

**LIXO ESPACIAL E SEUS RISCOS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A
EXPLORAÇÃO ESPACIAL**

José Sinésio Rodrigues – Centro de Ciências Exatas. Departamento de Geociências –
Universidade Estadual de Londrina (UEL).

jsinesior@yahoo.com.br

LIXO ESPACIAL E SEUS RISCOS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A EXPLORAÇÃO ESPACIAL

Palavras-chave: Lixo Espacial. Voos Espaciais. Órbita Terrestre.

INTRODUÇÃO

Os detritos espaciais – também chamados de lixo espacial – são objetos criados pelo homem e que já não mais desempenham nenhuma função útil, apesar de ainda se manterem em órbita ao redor da Terra (MORENO, 2008). Um exemplo são as diversas partes e detritos de naves espaciais deixados para trás quando do seu lançamento. O lixo espacial inclui desde pequenas peças até satélites desativados e mesmo grandes estágios de foguetes. Estes objetos e equipamentos congestionam o espaço em torno do planeta Terra e, por tal motivo, causam risco de acidentes graves, tanto em órbita (devido à possibilidade de eventuais colisões), quanto numa possível reentrada de tais detritos na atmosfera terrestre (GRECCO, 1996).

Com o grande número de espaçonaves colocadas em órbita e com o aumento da frequência de seus lançamentos, os detritos espaciais tornaram-se uma crescente preocupação nos últimos anos pelo fato de que colisões em velocidade orbital podem ser altamente danosas ao funcionamento de satélites e naves tripuladas, pondo também em risco astronautas em atividades extraveiculares. Além disso, essas colisões provocam as condições para que ocorra a chamada síndrome de Kessler. Proposta pelo consultor Donald Kessler, da NASA, a síndrome de Kessler é um conjunto de características inseridas desordenadamente no meio ambiente espacial e cuja tendência é resultar num efeito de colisões e reações em cadeia envolvendo os satélites e outros objetos em órbita ao redor do planeta.

Com o aumento do número de detritos espaciais em órbita, tornam-se cada vez mais comuns as manobras de emergência de naves espaciais tripuladas para evitar colisões no espaço, o que poderia terminar em tragédia com perda de vidas. Torna-se também crescente o risco da queda de um objeto orbital de grandes proporções vitimar alguém em terra.

Apesar de seus efeitos deletérios à sociedade, ao meio-ambiente e ao futuro da exploração e utilização do espaço, a problemática do lixo espacial geralmente é um

assunto esquecido nas discussões ecológicas (SOBREIRA, 2005). Existem diferentes tratados que visam a utilização consciente do ambiente espacial (MORENO, 2008), mas os mesmos, muitas vezes acabam sendo desrespeitados. Um exemplo de tal situação foi a deliberada destruição de um satélite por um míssil chinês, em 2007, fato que acarretou a produção de incontáveis destroços em órbita da Terra, de modo que aquele foi o ano em que a Humanidade mais poluiu o espaço nas imediações do planeta (UFMG, 2010).

OBJETIVOS

- Analisar a forma como a sociedade, o meio ambiente e a exploração do espaço podem ser afetados pelos detritos em órbita terrestre;
- Analisar a forma como a eventual queda de detritos espaciais afeta a sociedade e o meio ambiente;
- Descrever os diferentes tipos de detritos orbitais;
- Analisar as diferentes e possíveis soluções ao problema, e se as mesmas são viáveis.

METODOLOGIA

Os objetivos deste estudo somente foram atingidos graças à pesquisa bibliográfica de extenso material referente ao tema. Os materiais e atividades incluem:

- Consulta a livros, materiais impressos, publicações na Internet, dissertações, etc.;
- Realização de debates sobre os perigos do lixo espacial, em atividades do GEDAL (Grupo de Estudos e Divulgação de Astronomia de Londrina);
- Realização de consultas a livros publicados por especialistas sobre Astronáutica ou que tenham capítulos abordando o tema. Endereços eletrônicos de agências espaciais como a CNSA (www.cnsa.gov), Canadian Space Agency (www.space.csa.gc.ca), Rosaviakosmos (www.roscosmos.ru), Japan Aerospace Exploration Agency (www.jaxa.jp), Agência Espacial Brasileira (www.aeb.gov.br) e European Space Agency (www.esa.int) foram também consultados e explorados;

- Consulta aos diferentes tratados de cooperação no espaço para observar como a Comunidade Internacional aborda a problemática do lixo espacial.

1. HISTÓRICO

Lá pela metade do voo surgiu um pequeno estilhaço na janela do ônibus espacial e não sabíamos o que era. Uma quantidade enorme de análises foi feita enquanto estávamos em órbita para garantir que a firmeza da janela ia resistir à reentrada. Resistiu. Ficamos todos bem. Mas a análise posterior mostrou que nossa janela havia sido atingida por uma partícula de tinta em órbita, e as velocidades relativas eram suficientes a ponto de a tinta fazer uma pequena mas visível marca na janela. Bem, um grão de tinta não é a mesma coisa que um pequeno pedaço de metal viajando à mesma velocidade. Então, assim que você começa a aumentar a quantidade de lixo na baixa órbita terrestre, tem um subproduto indesejado que começa a colocar seus valiosos satélites em risco.

SALLY RIDE, primeira mulher norte-americana no espaço.

Em 17 de março de 1958 os Estados Unidos lançaram o satélite Vanguard I. Este foi o terceiro satélite artificial a ser lançado por seres humanos e o primeiro dos norte-americanos. O aparelho transmitia informações sobre a forma da Terra e funcionou durante 6 anos (MOURÃO, 1984). Após sua desativação, este viria a se tornar a mais antiga peça de lixo espacial, uma vez que seus dois predecessores soviéticos, mais pesados, há muito já haviam caído à Terra (CLARKE, 1968). Em 2008, por ocasião de uma sondagem, foi confirmado que o satélite, há muito desativado, ainda permanece no espaço, girando ao redor da Terra em alta velocidade (AEB, 2010).

