

## **ESTUDO DA PASSAGEM DE UMA NUVEM DE PARTÍCULAS POR UM CORPO CELESTE**

**RELATÓRIO PARCIAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PERÍODO DE ABRIL A JULHO DE 2011  
(PIBITI/CNPq/INPE)**

**José Batista da Silva Neto (Fatec-SJC, Bolsista PIBITI/CNPq)  
E-mail: josebatista91@gmail.com**

**Dr. Jorge Kennety Silva Formiga (Fatec-SJC, INPE, Orientador)  
E-mail: jkennety@yahoo.com.br**

**INPE  
São José dos Campos  
Julho de 2011**

## 1. Introdução

Este trabalho apresentará como tema o estudo da passagem de uma nuvem de partículas por um corpo celeste. Para este estudo será usada uma abordagem conhecida como “Patched-Conics Approximation”. Como descrito por Bate, et. al (1971):

...o cálculo de uma órbita de precisão é um procedimento de tentativa e erro que envolve a integração numérica das equações de movimento completo, onde todos os efeitos de perturbação são considerados. Para a análise da missão preliminar e estudos de viabilidade, é suficiente para ter um método de aproximação analítica para determinar o  $\Delta V$  total necessário para realizar uma missão interplanetária. O melhor método disponível para tal análise é chamado de patched-conics approximation...

Essa abordagem consiste em dividir uma manobra completa em três partes, sendo que em cada parte é usado um modelo simples de dois corpos. Ou seja, reduz um sistema de n-corpos para um simples de dois corpos, a onde as soluções são as seções cônicas conhecidas das órbitas de Kepler.

Seguindo esse modelo, este estudo terá um sistema simples em duas dimensões composto por três corpos M1, M2 e M3 para uma manobra assistidas por gravidade conhecida como “swing-by”. Como mostra a Fig.1, o sistema é formado por dois corpos principais, um corpo principal com massa maior (M1) e um corpo secundário menor (M2) onde ambos estão em trajetória circular entorno de seu centro de massa e o terceiro corpo é medido através do centro de massa de uma nuvem de partículas com massa infinitesimal (M3), que se move devido a atração gravitacional dos dois corpos principais. Essa abordagem pode ser encontrada também na literatura em Prado (2005), Prado (2001), Formiga e Prado (2011). A base para o desenvolvimento deste trabalho foi apresentado por Prado (2005), onde foi usada para o estudo de uma swing-by entre uma nuvem de partículas e um planeta.

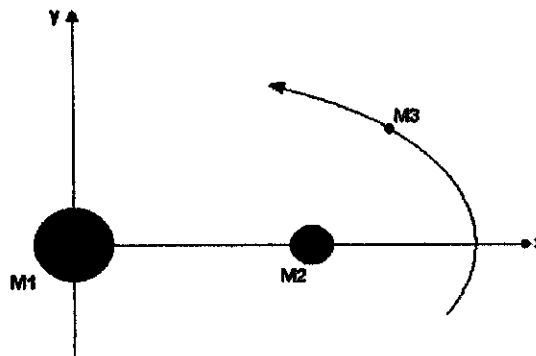


Figura 1 – Modelo de Swing-by pela abordagem Patched-Conics Approximation

### 1.1. Swing-by

O swing-by já é conhecido em Astronáutica por ser uma ótima solução, entre várias, para economia de combustível nas missões espaciais. Ele consiste em usar o movimento e a gravidade de um planeta ou outro corpo celeste para alterar a trajetória, velocidade, energia e momento angular da nave espacial. A sua importância pode ser compreendida quando notamos o grande número de missões de sucesso que o utilizaram. Como exemplo, temos: as missões Voyager onde foram usados múltiplos swing-bys missão descrita por Kohlase e Penzo (1977) como mostra a Fig.2. Outra aplicação encontrada é a descrita por Dunham e Farquhar (2003) e vista na Fig.3, onde foram usados sucessivos swing-bys com a Lua para se obter a órbita com geometria desejável do satélite com a Terra.

