

# Asteroides, cometas e riscos de impacto com a Terra

Norma T. O. Reis ([normareis@mec.gov.br](mailto:normareis@mec.gov.br))

2012... Flares solares... Passagem de asteroide... Volta e meia ouvimos algum comentário



**Fig. 1 – Concepção artística do impacto de um asteroide com a Terra primitiva.** A Terra deve ter experimentado esses gigantes impactos em sua juventude.  
Crédito da imagem: Don Davis.  
Fonte: NASA.

relacionado a uma suposta catástrofe vinda do espaço em 2012. Sem entrar no mérito religioso ou místico que permeia esses debates, qual é o real risco de que um asteroide caia em nossas cabeças, segundo a ciência? Começemos entendendo um pouco a definição de “Objetos Próximos da Terra” (termo original *Near Earth Objects – NEO*). Veremos também colisões passadas desses objetos com nosso planeta, o que vem sendo feito atualmente para detectá-los e alguns possíveis procedimentos para evitar que uma eventual colisão aconteça.

## 1. O que são Objetos Próximos da Terra (NEOs)?

Asteroides ou cometas que, devido a uma combinação de forças gravitacionais, passam próximos da órbita da Terra. A definição oficial de “próximo” é 45 milhões de quilômetros (0.3 Unidades Astronômicas – UA). Os cometas são compostos sobretudo de gelo e gases congelados e acredita-se que se formem, em sua maioria, na parte externa do sistema solar. Eles representam a minoria dos NEOs. Asteroides, por sua vez, são corpos rochosos situados entre as órbitas de Marte e Júpiter, no chamado “Cinturão de Asteroides”. Tais rochas conservam intactas características da época de formação do Sistema Solar, sendo de grande interesse para os cientistas. Há uma quantidade maior de asteroides que passam na vizinhança da Terra, em relação a cometas. Nem todos esses objetos representam um risco de impacto para a Terra. Apenas um subgrupo deles, os chamados Objetos Potencialmente Perigosos (original em inglês: *Potentially Hazardous Objects – PHO*) apresenta essas características devido à maior proximidade de sua órbita em relação à Terra, e outras características orbitais.

## 2. Classificação dos Objetos Próximos da Terra (NEOs)

Para facilitar o estudo dos NEO e categorizar aqueles que possam representar um risco de colisão com a Terra, os cientistas criaram uma classificação, de acordo com os seguintes elementos orbitais:

- periélio ( $q$ );
- afélio ( $Q$ );
- semi-eixo maior ( $a$ ).

Grupo	Descrição	Definição
NECs	Cometas próximos da Terra	$q < 1.3$ AU, $P < 200$ anos
NEAs	Asteroides próximos da Terra	$q < 1.3$ AU
Atiras	NEAs cujas órbitas estão contidas inteiramente na órbita da Terra	$a < 1.0$ AU, $Q < 0.983$ AU
Atens	NEA cruzando a órbita da Terra com o eixo semi-eixo maior, menor que o da Terra	$a < 1.0$ AU, $Q > 0.983$ AU
Apollos	NEA cruzando a órbita da Terra com o eixo semi-eixo maior, maior que o da Terra	$a > 1.0$ AU, $q < 1.017$ AU
Amors	NEA se aproximando da Terra com órbita exterior à da Terra, mas interior à de Marte	$a > 1.0$ AU, $1.017 < q < 1.3$ AU
PHAs	Asteroides Potencialmente Perigosos: NEA cuja distância mínima de intersecção orbital (MOID) com a Terra é de 0.05 AU ou menos, e cuja magnitude absoluta é de 22.0 ou maior	$MOID \leq 0.05$ AU, $H \leq 22.0$

Tabela 1 – Categorias de asteroides próximos da Terra. Fonte: NASA.

Os asteroides potencialmente perigosos (PHA) são aqueles cujos elementos de aproximação caracterizem um potencial de colisão ( $< 0.05$  AU = 7.500.500 km), e que tenham mais de 150 m de diâmetro. Isso não significa, contudo, que o asteroide colidirá com a Terra, mas apenas que existe essa possibilidade. Atualmente, há 1.309 PHA conhecidos<sup>1</sup>.

