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

ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO CONTRA COLISÕES DE ASTEROIDES COM A TERRA

Paulo Victor Silva Do Monte Santos[1]; Antônio Delson Conceição de Jesus[2]

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

PALAVRAS-CHAVE: Asteróide, Impacto cinético, Propulsão exponencial.

INTRODUÇÃO

.

O Impacto Cinético é uma das medidas de mitigação pensadas pelas agências espaciais para se evitar uma colisão catastrófica de um asteroide com a Terra. As projeções astronômicas apontam para colisões com objetos maiores ou iguais a 1 km de diâmetro em centenas de milhões de anos. Estas colisões representam a extinção definitiva do planeta. Elas estão previstas para objetos catalogados dentro desta escala de tempo. Contudo, outros objetos não catalogados, mas que podem entrar no Sistema Solar são possíveis e em escala de tempo menor. Assim, o estudo da viabilidade de manobras de mitigação contra tais colisões se torna urgente e importante. Estes asteroides são chamados de Objetos Próximos da Terra (NEO – em inglês). Estão previstas colisões com objetos de diâmetros da ordem de quilômetros para futuro médio e longínquo, que seria fatal para a Terra. (Board, 2010). Mas, o tamanho mínimo de um impacto que causaria uma devastação na Terra ainda é incerto. É um fenômeno raro, mas se ocorrer será destrutivo, com danos incalculáveis para o planeta. Este é o clássico "Problema do Zero versus Infinito": quase zero a probabilidade de ocorrência, mas quase infinita a devastação por ocorrência. Há uma preocupação das agências espaciais e instituições ligadas a elas sobre como detectar, rastrear, catalogar as características físicas de, pelo menos, 90% dos NEO potencialmente perigosos e maiores que 140 metros de diâmetro até, no máximo, 2021.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

Para realizar as simulações presentes neste projeto de pesquisa, utilizamos o integrador de n-corpos REBOUND. O REBOUND é uma API que possibilita a integração do movimento de partículas sob a influência da gravidade. As partículas podem representar estrelas, planetas, luas, anéis ou partículas de poeira. Utilizamos sua versão no Python 3.6.9, no qual as equações de movimento foram resolvidas numericamente por meio do integrador IAS-15, no qual garante um passo temporal variável de acordo com a distância entre as partículas, assim otimizando a simulação sem perder totalmente a sua precisão. A simulações consideram as interações gravitacionais entre o NEO, o Sol e a

Terra, o choque do veículo espacial e o NEO movido à força de propulsão do veículo espacial.

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

A Figura 1, a seguir, mostra o resultado da distância entre o Neo e a Terra em função das suas anomalias verdadeiras:

