UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº17.228 de 25/11/2016
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS
SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2021

ESTUDO DA REENTRADA DE DETRITOS ESPACIAIS POR CAMADAS ATMOSFÉRICAS COM DENSIDADE VARIÁVEL

Gabriel Luiz Ferreira Santos[1]; Antônio Delson Conceição de Jesus[2]

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: gabrielluiz83@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: a1d1j1@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Reentrada natural; Detritos espaciais ionizados; densidade atmosférica variável.

INTRODUÇÃO

É um fato que o planeta Terra é envolto por uma nuvem de lixo espacial cujos constituintes recebem o nome de **detritos espaciais (DE)**. Os DE surgem a partir das atividades espaciais humanas (Human debris - detritos fabricados pelos homens) e das atividades naturais (Natural debris - detritos gerados pela natureza, partículas de rocha e poeira vindas do Cinturão Principal de asteroides e quaisquer outros corpos oriundos do Espaço Sideral que eventualmente sejam capturados pelo campo gravitacional da Terra). Alguns trabalhos baseados em análises numéricas têm revelado que o aumento da quantidade de DE na faixa de altitude entre 900 km e 1400 km já é autossustentável [1]. Isso quer dizer que mesmo que todas as atividades espaciais fossem encerradas, o número de DE nesta faixa de altitudes ainda cresceria com o tempo.

A **reentrada atmosférica** pode ser definida como o processo de retorno à superfície da Terra de um objeto espacial operacional (ônibus espacial, por exemplo) ou não operacional (detrito espacial). O processo de reentrada atmosférica dos veículos operacionais é chamado de **reentrada comandada**, e o de objetos espaciais não operacionais de **reentrada natural**.

Este trabalho pretende estudar o processo de reentrada de detritos espaciais, portanto, o foco desta pesquisa é entender a reentrada natural de objetos espaciais não operacionais, considerando as principais forças que agem sobre os corpos em processo de reentrada natural. Em particular, vale a pena salientar que a interação de detritos espaciais ionizados com o campo magnético terrestre foi levada em conta na descrição da dinâmica.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

Para realizar as simulações deste projeto, nossa proposta é utilizar o integrador REBOUND [2][3][4]. O REBOUND é uma API (Application Programming Interface) que possibilita a simulação do problema de N-corpos. É totalmente gratuita, código aberto, desenvolvida e criada dentro das especificações GPLv3 (General Public

License). Atualmente está na versão 3.2.2 e é inteiramente implementada na linguagem C, seguindo o padrão ISO C99. Seu código-fonte é hospedado na plataforma github. Desse modo, as equações de movimento foram resolvidas numericamente por meio do integrador IAS-15 [5], o qual garante um passo temporal variável de acordo com a altitude do detrito espacial.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Com os modelos matemáticos postos para as principais forças (gravitacional, arrasto atmosférico, magnética, etc.) que atuam sobre os corpos durante o processo da reentrada atmosférica, as equações de movimento foram montadas e resolvidas numericamente de modo que um catálogo de detritos espaciais foi gerado. Todos os elementos deste conjunto de objetos não operacionais colidem em algum ponto da região destacada na Figura 1 em até 2000 segundos.

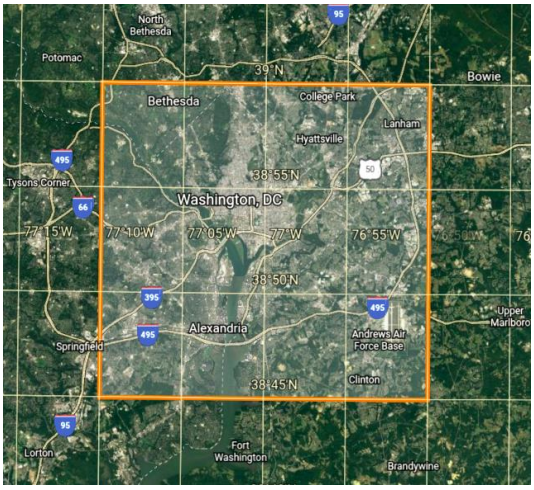

Figura 1: Zona de impacto escolhida para o estudo realizado. Trata-se de Washington DC e sua vizinhança. Observe que há uma base aérea militar no canto inferior direito do retângulo.

Assim, foram elaborados uma série de diagramas relacionando as características físicas dos objetos identificados com os seus respectivos locais de queda dentro da zona mostrada na Figura 1. A Figura 2 apresenta um mapa da zona de impacto, o qual fornece os locais das quedas e as velocidades dos detritos espaciais no momento em que atingiram a superfície da Terra.

