



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76  
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

## **XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2020**

### **Manobras de Rendezvous em Ambiente de Detritos Espaciais em LEO**

**Luciano F. Sousa<sup>1</sup>; Antônio D. C. Jesus<sup>1</sup>**

1. Bolsista PIBIC/FAPESB, Graduando em física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:

[Lu3279@hotmail.com](mailto:Lu3279@hotmail.com)

2. Antônio Delson Conceição de Jesus, Departamento de física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:

[aldjl@uefs.br](mailto:aldjl@uefs.br)

**PALAVRAS-CHAVE:** Rendezvous; Nuvem de Detritos, LEO

### **INTRODUÇÃO**

A grande quantidade de Detritos Espaciais (DE) em órbita ao redor da Terra está trazendo preocupação para as agências espaciais em todo o mundo, por aumentar o risco das atividades espaciais, ou até mesmo provocar a inviabilização de missões (KESSLER, 1991; LEJBA, et al. 2018; ADUSHKIN et al., 2016; FELICETTI e EMAMI, 2018; ABDEL-AZIZ, 2013). Alguns estudos recentes de projeção temporal mostraram que já alcançamos o ponto de desequilíbrio no sentido de que, dada a probabilidade de futuras colisões entre objetos existentes, a população em LEO continuará aumentando mesmo sem novos lançamentos nos próximos 200 anos (ADUSHKIN et al., 2016; FELICETTI e EMAMI, 2018). Segundo Adushkin et al. (2016) a probabilidade de colisões em qualquer região orbital (LEO - região de baixa altitude, MEO - região de média altitude e, GEO - região de altitudes elevadas) cresce aproximadamente proporcional ao quadrado do número de objetos espaciais nessa região. Donald Kessler (KESSLER, 1991), do Centro Espacial Johnson da NASA, chamou a atenção para o fato de que, ao atingir uma certa densidade crítica de objetos espaciais em algumas regiões orbitais o aumento do número de colisões daria início ao processo de expansão rápida em cascata para a formação de novos fragmentos secundários. As principais agências espaciais mantêm centros de monitoramento e catalogação de detritos espaciais, e atualmente cerca de 19.000 objetos maiores que 10 cm (dados de janeiro de 2018) são monitorados pela U.S. SPACE SURVEILLANCE NETWORK (LEJBA, et al. 2018; ANZ-MEADOR, 2018), 200.000 objetos entre 1 cm e 10 cm, e mais de 330 milhões de objetos menores que 1 cm (OLIVEIRA, 2016). O grau de perigo de acidentes com os detritos espaciais é determinado principalmente por três fatores: 1) longa vida em órbita; 2) altas velocidades e; 3) dificuldades para a sua eliminação (ADUSHKIN et al., 2016). A falta de tecnologias de remoção (ou mitigação) de detritos, assim como a ausência de regras para o uso e compartilhamento do espaço orbital tornaram os detritos espaciais um grave problema para a navegação orbital, colocando em risco o futuro das atividades espaciais (RIBEIRO, et al., 2018). A substituição de satélites danificados ou destruídos por colisões com detritos aumentaria o custo de operação e manutenção de 4 a 14%, traduzindo-se em centenas de milhões de dólares durante o período operacional de 20 anos (YANG, et al., 2016). Atuações preventivas de anticollisão entre veículos e detritos (naturais ou veículos não operacionais) são abordadas sobre várias perspectivas, com forte ênfase na precisão dos

modelos de dinâmica, nos métodos de planejamento de manobras e tecnologias computacionais (KATZ, SAENZ-OTERO e MILLER, 2011). A busca por um modelo preciso para avaliar a posição e a velocidade orbital dos veículos operacionais e detritos espaciais é muito importante no momento, principalmente para determinar preventivamente uma colisão. Entretanto, o aumento da exatidão resulta em um aumento da complexidade matemática por conta da adição de forças dissipativa aos modelos. Com respeito às manobras orbitais, elas podem ser classificadas como manobras de correção, que têm a função de compensar variações orbitais provocadas por forças perturbadoras, e manobras de transferência, com o objetivo de mudar significativamente a órbita do veículo.

## **OBJETIVOS**

A proposta desta pesquisa é investigar as manobras de Rendezvous entre objetos espaciais em ambiente de detritos espaciais, considerando os riscos de colisão com eles e ainda em altitudes baixas (LEO), onde ocorre o arrasto atmosférico. Esta pesquisa é atual, aplicável do ponto de vista tecnológico e é de grande relevância científica, visto as necessidades das missões espaciais, devido ao acúmulo dos detritos em regiões operacionais e as operações de Space Clean ora planejadas pelas principais agências espaciais.

Objetivo geral deste trabalho é estudar as manobras de Rendezvous entre objetos espaciais (dois veículos espaciais e, um veículo espacial e um detrito espacial) num ambiente de nuvem de detritos em regiões de baixa altitude. Os objetivos específicos são:

- 1) Estabelecimento das equações da dinâmica de Rendezvous para objetos espaciais;
- 2) Aplicação da dinâmica de Rendezvous para objetos espaciais a veículos e detritos espaciais;
- 3) Simulação numérica da dinâmica do modelo matemático-computacional estabelecido;
- 4) Estudo da distribuição de variáveis físicas e tecnológicas que garantem manobras de Rendezvous seguras.
- 5) Inclusão da força de arrasto atmosférico na dinâmica de Rendezvous em LEO

## **MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA**

Estudamos o problema de N corpos analiticamente e a partir de ferramentas do cálculo numérico pré moldadas na biblioteca Rebound. Esta biblioteca está disponível para as linguagens C e Python. Toda sua documentação está disponível na internet no link: <https://rebound.readthedocs.io/en/latest/> além de exemplos disponíveis no fórum: Github. Durante a fase de estatística, fizemos grandes números de simulações e analisamos todos os dados com a linguagem R. A fase de simulação e determinação das manobras de rendezvous, utilizamos a linguagem Python.

