

e oxigênio-hidrogênio no segundo e terceiro estágios. Já o foguete russo Soyuz, que levou o astronauta brasileiro à ISS, e é muito parecido com o foguete que colocou o Sputnik em órbita da Terra, faz uso do par oxigênio-querosene.

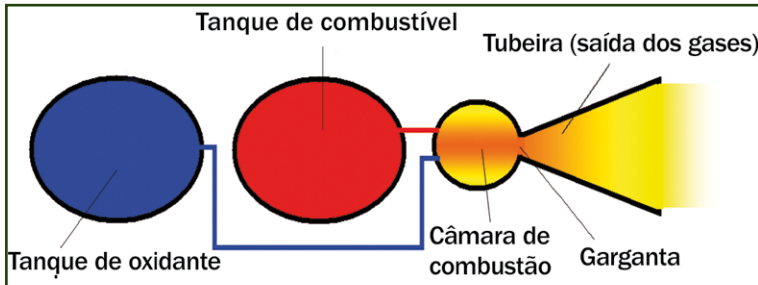


Figura 4.69. Propulsor líquido.

Além do problema do armazenamento a temperaturas criogênicas, o uso do oxigênio e do hidrogênio líquidos requer um sistema de ignição. Em algumas aplicações estes podem ser fatores limitantes. Imagine, por exemplo, o caso do módulo lunar, no qual o combustível precisaria ficar armazenado por vários dias e no qual uma falha do propulsor deixaria os astronautas na superfície lunar entregues à própria sorte. Neste caso, os projetistas fizeram uso de propelentes hipergólicos que entram em combustão pelo simples contato entre o combustível e o oxidante.

Há foguetes movidos inteiramente a propelentes hipergólicos. É o caso, por exemplo, dos veículos lançadores ucranianos Ciclone 4.

## Propulsão híbrida

Existe um ramo da engenharia de foguetes que estuda o uso, em um mesmo motor-foguete, de propelente sólido e propelente líquido. Trata-se da propulsão híbrida. Como exemplo, pode-se citar o motor-foguete produzido para o SpaceShipOne, veículo espacial que, em 4 de outubro de 2004, ganhou o Prêmio X por ter se tornado a primeira espaçonave tripulada construída por uma empresa privada a alcançar, por duas vezes, num período de 14 dias, a altitude de 100 km. Neste caso, o propulsor tem uma geometria similar àquela mostrada na Figura 4.67, mas o bloco

de propelente contém apenas o combustível, conhecido pela sigla HTPB. O oxidante líquido (óxido nitroso,  $N_2O$ ) é armazenado em um tanque separado e injetado na câmara de combustão.

## **Propulsão sólida × Propulsão líquida**

Apesar de mais eficientes, isto é, produzirem mais empuxo para uma mesma massa de propelente, a tecnologia necessária à fabricação de motores-foguete a propelente líquido é mais complexa que aquela dos propulsores sólidos. Para bombear o combustível e o oxidante para a câmara de combustão são necessárias potentes bombas, cuja potência provém de turbinas. Para que tais propulsores sejam confiáveis são necessários recursos humanos, financeiros e de infra-estrutura de grande monta.

Outra vantagem da propulsão líquida está relacionada à possibilidade de iniciar e interromper a combustão várias vezes. Para tanto, basta cessar o ingresso de combustível na câmara de combustão. Essa característica melhora sobremaneira a precisão de inserção em órbita de satélites.

É importante frisar que o uso de propulsores sólidos e líquidos em um mesmo foguete é bastante comum. O ônibus espacial americano é o exemplo mais conhecido. Quando da decolagem são utilizados, como propulsão auxiliar, dois enormes motores-foguete a propelente sólido, com 485 toneladas de propelente cada, que funcionam por dois minutos. Como propulsão principal são utilizados três motores-foguete que, em oito minutos, consomem 550.000 litros de oxigênio e 1.500.000 litros de hidrogênio. Os motores líquidos também são acionados simultaneamente aos sólidos. O ônibus espacial propriamente dito vai preso, pela barriga, aos tanques de oxigênio e hidrogênio.

O Brasil domina todo o ciclo de produção de motores-foguete a propelente sólido. Por isso, os foguetes de sondagem brasileiros, bem como todos os propulsores do VLS-1, fazem uso da propulsão sólida. Recentemente, o País deu início ao estudo e desenvolvimento da tecnologia da propulsão líquida.

## A FICÇÃO CIENTÍFICA VIRANDO FATO CIENTÍFICO

Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA) e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

A leitura das obras de Verne “Da Terra à Lua” (1865) e “Ao Redor da Lua” (1870) deixa o leitor impressionado pelas similaridades com o que ocorreria um século depois, por ocasião da chegada do homem à Lua, tais como:

- Júlio Verne, um francês, anteviu que se alguma nação porventura realizasse similar façanha, ela seria a americana.
- Na noite do dia 05 de outubro de 1865, em uma concorrida assembléia do Clube do Canhão, em Baltimore, próximo a Washington D.C., o presidente Barbicane, 40 anos de idade, propunha usar o conhecimento acumulado durante a Guerra Civil (1861-1865) para lançar, por meio de um canhão, um projétil em direção à Lua.
- Na noite do dia 25 de maio de 1961, em plena Guerra Fria, o então presidente americano John Kennedy, aos 43 anos, esteve receu a opinião pública mundial ao anunciar, perante uma sessão conjunta do Congresso Americano, em Washington D.C., que até o final daquela década os americanos levariam o homem à Lua e o trariam de volta.
- Da mesma forma que a Missão Apollo, a viagem lunar proposta por Barbicane foi acompanhada de perto pela imprensa e população do planeta.
- O projétil proposto por Barbicane foi arremessado em direção à Lua por um canhão denominado Columbia. No seu interior iam, além do próprio Barbicane, Nícoles e Ardan. Columbia foi o nome do módulo de comando da missão



Figura 4.70. Módulos de comando e serviço da Apollo.

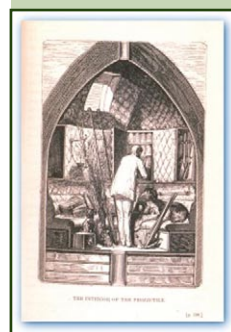


Figura 4.71. Interior do projétil de Verne.

Apollo 11, que levou 3 homens à Lua em 1969. Eram eles: Armstrong, Aldrin e Collins.

- O projétil de Verne era feito em alumínio e pesava 8.730 kg. O Columbia da Apollo 11 era predominantemente feito em alumínio e pesava 11.920 kg. Ambos tinham o formato cilíndrico-cônico.
- Tanto o projétil de Verne quanto aqueles das missões Apollo foram lançados do estado da Flórida, EUA.
- Para avaliar os efeitos da aceleração do lançamento sobre os animais, Verne usou um gato e um esquilo. Os americanos utilizaram-se de macacos.
- Dentre as visões que Barbicane, Nícoles e Ardan tiveram ao circunavegarem a Lua, ressaltou-se o Mar da Tranquilidade, situado próximo ao equador lunar, local onde a Apollo 11 pousou em 1969.
- O conceito de retrofoguetes imaginados por Verne para atenuar o impacto na alunissagem foi utilizado pela Apollo 11 para permitir o pouso suave de Armstrong e Buzz Aldrin na Lua, em 20 de julho de 1969.
- Tendo em vista a não possibilidade de chegarem à Lua, os retrofoguetes imaginados por Verne foram utilizados para permitir o regresso de Barbicane, Nícoles e Ardan à Terra. O mesmo ocorreu em 1970, quando a tripulação da Apollo 13, avariada por uma explosão, fez uso dos retrofoguetes para retornar à Terra.
- Lançada em 01 de dezembro de 1866, Barbicane, Ardan e Nicole caíram no oceano Pacífico. A viagem demorou 242 horas e 31 minutos, incluindo 48 horas em órbita ao redor da Lua. O resgate foi efetuado pela corveta da Marinha dos EUA denominada Susquehanna. Um século depois, a Apollo 8 foi lançada cerca de 231 km distante do local de lançamento de Verne. Após uma jornada de 147 horas e um minuto, Borman, Anders e Lovell, foram recuperados no oceano Pacífico, tendo sido resgatados pelo navio da Marinha americana Hornet.

- Da mesma forma que os astronautas da Apollo 11, Barbicane, Nícoles e Ardan tiveram uma recepção apoteótica quando do seu retorno.

É claro que algumas dessas semelhanças são meras coincidências, mas é fato que Júlio Verne fez uso dos conhecimentos de física, astronomia, química e matemática disponíveis à sua época para escrever o livro. Não custa lembrar que um dos objetivos do editor das obras de Verne, Pierre-Jules Hetzel, era usar a sua obra como forma de passar ensinamentos aos leitores. Portanto, não é à toa que “Da Terra à Lua” e “Ao Redor da Lua” inspiraram homens como o russo Konstantin Tsiolkovsky e o brasileiro Santos Dumont.

E para que tudo não pareça perfeito, vale a pena mencionar alguns aspectos do livro de Verne que não encontram fundamentos na teoria e na prática conhecidas. O primeiro deles diz respeito à possibilidade de um canhão imprimir velocidade de 11 km/s a um projétil, quase que instantaneamente, conforme proposto por Verne. De fato, a aceleração seria tão elevada que mataria todos os seres vivos no interior do projétil. Também implausíveis foram as situações nas quais Barbicane, Ardan e Nícoles abriam rapidamente a escotilha da sua espaçonave para “jogar fora” detritos por eles gerados, bem como o corpo de Satélite (cachorra morta como consequência do lançamento). O mesmo vale para o uso de termômetros para obter a temperatura fora do projétil. Outro aspecto no qual Verne não logrou êxito foi imaginar que somente no ponto neutro entre a Terra e a Lua haveria a sensação de falta de gravidade. Em realidade, vencida a atmosfera terrestre e considerando-se o não acionamento de propulsores, os astronautas encontram-se sob a sensação de ausência de peso.