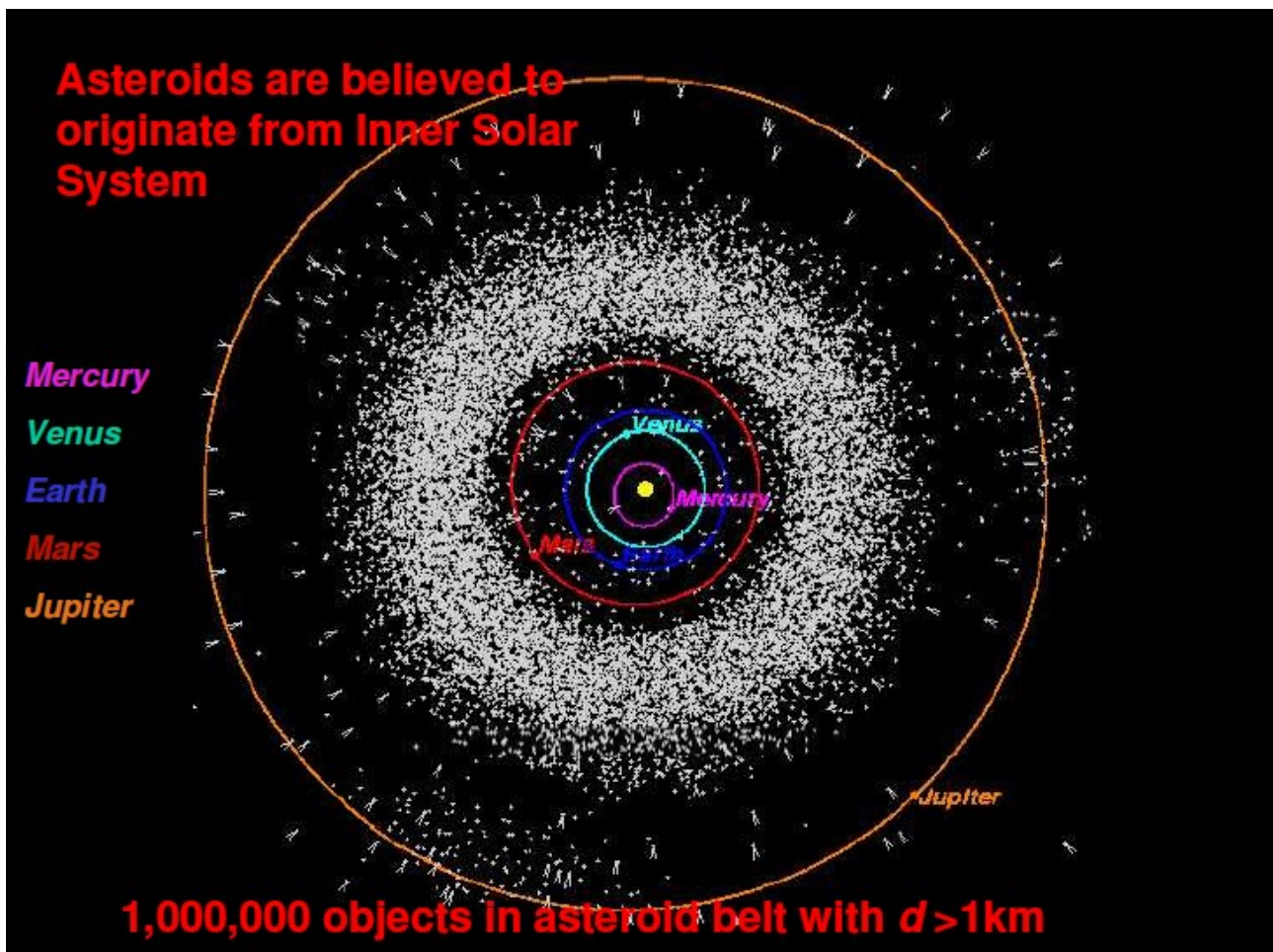


Fig. 2 – Cinturão de asteroides. A maioria dos objetos que geram risco de colisão com a Terra são asteroides. Uma pequena proporção deles. Crédito da imagem: Palestra por Richard Tremayne-Smith.

<sup>1</sup> Extraído do sítio da NASA dedicado a Objetos Próximos da Terra, <http://neo.jpl.nasa.gov/neo/groups.html>, em 10 de maio de 2012.