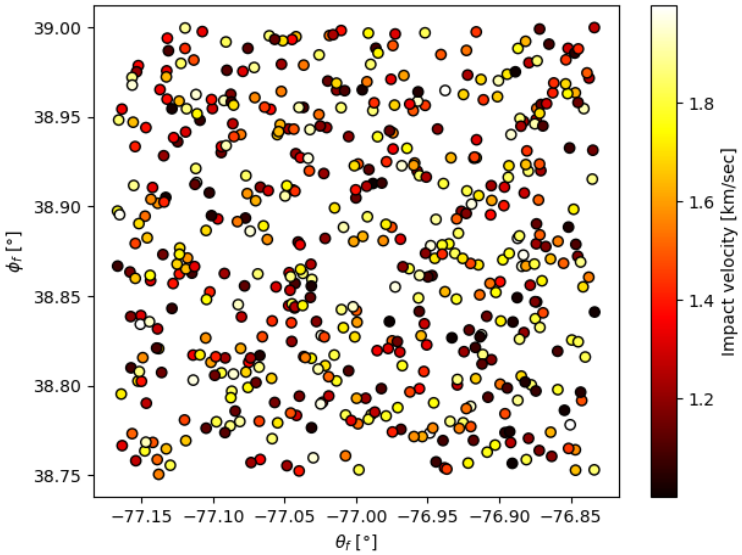

Figura 2: Locais de queda dos detritos espaciais e suas respectivas velocidades de impacto.

Além da análise do espalhamento no solo, também elaborou-se um mapa celeste contendo as posições em t = 0 de todos os objetos não operacionais presentes no levantamento. A Figura 3 apresenta as coordenadas *xyz* de cada um dos corpos no sistema de coordenadas geocêntricas. Foram detectados 524 detritos espaciais cujo movimento acontece ao longo de órbitas hiperbólicas, os quais após um tempo de até 2000 segundos colidem com a superfície terrestre em algum ponto da zona de impacto mostrada na Figura 1. Com efeito, estes objetos catalogados compõem um levantamento de corpos do espaço operacional ao redor da Terra que iniciam o processo de reentrada natural e terminam em algum local dentro do retângulo que define a borda da zona de impacto.

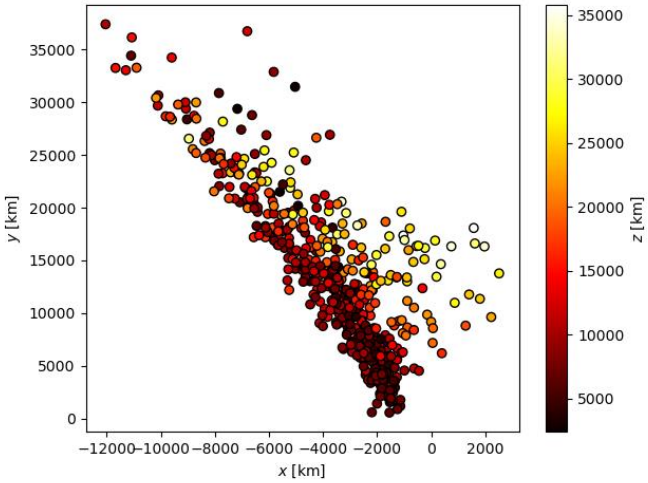

Figura 3: Família de detritos espaciais presente no levantamento. Todos os 524 elementos mostrados neste diagrama atingem algum ponto da zona de impacto em até 2000 segundos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Por fim, considerando as principais forças atuantes sobre os detritos espaciais durante o processo da reentrada atmosférica, fomos capazes de entender de que forma os objetos não operacionais se comportam no que diz respeito à sua distribuição espacial no céu e após o impacto com a superfície terrestre. Ademais, os resultados deste trabalho podem ser aplicados para os dois tipos de detritos espaciais, os produzidos pelo homem e os naturais, o que fornece um entendimento mais amplo do fenômeno da reentrada atmosférica tanto do lixo espacial como também de pequenos pedregulhos oriundos de outras partes do sistema solar. Nesse sentido, fomos capazes de elaborar os mapas (tanto do céu quanto da zona de impacto) em termos de parâmetros físicos e/ou associados à dinâmica de voo, tais como raio, massa e razão carga-massa dos detritos que atingem a superfície da Terra em algum ponto da cidade de Washington DC e região nos Estados Unidos. Assim, os dados gerados pela simulação computacional podem ser usados para entender a trajetória de reentrada além dos pontos inicial e final de cada corpo reentrante de modo que o cruzamento destas informações com os dados das órbitas de satélites operacionais ou do plano de voo aviões comerciais podem ser feitos com o intuito de manter a integridade das espaçonaves funcionais ao redor da Terra, das pessoas nos aviões e dos civis em solo.

REFERÊNCIAS

[1] Kessler, D. J. (1991). Collisional cascading: The limits of population growth in low earth orbit. Advances in Space Research, 11(12):63–66.

[2] 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.

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

[4] REIN, 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.

[5] Rein & Spiegel 2015 (Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 446, Issue 2, p.1424-1437) describes the versatile high order integrator IAS15 which is now part of REBOUND. http://adsabs.harvard.edu/abs/2015MNRAS.446.1424R