## ATIVIDADES

### COMPRESSÃO E DESCOMPRESSÃO

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

#### Apresentação

O corpo humano está habituado a viver sob uma determinada pressão, que é aquela que sentimos ao nível do mar e que chamamos de 1 atmosfera. Nas atividades aeroespaciais, estamos fora da atmosfera terrestre, então precisamos cuidar para que estejamos sempre à pressão atmosférica. Nestes simples experimentos demonstramos o efeito de variarmos a pressão sobre um corpo não rígido.

#### Objetivo

Demonstrar o que ocorre com um corpo não-rígido, tal como nosso corpo, ou um balão de látex quando fazemos variar a pressão.

#### Sugestão de problematização

Iniciar a atividade questionando os alunos sobre o que eles entendem por pressão. Pedir exemplos de pressão (pressão dos pneus, do sangue, de um mergulhador, de um piloto de avião ou de um astronauta).

#### Materiais

- 1 garrafa PET (maior ou igual a 1,5 litro) e sua respectiva tampa
- 1 garrafa PET tipo balãozinho e sua respectiva tampa
- 1 garrafa de vidro transparente, pequena e sua respectiva tampa

- 1 m de mangueira de aquário ou similar, dividida em dois pedaços de 50 cm cada
- 3 balões de látex (balão de aniversário) pequenos
- 1 tesoura
- 1 martelo
- 1 prego
- 1 cola araldite<sup>®</sup>
- 1 seringa
- 1 bomba de encher bolas ou pneus

## Procedimentos

### Experimento 1 – Compressão e descompressão usando garrafas PETs

1. Furar as duas tampas das garrafas PET com um diâmetro ligeiramente menor do que o diâmetro da mangueira de aquário. O furo pode ser feito com um prego e martelo e depois alargado com a ponta da tesoura. É só ir aumentando do diâmetro do furo lentamente para que fique ligeiramente menor que o diâmetro da mangueira. Corte as pontas da mangueira de forma diagonal. Assim, fica muito mais simples fazer a ponta da mangueira passar pelo apertado furo das tampas. Se a mangueira não atravessar as tampinhas bem apertado, pode-se usar cola araldite<sup>®</sup> nos lados internos e externos das tampinhas no local em que esta foi atravessada pela mangueira.
2. Conectar as duas garrafas PET por meio da mangueira que têm presa em suas extremidades, as tampinhas. Vide a Figura 4.73.
3. Colocar dentro da garrafa balãozinho um balão de látex, bem pequeno, parcialmente inflado e com o seu bico bem preso à extremidade da mangueira.

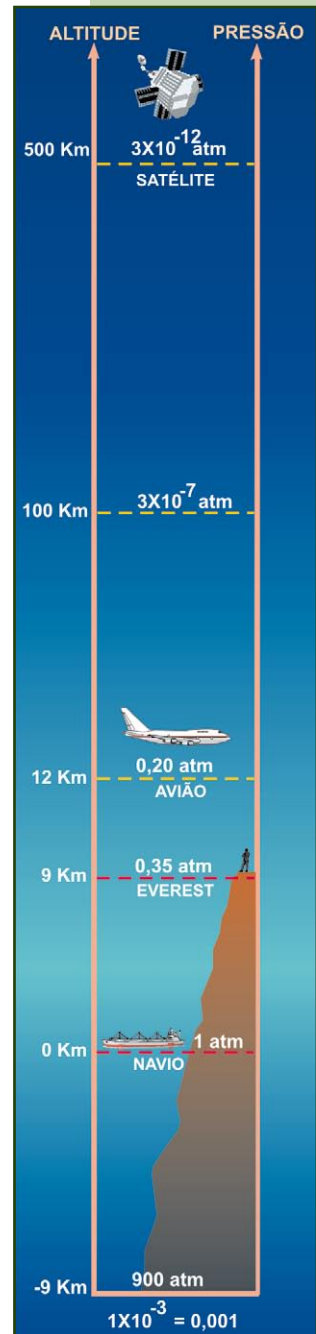


Figura 4.72. Variação de pressão com a altitude.



Figura 4.73. Efeitos da variação da pressão.

4. Depois de conectadas as garrafas, amassar a garrafa grande (pisando sobre ela, por exemplo) de maneira que o ar seja transferido para a garrafa menor, aumentando-se nele a pressão. Será facilmente visível que o balão de látex também será comprimido, reduzindo o seu volume, mostrando assim o que ocorreria com o corpo humano sob um aumento de pressão. Por esta razão,

mergulhadores só podem submergir poucos metros na água e mesmo os submarinos têm um limite de segurança a partir da qual eles não podem mais descer, sob o risco de ser esmagados pelo acréscimo de pressão.

5. Por outro lado, ao soltarmos a garrafa que estava amassada veremos que o balão de látex infla-se novamente devido ao decréscimo da pressão, ilustrando assim o que ocorreria com o corpo humano que, estando acostumado a uma determinada pressão, fosse transferido para outro local com menor pressão, ou seja, nosso corpo também se inflaria e explodiríamos. Por esta razão, os aviões quando em vôo, estão pressurizados, ou seja, estão com a mesma pressão que temos quando na superfície da Terra, pois, voando a altas altitudes, a pressão é muito menor. Com os astronautas a situação é similar, ou seja, se saírem das naves (que estão pressurizadas), deverão usar uma roupa especial que os mantenham pressurizados. Caso contrário, eles morrem.

Devido ao baixíssimo custo do experimento e simplicidade de confecção, os alunos podem ser estimulados a fazer cada um o seu experimento. Pode-se inclusive usar duas garrafas PET de mesmo tamanho, pois não é necessário o uso da garrafa PET ba-lãozinho, podendo variar o volume inicial do balão de látex que está dentro da garrafa e, com isso, desafiar os alunos a fazerem montagens alternativas que ilustrem o mesmo fenômeno.



## Experimento 2 – Compressão e descompressão usando uma bomba

Neste experimento o custo é ligeiramente maior, pois usa-se uma bomba de encher bolas ou pneus. Por isso, o efeito da pressão ou descompressão sobre o balão de látex é muito mais pronunciado.

1. Usar a mesma montagem já descrita no experimento anterior, porém furar o fundo da garrafa PET que não contém o balão com um prego aquecido e inserir ali o bico metálico que está na mangueira acoplada à bomba.
2. Ao bombear, veremos o quanto o balão será comprimido, mostrando assim o que ocorre com o corpo humano se ele for submetido a grandes pressões, tal como aquela que existe no fundo dos oceanos, ou na atmosfera de Vênus.
3. Ao desenroscar uma das tampas, veremos o que ocorre com o corpo humano ao ser submetido a uma descompressão. Ele aumentará de volume até explodir. Por isso, os astronautas, quando saem dos seus veículos espaciais, precisam usar roupas devidamente pressurizadas. Situação similar a uma missão tripulada a Marte, onde a pressão é cem vezes menor que a nossa pressão atmosférica.

**Observação:** Uma versão ainda mais simples pode ser feita usando somente uma garrafa PET com o balão parcialmente inflado dentro dela e conectando o bico da bomba diretamente no fundo da garrafa.



Figura 4.74. Experimento 2 montado.

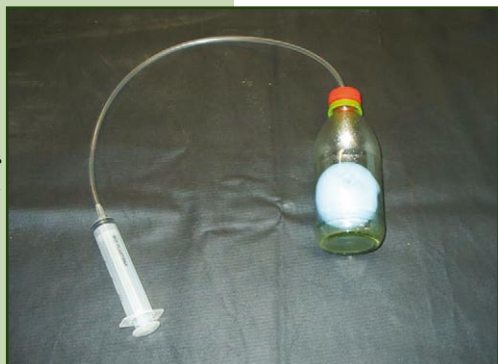


Figura 4.75. Montagem do Experimento 3.

### Experimento 3 – Descompressão

Neste experimento podemos descomprimir continuamente o balão de látex, retirando o ar de dentro de um frasco de vidro com o uso de uma seringa.

1. Introduzir um balão de látex pequeno, inflado parcialmente, em uma garrafa pequena de vidro.
2. Conectar à tampa da garrafa, tal como explicado no Experimento 1, uma mangueira de aquário, à qual, por sua vez, conectamos à ponta de uma seringa grande.
3. Puxar o êmbolo da seringa para retirar o ar da garrafa. Observar que o

balão, que estava apenas parcialmente inflado, aumentará de volume, ilustrando assim que ocorreria ao astronauta, caso este se expusesse ao ambiente espacial sem o seu traje pressurizado.