### 3. Asteroides na história da vida na Terra

Os asteroides podem ser fonte de criação e destruição. Em um primeiro momento, trouxeram criação. Não sabemos ao certo como a vida se formou em nosso planeta, mas entendemos que a origem da vida exige a presença de moléculas com base de carbono, água em estado líquido e uma fonte de energia. Considerando que alguns asteroides contêm moléculas com base de carbono e gelo, colisões desses objetos com a Terra constituíram agentes significativos de mudanças biológicas e geológicas<sup>2</sup>. Tais asteroides teriam trazido material orgânico - as sementes da vida na Terra! Entretanto, há 3.8 bilhões de anos, na Era Arqueana, a Terra e a Lua teriam sido bombardeadas por diversos asteroides gigantes que supostamente foram os responsáveis por extinguir os dinossauros. Muitas crateras deixadas pelos asteroides na superfície terrestre se perderam devido à erosão e movimentos das placas tectônicas. Entretanto, não foi somente naquele período que sofremos com o impacto desses objetos. No século passado, temos registro de dois casos que merecem destaque. Trata-se de objetos menores que atingiram regiões não habitadas. O primeiro não chegou sequer a impactar a superfície terrestre, embora sua aproximação da superfície tenha gerado efeitos semelhantes a detonação de bombas atômicas.

Vejam o primeiro caso. Na manhã de 30 de junho de 1908, na Sibéria, ocorreu a maior impacto que a Terra sofreu em toda história da civilização. Um objeto teria entrado na atmosfera terrestre, gerando uma onda de choque mais de mil vezes mais forte que a bomba de Hiroshima, devastando 80 milhões de árvores e mais de 2000 km<sup>2</sup> de florestas, matando também muitos animais. Até hoje a vegetação não se recompôs totalmente. O objeto não tocou o solo, espatifando-se em pleno ar, a cerca de 8 km de altura. A região atingida não era povoada. Entretanto, houve relatos de pessoas que afirmaram ter experimentado fortes ondas de calor, ventanias, estrondos e tremores de terra. Muitos afirmaram terem visto uma bola de fogo com cauda esfumaçada se precipitando no horizonte. O céu noturno teria ficado incandescente por semanas, tal a quantidade de poeira lançada na estratosfera com a explosão. Em Londres, a mais de 10 mil km, era possível ler um jornal à noite, somente com essa luz. Do outro lado do oceano, o observatório Smithsonian, dos EUA, registrou uma redução na transparência atmosférica que durou meses. Embora não exista uma explicação oficial, a tese mais aceita atualmente é de que o efeito Tunguska tenha sido causado pelo deslocamento de ar causado pela explosão de um meteorito de 120 m de diâmetro a uma altitude entre 5 e 10 km. Não existe uma cratera de impacto, porque a maior parte do asteroide teria sido consumida pela explosão. A primeira expedição científica exitosa para o local ocorreu em 1927. Em princípio, os habitantes locais se mostraram relutantes em dar depoimentos. Eles acreditavam que o impacto teria sido uma visita do deus Ogdy. Mais tarde, algumas pessoas compartilharam algumas impressões. Um morador afirmou que foi lançado da cadeira! Ele disse ainda:

*Repentinamente no céu do norte... o céu foi dividido em dois, e acima da floresta toda a parte norte do céu apareceu coberta por fogo... Naquele momento houve um barulho no céu e um possível impacto... Que foi seguido por um barulho como o de rochas caindo do céu, ou de disparo de armas. A terra tremeu.*

Nuvens densas se formaram acima da região em altas altitudes, o que refletiu a luz do Sol além do horizonte. Houve até relatos de pessoas morando na Ásia que puderam ler jornal do lado de fora de casa à meia noite! Cientistas no Laboratório de Propulsão a Jato da NASA afirmam que asteroides como esse podem entrar na atmosfera terrestre a cada 300 anos.