O Rebound sintetiza uma lista de 14 integradores numéricos para problemas de astrodinâmica, dentre eles o integrador IAS 15, utilizado para problemas de dinâmica orbital. O Rebound conta com frequentes atualizações. Na data que este trabalho foi realizado, utilizamos a versão 3.12.2.

## RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO

Após 10.000 simulações, com distâncias iniciais dos detritos ao satélite de 3 km, realizamos uma comparação dos resultados com e sem arrasto. Salvamos em bancos de dados e comparamos as menores distâncias que ocorreram em todas as dinâmicas. Notamos que a inclusão da força de arrasto atmosférico na dinâmica tende a gerar afastamento entre os objetos de simulação, conforme mostra a *Tabela 1*.

*Tabela 1: 4 Menores distâncias obtidas com/sem arrasto atmosférico 10.000 simulações.*

<b>Sem arrasto atmosférico</b>	<b>Com arrasto atmosférico</b>
0 [m] (Colisões)	53,850 [m]
1,037 [m]	55,207 [m]
1.213 [m]	61,918 [m]
1.533 [m]	120,669 [m]

Através de uma estatística exaustiva, encontramos os parâmetros tecnológicos ótimos que caracterizam o sistema propulsor capaz de produzir a manobra de Rendezvous entre o veículo espacial e o detrito espacial.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As possibilidades de colisões encontradas em ambos casos estudados neste trabalho (distâncias iniciais relativas pequenas e grandes) são muito pequenas, quando comparadas àquelas dos objetos orbitais se cruzarem com distâncias mínimas maiores que zero. Entretanto sua existência, detectada em nossas simulações, preocupa ao saber que em colisões de alta velocidade relativa, o risco de perda total do equipamento é praticamente certo. Encontramos dois efeitos para o arrasto atmosférico que afasta os corpos para distâncias grandes e os aproxima para distâncias pequenas. A maioria das manobras de Rendezvous no ambiente de arrasto só é possível através de retropropulsão. Agradecemos a FAPESB e aos contribuintes pelo auxílio financeiro concedido, que possibilitou a realização deste estudo.

## REFERÊNCIAS

KESSLER, D. J. Collision cascading: Limits of population growth in low Earth orbit, Adv. Space Res. 11, No. 12, 63-66, 1991.

FELIPE, G. de; PRADO, A. F. B. A. Manobras de rendezvous entre rbitas keplerianas com controle impulsivo. SBA Controle e Automao, v. 12, n. 2, p. 156/162, 2001.

KATZ, Jacob G.; SAENZ-OTERO, Alvar; MILLER, David W. Development and demonstration of an autonomous collision avoidance algorithm aboard the ISS. In: Aerospace Conference, 2011 IEEE. IEEE, 2011. p. 1-6.

REIN, Hanno; LIU, S.-F. REBOUND: an open-source multi-purpose N-body code for collisional dynamics. Astronomy & Astrophysics, v. 537, p. A128, 2012.

DEL-AZIZ, Yehia A. An analytical theory for avoidance collision between space debris and operating satellites in LEO. Applied Mathematical Modelling, v. 37, n. 18-19, p. 8283-8291, 2013.

REIN, Hanno; SPIEGEL, David S. ias15: a fast, adaptive, high-order integrator for gravitational dynamics, accurate to machine precision over a billion orbits. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 446, n. 2, p. 1424-1437, 2014.

ABREIN, Hanno; TAMAYO, Daniel. whfast: a fast and unbiased implementation of a symplectic Wisdom–Holman integrator for long-term gravitational simulations. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 452, n. 1, p. 376-388, 2015.

MAMMARELLA, M.; CAPELLO, E.; GUGLIERI, G. A comprehensive analysis of guidance and control algorithms for orbital rendezvous maneuvers. In: AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference. [S.l.: s.n.], 2016. p. 5214.

OLIVEIRA, Eduardo Mendes. Manobras evasivas subótimas em leo sujeitas à força de arrasto atmosférico e a colisões com detritos espaciais. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

ADUSHKIN, Vitaly et al. Orbital Missions safety as survey of kinetic hazards. Acta Astronautica, v. 126, p.510-516, 2016.

RIBEIRO, Joana Ramos et al. Evolution of policies and technologies for space debris mitigation based on bibliometric and patent analyses. Space Policy, 2018.

ANZ-MEADOR, Phillip. Orbital debris quarterly news. February 2018.

FELICETTI, Leonard; EMAMI, M. Reza. Image-based attitude maneuvers for space debris tracking. Aerospace Science and Technology, v. 76, p. 58-71, 2018.

LEJBA, Paweł et al. First laser measurements to space debris in Poland. Advances in Space Research, v. 61, n. 10, p. 2609-2616, 2018.