Mas a lista de detritos espaciais intencional ou acidentalmente perdidos no espaço incluem objetos muito mais incomuns que satélites. Entre esses detritos existe uma luva do astronauta Edward White, perdida na primeira caminhada espacial norte-americana em 1965, uma câmera que Michael Collins perdeu próximo à nave Gemini-10 em 1966 e outra perdida por Sunita Williams durante a missão STS-116, também durante uma atividade extraveicular. Outra astronauta, Heidemarie Stefanyshyn-Piper, perdeu em novembro de 2008 uma bolsa cheia de peças durante uma caminhada fora da ISS (Estação Espacial Internacional). Há ainda sacolas de lixo, chaves de boca e outros objetos deixados em órbita. A maioria desses objetos volta para a Terra, atraídos pela gravidade, em poucas semanas. Devido às órbitas onde foram soltos e dado o seu

tamanho diminuto, são facilmente deteriorados durante a reentrada na atmosfera do planeta. Fatos como esses não são de grande importância na problemática do lixo espacial. Por outro lado, eventuais colisões entre os objetos (que podem gerar mais peças) constituem o principal problema referente a estes detritos. Em 2001, por exemplo, o astronauta americano James Voss perdeu uma chave inglesa durante uma caminhada espacial. Como consequência os astronautas tiveram de alterar a altitude e a rota da ISS para que a peça não viesse a colidir com o complexo orbital meses depois (NOGUEIRA, 2005). Pouco antes, em 1999, a mesma estação espacial teve de efetuar alterações em sua rota e órbita para evitar uma colisão com detritos de um foguete *Pegasus* – o mesmo tipo de foguete que em 1992 lançou o satélite brasileiro SCD-1 (MORENO, 2008).

A velocidade de uma nave em órbita é da ordem de 30.000 quilômetros por hora. Desta forma, qualquer objeto lançado ao espaço, a partir de uma nave, manterá esta mesma velocidade (MOURÃO, 1984). Uma peça – como a chave deixada em órbita por Voss – pode manter esta velocidade durante muitos anos, vindo a atingir outra nave. Devido à alta velocidade da peça, certamente a colisão provocará danos consideráveis em uma nave ao atingi-la (MORENO, 2008). E o maior problema de objetos pequenos como peças deixadas em órbita é justamente o tamanho reduzido dos mesmos, o que impede sua catalogação. Objetos grandes, como satélites desativados ou pedaços de foguetes são catalogados por observatórios e é possível conhecer sua trajetória, altitude e velocidade. Desta forma, é possível impedir colisões com naves tripuladas (NASA, 2010).

Em 1983 o ônibus espacial americano *Challenger* teve uma janela atingida por um objeto em órbita, vindo a apresentar rachaduras. Ao retornar à Terra descobriu-se que a nave fora atingida por um fragmento de tinta microscópico que desprendera-se de algum foguete anteriormente lançado (NOGUEIRA, 2005). Se a nave tivesse sido atingida por um pequeno parafuso, a janela teria se estilhaçado, fazendo com que a cabine perdesse sua atmosfera, tendo como consequência a morte imediata da tripulação. Até 1998, mais de 60 janelas de ônibus espaciais haviam voltado à Terra com danos provenientes do espaço. Uma lasca de tinta do tamanho de um grão de sal, orbitando a uma velocidade de 14.400 km/h, pode abrir uma significativa cratera de 2,5 cm de diâmetro, com a possibilidade de a janela estilhaçar-se durante a reentrada (UFMG, 2010).

Um satélite russo, o Kosmos 1813, em 1987, gerou cerca de 850 resíduos com mais de 10 cm de comprimento ao explodir em órbita, com cada pedaço avançando numa

direção diferente e a grande velocidade. Obviamente, cada pedaço do satélite passou a constituir uma ameaça em potencial para outras naves, podendo vir a atingi-las posteriormente. A primeira nave a realizar oficialmente uma manobra evasiva de uma colisão foi o ônibus espacial *Discovery*, em setembro de 1991, com cinco astronautas a bordo. Durante esta missão acionou-se um subsistema de segurança da espaçonave para evitar a colisão com detritos do satélite russo Kosmos-955. Poucos meses depois um outro ônibus espacial americano, o *Atlantis*, teve de realizar manobra semelhante em órbita para que não viesse a colidir com outro satélite russo desativado, o Kosmos-851 (SPACEFACTS, 2010). Em junho de 2007, o satélite Terra, da NASA, foi o primeiro a alterar a sua posição, com o objetivo de prevenir impactos (NASA, 2010).

Em outubro de 1999 a *ISS* também realizou uma manobra evasiva. Os detritos consistiam em restos de um foguete *Pegasus* que, segundo cálculos, passariam a uma distância de 1,4 km da estação. A manobra foi realizada com o acionamento do motor do complexo durante 5 segundos. Isso elevou a estação em cerca de 1,6 km e os detritos passaram a cerca de 25 km da mesma. Em outubro de 2008, após mais uma manobra para evitar colisão com um detrito residual de um satélite Kosmos, a *ISS* já somava um total de oito manobras evasivas, sendo que as sete primeiras ocorreram nos anos iniciais do programa: de outubro de 1999 a maio de 2003. Um relatório da NASA atribui esse hiato à melhora de exatidão na vigilância espacial e rastreamento de detritos (NASA, 2010).

Porém, a situação mais dramática registrada a bordo da *ISS* deu-se em novembro de 2008, quando o russo Iuri Lonchakov e os americanos Michael Fincke e Sandra Magnus tiveram de abandonar a *ISS* e refugiar-se em uma cápsula Soyuz devido ao risco de colisão do complexo com um detrito espacial que passou a pouco mais de 100 metros. Se o alerta tivesse sido dado suficientemente cedo, seriam feitas manobras para desviar a estação da órbita do destroço espacial. Investigações posteriores concluíram que o destroço era um fragmento de motor de satélite. Após 10 minutos os três tripulantes retornaram à *ISS* (SPACEFACTS, 2010).

A problemática do lixo espacial ganhou corpo de tal forma que o assunto foi destaque na Assembleia Geral das Nações Unidas, no ano de 1992. A partir do ano seguinte o tema passou a ser discutido pelo COPUOS (Comitê das Nações Unidas para o Uso Pacífico do Espaço Exterior), principal órgão legislador sobre Direito Espacial

(MORENO, 2008). Em 2007, ocorreu a publicação das *Diretrizes para a Redução dos Dejetos Espaciais*, emitida pelo Comitê Técnico-Científico do COPUOS (MONSERRAT FILHO, 2008, *apud* MORENO, 2008). Porém, o documento não possui caráter impositivo, sendo tão-somente um conjunto de recomendações aos Estados e organizações intergovernamentais que atuam no setor espacial (MORENO, 2008).