Apenas 22 anos depois, a 13 de agosto de 1930, no Brasil, sobre o Rio Curuçá, em uma área isolada da floresta amazônica, ocorreu um evento com 1/10 da intensidade de Tunguska, causado pela queda de um meteorito e gerando uma explosão 50 vezes mais forte que a bomba de Hiroshima. Ouviram-se explosões seguidas de bolas de fogo caindo do céu. Foram observadas três explosões massivas e três ondas de choque cruzando a floresta. O céu ficou avermelhado, e houve partículas

---

2 <http://neo.jpl.nasa.gov/neo/life.html>

avermelhadas que encobriram o Sol até o meio dia. O barulho foi ouvido até uma distância de 240 quilômetros e um terremoto de magnitude 7 foi registrado em La Paz, na Bolívia. Esse fato não teria sido conhecido se não fosse um religioso, que visitou a população cinco dias depois do evento, por ocasião de uma missão apostólica. Ele conversou com os habitantes locais, que ainda estavam apavorados e depois escreveu sobre o evento para um jornal do Vaticano. Apesar de o evento ter sido pobremente investigado, tratou-se provavelmente da queda de um grupo de três meteoritos. Esse evento que ocorreu apenas 22 anos após Tunguska, bem como a identificação ainda parcial da totalidade dos objetos próximos da Terra, mostram o quanto ainda estamos vulneráveis a um possível impacto e fazem-nos refletir sobre a importância de fortalecer ações internacionais de detecção e adoção de mecanismos emergenciais para desviar ou de evacuação de áreas habitadas, considerando um eventual impacto com um desses objetos, pois vimos que mesmo objetos pequenos podem causar grandes estragos, sobretudo se em regiões habitadas.

#### 4. O trabalho de detecção

Como sempre na história do planeta Terra, existe o risco de que um objeto desses, principalmente um asteroide, colida com a Terra. Por isso é importante o trabalho de detecção e catalogação desses objetos. Antes de falar sobre esse trabalho, vejamos uma divisão simples dos tipos de NEOs.

- *NEOs maiores* (diâmetro  $< 1$  km, energia de impacto  $< 100.000$  megatons). Os mais perigosos, por seu potencial de mortalidade em massa e grande dano ambiental. Estima-se que haja cerca de 2 mil desses objetos no espaço próximo à Terra. Entre  $\frac{1}{4}$  e metade deles podem eventualmente impactar a Terra, entretanto o intervalo entre esses impactos de mais de 100 mil anos. Esses objetos podem se desintegrar durante a entrada na atmosfera, ou impactar a superfície, formando crateras. Objetos desse tamanho passam entre a Terra e a Lua em intervalos de décadas.
- *NEOs menores* (diâmetro de 100 m a 1 km, energia de 20 a 100.000 megatons). Geram impactos de menor energia e não constituem uma ameaça global, constituindo assim risco menor apesar de existirem em maior quantidade. A natureza do dano que causam depende do tamanho, velocidade de impacto e natureza física do objeto impactante. Somente uma fração de projéteis desse tamanho formarão uma cratera. Entretanto, sua detonação tanto na superfície quanto na atmosfera baixa podem trazer danos, geralmente em escala maior que os de uma bomba nuclear. Tunguska é um exemplo. O intervalo médio entre esses impactos para toda a Terra é de poucos séculos.

O primeiro passo para evitar uma colisão é catalogar tantos objetos quanto possível, a fim de que possamos detectar as reais ameaças. A maneira de identificar NEOs no céu noturno é observar seu movimento contra o “pano de fundo” do céu estrelado. Para realizar esse trabalho, usamos os seguintes sistemas, que são complementares:

1. *Sistemas de solo*: usam sensores de grande campo de visão para “escanear” o céu à noite em busca de objetos potencialmente perigosos (PHOs). A manutenção desses sistemas é relativamente simples devido a sua acessibilidade. Tais sistemas custam menos para construir, verificar, manter e melhorar, em relação a sistemas espaciais. Entretanto, eles contam com o obstáculo da atmosfera terrestre: não podem operar durante a luz do dia ou durante o crepúsculo e sofrem interferência de tempo, turbulência atmosférica, luz da lua e atenuação atmosférica. Isso causa alguns problemas. Por exemplo, uma atenuação atmosférica significativa na região infravermelha do espectro impede que esses sistemas determinem o tamanho correto dos objetos. Além disso, esses sistemas enfrentam dificuldade em encontrar objetos em órbitas internas ou iguais à da Terra. Há menos oportunidades de descobertas desses objetos a partir do solo, porque eles ficam mais visíveis

no início ou ao final da noite, quando a luz do nascer ou do pôr do Sol iluminam o céu. O programa de observação de NEO mais bem sucedido nos últimos anos é o Catalina Sky Survey<sup>3</sup>. Na primeira metade de 2008, o programa contabilizou 70% dos novos NEO descobertos.