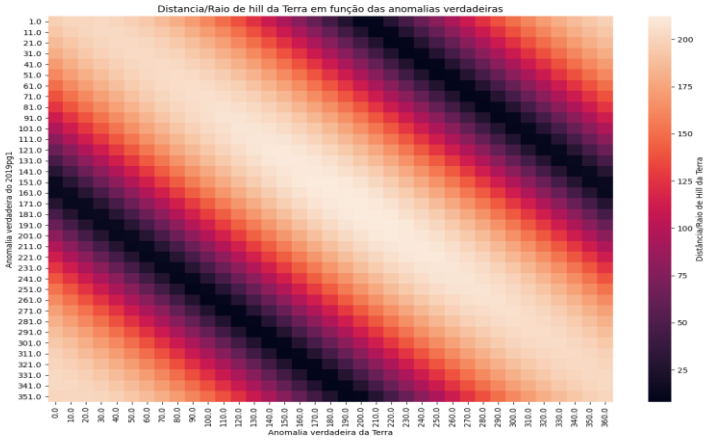

Figura 1 – Distância entre o NEO e a Terra vs. Anomalias verdadeiras

Observamos o comportamento de aproximação e afastamento entre o Neo e a Terra em função da posição de cada corpo em sua órbita, sendo que nas partes mais escuras do gráfico encontramos os pontos de maior aproximação com a Terra. Tais pontos são os pontos de maior atenção durante o trabalho, os pontos mais claros são os pontos em que o Neo se encontra mais afastado da Terra, a uma distância segura. A unidade da distância é múltipla do raio de Hill da Terra. A Figura 2 mostra a variação do ponto mais afastado da órbita do Neo, o apoapsis, em função da velocidade de colisão relativa entre o Neo e o veículo. Observamos que à medida em que a velocidade de colisão cresce, cresce a variação do apoapsis, linearmente. Também vemos que para velocidades de colisões relativas positivas, ambas as órbitas em sentidos iguais, a variação do apoapsis também é positiva, mostrando que colidindo o Neo com o veículo com uma órbita no mesmo sentido, o Neo irá ter sua órbita expandida e para velocidades de colisão relativa negativa, a órbita irá diminuir, assim conseguimos saber que as velocidades de colisão relativas que buscamos são positivas, para abrir a órbita e fazer o Neo se afastar da órbita da Terra.

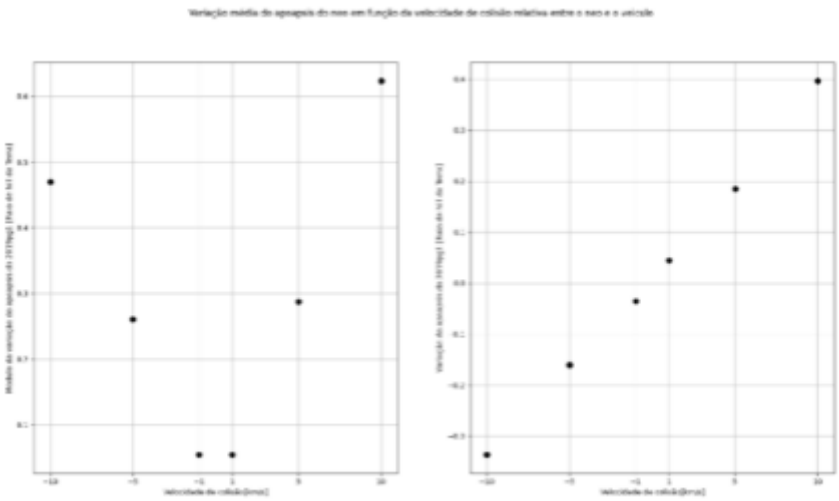

Figura 2 – Apoápsis do NEO vs. Velocidade de colisão

A Figura 3, a seguir, mostra o o efeito do fator de massa da propulsão na distância inicial relativa entre o veículo e o Neo. Como o esperado, a medida que este fator diminui, mais duradouro será o efeito da propulsão, já que ele é um dos denominadores da equação da propulsão. Observamos que à medida que a faixa da distância inicial aumenta, ou seja, para pouco combustível e com o tempo de queima fixo, o veículo sempre sairá da mesma posição, porém à medida que a quantidade de combustível aumenta, aumentam as possibilidades de locais que o veículo pode iniciar sua trajetória para realizar a colisão. Também podemos observar que o resultados no gráfico ficaram sobre 3 linhas horizontais, sendo que para cada linha dessa equivale a uma velocidade de colisão diferente, sendo os valores entre 0 e 10.000 para velocidade de colisão = (-1,1)km/s, os valores entre 10.000 e 25.000 para velocidade de colisão = (-5,5)km/s e valores entre 30.000 e 40.000 para velocidade de colisão = (-10,10)km/s