Detritos espaciais também têm atingido diversos pontos do planeta Terra desde os primórdios da exploração do espaço. Os objetos espaciais que mais comumente atingem a superfície da Terra são restos de foguetes (GRECCO, 1996; SOBREIRA, 2005). Estes restos consistem, na maioria das vezes, de estágios contendo tanques de combustíveis e oxigênio líquido vazios, que se desprendem do foguete para diminuir-lhe o peso (CLARKE, 1968). Eventualmente estes pedaços de foguetes podem atingir áreas habitadas e provocar a morte de pessoas. O pior acidente da história da exploração espacial, por exemplo, terminou na morte de 350 pessoas quando um foguete soviético caiu sobre uma cidade no Cazaquistão em 1969 (WHITE, 2003). No mesmo ano ocorreu um caso que desafia as estatísticas quando um fragmento de 30 centímetros do foguete norte-americano *Saturno-5*, usado no lançamento da *Apolo 11*, atingiu um barco alemão em alto-mar. Em 1997, pedaços de um foguete *Delta-2* se espalharam entre o Texas e Oklahoma, nos Estados Unidos, e um fragmento de isolante térmico atingiu uma mulher na cidade de Turley, sem causar ferimentos graves. Em 2007 uma esfera de titânio do foguete francês *Ariane-3* caiu sobre uma casa em Kasambya, na Uganda (UFMG, 2010).

No Brasil já caíram diversos destes destroços grandes. Entre os mais famosos estão: uma esfera de combustível de um foguete *Saturno*, com 1 metro de diâmetro, que caiu junto à costa litorânea norte, sendo recuperada por pescadores, e placas de metal de 10 a 12 cm, que atingiram o rio Negro, no Amazonas, ambos em 1966, e um satélite que desintegrou-se sobre a cidade do Rio de Janeiro em 1978. Há ainda os fragmentos de um satélite chinês recuperado em Itapira, interior de São Paulo, em 1995, e um estabilizador de satélites de forma esférica recuperado no interior do Paraná em 1997, bem como um objeto esférico de 1 metro de diâmetro que caiu em uma fazenda no interior de Goiás (UFMG, 2010).

Alguns eventos acabam por gerar ainda mais detritos espaciais, como a colisão entre dois objetos no espaço, terminando na destruição de ambos e produção de vários destroços. Os testes da Arma Anti-Satélite (ASAT) chinesa, em 11 de janeiro de 2007

terminando na explosão de um de seus próprios satélites meteorológicos desativados, o *Fengyun-1C*, a 865 quilômetros de altura foi, certamente, o principal incidente histórico envolvendo detritos orbitais (MORENO, 2008). Como resultado, houve a criação de mais 1.600 pedaços rastreáveis (aproximadamente do tamanho de uma bola de golfe, ou maiores), após dois meses de o teste ter decorrido, de acordo com o Programa de Detritos Espaciais da NASA. Estima-se, também, que resultou em mais de um milhão de pedaços com 1 mm ou maiores e mais de 35.000 peças com 1 cm ou maiores. Este evento foi mais significativo que outros testes de arma anti-satélite, em que a área ocupada pelos detritos, encontrando-se num plano orbital mais distante do planeta (NASA, 2010).

Em janeiro de 2008 um satélite espião norte-americano desgovernado teve de ser também destruído por um míssil, pois havia a possibilidade de cair em área habitada. Isso representaria um grande perigo, uma vez que o artefato carregava certa quantidade de hidrazina, uma substância altamente tóxica, e sua chegada ao solo poderia ocasionar grande número de mortes. Embora a destruição do satélite tenha sido realizada como previsto, sua explosão produziu um número incontável de detritos que passaram a orbitar a Terra a baixa altitude, passando a reentrar na atmosfera a partir do mês de junho seguinte (UFMG, 2010).

No dia 10 de fevereiro de 2009 um satélite russo desativado chocou-se contra um satélite privado de comunicações estadunidense a 780 km de altitude sobre o território da Sibéria gerando uma nuvem de escombros. Esta foi a primeira colisão já registrada entre satélites. Entretanto, a primeira colisão no espaço entre um satélite e um detrito espacial deu-se em 1996, quando o satélite de reconhecimento militar francês *Cerise* foi atingido por um fragmento já catalogado de um foguete *Ariane*. Os objetos deste foguete se encontravam entre 660 km a 680 km da Terra e estavam a uma velocidade de 14.8 km/s. Destes, somente um possuía tamanho suficiente para ser rastreado.

2. O QUE É CONSIDERADO LIXO ESPACIAL

Nos filmes de Guerra nas Estrelas e em centenas de outros filmes de ficção científica vemos as coisas explodirem e os fragmentos rapidamente se dissiparem, deixando o espaço livre novamente. Mas, na realidade, o espaço nunca fica limpo após uma explosão próxima ao nosso planeta. Os fragmentos continuam circulando a Terra, suas órbitas cruzando as de outros objetos. Lascas de tinta, parafusos perdidos, peças de foguetes explodidos – tudo isso vira pequeninos satélites.

JOEL PRIMACK, astrofísico norte-americano.

Na Terra, quando se acelera um avião, ele precisa vencer a força de resistência do ar (e, no caso de um automóvel, também a resistência do solo; no caso de barcos, também a resistência da água sobre a qual flutua). Se a força que o fez acelerar for retirada, a resistência do ar começa a prevalecer e a velocidade do avião começa a cair. Mas no vácuo não existe resistência do ar e um objeto colocado no espaço, em velocidade orbital, poderá mantê-la por anos, décadas, séculos, milênios ou, dependendo do caso, virtualmente para sempre (CLARKE, 1968). O mesmo se pode dizer para tudo o que se desprende de uma nave no espaço, de modo que peças, ferramentas, satélites desativados, poderão estar girando em torno da Terra a 30.000 quilômetros por hora mesmo décadas após terem sido descartados.