2. *Sistemas ópticos espaciais*: captam luz visível a partir de pontos privilegiados próximos da Terra e em órbitas heliocêntricas como a de Vênus. Esses sistemas podem acessar praticamente todo o céu a qualquer momento sem interferência de tempo, iluminação, luz da Lua ou atenuação atmosférica. Igualmente, eles podem observar objetos em órbitas internas ou iguais à da Terra, mais facilmente. Entretanto, esses sistemas são mais caros de se desenvolver e oferecem riscos adicionais, tais como falhas no lançamento e exposição a ambientes extremos do espaço, o que pode resultar em uma vida útil mais curta. Além disso, eles dependem de instrumentos de transmissão de dados do satélite para o solo, bem como softwares de bordo.

## 5. Como estamos avançando?

Em 1900, tinham sido descobertos somente 21 NEOs. Na década de 1990, o número aumentou para 170, a maioria dos quais, asteroides. Em dezembro de 2011, havia 8.413 NEOs conhecidos. Destes, 1.273 foram classificados como potencialmente perigosos. Notou-se também que há mais NEOs pequenos que grandes. Cerca de 800 asteroides são considerados grandes o suficiente (1 km de diâmetro), para causar estragos substanciais ao planeta Terra.

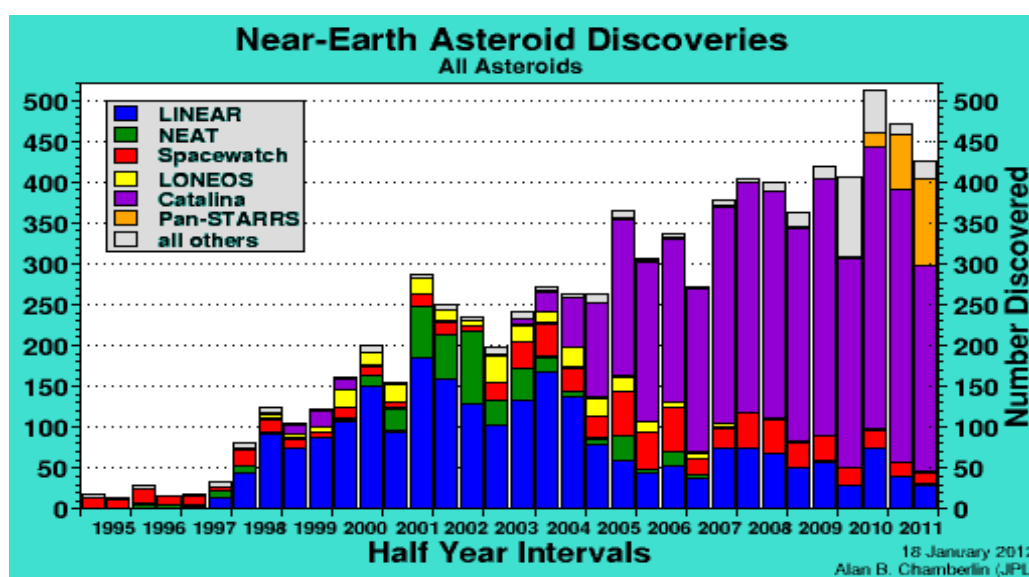
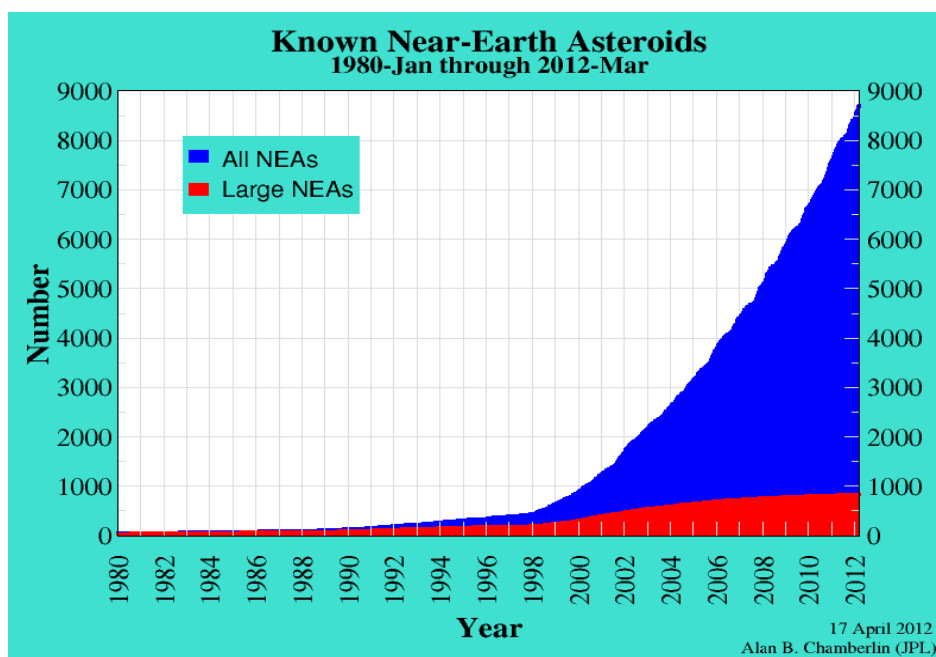


