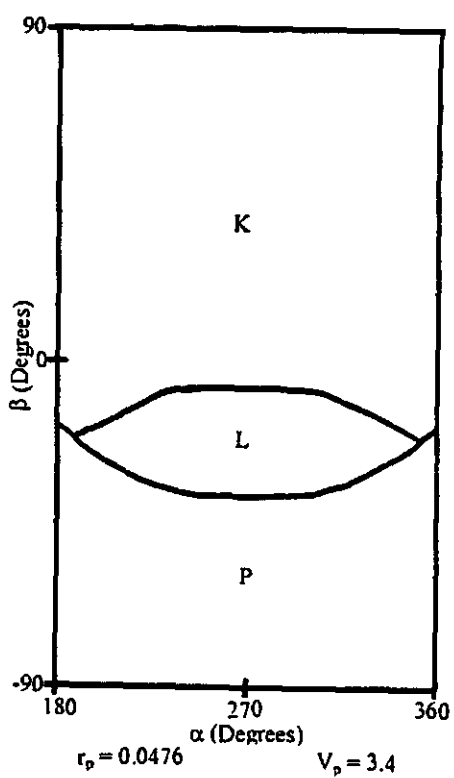
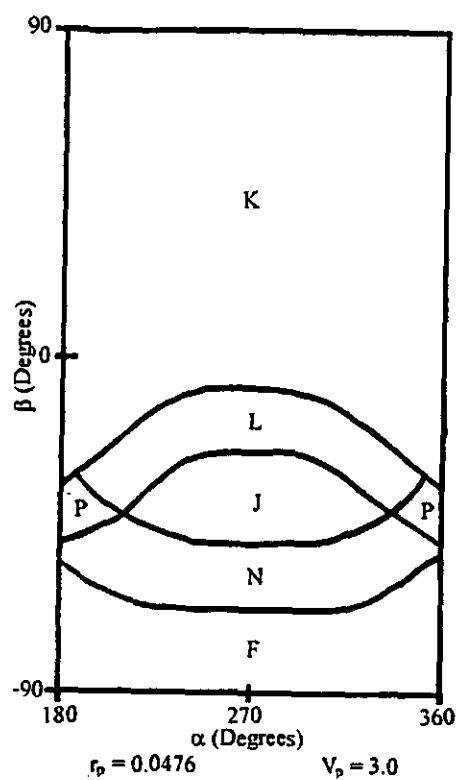
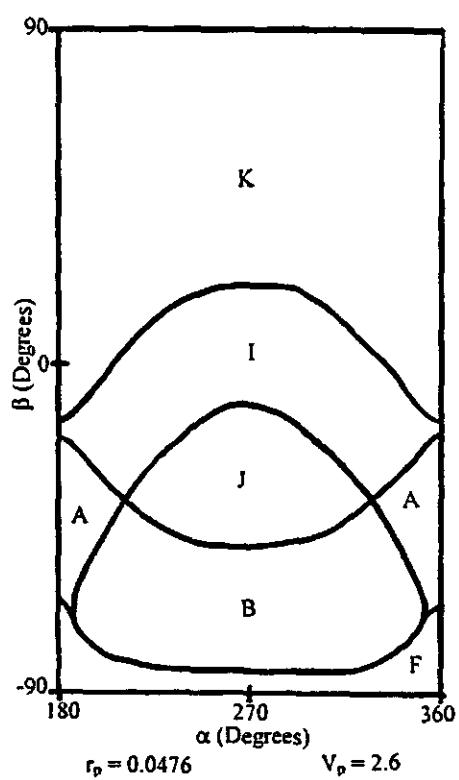


FIG.1 - RESULTADOS DE ALGUMAS SIMULAÇÕES