As atividades espaciais, por melhor direcionadas e bem intencionadas que possam ser, inevitavelmente produzem algum tipo de lixo espacial. Tudo o que é enviado ao espaço, para manter-se em órbita necessita desenvolver a velocidade de cerca de 30.000 quilômetros por hora. E qualquer objeto, movendo-se a esta velocidade, tornar-se-á um projétil de considerável poder destrutivo ao atingir outro objeto, por menores que sejam suas dimensões (GLEISER, 2005).

Desta forma, um objeto que em situação normal sequer representaria perigo a alguém, uma vez em velocidade orbital transforma-se em algo que pode colocar em risco a vida de seres humanos no espaço. Alguns dos menores objetos que podem se desprender de naves em órbita são minúsculas lascas de tinta da pintura externa dos veículos espaciais. A 30.000 quilômetros por hora estes minúsculos objetos podem causar danos consideráveis em uma nave, dependendo da velocidade relativa e ângulo com que colidem com o veículo (NOGUEIRA, 2005). A esta velocidade uma minúscula lasca de tinta com as dimensões de um grão de sal pode rasgar um painel solar (utilizado para captar energia solar e transformá-la em eletricidade) de um satélite ou da *ISS*, atingir partes vitais de espaçonaves operacionais ou até abrir um rombo na janela de uma nave tripulada, matando sua tripulação em órbita ou ao estilhaçar a janela durante a reentrada (NOGUEIRA, 2005; SUPERABRIL, 2010).

Obviamente detritos maiores representam perigo muito maior, podendo provocar a completa destruição do veículo atingido. Um parafuso, ao invés de uma partícula de tinta,

orbitando a 30.000 quilômetros por hora, certamente produzirá estragos consideráveis em qualquer veículo que atinja. O mesmo pode-se dizer a respeito de ferramentas e equipamentos acidentalmente deixados em órbita por astronautas. O primeiro veículo a ser atingido e avariado por um detrito espacial de origem artificial foi o satélite francês *Cerise* e o objeto que o abalroou não era maior que 12 cm (AEB, 2010), mas foi suficiente para desestabilizar o satélite de tal maneira que o mesmo veio a cair tempos depois, ainda que de forma controlada (UFMG, 2010).

Mas objetos muito maiores que parafusos, lascas de tinta ou ferramentas de astronautas podem ser contabilizados na problemática do lixo espacial. Um foguete espacial comumente é construído em diferentes divisões, chamadas estágios. Cada estágio possui motores e tanques de combustível e de oxigênio líquido (no caso dos foguetes a combustível líquido) ou comportam quantidades específicas de combustível sólido. Conforme o combustível de cada estágio é consumido, o mesmo é descartado, passando a funcionar o estágio seguinte, até ele próprio ser descartado quando seu combustível chegar ao fim (CLARKE, 1968). Embora alguns estágios sejam descartados ainda dentro da atmosfera, caindo no oceano (ou no deserto, no caso dos foguetes russos) ou em órbita baixa, permanecendo no espaço por pouco tempo, caindo e sendo destruídos na atmosfera superior pouco depois, outros podem permanecer em órbita por anos ou décadas. Uma situação que ilustra este fato é a descoberta de um asteroide em 1992 que, após algumas análises, levantou a suspeita de que seja, na verdade, um estágio superior de um antigo foguete *Saturno-5*, utilizado para conduzir o homem à Lua nas décadas de 1960 e 1970 (SAGAN, 1996).

A única vantagem dos detritos de maiores dimensões é o fato de poderem ser catalogados e sua órbita acompanhada a partir da Terra por equipamentos especiais. Em se tratando de objetos de grandes dimensões como estágios descartados de antigos foguetes, pode-se prever sua trajetória com dias de antecedência, permitindo a preparação de eventuais manobras orbitais de naves ainda ativas, para evitar colisões.

Por outro lado, um dos perigos representados por detritos maiores é a possibilidade de caírem à Terra e manterem-se praticamente intactos até o solo. Esta ocorrência é rara, visto que praticamente todos os objetos desintegram-se na atmosfera ao reentrar. Entretanto, mesmo que o estágio ou outro objeto venha a se desintegrar ao reentrar na atmosfera, sempre há o risco de que algum de seus destroços venha a cair sobre regiões

habitadas, provocando vítimas, ainda que dois terços da superfície terrestre sejam cobertos por água.

Algumas quedas de detritos espaciais mais conhecidas incluem a reentrada na atmosfera de um estágio de foguete *Delta-2* sobre o Texas em 1997. O objeto fragmentou-se na atmosfera e vários de seus pedaços atingiram o solo sem provocar vítimas. Outros casos famosos incluem a estação espacial norte-americana *Skylab*, de 77 toneladas, que abrigou três tripulações em 1973 e 1974, foi desativada e caiu à Terra em 1979, atingindo o Oceano Índico e partes da Austrália e causando certa preocupação devido ao seu retorno ter sido sem controle algum. Em 1975 um estágio do foguete utilizado para lançar a *Skylab* em órbita já havia causado alguma apreensão ao retornar à Terra, caindo no Atlântico Sul, nas imediações dos Açores. Outra estação espacial que reentrou na atmosfera e causou certa apreensão foi a russa *Saliut-7*, que caiu no início da década de 1990 nas imediações do litoral chileno. Em março de 2001 a estação espacial russa *Mir*, de 120 toneladas, reentrou na atmosfera em uma queda controlada. Vários de seus destroços, alguns com várias toneladas, caíram no Pacífico Sul, a leste da Nova Zelândia (UFMG, 2010). Outra situação foi a desintegração e queda da nave Columbia a 61 quilômetros de altura, em 2003, ocasionando a morte de seus sete astronautas. Os destroços da nave caíram sobre três estados norte-americanos e poderiam ter provocado vítimas não apenas pela queda dos objetos em si, mas também por substâncias altamente tóxicas empregadas na construção da nave ou transportadas para a realização de experiências em órbita (NASA, 2010).

3. RASTREAMENTO DOS DETRITOS

O seguro morreu de velho

DITADO POPULAR

A reentrada atmosférica desses materiais [lixo espacial] produz meteoros e até bólidos e, portanto, um observador desavisado ao visualizar uma “estrela cadente”, que não esteja associada a períodos de chuvas de meteoros, pode ter avistado um “parafuso cadente”.