Fig. 3 – Asteroides descobertos ao longo do tempo, por missões. Note que a maioria deles tem sido descobertos pelo programa Catalina Sky Survey. Fonte: Sítio da NASA, <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>.

Na medida em que a tecnologia de detecção de asteroides melhora, a quantidade detectada aumenta. Por exemplo, detectamos aproximadamente 60% dos grandes NEOs. Há somente uma possibilidade em seis de que um desses NEOs de 1 km de diâmetro atinja a Terra a cada 100 mil anos, matando milhões de pessoas e provavelmente tendo efeitos globais no ambiente e no clima.

3 Extraído do sítio do Catalina Sky Survey, <http://www.lpl.arizona.edu/css/>





**Fig. 4 – Quantidades de asteroides próximos da Terra descobertos ao longo do tempo.** Categorias em destaque: todos (em azul) e grandes (em vermelho). Fonte: Sítio da NASA, <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>.

Não é suficiente saber que um asteroide está em rota de colisão com a Terra. É necessário também saber seu tamanho, massa e características de rotação. Uma das poucas ferramentas para obter tais informações é a radioastronomia. Em média, meteoros de tamanho médio caem na Terra uma vez a cada 300 anos, estima a NASA. Além disso, somente uma pequena fração da Terra é habitada e 70% do planeta é coberto com água. Assim, a possibilidade de um impacto em uma região populosa é remota. Todavia, vimos que mesmo sem tocar o solo, esses objetos podem causar grandes estragos. Por exemplo, NEOs caindo no mar, dependendo do tamanho e de outros fatores como profundidade e distância da margem, podem causar tsunamis. Se eles caírem na Terra, mesmo que seja em locais remotos e não povoados, podem levantar muita poeira, bloqueando a luz solar, alterando o clima e causando chuva ácida. Apesar de todo nosso desenvolvimento na área espacial, ainda não estamos preparados para um possível impacto. Por isso, as Nações Unidas recomendam ações de caráter internacional. É preciso desenvolver estudos conjuntos para estimar os efeitos de um possível impacto e adotar estratégias para se recuperar do eventual impacto. Um dos principais problemas com os NEOs é que para interceptar um desses objetos, são necessários anos de antecedência. Há diversos esforços internacionais para a detecção de NEOs.

## 6. Como lidar com os riscos de uma eventual colisão?

No momento, não estamos preparados para evitar uma colisão. Os NEOs constituem um sério risco para a humanidade, pois muitos cientistas acreditam que um grande asteroide foi responsável pela extinção em massa da maioria das espécies da Terra, incluindo os dinossauros, a cerca de 65 milhões de anos.

Além do trabalho de detecção, precisamos começar a desenvolver e testar as tecnologias necessárias de modo que estejamos preparados para o caso de uma colisão real. Mas.... o que podemos fazer na eventualidade de uma colisão real? Muitos NEOs são descobertos há poucos dias antes de sua maior aproximação à Terra. Entretanto, o tempo necessário para eliminar ou mitigar a ameaça de uma colisão com um objeto potencialmente perigoso é de décadas. Assim, é preciso que tenhamos conhecimento do risco com bastante antecedência, pois NEOs maiores que algumas centenas de metros de diâmetro podem exigir grande quantidade de energia para desviar ou explodir. No caso do

desvio, outro problema é para onde mover a trajetória do asteroide, de modo que ele não entre em nova rota de colisão com a Terra.