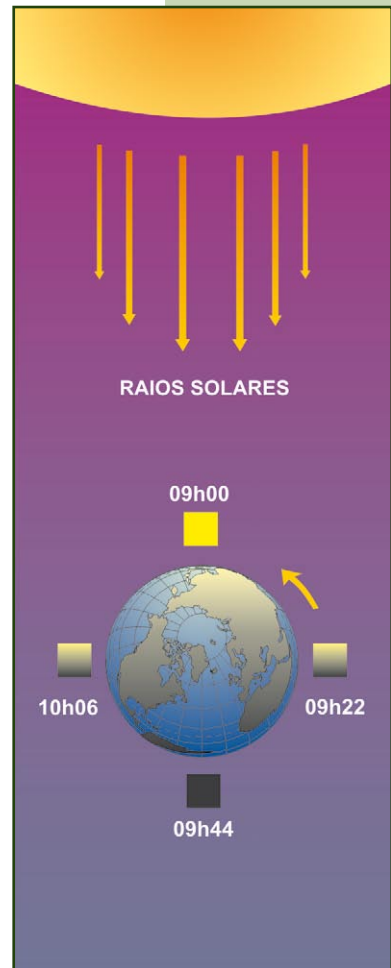
Vale ressaltar que, para observar o aumento do volume do balão de látex, poderá ser necessário repetir este procedimento algumas vezes. Para tanto, depois que o êmbolo da seringa estiver todo puxado, dobre a mangueira e desacople a seringa, feche o êmbolo e, então, conecte-a novamente na mangueira e retire mais um pouco de ar da garrafa. Leve o êmbolo da seringa à posição original e reconecte a seringa à mangueira. Desdobre a mangueira e repita o procedimento.

### **Orientações complementares**

Devido ao baixo custo dos experimentos, cada aluno pode fazer o seu próprio experimento. Podem, ainda, usar garrafas maiores, com balões de látex maiores etc.

## Possíveis desdobramentos

Pode-se também, a partir destas atividades, pedir que os alunos pesquisem sobre os detalhes da construção da roupa dos astronautas, para saberem como ela é fabricada para garantir a sobrevivência deles. É preciso ressaltar que, além do problema da variação de pressão, no vácuo do espaço não há o oxigênio necessário à respiração humana. Conseqüentemente, além de trajes pressurizados, os astronautas precisam carregar um suprimento de oxigênio. Outro sério problema está relacionado à radiação nociva à qual os astronautas ficam submetidos no vácuo do espaço. Para completar, existe o problema da variação de temperatura. Por exemplo, se preso a uma espaçonave que orbita a Terra, o astronauta dará uma volta em torno da Terra a cada 90 minutos. Neste intervalo ele estará submetido à radiação solar e ao vácuo do espaço. Nessa situação é um grande desafio manter as condições adequadas de temperatura.



Amery Neto.

Figura 4.76. O quente e o frio do espaço.

## LANÇAMENTO DE FOGUETES POR IMPULSÃO

João Batista Garcia Canalle (Uerj), Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj), Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj) e Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza (Uerj).

### Apresentação

Foguetes são veículos espaciais que podem levar cargas e seres humanos para fora da atmosfera da Terra. O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) está construindo o foguete chamado VLS-1, Veículo Lançador de Satélites. Com ele poderemos colocar pequenos satélites ao redor da Terra, sejam eles do Brasil ou de outros países.

Os foguetes funcionam queimando combustível sólido ou líquido e ejetando o resultado desta queima em altíssima velocidade na direção oposta àquela em que se quer que o foguete vá. Este é o princípio de uma famosa lei da física chamada “Ação e Reação”. Nesta atividade não vamos usar este princípio. Vamos lançar foguetes por “impulsão”. Ao mesmo tempo, programar a organização de uma “Olimpíada de Foguetes” a ser realizada no âmbito da turma ou da escola.

### Objetivos

1. Construir e lançar foguetes por impulsão.
2. Descobrir como maximizar o alcance variando, por exemplo, o ângulo de lançamento, colocando “nariz” no foguete, variando o centro de massa do foguete, usando empenas etc.

## Sugestão de problematização

Propor aos alunos que descubram qual é a forma da trajetória, quais as forças que atuam sobre o foguete durante seu vôo e como minimizá-las.

## Materiais

- 2 canudos, sendo um fino e um grosso
- 1 palitos de fósforo
- 1 garrafa PET, com tampa
- 1 tesoura
- 1 cola ou fita adesiva para fixar as empenas (opcional)

## Procedimentos

### 1. A Olimpíada de Foguetes.

Sugerimos que sejam convidados todos os alunos e todos os professores da escola para participar da Olimpíada de Foguetes.

A seguir apresentamos algumas orientações gerais sobre como construir e lançar um “foguete” constituído de um simples canudinho de refrigerante. Todos os alunos (ou grupos de alunos) e professores (ou grupo de professores) deverão construir e melhorar o “foguete” aqui descrito, de maneira que o mesmo vá o mais longe possível.

**Alcance** mínimo a ser atingido pelo foguete para poder participar da Olimpíada de Foguetes, separado por categorias:

CATEGORIA	PARTICIPANTES	ALCANCE MÍNIMO (METROS)
1	Alunos de 1ª a 3ª séries	5
2	Alunos de 4ª e 5ª séries	10
3	Alunos da 6ª a 9ª séries	15
4	Alunos do Ensino Médio	20
5	Professoras	30
6	Professores	40

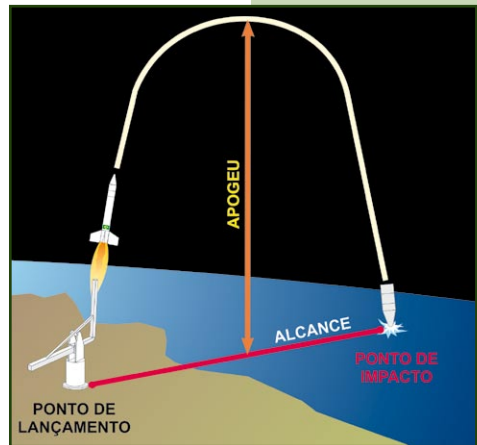


Figura 4.77. Alcance e apogeu.

Amery Neto.



**Alcance:** é a distância medida no solo entre o ponto de lançamento e o ponto de impacto.

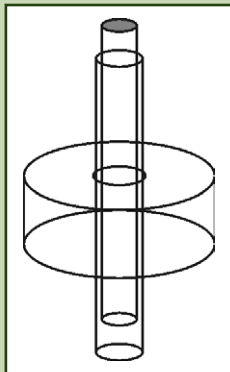


Figura 4.78. Esquema da tampa de garrafa PET com o canudo (grosso) preso a ela e dentro do canudo grosso está o canudo (fino). Esta figura está fora de escala.

A distância deve ser medida entre o local de lançamento e o local de impacto ao longo da horizontal.

**Regra básica de segurança:** Nunca lance ou permita que sejam lançados foguetes, mesmo de canudo de refrigerante, na direção de pessoas ou animais. Estas atividades devem ser sempre supervisionadas por adultos.

## 2. A construção e lançamento do “fogueto” de canudinho de refrigerante.

Providencie um canudo fino e outro grosso, de tal modo que o fino se encaixe dentro do grosso o mais justo possível.

Vede uma das pontas do canudo fino, por exemplo, com um pedaço de um palito de fósforo contendo a cabeça dele. Além de vedar o canudo, o peso do pedaço do palito de fósforo na ponta do “fogueto-canudinho” faz com que o centro de massa do foguete fique na metade superior dele, o que ajuda a estabilizar o vôo. Fica a seu critério colocar ou não “empenas” (aquelas asinhas dos foguetes, vide Figura 4.51) no seu foguete-canudinho.

## 3. Métodos de lançamentos.

1º método: Coloque o canudo fino vedado dentro do canudo grosso. Sobre fortemente na extremidade inferior do canudo grosso e verá o foguete-canudinho fino, ser lançado para longe. Meça a distância entre você, e o lugar onde ele tocou o chão. Varie o ângulo de lançamento e faça o foguete-canudinho ir ainda mais longe.

2º método: Providencie uma garrafa PET vazia de qualquer volume. Faça um furo em sua tampa tal que por ele você consiga passar o canudo grosso até à metade do seu comprimento. O canudo tem que entrar apertado (veja detalhe na Figura 4.79, na qual está esquematizada a tampa da garrafa com os canudos encaixados). Por isso, faça um furo fininho e vá alargando com a ponta da tesoura; é muito fácil de fazer.

Coloque o canudo fino dentro do canudo grosso que está preso na tampa da garrafa. Aperte subitamente a garrafa e verá, talvez, o foguete-canudinho ser lançado para ainda mais longe do que quando soprado. Varie o ângulo de lançamento, colocando ou não “empenas”; o tamanho do pedaço do palito de fósforo que está na ponta do foguete; o tamanho da garrafa etc; e descubra como fazer para que o foguete vá o mais longe possível e, ganhe a Olimpíada de Foguetes da sua escola. Veja ilustração na Figura 4.79.

3º método: O mais importante: Invente você mesmo! Mas não pode usar material inflamável ou explosivo. Em nenhuma hipótese use material metálico.

**Resultado:** Os ganhadores de cada categoria serão aqueles que lançarem o foguete-canudinho o mais longe possível.



Figura 4.79. Foguete-canudinho. Dentro do canudo grosso preso na tampinha da garrafa PET está um canudo ligeiramente mais fino e tapado com palito de fósforo na extremidade superior.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

## Possíveis desdobramentos

Certamente, após esta atividade, o espírito inventivo terá tomado conta dos participantes e estarão todos motivados a participar de construção de novos e mais potentes foguetes. Neste caso, sugerimos o lançamento de foguetes movidos por ar comprimido ou água e ar comprimido. Porém, os cuidados com segurança são muito maiores.

## CONSTRUINDO UM CARRO-FOGUETE DE CORRIDA

João Batista Garcia Canalle (Uerj) e Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj).