PAULO H. A. SOBREIRA In: Cosmografia Geográfica, 2005.

Os detritos orbitais próximos da Terra e, mais especificamente, o seu número e dimensões, são estudados a partir do solo, através de radares e telescópios óticos, mas também no próprio espaço, além dos dados obtidos após estudos efetuados sobre a superfície exterior das espaçonaves, quando estas retornam ao solo (NASA, 2010).

As peças maiores são normalmente monitoradas pelas agências espaciais internacionais — tais como a AEB (Agência Espacial Brasileira), a ESA (Agência Espacial Europeia) e a NASA. Mas as pequenas são de difícil detecção. Praticamente todos os foguetes deixam peças e pedaços na órbita ao serem lançados, como estágios de lançamentos abandonados, peças ejetadas, entre outros. Também existem muitos satélites que encerraram sua vida útil e continuam a orbitar a Terra sem qualquer atividade, passando a ser considerados como lixo espacial (AEB, 2010; MOURÃO, 1995).

As Forças Armadas dos Estados Unidos mantêm, atualmente, um catálogo tão completo quanto possível de cerca de 10.000 objetos visíveis, podendo, com estas informações, distingui-los de mísseis hostis, por exemplo. Para isso, contam com observações por radar e telescópios. Porém, existe uma quantidade muito maior de objetos que sequer foram ainda catalogados ou que, devido às suas pequenas dimensões, não podem ser visualizados nem com o emprego de aparelhos apropriados.

Além das mensurações efetuadas pelas forças armadas estadunidenses, outras iniciativas visam quantificar e medir os detritos, como o Telescópio de Detritos Espaciais da Agência Espacial Europeia (*ESA Space Debris Telescope*), os radares Goldstone e Haystack e o sistema de radar Cobra Dane. Os dados obtidos durante essas campanhas serão usados para validar modelos de ambientes com detritos, sendo hoje a única forma de determinar o risco de impacto causado por lixo espacial, já que apenas objetos maiores podem ser facilmente rastreados (NASA, 2010). Um exame minucioso da superfície externa do aparelho de Longa Duração à Exposição, mais conhecido pela sigla de LDEF (sigla em inglês para Long Duration Exposure Facility), colocado em órbita pelo ônibus espacial *Challenger* e resgatado pelo ônibus espacial *Columbia* após 68 meses em órbita, permitiu a análise da distribuição direcional dos detritos, bem como a composição do fluxo dos detritos. O satélite *EURECA*, colocado em órbita pelo ônibus espacial *Atlantis* em 1992 e resgatado pelo ônibus espacial *Endeavour* em 1993, proporcionou melhor entendimento sobre o assunto (AEB, 2010; NASA, 2010).

Os painéis solares do telescópio espacial Hubble, recuperados durante missões dos ônibus espaciais *Endeavour*, *Atlantis*, *Discovery* e *Columbia*, são importantes fontes sobre o ambiente dos detritos. As pequenas crateras encontradas na sua superfície foram quantificadas e qualificadas pela ESA para prover outros meios de validação dos modelos de ambiente de detritos (AEB, 2010).

4. OS PERIGOS DOS DETRITOS ESPACIAIS

Ao que parece é uma das sinas do homem poluir cada novo ambiente que ocupa antes mesmo que seja capaz de entendê-lo. Nem tivemos a nossa primeira guerra fora da Terra e os engenheiros já foram obrigados a se familiarizar com o problema dos detritos espaciais.

SALVADOR NOGUEIRA In: Rumo Ao Infinito, 2005.

4.1 Riscos Para a Exploração Espacial

O lixo espacial atualmente em órbita chama a atenção sobretudo pela sua imensa quantidade, estimada em cerca de 9.000 objetos cujas dimensões superam os dez centímetros (LOVATI, 2006 *apud* MORENO, 2008), e um total de cerca de cinco mil toneladas de material em desuso, composto por mais de 300 milhões de detritos ao todo (SGARBI, 2007 *apud* MORENO, 2008). Um fato agravante é que mesmo que os lançamentos de equipamentos ao espaço cessassem de imediato, os fragmentos no espaço continuariam a aumentar em quantidade devido ao choque entre os objetos já em órbita, que os fragmenta (LIOU, 2006 *apud* MORENO, 2008).

A maior parte dos detritos espaciais se encontra em órbita terrestre baixa. Porém, existe também uma quantidade considerável de detritos na órbita geossíncrona, mais conhecida como órbita geoestacionária. Entretanto, esta órbita pela sua considerável distância da Terra, faz com que a dispersão desses objetos seja muito maior do que os encontrados em órbitas mais próximas. Há também cerca de milhares de objetos cuja trajetória é excêntrica, podendo transladar pelas outras órbitas e provocar acidentes ao colidir com espaçonaves (AEB, 2010).

Estas peças orbitam a grande velocidade e poderão atingir um satélite ou espaçonave com impacto semelhante ao de uma bala de fuzil. Este fato é levado em conta também no que diz respeito aos astronautas, cuja roupa destinada à atividade extraveicular é concebida de forma a proteger o ser humano contra micrometeoritos.

Presume-se que objetos pouco maiores que meteoritos, de alguns centímetros e alta velocidade orbital no vácuo, sejam capazes de romper as vestes extraveiculares dos astronautas, causando-lhes grandes danos e até a morte (NASA, 2010).

Mas não são apenas estes os riscos oferecidos por detritos em órbita. Naves, tripuladas ou não, podem vir a ser atingidas em voo por lixo espacial, o que poderia resultar em consequências graves. Um objeto que tenha 1 mm de comprimento seria capaz de quebrar cabos de dados e cabos de força secundários da *ISS*. Um com 4 ou 5 mm já seria capaz de danificar os cabos de força principais, tubos e painéis. Por esta razão a *ISS* é atualmente a mais protegida espaçonave; muitos de seus componentes externos são feitos de alumínio. Áreas críticas, como compartimentos habitáveis, serão capazes de resistir ao impacto de detritos de 1 cm de diâmetro.