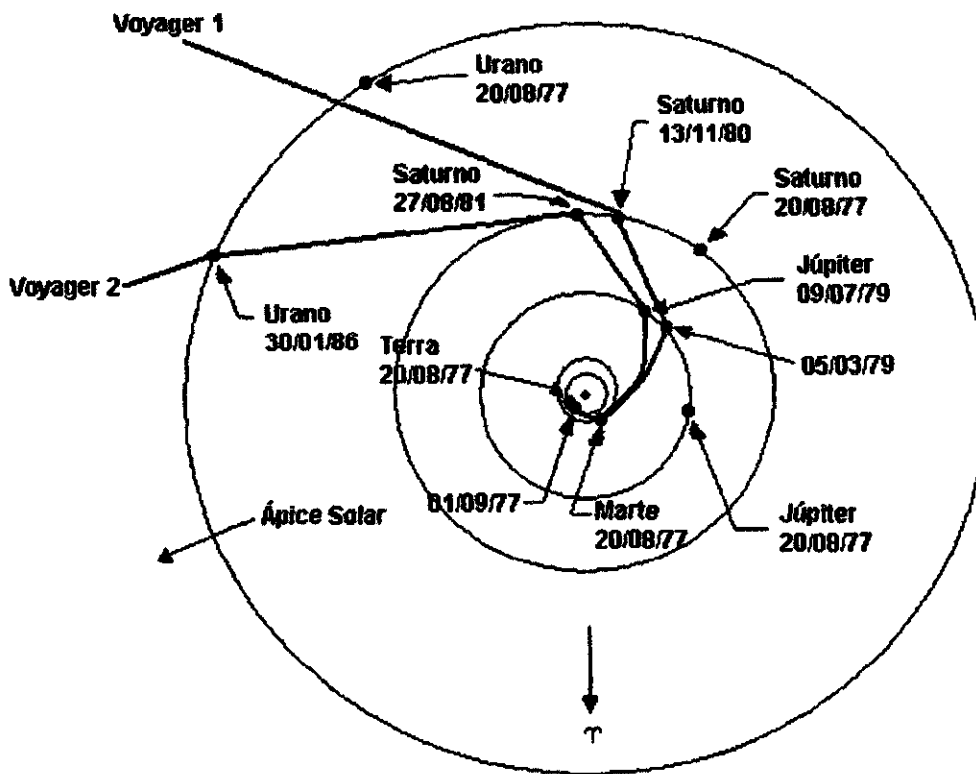


Figura 2 – Descrições Missões Voyager de Kohlase e Penzo (1977)

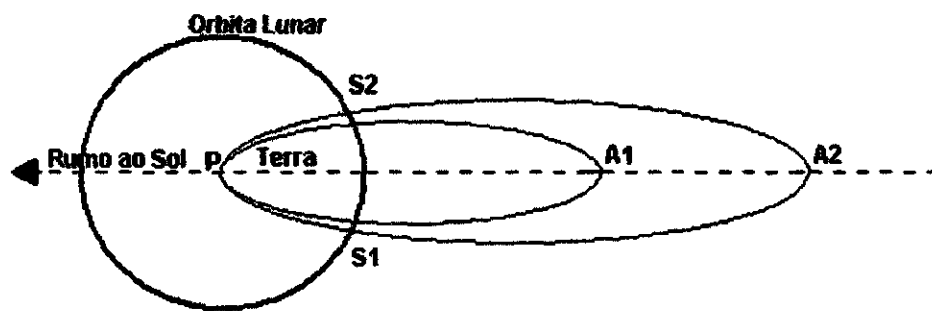


Figura 3 – Sucessivos Swing-bys com Lua de Farquhar e Dunham (2003)

Durante o estudo será essencial conhecermos as equações que regem o movimento dos corpos já conhecidos da mecânica celeste e apresentados por alguns autores: Szebehely (1998) e Bate et. al (1971). Estas equações são fundamentais na determinação dos elementos orbitais antes das manobras realizadas. As variações de tais elementos da órbita: semi-eixo maior, excentricidade, energia e momento angular, darão informações suficientes para interpretar corretamente a trajetória da órbita depois do swing-by.

Vale ressaltar também que o modelo usado para esse trabalho também foi aplicado em outros casos, como podemos mencionar: Problema Restrito Circular de Três-Corpos (Felipe, 2000; Prado e Broucke, 1995a e 1995b; Broucke, 1988; Broucke e Prado, 1993), Problema Restrito Elíptico de Três-Corpos (Prado, 1997) e o existem também novos tratamentos que consideram o swing-by em três dimensões (Felipe e Prado, 2000).