### Apresentação

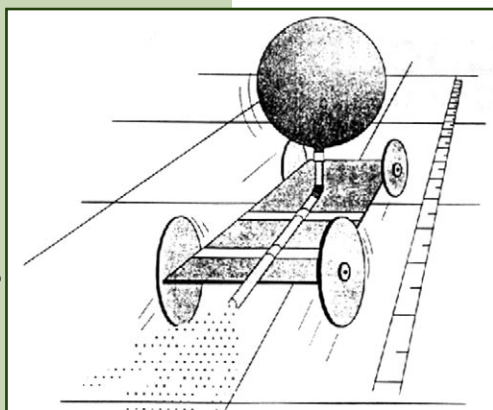


Figura 4.80. O carro-foguete.

O princípio da ação-reação, uma das três leis fundamentais da dinâmica, é o que explica o movimento dos foguetes. De acordo com essa lei, a toda ação corresponde uma reação na mesma direção, em sentido oposto e de mesma intensidade. Para lançar foguetes, é necessário, portanto, que algum tipo de material, em geral o resultado de uma violenta combustão, seja ejetado do foguete, o qual se move na mesma direção, mas no sentido oposto. Vide Figura 4.66.

Em geral, lançar foguetes didáticos, usando o Princípio de Ação e Reação, requer cuidados especiais, notadamente em relação à segurança. Para não correr riscos desnecessários, apresentamos como alternativa o lançamento de um “carro-foguete”, movido pelo ar comprimido contido num simples balão de látex, que se desloca entre 5 metros e 10 metros.

### Objetivos

1. Construir, aperfeiçoar um carro-foguete.
2. Lançar um carro-foguete que alcance a maior distância possível numa competição entre alunos.



## Sugestão de problematização

O alcance atingido pelo carro-foguete depende de vários fatores, tais como: atrito, cuidados na construção, volume do balão de látex, ventos etc. Caberá ao aluno descobrir os fatores que mais influenciam no alcance máximo obtido pelo seu carro-foguete visando torná-lo o mais eficiente possível e, assim, alcançar a maior distância possível e ganhar a “corrida dos carros-foguetes”.

## Materiais

- 1 fita adesiva
- 2 canudos
- 1 tesoura
- 1 balão de látex (balão de aniversário)
- 1 régua
- 1 pedaço de papelão
- 4 tampas de garrafa PET
- 2 varetas de churrasco (ou vareta de pipa)
- 1 prego fino

## Procedimentos

1. Recorte um retângulo de papelão grosso com 10 cm de largura e 20 cm de comprimento e outro de 5 cm de largura por 30 cm de comprimento.
2. O primeiro será a base do carro, sob a qual ficarão os eixos, e o segundo servirá para prender o balão, como ilustrado na Figura 4.81.
3. O papelão de 5 cm de largura (ou mais) deve ser dobrado ao meio. Para facilitar, passe a ponta do estilete, de forma a fazer um corte com metade da espessura

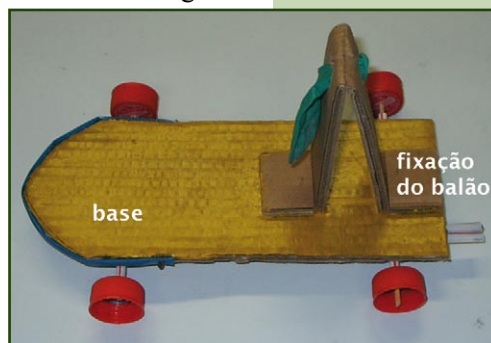


Figura 4.81. Imagem do carro-foguete montado.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e  
João Batista Garcia Canalle (Uerj).

do papelão. Depois, dobre cerca de 5 cm em cada uma das extremidades (use a “dica” anterior para fazer o corte antes de dobrar), mas no sentido oposto à dobra inicial, tal qual uma letra V, porém, invertida e com duas “patinhas”, conforme ilustra a Figura 4.81.

- b. Faça um furo de cerca de 1 cm de diâmetro próximo do “vértice” do V invertido. Cole as “patinhas” do V invertido sobre a base do carro-foguete, conforme ilustra a Figura 4.81.
- c. O carro-foguete está quase pronto. Agora só falta colocar os eixos e as rodas e isso é o mais fácil de tudo. Cole, com fita adesiva, sob a base do carro-foguete dois canudos, com 10 cm de comprimento, próximo das extremidades da base, e por dentro deles passe uma vareta de churrasco ou outra vareta qualquer com 15 cm de comprimento.

- d. Fure o centro de quatro tampinhas de refrigerante com um prego fino e vá aumentando o diâmetro do furo bem lentamente, de forma que a vareta possa entrar neste furo bem apertado, como na Figura 4.82. Na Figura 4.83, apresentamos o carro-foguete com o balão inflado e pronto para a “largada”. O “combustível” deste carro-foguete será o ar comprimido dentro do balão, o qual, quando liberado, impulsiona- rá o carro no sentido oposto àquele em que está saindo o ar, ou seja, tal como nos foguetes reais, nos quais os gases da combustão saem em alta velocidade pela traseira do foguete e este é lançado no sentido oposto.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).



Figura 4.82. Imagem inferior do carro-foguete.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

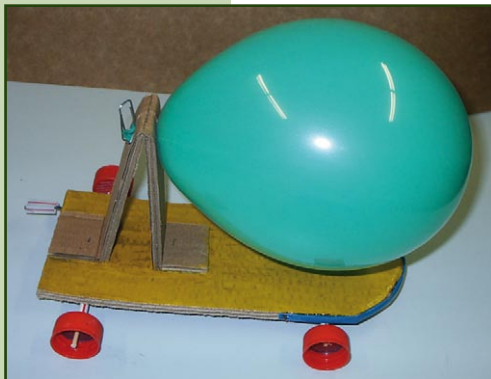


Figura 4.83. Carro-foguete montado e pronto para a “largada”.

## Possíveis desdobramentos

Finalizada a construção do carro-foguete, a melhor parte é o uso lúdico dele, pois a intenção é que os alunos participem de uma corrida com seus carros-foguetes.

Sugerimos colocar dois traços no chão, separados, inicialmente, por dois metros e pedir que coloquem seus carros posicionados (não muito próximos entre si) na linha de largada. Após uma contagem regressiva de cinco para zero, todos liberam seus carros-foguetes em zero. Aqueles que ultrapassaram a linha dos dois metros podem ir para a etapa seguinte, que é tentar vencer a barreira dos três metros e assim por diante, até surgir o campeão. Claro que variações nesta atividade são possíveis e fica a critério dos professores implementá-las.

*Em 23 de maio de 1928, o magnata Fritz von Opel convidou a nata da sociedade berlinense para assistir ao seu carro-foguete atingir a velocidade de 200 km/h.*



## **CONSTRUINDO E LANÇANDO FOGUETES**

Ronaldo da Silva Rodrigues (Colégio Militar Dom Pedro II/SEDF) e  
Geraldo Barbosa de Oliveira Filho (CEM Paulo Freire/SEDF).

### **Apresentação**

O sonho de voar povoou o imaginário humano desde o tempo mais remoto. O grande brasileiro Santos Dumont realizou esse sonho ao pilotar o primeiro avião, fruto de seu próprio intelecto.

Muito antes disso, alguns homens já haviam imaginado a construção de artefatos que pudessem ser lançados rumo ao infinito. Inicialmente, esses foguetes foram usados com objetivos bélicos e não demorou muito para que pessoas mais criativas vissem nelas a possibilidade de alcançar o espaço e, conseqüentemente, outros corpos celestes.

Sua maior evolução ocorreu no século 20, com a chamada Guerra Fria, em que americanos e soviéticos disputavam, entre outras coisas, a primazia científica. Essa contenda rendeu aos dois adversários o desenvolvimento de propulsores cada vez mais eficientes, o que culminou com as pioneiras missões soviéticas ao espaço e, posteriormente, a conquista da lua pelos americanos.

No Brasil, a pesquisa sobre esse tema esbarrou na falta de investimento, o que não impediu que o País reunisse um grupo de pesquisadores e técnicos extremamente qualificados. Recentemente, o brasileiro Marcos Cesar Pontes viajou à Estação Espacial Internacional, a bordo da nave russa Soyuz, justamente cem anos após Santos Dumont realizar o primeiro vôo com o 14-Bis.

A Agência Espacial Brasileira tem procurado, nos últimos anos, divulgar e estimular nas escolas de Ensinos Fundamental e Médio

o debate em torno das questões que envolvem a Astronáutica e a Astronomia. Um desses projetos está ligado à construção de foguetes com garrafas PET, cuja propulsão se dá pelo aumento da pressão interna do recipiente. Evoluindo como uma variante desse modelo, sugerimos a substituição do aumento mecânico da pressão por uma reação química. Propomos também, um novo modelo de foguete, mais simples (mas não menos divertido), que torna mais fácil e segura a prática. Esta atividade é uma demonstração simples das Leis do Movimento de Newton.

## **Objetivos**

Construir e lançar um foguete utilizando material reciclável e compreender os processos químicos e físicos envolvidos no seu lançamento.

## **Sugestão de problematização**

Construir um foguete artesanal é mais simples do que lançá-lo. Por que existem tantas regras de segurança para o lançamento de foguetes, mesmo de brinquedo? Como uma reação química tão simples pode fazer um foguete levantar vôo?