Alguns analistas afirmam que em futuro próximo alguma nave tripulada será atingida por algum detrito espacial, podendo esta situação terminar em tragédia. Mesmo satélites não tripulados podem ser destruídos ou inutilizados. Segundo tais analistas, se o ritmo de lançamentos se mantiver, bem como o aumento de detritos em órbita, em breve o planeta será encapsulado num invólucro denso de lixo espacial, situação de colapso conhecida como síndrome de Kessler. O número de colisões de naves e satélites com tais detritos, bem como as manobras de emergência para desviar-se dos mesmos devem tornar-se mais frequentes. Assim, o espaço próximo à Terra tornar-se-á altamente perigoso para propósitos pacíficos e militares. Levada ao extremo a situação destruiria ou inutilizaria boa parte dos satélites artificiais levados ao espaço, interrompendo as revolucionárias pesquisas de cunho científico por eles conduzidas e encerrando as comunicações via satélite (NOGUEIRA, 2005). As previsões de tempo não seriam afetadas de modo grave, uma vez que praticamente todos os satélites que dedicam-se a esta área mantêm-se em órbita geoestacionária, onde a quantidade de detritos espaciais é menor.

Situações como a destruição de um satélite meteorológico chinês por parte de um míssil, em 2007, ocasionando sua explosão, produzem milhares de fragmentos visíveis por meio de equipamentos a partir da Terra e talvez milhões de outros impossíveis de ser rastreados, dadas as suas pequenas dimensões, ainda que potencialmente perigosos a outros satélites ou a espaçonaves tripuladas (MORENO, 2008).

O espaço exterior é o mais frágil ambiente que existe, pois apresenta a menor capacidade de reparar-se. Somente a atmosfera da Terra é capaz de remover satélites de órbita (NOGUEIRA, 2005), por meio de sua capacidade de frear gradativamente a velocidade destes equipamentos, de modo que a força gravitacional acaba por vencer e puxá-los de volta ao planeta.

Destroços acima dos 800 quilômetros estarão lá por décadas. Acima dos 1.000 quilômetros, por séculos. Acima dos 1.500 quilômetros, permanecerão no espaço praticamente para sempre (NOGUEIRA, 2005).

Nos primeiros anos da exploração espacial as naves e astronautas expunham-se a riscos como radiação cósmica, inexistência de atmosfera no espaço, possibilidade de falhas técnicas e a presença de micrometeoritos – detritos rochosos cuja velocidade pode atingir centenas de milhares de quilômetros por hora, sendo este um dos perigos mais imprevisíveis, ainda que suas possibilidades de ocorrência sempre foram baixíssimas (CLARKE, 1968). Atualmente os detritos espaciais artificiais tornaram-se um problema muito maior que a ocorrência de eventuais micrometeoritos. A cada dado momento existe ao redor da Terra cerca de 200 kg de rochas, na região que vai do topo da atmosfera até os 2 mil quilômetros de altitude. No mesmo espaço existe nada menos que 3 mil toneladas de destroços introduzidos por ação humana (NOGUEIRA, 2005). Ou seja, para as atividades espaciais os restos de lançamentos anteriores são muito mais perigosos do que pequenas rochas espaciais.

Em 1999 o COPUOS produziu um relatório técnico a respeito do que se sabia sobre os detritos espaciais. Constatou-se que os fragmentos de estágios superiores de foguetes e as naves espaciais compõem cerca de 43% da população de satélites identificada, podendo responder por até 85% de todos os destroços espaciais maiores que 5 cm (NOGUEIRA, 2005).

4.2 Riscos Para a Sociedade

Detritos espaciais oferecem perigo ao caírem em direção à Terra. Embora detritos pequenos acabem por se desintegrar ao entrar nas camadas mais densas da atmosfera, destroços acima de determinado tamanho e feitos de determinados materiais podem atingir a superfície, podendo vir a provocar vítimas ou estragos (MOURÃO, 1984; UFMG, 2010).

Em 11 de março de 1978, à 1h20min da madrugada, o terceiro estágio de um foguete soviético reentrou na atmosfera em cima do Rio de Janeiro. O fenômeno luminoso, formado por inúmeros fragmentos que brilhavam com uma luz intensamente azulada, foi visto por centenas de pessoas. Se a reentrada tivesse ocorrido minutos antes, o foguete teria caído na área urbana do Rio e não no Oceano Atlântico, como aconteceu (UFMG, 2010). Outras situações mais dramáticas já foram registradas. Em 1962 o satélite russo Sputnik-4 sobreviveu à reentrada na atmosfera e abriu uma cratera no centro comercial da cidade americana de Manitowoc, no estado de Wisconsin. Os destroços estavam tão quentes que os bombeiros viram-se obrigados a esperar algumas horas para recolhê-los (SUPERABRIL, 2010). Por ocasião da destruição e queda dos destroços da nave *Columbia* ao menos um destroço atingiu uma residência, abrindo-lhe um rombo no telhado da garagem.

Estas e outras situações não provocaram vítimas fatais. Mas com o número de detritos espaciais em órbita aumentando continuamente, isso parece ser apenas uma questão de tempo.

Entretanto, existem maneiras menos diretas da sociedade ser afetada pelo acúmulo de detritos em órbita terrestre. O cenário mais remoto, ainda que fisicamente possível, é a Síndrome de Kessler. A hipótese sustenta que chegará um momento em que o espaço em redor do planeta terá tantos detritos que será impossível utilizá-lo para as necessidades da Humanidade. Isso pode ocorrer porque quando dois objetos se chocam, acabam por gerar mais fragmentos em alta velocidade, multiplicando assim o número de objetos em órbita, no que lembra uma reação em cadeia, em que choques geram choques e mais choques, como se quase tudo o que estivesse em órbita criasse um cinturão, inviabilizando completamente o uso do espaço (NOGUEIRA, 2005; SOBREIRA, 2005; UFMG, 2010). A Terra terminaria encapsulada dentro de uma esfera constituída de lixo orbital.