## 2. Objetivo

O objetivo principal é encontrar através de uma investigação numérica as variações de semi-eixo maior, excentricidade, energia e momento angular a fim de conhecer a dispersão da nuvem de partículas em relação ao corpo, considerando o ganho ou a perda da energia e a velocidade da nuvem após a passagem. Será possível também identificar o número de manobras realizadas, ou seja, até que ponto esta nuvem se manteve presa à órbita elíptica após as múltiplas passagens pelo corpo celeste.

E através de simulações com diferentes distancias de aproximação em múltiplos swing-bys espera-se encontrar resultados suficientes para propor o uso de trajetórias ótimas com o baixo custo de manutenção ao redor de alguns planetas que serão analisados.



## 5. Referência Bibliográfica

BATE, R. R.; MUELLER, D. D.; WHITE, J. E. Fundamentals of astrodynamics - New York, NY: Dover, 1971 45576396 (Dover Books on Engineering) ISBN 0-486-60061-0

BROUCKE, R. A., The Celestial Mechanics of Gravity Assist. AIAA paper 88-4220. In: AIANAAS Astrodynamics Conference, Minneapolis, MN, 15-17 Aug. 1988.

BROUCKE, R. A.; PRADO, A. F. B. A. Jupiter swing-by trajectories passing near the Earth. AIAA Journal, v. 82, n. Part 2, p. 1159-1176, 1993. AAS - AIAA Spaceflight Mechanics Meeting, 3, 22-24 Feb., 1993. (INPE-5596-PRE/1811).

Dunham, D.; Farquhar, R., Libration Point Missions, 1978-2002. In G. Gomez, M. Lo, and J. Masdemont, editors, Libration Point Orbits and Applications, p. 45-73, 2003.

FELIPE, G. Manobras orbitais aplicadas aos problemas de dois e três corpos. 2000. 170 p. (INPE-7530-TDI/736). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 2000.

FELIPE, G.; PRADO, A. F. B. A. Optimal maneuvers in three-dimensional swing by trajectories. In: PRADO, Antonio Fernando Bertachini de Almeida. (Ed.). Colóquio Brasileiro de Dinâmica Orbital, 9 Advances in Space Dynamics. [s.n.] 2000. p. 84-98. (INPE-8044-PRE/3860).

FORMIGA, J. K. S.; PRADO, A. F. B. A., A study of the effects of a close approach between a planet and a particle. In: 22. ND INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON SPACE FLIGHT DYNAMICS, 2011, São José dos Campos. Proceedings... 2011. p. 1-10.

KOHLHASE, C.E.; PENZO, P.A., Voyager Mission Description. Space Science Reviews, Vol. 21, No. 2, pp.77-101, Nov. 1977.

PRADO, A. F. B. A. Trajetórias espaciais e manobras assistidas por gravidade. São José dos Campos: INPE, 2001. 171 p. ISBN 85-17-00003-X.

PRADO, A. F. B. A. Close-Approach trajectories in the elliptic restricted problem. Journal of Guidance Control and Dynamics, v. 20, n. 4, p. 797-802, July-Aug. 1997. (INPE-6733-PRE/2755).

PRADO, A. F. B. A. A Patched Conics Description of the swing-by of a group of particles. Nonlinear Dynamics and Systems Theory, v. 5, n. 3, p. 265-271, 2005.

PRADO, A. F. B. A.; BROUCKE, R. A. A classification of swing-by trajectories using the Moon. Applied Mechanics Reviews, v. 48, n. 11 Part 2, p. S138-S142, Nov. 1995a. Pan American Congress of Applied Mechanics, 4 - (PACAM), 03-06 Jan., 1995, Buenos Aires, AR.(INPE-5662-PRE/1837).

PRADO, A.; BROUCKE, R. Effects of atmospheric drag in swing-by trajectory. Acta Astronautica, v. 36, n. 6, p. 285-290, Sep. 1995b. (INPE-9135 -PRE/4808).

SZEBEHELY, V. G.; MARK, H.; SZEBEHELY, V. G. Adventures in celestial mechanics 02 New York, NY: John Wiley & Sons, 1998 301308268