## **Materiais**

### **Para construir o foguete**

- 1 rolha de cortiça
- Isopor ou papel (materiais leves)
- 1 cola (para fixar o foguete à rolha)
- 1 tesoura sem ponta
- 10 comprimidos efervescente
- Guardanapos
- Água

**Regra básica de segurança:** Em nenhuma hipótese devem ser utilizados materiais metálicos nos foguetes.

## Construção da plataforma de lançamento

Sugerimos aqui dois modelos simples e baratos. São eles:

### Modelo 1 (Figuras 4.86 A e B)

- 1 garrafa PET de 250 ml
- 1 garrafa PET de 2 l

### Modelo 2 (Figuras 4.87 A e B)

- 1 abraçadeira hidráulica de 38/5 mm
- 2 porcas borboletas galvanizadas
- 2 parafusos tipo atarraxador cabeça chata
- 3 cantoneiras 5 cm/7 cm
- 2 parafusos rosca total cabeça chata
- 1 pedaço de madeira 10 cm x 10 cm x 2 cm (compensado)

## Procedimentos

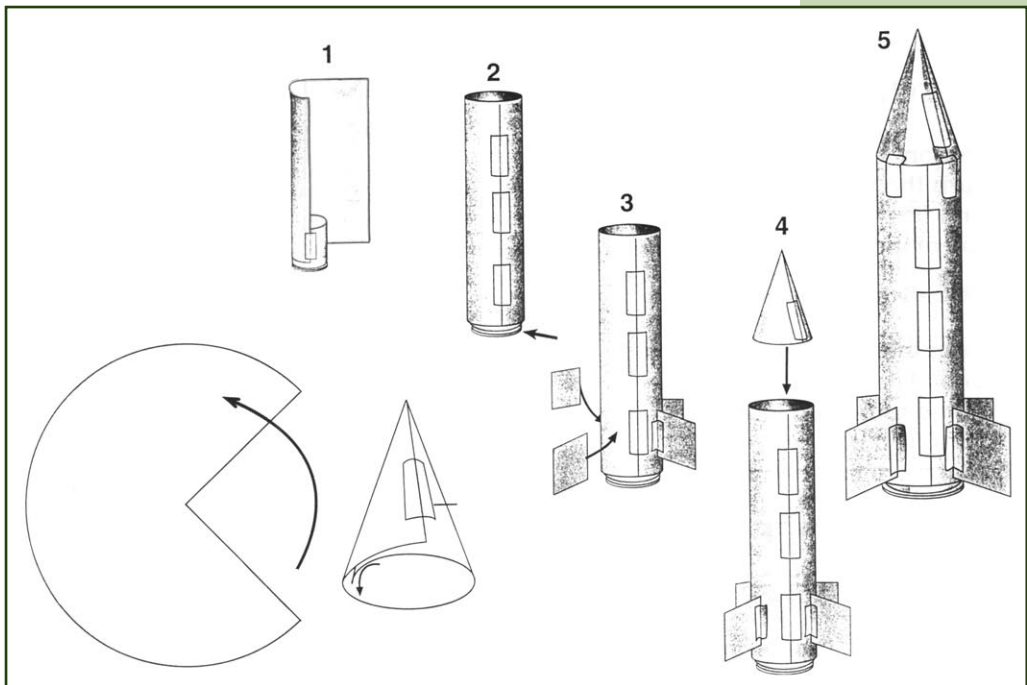
### Construção do foguete



Figura 4.84A e B. Foguete fixado à rolha junto a um modelo de plataforma.

1. Utilizar isopor (ou papel) para criar um foguete de 10 cm de altura. Lembre-se de que o seu foguete deve possuir coifa e empenas (vide Figura 4.51). A coifa para reduzir o atrito com a atmosfera e as empenas para prover estabilidade durante o vôo.
2. Fixar a base do foguete à parte superior da rolha.

3. A coifa pode ser feita conforme ilustrado na Figura 4.85.



Nasa. www.nasa.gov

Figura 4.85. Montagem do foguete utilizando papel.

## Construção da plataforma de lançamento

Dois modelos são sugeridos:

### Modelo 1 (Figuras 4.86 A e B)

1. Cortar ao meio a garrafa PET de 2 l.
2. Produzir um corte na sua “boca”, a fim de apoiar a garrafa de 250 ml (inclinada) no seu interior (Figura 4.86A e B).



Figura 4.86A e B. Peças separadas (a) e conjunto preparado (b).

Ronaldo da S. Rodrigues

### Modelo 2 (Figuras 4.87 A e B)

1. Colocar a abraçadeira na garrafa de 250 ml.
2. Encaixar uma das cantoneiras entre a abraçadeira e o corpo da garrafa.



Figura 4.87A e B. Segunda plataforma montada (a) e o foguete encaixado (b).

3. Fixar outra cantoneira na base de madeira.
4. Utilizar a terceira cantoneira para unir a base de madeira ao corpo da garrafa. Você deverá utilizar os parafusos e as porcas borboletas.
5. Note que podemos regular a inclinação da garrafa (plataforma), Figura 4.87 A e B.

## Lançamento do foguete

1. Escolher um local adequado, que garanta a segurança de todos.
2. Colocar água no interior da garrafa de 250 ml.
3. Abastecer o foguete com o comprimido efervescente envolvido em um guardanapo.
4. Tampar a garrafa com a rolha acoplada ao foguete.
5. Garantir que o foguete não seja lançado na direção de pessoas, animais, bens públicos ou privados.
6. Observar a reação se completar no interior do foguete.
7. Observar o vôo do foguete.

## Orientações complementares

### Código de segurança

Trabalhar com sistemas submetidos a pressão superior à pressão atmosférica envolve riscos. Assim, é indispensável que as pessoas envolvidas no lançamento do foguete proposto, estejam a par das medidas de segurança a serem adotadas, bem como dos procedimentos a serem tomados no surgimento de eventuais problemas, principalmente, quando se monta o aparato pela primeira vez. É sempre bom lembrar que todos os procedimentos devem ser acompanhados por uma pessoa adulta. Nesse aspecto, esta atividade é uma boa oportunidade para pais ou professores se envolverem de maneira saudável e divertida num projeto que,



sem dúvida, aproxima de forma solidária e empolgante os seus participantes. Por estes e outros motivos, é uma atividade potencialmente educativa em todos os aspectos que se possa pensar, aliando os conteúdos escolares à formação pessoal dos educandos. No entanto, não devemos desprezar o aspecto “segurança”. Por isso, lembramos algumas das regras básicas:

- Não usar metal em qualquer parte do foguete.
- A rolha utilizada deve possuir uma das extremidades bem mais larga que a abertura da garrafa PET.
- Assegurar que as pessoas na área de lançamento estejam sempre cientes da iminência do lançamento do foguete.
- Não lançar o foguete usando-o como uma arma.
- Se um foguete ficar preso a um fio elétrico ou em outro local perigoso, não tentar soltá-lo.

## **Possíveis desdobramentos**

Que tal discutir com os alunos as regras de segurança para o lançamento de foguetes e depois levantar outras questões ligadas à segurança das pessoas, das propriedades e do País? Afinal, este é um tema bastante atual, não é mesmo?

Se conseguir envolver outros professores e outras turmas, os seus alunos poderão fazer oficinas de construção de foguetes para ensinar aos colegas.

Os resultados das oficinas podem ser apresentados em uma exposição na escola. Vale usar a imaginação e utilizar outros materiais para confeccionar os foguetes.

Os alunos podem também fazer pesquisas a respeito da parte histórica e funcional dos foguetes e, em encontros quinzenais, expor seus trabalhos num ambiente de discussão organizado e sob orientação do professor, que atuará como mediador e facilitador. Depois, os alunos poderão apresentar os resultados de seu trabalho e de suas reflexões aos colegas de escola e à comunidade, em eventos culturais.



## DESAFIOS

### PARTE I

Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA).

O que difere um foguete de sondagem de um lançador de satélites?

Resposta: O que difere um foguete de sondagem de um lançador de satélites é a capacidade de fornecer velocidade à carga útil. No caso do lançador, essa capacidade é muito maior. Por isso os lançadores de satélites têm uma massa de propelente e um tamanho muito maior do que os foguetes de sondagem. No caso dos foguetes de sondagem e foguetes suborbitais, a velocidade orbital não é atingida e a carga-útil descreve uma trajetória de encontro à Terra. O foguete é lançado, sobe até sua altitude máxima e cai na superfície da Terra. A queda pode ser no solo ou no mar, e o local é previsto antes do lançamento, para que seja feito com segurança.

## PARTE II

Questões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As respostas estão no sítio da OBA: [www.oba.org.br](http://www.oba.org.br)

1. (IX OBA, 2006 – 3º e 4º ano). No motor do foguete, os gases resultantes da queima do combustível são liberados através de uma tubeira. Os gases liberados em altíssima velocidade geram a força necessária para mover o foguete em sentido oposto. O mesmo efeito ocorre com um balão de látex (balão de aniversário), quando a enchemos de ar e a soltamos.

1a. Desenhe um foguete.

1b. Indique com um X, no foguete que você desenhou, em que local os gases estão sendo liberados.

1c. Indique com uma seta, no seu desenho, em que direção o foguete voará.

2. (IX OBA, 2006 – 5º ao 9º ano). De acordo com o critério de que “o avião é uma máquina que pode decolar por seus próprios meios de propulsão”, Santos Dumont ficou conhecido como o inventor do avião quando o seu 14-Bis, utilizando um motor com menos de 50 HP (cavalos) de potência, voou em Bagatelle, na França, em frente a uma multidão. Tal ocorreu em 23 de outubro de 1906. Em 1971, o “Pai da Aviação”, foi proclamado “Patrono da Aeronáutica Brasileira”. A Figura 4.88 ilustra as forças que atuam sobre um avião. A força peso é sempre vertical e voltada para baixo. A força empuxo é aquela que move o avião para frente, sendo resultado da ação das suas turbinas.



Figura 4.88. Forças que atuam sobre um avião.