Caso o espaço fosse inutilizado a sociedade seria a vítima. Os satélites que atualmente estão em órbita são responsáveis por transmitir dados, sinais de televisão, rádio e telefone, bem como previsão meteorológica e de alterações climáticas. Também executam tarefas como fotografar diferentes áreas da Terra para diversos fins, monitorar queimadas em áreas de florestas, previsão de fenômenos naturais, mapeamento de áreas, acompanhamento de veículos e animais, observação de cardumes de peixes,

estudos na alta atmosfera, auxílio a pilotos de aviões em amplas áreas desabitadas, observação astronômica, entre outras (CLARKE, 1968; MOURÃO, 1984; SAGAN, 1996; NOGUEIRA, 2005; SOBREIRA, 2005; MORENO, 2008). Com o aumento do lixo espacial em órbita aumentam também as chances de equipamentos necessários ao homem ser danificados seriamente. Levado a extremos o aumento do lixo espacial impediria ainda a realização de voos espaciais tripulados devido ao grande risco de colisão da nave com um detrito, podendo ocasionar morte de astronautas. Os programas espaciais simplesmente entrariam em colapso.

4.3 Riscos Para o Meio-Ambiente

Tão preocupante quanto a simples reentrada na atmosfera de objetos que eventualmente podem atingir o solo e provocar vítimas é a queda de satélites portando substâncias tóxicas, algumas das quais podem ser altamente poluentes ao meio-ambiente.

Satélites são equipamentos complexos e sua construção certamente emprega uma grande variedade de compostos artificiais, como ligas metálicas, plásticos, polímeros, entre outros. Na eventualidade de um satélite reentrar na atmosfera e chegar ao solo, algumas das substâncias que o compõem podem terminar por contaminar o ambiente em redor. Algumas substâncias tóxicas podem ainda estar presentes no satélite não por fazer parte de sua construção, mas devido a alguma experiência a ser realizada em órbita (SUPERABRIL, 2010). Substâncias de alto poder de penetração, ao atingir o solo podem chegar a lençóis freáticos, contaminando mananciais e aquíferos.

Eventualmente satélites podem transportar substâncias tóxicas perigosas ao ser humano como indivíduo. Em fevereiro de 2003, quando o ônibus espacial *Columbia* explodiu na atmosfera, ocasionando a morte de sete astronautas, a NASA imediatamente emitiu um comunicado alertando a população para que ninguém se aproximasse dos destroços que caíram sobre três estados (Novo México, Texas e Louisiana). Segundo a NASA, alguns destroços poderiam estar contaminados com substâncias químicas altamente tóxicas, algumas que até poderiam resultar em queimaduras ou grave envenenamento (NASA, 2010, SPACEFACTS, 2010).

Mesmo que o perigo de contaminação no episódio da *Columbia* tenha sido exagerado para que ninguém se aventurasse a guardar destroços da nave (pouco após o

acidente havia destroços da *Columbia* à venda na internet), é inegável que naves e satélites muitas vezes transportam substâncias que podem ser nocivas à saúde humana e ao meio-ambiente.

Há ainda o caso de satélites portando substâncias radioativas, como aconteceu com o Kosmos-954, um engenho militar soviético que caiu próximo ao Lago dos Escravos, no Canadá, em janeiro de 1979, e que carregava um reator nuclear que alimentava o seu radar. Os americanos, que acompanhavam a trajetória do satélite através de sua rede de radares, quando compreenderam que os cientistas soviéticos haviam perdido o controle da situação, lançaram um alarme atômico generalizado – embora discreto – para todas as capitais dos países ocidentais (SUPERABRIL, 2010).

Alguns satélites, que já não recebem ordens das centrais de comando da Terra, podem cair a qualquer momento, atraídos pela gravidade do planeta. Alguns desses satélites estão equipados com geradores eletro-nucleares que ativam funções específicas dentro do aparelho, e podem usar como combustível o urânio 235 ou o plutônio 238 (ambos altamente radioativos). Uma vez reentrando na atmosfera estes equipamentos podem espalhar certa quantidade de material radioativo a grandes altitudes (UFMG, 2010). O satélite pode ainda resitir ao calor da reentrada e atingir a superfície, contaminando solo ou águas com material radioativo.

Outros ambientes, além do terrestre, podem ser afetados pelo lixo espacial. Diversas sondas já foram enviadas para a Lua e outros corpos do Sistema Solar, constituindo uma nova forma de poluição. Ainda que tais corpos sejam desabitados, causa preocupação a possível contaminação biológica de tais ambientes por possíveis microorganismos terrestres (SOBREIRA, 2005), algo que realmente aconteceu na década de 1960, quando astronautas da Apollo-12, a segunda nave tripulada a pousar na Lua, recolheram peças de uma sonda anteriormente lançada ao satélite e constatou-se que a mesma estava contaminada por vírus da gripe (NOGUEIRA, 2005).

5. POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Ninguém cometeu erro maior do que aquele que não fez nada porque só podia ter feito um pouco.

EDMUND BURKE, filósofo e político irlandês

Na tentativa de solucionar o problema do lixo espacial em torno da Terra várias propostas foram apresentadas em diferentes ocasiões. Algumas são viáveis mas não podem surtir efeito em tempo hábil. Uma delas, já posta em prática, inclui modificações no *design* do foguete norte-americano *Delta* e no francês *Ariane*, de modo a reduzir a quantidade de destroços colocados em órbita a cada novo lançamento (NOGUEIRA, 2005).

Outras ideias, por sua vez, são ainda muito tímidas e a concretização de tais métodos exige gastos tão elevados que a viabilidade técnica é questionada. Entre tais propostas inclui-se a utilização de raios laser, a partir de canhões instalados em terra, no ar e no espaço para, em conjunto, dispararem contra o lixo, alterando-lhe a órbita para mais próximo da Terra. Assim, os objetos entrariam na atmosfera e se consumiriam pelo atrito com o ar. A grande barreira à prática desta ideia são os custos elevados. Custo proibitivo também é o principal impedimento à construção de uma nave dotada de um braço espacial (semelhante aos utilizados nos ônibus espaciais norte-americanos e na *ISS*) para a coleta direta de detritos em órbita (SUPERABRIL, 2010).

Surgiu também a ideia de se utilizar redes de grandes dimensões, construídas em liga especial, unidas a hastes infláveis, de modo a formar um gigantesco cesto para engolfar o lixo em nuvens de detritos espaciais. Esta técnica encontra-se em teste para recolher satélites inativos mas ainda falta desenvolver seu potencial para o recolhimento de lixo de forma eficiente (SUPERABRIL, 2010).