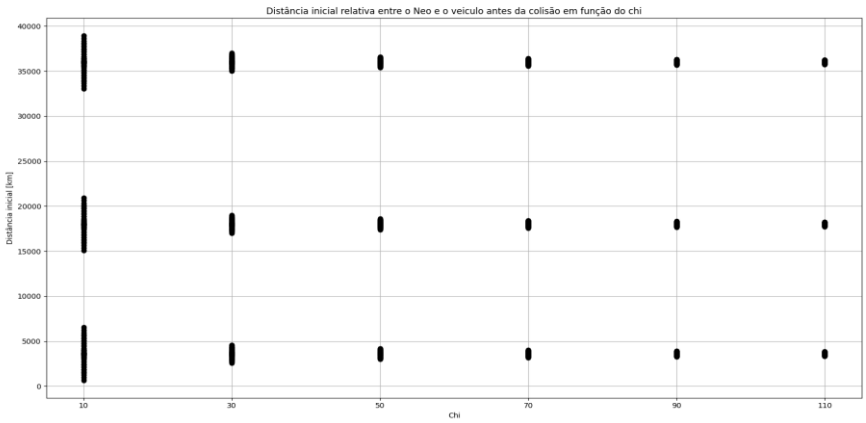

Figura 3 – Fator de massa vs. Distância inicial entre NEO e Terra

Na Figura 4, a seguir, mostramos os resultados das simulações da dinâmica, variando o fator de potência e verificamos o seu efeito sobre a distância inicial do NEO. Observamos que o seu efeito na distância inicial relativa entre o veículo e o Neo, como o esperado, é o de aumentando a propulsão a distância inicial aumenta. Ou seja, à medida que a faixa da distância inicial aumenta, para um pequeno fator de potência e com o tempo de queima fixo, o veículo sempre

sairá da mesma posição, porém à medida que o fator de potência aumenta, aumenta as possibilidades de locais que o veículo pode iniciar sua trajetória para realizar a colisão. O mesmo fenômeno das 3 linhas horizontais também aparece neste fator de potência, cada linha equivalendo a uma velocidade de colisão relativa entre o Neo e o veículo.

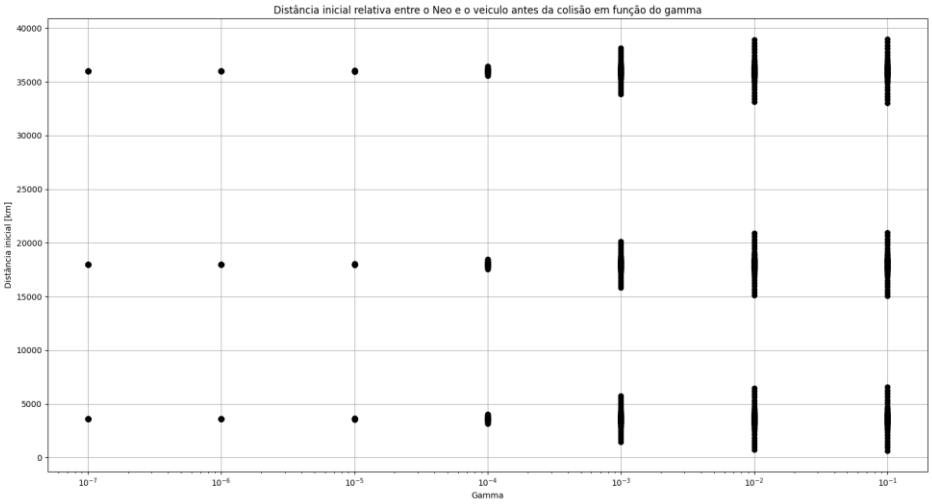

Figura 4 – Fator de potência vs. Distância inicial entre NEO e Terra

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Concluímos que para causar uma grande deflexão da órbita do Neo, tal que o seu impacto com a Terra seja evitado, precisamos de alguns requisitos: 1) A órbita do veículo que irá fazer a colisão, precisa ter o mesmo sentido da órbita do Neo, ou seja, a velocidade de colisão relativa deve ser maior que zero. Se tal velocidade for menor, a órbita do Neo perderá energia fazendo com que seu apoapsis diminua; 2) Devemos tomar valores do fator de potência grandes da ordem de 10^{-2} e 10^{-3} e do fator de massa pequenos entre 0 e 10, valores bons para velocidades de escape dos gases são maiores que 5 km/s, porém não tem dados para provar se valores maiores que 5 km/s são valores bons para a propulsão, mas baseado na equação da propulsão e na dinâmica já apresentada, valores maiores que 5 km/s seriam melhores para a colisão.

REFERÊNCIAS

JPL Small-Body Database Browser: (2019 PG1)" (2019-10-31 last obs.). Jet Propulsion Laboratory. Archived from the original on 16 December 2020. Retrieved 16 December 2020.

Bailey, Nick J.; Swinerd, Graham G.; Morley, Andrew D.; Lewis, Hugh G. (May 2007). "Near Earth Object impact simulation tool for supporting the NEO mitigation decision making process". *Proceedings of the International Astronomical Union — Near Earth Objects, our Celestial Neighbors: Opportunity and Risk*. **236**: 477–486.

CNEOS. Discovery statistics. https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html. 08 de maio, 2018.

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

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.

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.