Ao consumirem o combustível, as turbinas geram gases a alta velocidade. Esses gases são expelidos para trás, fazendo com que o avião se desloque para frente. É o mesmo princípio físico que faz com que um balão de látex (balão de aniversário) se mova quando permitimos que o ar no seu interior escape através do seu bico. À medida que o avião se desloca à frente, aparece a força de arrasto. Ela resulta da resistência que a atmosfera terrestre oferece ao movimento dos corpos e atua no sentido contrário ao movimento do avião. Quando você está andando, você quase não percebe essa força. Entretanto, ao correr com a sua bicicleta você já deve ter experimentado a resistência do ar sobre o seu corpo. Além do arrasto, a interação do ar atmosférico com as asas do avião dá origem a uma força de sentido oposto à força peso. Trata-se da força de sustentação. É a mesma força que faz o papagaio (pipa) voar. Você já deve ter percebido que soltar uma pipa quando está ventando é muito mais fácil do que quando o ar está “parado”. Aliás, quando o ar está “parado”, temos que sair correndo com a pipa na mão, tentando fazê-la voar. No caso do avião, quem o faz se movimentar em relação à atmosfera são as suas turbinas. Quanto maior a velocidade do avião em relação ao ar atmosférico, maior será a força de sustentação.

2a. Sabendo que quanto maior for a velocidade do avião em relação ao ar, maior será a força de sustentação, qual das alternativas abaixo é a mais indicada para a decolagem de um avião?

- a) ( ) Decolar a favor do vento (no mesmo sentido do vento).
- b) ( ) Decolar contra o vento (no sentido oposto).
- c) ( ) Decolar em uma direção que faça um ângulo de  $90^{\circ}$  com a direção do vento.
- d) ( ) O sentido do vento não interfere na decolagem do avião.

2b. Justifique sua resposta.

3. (IX OBA, 2006 – Ensino Médio). De acordo com o critério de que “o avião é uma máquina que pode decolar por seus próprios meios de propulsão”, Santos Dumont ficou conhecido como o inventor do avião quando o seu 14-Bis, utilizando um motor com menos de 50 HP (cavalos) de potência, voou em Bagatelle, na França, em frente a uma multidão. Tal ocorreu em 23 de outubro de 1906. Em 1971, o “Pai da Aviação”, foi proclamado “Patrono da Aeronáutica Brasileira”. A Figura 4.89 ilustra as forças que atuam sobre um avião. A força peso (P) é sempre vertical para baixo. A força de empuxo (E) é aquela que move o avião para a frente, sendo resultado da ação das suas turbinas que, ao consumirem o combustível,



Figura 4.89. Forças que atuam sobre um avião.

geram gases a alta velocidade. Esses gases são expelidos para trás, fazendo o avião se deslocar para frente. É o princípio da ação e reação de que trata a 3ª Lei de Newton. À medida que se desloca para a frente, aparece a força de arrasto (A), a qual resulta da interação entre o avião e a atmosfera terrestre. Essa força atua no sentido contrário ao movimento do avião. Além do arrasto, a interação do ar atmosférico com as asas do avião dá origem a uma força de sentido oposto à força peso. Trata-se da força de sustentação (S), matematicamente definida por  $S = K \rho V^2$ , onde K é uma constante que depende da área e da orientação da asa,  $\rho$  é a densidade do ar no local do voo e V é a velocidade do avião em relação à atmosfera.

- 3a. Quando o avião está parado,  $S = 0$ . À medida que o avião ganha velocidade, a força de sustentação aparece. Para K e  $\rho$  constantes, quanto maior a velocidade, maior a força de sustentação. Se você já viu um avião decolar, observou que ele parte do repouso, aciona suas turbinas na potência máxima e vai, gradativamente, ganhando velocidade. Existe uma velocidade na qual a força

de sustentação se torna superior à força peso,  $S > P$ . É neste ponto que se dá a decolagem do avião. Calcule a velocidade de decolagem do 14-Bis, sabendo que sua massa (avião + piloto) era de 300 kg. Para tanto, suponha:  $K = 30 \text{ m}^2$ ,  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

3b. Calcule a massa do avião militar Tucano, fabricado pela Embraer, sabendo que  $K = 10 \text{ m}^2$  e que ele decola com velocidade  $V = 180 \text{ km/h}$ . Suponha  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

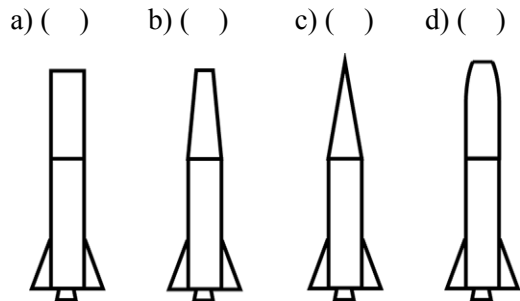
4. (IX OBA, 2006 – 5º ao 9º ano). O Veículo Lançador de Satélites (VLS) do Brasil está em fase de qualificação no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). O VLS é composto por quatro estágios contendo motores a combustível sólido. O 1º estágio é composto de quatro motores. Eles são fixados lateralmente em relação ao corpo central composto pelos 2º, 3º e 4º estágios e pela carga-útil (satélite). Após a combustão do 1º estágio, seus propulsores são descartados e o vôo continua, com o acionamento sucessivo dos propulsores do 2º, 3º e 4º estágios, com os respectivos descartes desses estágios, logo que o combustível seja consumido.

4a. Baseado nessas informações, marque a alternativa que representa o número de motores que compõem o VLS.

a) ( ) 4      b) ( ) 5      c) ( ) 6      d) ( ) 7

4b. Para sair do solo, a força gerada pelos gases resultantes da queima do combustível deve ser superior ao peso do VLS. Cerca de 80% do combustível de um foguete é consumido para vencer a gravidade. Os outros 20% são consumidos para vencer a força de arrasto que resulta da resistência ao avanço do foguete imposta pelo ar atmosférico. Ao caminhar, você quase não percebe essa resistência. Entretanto, você já deve ter percebido que alguns corredores olímpicos usam roupas especiais para reduzir o arrasto. O ramo da engenharia que estuda a interação do foguete com a atmosfera terrestre denomina-se aerodinâmica e um de seus objetivos é a obtenção

de uma forma geométrica que reduza o arrasto entre o foguete e a atmosfera. Suponha que você seja um engenheiro do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e tenha que decidir sobre o formato aerodinâmico que apresenta o menor arrasto. Dentre as alternativas abaixo, assinale aquela que você escolher.



Acervo OBA.

Figura 4.90. Exemplos de formas de foguetes.

5. (IX OBA, 2006 – Ensino Médio). O Veículo Lançador de Satélites (VLS) está em fase de qualificação no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). O VLS é composto por quatro estágios contendo motores com combustível sólido. O 1º estágio é composto por quatro motores. Eles são fixados lateralmente em relação ao corpo central composto pelos 2º, 3º e 4º estágios e pela carga-útil (satélite). Após a combustão do 1º estágio, seus propulsores são descartados e o vôo continua, com o acionamento sucessivo dos propulsores do 2º, 3º e 4º estágios, com as respectivas separações desses estágios, logo que o propelente seja consumido. O VLS possui um comprimento de 20 m. Uma missão típica do VLS objetiva colocar um satélite de 150 kg numa órbita equatorial de 650 km de altitude. Para sair do solo, o Empuxo (E), gerado pela queima do propelente, deve ser superior ao Peso (P) do veículo, ou seja,  $E > P$ . De uma forma geral, 80% do combustível é consumido para vencer a gravidade. Os outros 20% são consumidos para vencer a força de arrasto (A) que, predominantemente, resulta do atrito do foguete com o ar atmosférico. Acima de 100 km de altitude,

considera-se a existência do vácuo e, portanto, a inexistência do arrasto. De acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração imposta a um corpo é dependente da sua massa e da magnitude da resultante de forças que atua sobre ele, ou seja:  $F = m \cdot a$ , onde “F” é o vetor que representa a resultante de todas as forças que atuam sobre o corpo, “m” representa a massa do corpo e “a” o vetor aceleração. Se  $F = 0$ , o corpo mantém o seu estado, isto é, permanece em repouso, se em repouso estiver, ou em movimento retilíneo e uniforme, se assim estiver. É o princípio da inércia estabelecido pela 1ª Lei de Newton.

5a. No instante do seu lançamento, o VLS tem uma massa de 50.000 kg. Desse total, 40.000 kg são propelente. A razão para tal é a necessidade de que, para manter o satélite na órbita desejada, é necessário impor-lhe a velocidade de 28.000 km/h. Considerando-se que os quatro motores do 1º estágio do VLS são acionados simultaneamente, calcule o empuxo mínimo requerido de cada motor para tirar o VLS do solo ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

5b. O empuxo que você obteve na questão anterior é suficiente para manter o VLS na iminência do movimento. Na prática, os motores do 1º estágio do VLS fornecem empuxo superior. No instante inicial do lançamento, os quatro motores do 1º estágio fornecem um empuxo total de cerca de 1.000.000 N. Com esta informação, calcule a aceleração do VLS no instante do seu lançamento ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).





## SALA DE PESQUISA

### Livros

#### Astronáutica

BRADBURY, Ray. **Espaço: a fronteira do futuro**. São Paulo: Editora Abril, 2008.

CALIFE, J.L. **Como os astronautas vão ao banheiro? E outras questões perdidas no espaço**. Rio de Janeiro: Record, 2003.

CLARKE, Arthur C. **A exploração do espaço**. São Paulo: Companhia Melhorantes, 1951.