Outra proposta preconiza a utilização de fios eletromagnéticos de cobre acoplados a satélites e outras naves. Tais fios elétricos reagiriam com o campo magnético da Terra de modo a atrair o lixo espacial de volta ao planeta. Há, entretanto, a necessidade de aprimorar-se a técnica, uma vez que para o lixo existente só é possível o recolhimento de poucos objetos de grandes dimensões (SUPERABRIL, 2010).

A ideia de se utilizar um aerogel leve e adesivo para a coleta de lixo espacial também foi proposta. A tecnologia já existe e, inclusive, é utilizada para se coletar amostras no espaço. Em dezembro de 2003 a sonda automática *Stardust* coletou poeira da cauda do cometa Wild-2 justamente fazendo uso deste tipo de gel (NOGUEIRA, 2005). Porém, seria preciso ainda ampliar a escala para se tentar utilizar tal gel para a coleta de detritos em órbita. Uma quantidade muito grande de aerogel seria necessária para coletar uma quantidade ínfima de detritos (SUPERABRIL, 2010).

Por fim, foi proposta a ideia de utilizar-se um grande painel de espuma especial, altamente porosa, colocado na rota dos detritos espaciais. Passando por este painel o lixo teria sua velocidade reduzida, vindo a cair em direção à Terra, incinerando-se com o atrito na alta atmosfera. Entretanto, tais painéis precisariam ter grandes dimensões para atingir uma quantidade significativa de detritos pequenos. E haveria ainda o risco de colisão com objetos maiores (SUPERABRIL, 2010).

RESULTADOS

A questão do lixo espacial é uma das grandes barreiras a ser vencidas pela Humanidade em futuro próximo. O acúmulo de dejetos em órbita pode acarretar uma série de consequências – todas negativas – à exploração espacial, à sociedade e ao meio ambiente. Por enquanto o ambiente mais afetado pelo lixo espacial é o próprio espaço exterior, onde orbita um número incontável de objetos dos mais variados tamanhos, nas mais diferentes direções e com velocidades da ordem de 30.000 quilômetros por hora, a velocidade mínima para um objeto manter-se no espaço. Existe possibilidade de monitorar continuamente os objetos maiores. Mas os menores – alguns com apenas poucos milímetros mas que, mesmo assim, conseguem produzir danos em equipamentos ativos – não podem ser catalogados a partir da Terra. A consequência mais grave é a própria reação em cadeia em se tratando de colisões no espaço, uma vez que um choque entre dois objetos certamente produzirá um número ainda maior de detritos, cada qual numa direção diferente, todos em alta velocidade, prontos para atingir outros objetos.

Os satélites, obviamente, desempenham papéis de relevância inquestionável à sociedade, de modo que não é exagero afirmar que, em certos aspectos, somos dependentes dos mesmos. Serviços importantes como previsão do tempo ou telecomunicações são incumbência de satélites, além de um número incontável de outras tarefas. Uma vez um satélite deixando de funcionar por colisão com um detrito orbital, uma tarefa ou outra deixará de ser realizada em prol da sociedade.

No caso dos objetos em órbita baixa, a tendência é que sejam gradativamente freados pelos poucos átomos gasosos das camadas mais altas da atmosfera, vindo, por fim, a cair à Terra. Os menores e de materiais menos resistentes são prontamente consumidos pelo atrito com a atmosfera, mas os maiores podem eventualmente atingir a superfície terrestre. Passa a existir então o risco de que tais objetos atinjam áreas

habitadas, ocasionando vítimas. Mesmo que caiam em áreas desabitadas ou até no oceano, podem vir a provocar grave impacto ambiental, visto que ocasionalmente transportam substâncias poluentes como materiais radioativos, combustíveis, materiais artificiais empregados em sua construção ou compostos para a realização de experiências em órbita.

A problemática do lixo espacial tende a adquirir importância com o passar do tempo, provavelmente passando a figurar entre os mais sérios problemas ambientais a ser resolvidos pela Humanidade. Pela primeira vez o homem depara-se com um problema de ordem ambiental que afeta até mesmo o futuro da navegação espacial, problema este surgido justamente pelo desenvolvimento deste tipo de exploração em particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEB – Agência Espacial Brasileira. Disponível em: www.aeb.gov.br. Acesso em 07 de junho de 2010.

CLARKE, Arthur C. **O Homem e o Espaço**. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1968.

GLEISER, M. **Micro Macro**: Reflexões sobre o homem, o tempo e o espaço. São Paulo: Publifolha, 2005.

GRECCO, Dante. Sai de Baixo. **Globo Ciência**, São Paulo, n. 61, ago. 1996.

MORENO, Miguel Fernando. **O Direito Espacial Como Norte da Exploração Espacial**. Trabalho de Conclusão de Curso. UEL – Universidade Estadual de Londrina, 2008, 146 p.

MOURÃO, Ronaldo. R. F. **Explicando Astronáutica**. Rio de Janeiro: Ediouro, 1984.

_____. **Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

NASA – National Aeronautic And Space Administration. Disponível em: www.nasa.gov. Acesso em 17 de maio de 2010.

NOGUEIRA, Salvador. **Rumo Ao Infinito**. Passado e futuro da aventura humana na conquista do espaço. São Paulo: Globo. 2005.

SAGAN, Carl. **Pálido Ponto Azul**. Uma visão do futuro da Humanidade no espaço. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SOBREIRA, Paulo, H. A. **Cosmografia Geográfica: a Astronomia no ensino de Geografia**. Universidade de São Paulo – FFLCH – Departamento de Geografia. Tese de Doutorado apresentada a FFLCH-USP, São Paulo, 2005, 239 p.

SPACEFACTS. **Spaceflights**. Disponível em: www.spacefacts.de. Acesso em: 19 jun de 2010.

SUPERABRIL. Disponível em: <http://super.abril.com.br>. Acesso em 17 de junho de 2010.

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. **Observatório**. Disponível em: <http://www.observatorio.ufmg.br/Pas81.htm>. Acesso em: 22 de jul. de 2010.

WHITE, Michael. **Rivalidades Produtivas**: disputas e brigas que impulsionaram a ciência e a tecnologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Record, 2003.