

## Estudo de Órbitas: Análise de Comportamento

Giovanna M. C. Alves<sup>1</sup>, Denilson P. S. Santos<sup>2</sup>, Crystopher C. Brito<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista (UNESP), FESJ, São João da Boa Vista, SP

Jorge K. S. Formiga<sup>4</sup>

Universidade Estadual Paulista (UNESP), ICT, São José dos Campos, SP

A análise da órbita de um satélite, em conjunto com o entendimento das forças perturbadoras que agem sobre ele, fornecem informações importantes quanto a potenciais perigos e desvios de trajetória aos quais o satélite está sujeito.

Além disso, dado o contínuo aumento da população de detritos espaciais ao redor da Terra, a análise da trajetória descrita por potenciais colisores com satélites ativos de interesse também se faz de grande importância na prevenção de colisões em órbita, uma das maiores fontes de geração de detritos, caracterizando, portanto, uma medida de mitigação preventiva [1, 5, 6].

Diversos fatores podem influenciar a trajetória e o tempo de reentrada de um satélite em órbita, tais como as forças perturbadoras atuando sobre o satélite, a posição e componentes de velocidade iniciais do satélite.

Uma análise simplificada do movimento de um satélite pode ser feita por meio do problema de 3 corpos restrito. Uma simplificação mais grosseira seria considerar a Terra como um corpo perfeitamente esférico e homogêneo, tal que o satélite está sujeito à ação apenas da força gravitacional. Neste caso, o satélite descreveria uma órbita elíptica. Uma análise mais detalhada, no entanto, inclui o efeito das forças perturbadoras, o que deve gerar variações na órbita do satélite analisado [3].

Dentre as forças perturbadoras, pode-se citar: arrasto atmosférico, atração gravitacional devido ao potencial do planeta, força das marés, forças de pressão de radiação solar e albedo.

O arrasto atmosférico depende, entre outros fatores, da densidade do ar e da velocidade relativa do satélite em relação à atmosfera do planeta. Logo, a posição inicial e a velocidade inicial do satélite devem influenciar o efeito que o arrasto atmosférico terá sobre seu movimento.

A densidade do ar é maior na região do perigeu, por conta da maior proximidade com o planeta, assim como a velocidade do satélite, conforme implica a Segunda Lei de Kepler [2]. Assim, o efeito do arrasto atmosférico é mais pronunciado durante a passagem do satélite pelo perigeu, de modo que a resistência promovida pelo arrasto causa diminuição da altitude do apogeu e alteração da excentricidade orbital [7].

A não esfericidade da Terra e os harmônicos zonais ( $J_2$ ,  $J_3$ ) geram perturbações nos elementos orbitais e influenciam a trajetória descrita pelo satélite. Essas perturbações afetam principalmente satélites em baixa altitude, de modo que a posição inicial e a excentricidade da órbita do satélite são relevantes [3].

A presença de corpos perturbadores, como a Lua, no sistema Terra-Lua-satélite artificial, gera alterações no potencial da Terra devido à mudança na distribuição de massa do planeta sob ação da atração gravitacional da Lua. Esse potencial adicional gerado pela presença da Lua causa uma aceleração no satélite artificial, tal que a aceleração sofrida depende da posição do satélite.

---

<sup>1</sup> giovanna.mc.alves@unesp.br

<sup>2</sup> denilson.santos@unesp.br

<sup>3</sup> crystopher.brito@unesp.br

<sup>4</sup> jorge.formiga@unesp.br

Fótons provenientes do Sol transmitem quantidade de movimento ao colidirem com o satélite. A depender das características do satélite e sua posição com relação ao Sol, a pressão de radiação pode afetar de forma significativa a excentricidade da órbita do satélite [4]. A aceleração gerada pelos fótons que atingem o satélite após estes serem refletidos pela superfície da Terra é um fenômeno conhecido como albedo e é não uniforme ao longo da órbita.

Este trabalho propõe o estudo da influência de diferentes parâmetros sobre a trajetória de um satélite em órbita elíptica, tais como a influência das componentes de velocidade inicial, da posição inicial, e as influências das forças perturbadoras agindo sobre o corpo, por meio da comparação de modelos aprimorados que consideram a influência de diferentes forças perturbadoras como arrasto atmosférico, pressão de radiação e potencial J2.

## Agradecimentos

Processo nº 2022/15075 – 5, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

## Referências

- [1] P. M. Bainum, A. D. Guerman e A. K. Misra. “Dynamics and control of space systems”. Em: **Acta Astronautica** (2014). Aceito. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.09.001>.
- [2] V. Carrara, H. Kuga e K. Rao. **Introdução à Mecânica Orbital, 2a Edição**. 2012.
- [3] V. Carrara, H. Kuga e K. Rao. **Satélites Artificiais - Movimento Orbital**. 2012.
- [4] V. A. Chobotov. **Orbital Mechanics (AIAA Education Series)**. 3a. ed. AIAA, 2002. ISBN: 1563475375.
- [5] M. M. Kaiser. “IADC Space Debris Mitigation Guidelines”. Em: **The Geostationary Ring** (2020). Aceito. DOI: [10.1163/9789004411029\\_014](https://doi.org/10.1163/9789004411029_014).
- [6] H. Klinkrad. “On-orbit risk reduction - Collision avoidance”. Em: **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering** (2007). DOI: [10.1243/09544100JAERO171](https://doi.org/10.1243/09544100JAERO171).
- [7] A. Magdy e A. Moursi. “Effect of aerodynamics drag and radiation pressure on orbit and attitude dynamics coupling of small spacecraft”. Em: **43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28 January - 4 February**. Vol. 43. 2021.