EGALON, Cláudio O.; CALIFE, Jorge L.; JÚNIOR, Reginaldo M. **Espaçonaves tripuladas: uma história da conquista do espaço**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2000.

MOURÃO, Ronaldo R. F. **Astronáutica: do sonho à realidade: história da conquista espacial**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

NOGUEIRA, Salvador. **Rumo ao infinito: passado e futuro da aventura humana na conquista do espaço**. Prefácio de Marcos Cesar Pontes. São Paulo: Globo, 2005.

PAUBEL, E. F. C. P. **Propulsão e controle de veículos aeroespaciais: uma introdução**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002.

WINTER, Othon C.; PRADO, Antonio F. B. A. (Org.). **A conquista do espaço: do sputnik à missão centenário**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

#### Astronomia

COUPER, Heather; HENBEST, Nigel. **Atlas do Espaço**. Tradução de Julio Fischer e Valter Léllis Siqueira. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

DELERUE, Alberto. **O Sistema Solar**. Rio Janeiro: Ediouro, 2002.  
Universidade de São Paulo. **Instituto Astronômico e Geofísico (IAG/USP)**. Anuário Astronômico. São Paulo: USP, 1986.

### **Carl Sagan**

EHRlich, P. R. et al. **O inverno nuclear**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1985.

\_\_\_\_\_. **O romance da ciência**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1982.

\_\_\_\_\_. **Os dragões do Éden**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1987.

\_\_\_\_\_. **Pálido ponto azul: o futuro do homem no espaço**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

TERZIAN, Y.; BILSON, E. **O universo de Carl Sagan**. Brasília: Editora Universidade de Brasília; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado, 2001.

SAGAN, Carl et al. Murmurs of Earth: *The Voyager Interstellar Record*. New York: Random House, Inc., 1978.

SAGAN, Carl. **Bilhões e Bilhões: reflexões sobre vida e morte na virada do milênio**. Tradução: Rosaura Eichemberg. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

SAGAN, Carl. **Variedades da experiência científica: uma visão pessoal da busca por Deus**, São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

### **Ciências e Educação**

GLEISER, Marcelo. **A dança do Universo: dos mitos da criação ao Big-Bang**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

HAWKING, Stephen. **O Universo numa casca de noz**. São Paulo: Arx, 2002.

\_\_\_\_\_. **Os gênios da ciência: sobre ombros de gigantes**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

## Era Espacial

WOLFE, Tom. **Os Eleitos**. Tradução de Lia Wyler. Rio de Janeiro: Rocco, 1991. (Deu origem ao filme de mesmo nome / ver seção FILMES)

## Ficção

BERGERAC, Cyrano de. **Viagem à Lua**. São Paulo: Globo, 2007.

CLARKE, Arthur C. **2010: Uma odisséia no espaço II**. 5. ed. Tradução de José Eduardo Ribeiro Moretzsohn. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982. (O seu antecessor, 2001: *Odisséia no espaço*, foi transformado em filme por Stanley Kubrick / ver seção FILMES)

GLEISER, Marcelo. **A harmonia do mundo: aventuras e desventuras de Johannes Kepler, sua astronomia mística e a solução do mistério cósmico, conforme reminiscências de seu mestre Michael Maestlin**. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

HUBBARD, L. Ron. **Rumo às estrelas**. Tradução de Beatriz Sidou e Renato Reichmann. São Paulo: Nova Realidade, 2005.

VERNE, Julio. **Da Terra à Lua**. Tradução e adaptação de Maria Alice de A. Sampaio Doria. São Paulo: Melhoramentos, 2005.

\_\_\_\_\_. **Viagem ao redor da Lua**. São Paulo: Hemus, 2005.

WELLS, Herbert G. **A guerra dos mundos**. Tradução de Thelma Médici Nóbrega. Rio de Janeiro: Objetiva, 2007. (Deu origem ao filme de mesmo nome, em cartaz no cinema em 2005 / ver seção FILMES)

## Infantil

FLORENZANO, T. G.; NÓBREGA, L.A. **A nave espacial Noé**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

HOCKMAN, Hilary; PARSONS, Alexandra. **O que há por dentro? Espaçonaves**. São Paulo: Dorling-Kindersley Book, 1994.

POSKITT, Kjartan. **Isaac Newton e sua maçã**. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

REIS, C.; SILVA, L. N. **O menino que ensinou o mundo a voar.** São José dos Campos: JAC Editora, 2004.

### **Nasa (em português)**

Nasa. **Alimentação e nutrição no espaço: manual do professor com atividades de ciências e matemática.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

\_\_\_\_\_. **Aprendendo a andar no espaço: manual do professor com atividades do ensino de tecnologia, matemática e ciências.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

\_\_\_\_\_. **Astronomia baseada no espaço: manual do professor com atividades.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2000.

\_\_\_\_\_. **Estação espacial: planos de aulas de ciências e matemática para atividades de pré a 8ª série.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2002.

\_\_\_\_\_. **Explorando a Lua: manual do professor com atividades de ciências da terra e do espaço.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2000.

\_\_\_\_\_. **Foguetes: manual do professor com atividades de ciências, matemática e tecnologia.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

### **Programa Espacial Brasileiro**

FILHO, Edmilson J. C. **Política Espacial Brasileira: a política científica e tecnológica no setor aeroespacial brasileiro.** Rio de Janeiro: Revan, 2002.

MINISTÉRIODACIÊNCIAETECNOLOGIA. **Esclarecimentos sobre o acordo de salvaguardas tecnológicas com os Estados Unidos, com vistas ao lançamento comercial de foguetes e satélites norte-americanos pelo centro de lançamento de Alcântara, no Maranhão.** Brasília: MCT, ago. 2001.

MORAIS, Fernando. **Montenegro**. São Paulo: Planeta, 2006.

## **Santos Dumont**

BARROS, Henrique L. **Desafio de voar: Brasileiros e a conquista de voar**. São Paulo: Metalivros, 2006.

CHEUICHE, Alcy. **Nos céus de Paris: O romance da vida de Santos Dumont**. Porto Alegre: L&PM, 2001. Coleção L&PM Pocket.

COHEN, Marleine. **Santos Dumont: Sim, Sou Eu, Alberto**. São Paulo: Globo, 2006

COSTA, Fernando Hipólito da. **Alberto Santos Dumont: O Pai da Aviação**. Brasília: Adler Editora Ltda, 2006.

DIAS, Adriano B. **Santos Dumont: O inovador**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2006.

NOGUEIRA, Salvador. **Conexão Wright-Santos Dumont: a verdadeira história da invenção do avião**. Rio de Janeiro: Record, 2006.

SANTOS DUMONT, Alberto. **O que eu vi. O que nós veremos**. São Paulo: Hedra, 2000.

SODRÉ, Antônio. **Santos Dumont, um herói brasileiro: 1906-2006: centenário do primeiro vôo do 14-Bis, a Demoiselle a sua obra-prima**. 2. ed. São Paulo: Arindiuva Editora, 2006.

## **CD-ROM**

**ENCICLOPÉDIA do Espaço e do Universo**. São Paulo: Globo, 1997. 1 CD-ROM.

## **Documentários (DVD)**

**CORRIDA Espacial: A História não revelada**. Uma co-produção BBC/Channel One Russia/NDR/ National Geographic Channel. BBC, 2005. 2 DVDs

**COSMOS.** Produção de Carl Sagan. Adaptado para o Brasil pela Revista Superinteressante, editora Abril. EUA: Cosmos Studios, 2005. 5 DVDs.

**DEEP space 1.** Direção: James Younger. Adaptado para o Brasil pela Revista Newton Especial. EUA: Van Blad, 2004. 1 DVD.

**DESCOBRINDO a Estação Espacial.** Diretor: Pierre de Lespinois. EUA: Discovery Channel, 2000. 1 DVD.

**DESTINO: Marte.** Direção: Damon Thomas. Produção: Damon Thomas. EUA: Discovery Channel, 2005. 1 DVD.

**DIAS que abalaram o mundo.** Uma produção da Lion Television para BBC e The History Channel. Produção: Bill Locke e Chris Kelly. Adaptado para o Brasil pela Revista Superinteressante, editora Abril. Volumes 2, 4 e 5. Reino Unido: BBC, 2003. 3 DVDs.

**EXPLORAÇÃO do espaço: novo guia visual do universo.** Adaptado para o Brasil pela Revista Scientific American Brasil, editora Duetto. Reino Unido: York films of England, 2007. 4 DVDs.

**HUBBLE – 15 anos de descobertas.** Direção: Lars L. Christensen. Comercializado no Brasil pela Scientific American Brasil, editora Duetto. Europa: ESA, 2005. 1 DVD.

**LEONARDO da Vinci: A vida e as invenções do homem mais curioso de todos os tempos. Produção e direção: Sarah Aspinall e Tim Dunn.** Uma co-produção BBC/Discovery Channel. Adaptado para o Brasil pela Revista Mundo Estranho, editora Abril. Reino Unido: BBC, 2005. 1 DVD.

**MISSION to MIR – IMAX. Direção: Uma apresentação do Smithsonian Institute e Lockheed Corporation em associação com a Nasa.** EUA: Warner Home Vídeo, 1997. 1 DVD.

**PLANETA Azul – IMAX.** Direção: Ben Burt. Uma apresentação do Smithsonian Institute e Lockheed Corporation em associação com a Nasa. EUA: Warner Home Vídeo, 1990. 1 DVD.

**SPACE Odyssey: A primeira viagem de seres humanos aos limites do sistema solar.** Adaptado para o Brasil pela Revista Superinteressante, editora Abril. Reino Unido: BBC, 2004. 2 DVDs.