Nesses casos, explosões nucleares podem ser a melhor resposta. Para objetos menores que algumas centenas de metros de diâmetro e com tempo suficiente de alerta, uma nave espacial “impactora” pode ser suficiente para desviar o objeto antes do momento do impacto previsto. Outras alternativas propostas são as velas solares e anexar foguetes aos asteroides. Relatórios da NASA mencionam que as explosões nucleares são de 10 a 100 vezes mais eficientes que as alternativas não-nucleares, quando se trata de evitar a colisão de um asteroide com a Terra. Entretanto, de 30 a 80 por cento dos NEOs perigosos se encontram em órbitas que estão além da capacidade dos atuais sistemas de lançamento. Logo, o auxílio da atração gravitacional dos planetas pode ser necessário para aumentar o desempenho dos veículos lançadores, caso esses objetos precisem ser desviados. A NASA possui um projeto de exploração tripulada que inclui a visita de astronautas a um asteroide, por volta de 2025. Essa seria a primeira missão tripulada na história humana a um asteroide, o que abriria portas para uma melhor preparação da humanidade para enfrentar os riscos de precisar lidar com uma eventual colisão – o “risco asteroide”. Uma viagem espacial a um asteroide não é algo trivial. Após a chegada ao asteroide, seria necessário cerca de um mês para efetuar as operações de acoplagem para colocar a nave espacial em uma órbita estável ou um local para pairar em suas proximidades.

A NASA nota que muitos NEOs estimados para existir permanecem não descobertos. Assim, qualquer que seja o método escolhido para eventualmente explodir ou desviar um asteroide de uma rota de colisão com a Terra, é importante catalogar a maior quantidade possível de NEOs, de modo que possamos identificar as reais ameaças. Como vimos, é também essencial estabelecer protocolos internacionais para lidar com esse incidente potencial, para evitar dificuldades de ordem política, caso tenhamos que enfrentar uma situação de risco real.

## Referências

<http://neo.jpl.nasa.gov/neo/>

[http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/187/WHAT\\_TO\\_DO\\_/](http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/187/WHAT_TO_DO_/)

<http://www.youtube.com/watch?v=WqIdtK369S8>

<http://www.nasaspaceflight.com/2012/03/nasa-exploration-roadmap-evaluation-crewed-missions-asteroids/>

[http://www.esa.int/gsp/NEO/doc/NEOMAP\\_report\\_June23\\_wCover.pdf](http://www.esa.int/gsp/NEO/doc/NEOMAP_report_June23_wCover.pdf)

<http://www.lpi.usra.edu/sbag/meetings/jan2009/presentations/SBAG-NRC.pdf>

<http://swfound.org/media/30987/Camacho%20-%20COPUOS%20and%20AT-14%20NEO%20Work%20.pdf>

[http://www.esa.int/esaMI/NEO/SEM6J6OVGJE\\_0.html](http://www.esa.int/esaMI/NEO/SEM6J6OVGJE_0.html)

[http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/6/NEAR\\_EARTH\\_OBJECTS/](http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/6/NEAR_EARTH_OBJECTS/)

[http://www.nasa.gov/pdf/171331main\\_NEO\\_report\\_march07.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/171331main_NEO_report_march07.pdf)

<http://www.universetoday.com/34382/what-if-an-asteroid-hit-earth/>

[http://news.nationalgeographic.com/news/2008/07/080701-tunguska\\_2.html](http://news.nationalgeographic.com/news/2008/07/080701-tunguska_2.html)

<http://impact.arc.nasa.gov/downloads/spacesurvey.pdf>

<http://www.zenite.nu/>

<http://www.skyandtelescope.com/observing/objects/meteors/3304111.html?page=7&c=y>

<http://www.uh.edu/engines/epi1102.htm>

<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=evento-tunguska-causado-por-asteroide-pequeno>

[http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/185/SEARCHING\\_THE\\_SKIES/](http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/185/SEARCHING_THE_SKIES/)

[http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/185/SEARCHING\\_THE\\_SKIES/](http://www.spacecentre.co.uk/Page.aspx/185/SEARCHING_THE_SKIES/)