**SUPER Máquinas: Aviões Espaciais.** Direção: Rod Parker. Produção: Nigel Henbest, Marly Carpenter e Pioneer Productions. EUA: Discovery Channel, 1997. 1 DVD.

**TERREMOTOS e colisões cósmicas.** Direção: Geoff Tanner. Produção: Andrew Waterworth. EUA: Discovery Channel, 1996. 1 DVD.

**UMA AVENTURA no espaço – IMAX.** Direção: Ben Burt. Uma apresentação do Smithsonian Institute e Lockheed Corporation em associação com a Nasa. EUA: Warner Home Vídeo, 1990. 1 DVD.

## Filmes (DVD)

**1492 – A Conquista do Paraíso.** Direção: Ridley Scott. Produção: Ridley Scott e Alain Goldman. Espanha, EUA, França, Inglaterra: Paramount, 1992. 1 DVD.

**2001: Uma Odisséia no Espaço.** Produção e Direção: Stanley Kubrick. EUA: Warner Home Vídeo, 1968. 1 DVD.

**APOLLO 13.** Direção: Ron Howard. Produção: Brian Grazer e Kathleen Quinlan. EUA: Universal, 1995. 2 DVDs.

**CONTATO.** Direção: Robert Zemeckis. Produção: Robert Zemeckis e Steve Starkey. EUA: Warner Home Vídeo, 1997. 1 DVD.

**GIORDANO Bruno.** Direção: Giuliano Montaldo. Produção: Carlo Ponti. Itália: Versátil Home Vídeo, 1973. 1 DVD.

**GUERRA dos Mundos.** Direção: Byron Haskin. Produção: George Pal. EUA: Paramount, 1952. 1 DVD.

**GUERRA dos Mundos.** Direção: Steven Spielberg. Produção: Kathleen Kennedy e Colin Wilson. EUA: Paramount. 2005. 1 DVD.

**IMPACTO Profundo.** Direção: Mimi Leder. Produção: Richard D. Zanuck e David Brown. EUA: Dream Works, 1998. 2 DVDs.

**O Céu de Outubro.** Direção: Joe Johnston. Produção: Charles Gordon. EUA: Universal, 1999. 1 DVD.

**O Homem do Sputnik.** Direção: Carlos Manga. Produção: Cyll Farney. Brasil: Globo Vídeo, 1959. 1 DVD.

**O INÍCIO do Fim.** Direção: Roland Joffé. Produção: Tony Garnet. EUA: Paramount, 1989.

**O JULGAMENTO de Nuremberg.** Direção: Yves Simoneau. Produção: Alliance Atlantis/Productions La Fête. EUA: Warner Home Video, 2000.

**OSELEITOS.** Direção: Philip Kaufman. Produção: Robert Chartoff e Irwin Winkler. EUA: Warner Home Video, 1983. 2 DVDs.

**PLANETA Vermelho.** Direção: Antony Hoffman. Produção: Mark Canton et al. EUA: Warner Home Video, 2001. 1 DVD.

**PLANO de Guerra.** Direção: Dror Zahavi. Produção: Nico Hofmann e Ariane Krampe. Alemanha: Focus Filmes, 2007. 1 DVD.

## Sítios

### Instituições

AEB (Agência Espacial Brasileira) – <http://www.aeb.gov.br/>

CTA (Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial) –  
<http://www.cta.br/>

Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS  
– <http://astro.if.ufrgs.br/>

ESA (Agência Espacial Européia) – <http://www.esa.int/>

IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço) – <http://www.iae.cta.br/>

IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP) – <http://www.astro.iag.usp.br/>

Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) –  
<http://www.inpe.br/>

ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) – <http://www.ita.br/>

LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica) – <http://www.lna.br/>

MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins) –  
<http://www.mast.br/>



Nasa (Agência Espacial Americana) – <http://www.nasa.gov/>  
ON (Observatório Nacional) – <http://www.on.br/>  
OV/UFRJ (Observatório do Valongo) – <http://www.ov.ufrj.br/>  
ROSCOSMOS (Agência Espacial Russa) –  
<http://www.roscosmos.ru/index.asp?Lang=ENG/>

## Revistas

Astronomy – <http://www.astronomy.com/>  
Ciência Hoje – <http://cienciahoje.uol.com.br/>  
Ciência Hoje das Crianças – <http://www2.uol.com.br/cienciahoje/chc/>  
Revista Macrocosmo – <http://www.revistamacrocosmo.com/>  
Revista Scientific American Brasil – <http://www2.uol.com.br/sciam/>

## Diversos

AAB – <http://www.aeroespacial.org.br/>  
Biblioteca Virtual de Astronomia –  
<http://www.prossiga.br/astrologia/>  
Encyclopedia Astronáutica – <http://www.astronautix.com/>  
Facção Científica – <http://www.faccaocientifica.org/>  
Jornal da Ciência – <http://www.jornaldaciencia.org.br/>  
OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica) –  
<http://www.oba.org.br/>  
SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) – <http://www.sba.com.br>  
Wikipedia – [http://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#Astronomia\\_ em \\_Portugu%EA s/](http://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#Astronomia_em_Portugu%C3%AAs/)  
Zênite – <http://www.zenite.nu/>



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola), 2008.

# capítulo 5

## TERRA REDESCOBERTA NO ESPAÇO

Salvador Nogueira e Petrônio Noronha de Souza.

Qual é a melhor forma de estudar um planeta: do chão ou de uma órbita acima dele? O sucesso incontestável e as imagens fascinantes dos robzinhos marcianos da Agência Espacial Americana (Nasa) Spirit e Opportunity, que chegaram ao planeta vermelho em janeiro de 2004, parecem sugerir que não há maneira melhor de investigar a história e as características de um mundo do que estar lá, estudando de perto suas rochas e sua composição química. Entretanto, uma análise mais aprofundada mostra que isso não é verdade.

Para começo de conversa, os robzinhos americanos, que também são uma espécie de jipe, só puderam atingir essa condição graças a missões anteriores, que ajudaram a escolher os locais de pouso mais adequados para eles. Essa escolha, feita com base em imagens colhidas de órbitas ao redor de Marte por sondas como a Mars Global Surveyor [algo como Topógrafo Global Marciano], que chegou a seu destino em 1997, levou em conta não somente o fator segurança – determinar onde os robôs podiam descer com menor risco de serem danificados durante o pouso –, mas também o potencial científico dos portais escolhidos.

A cratera Gusev, destino do jipe Spirit, foi escolhida porque **imagens orbitais** revelavam canais (provavelmente leitos secos de rios antigos) que desembocavam naquele imenso buraco circular na superfície, resultante de uma colisão cósmica ocorrida há muito tempo.



Nasa. <http://www.nasa.gov/>

Figura 5.1. Concepção artística de um dos robôs-gêmeos enviados a Marte, Spirit e Opportunity.



**Imagens orbitais:** são aquelas obtidas de um ponto de vista privilegiado, em órbita de um dado corpo celeste.

Já a região de Meridiani Planum, para onde foi o Opportunity, havia sido escolhida por um critério ainda mais sutil – medições obtidas por sondas orbitais detectaram sinais do que seria a presença de um minério chamado hematita. Os cientistas sabem que esse material costuma se formar na presença de água. Como a idéia da Nasa com a missão era começar a desvendar conclusivamente se Marte teve um passado “molhado” e já foi potencialmente habitável, procurar sinais antigos de água na superfície seria uma excelente idéia.

Nasa.  
<http://www.nasa.gov/>



Figura 5.2. A cratera Victoria, visualizada em mosaico de imagens obtidas pelo jipe Opportunity.

Então, não foi por acaso que os dois jipes conseguiram confirmar essa teoria de que Marte um dia já teve água corrente e abundante em seus solos – eles só obtiveram esses resultados graças a um procedimento cuidadoso de escolha de seus locais de pouso, que por sua vez só foi possível graças à presença de espaçonaves – satélites artificiais – ao redor do planeta vermelho.

Moral da história: com a perspectiva única de observações feitas do espaço, podemos revolucionar não só o conhecimento que temos de outros mundos, mas também o que temos do nosso próprio. Vista de fora, a Terra ainda tinha muitos segredos a revelar sobre sua dinâmica global, coisas que só poderiam mesmo ser observadas por alguém (máquina ou ser humano) que estivesse em órbita. Assim, graças aos satélites, hoje podemos monitorar nosso planeta como nunca antes feito.

Não soa como surpresa, portanto, a constatação de que, desde os primeiros lançamentos ao espaço, estamos reunindo novas e importantes informações sobre nosso planeta – muitas vezes modificando o entendimento (parcial ou até mesmo equivocado) que tínhamos do ambiente terrestre antes que tivéssemos esse recurso adicional, e hoje primordial, de pesquisa.

Neste capítulo, conheceremos um pouco da tecnologia que nos permite fotografar a Terra do espaço, de como obtemos informações para a previsão de tempo e clima, de como é constituída a atmosfera, de como os satélites auxiliam a navegação e as comunicações – tudo isso, sem uma perspectiva futurista. Estamos falando do que já está acontecendo.

De certa maneira, foi uma surpresa descobrir na exploração espacial tanto potencial para entender a Terra e melhorar a vida de seus habitantes. O objetivo dos pesquisadores, de início, era habilitar a exploração de novos mundos. Mas, nesse processo, acabaram redescobrimo o seu próprio.

A situação que talvez sirva como bandeira dessa descoberta é a missão **Apollo 8** – primeira viagem a levar astronautas ao redor da Lua, em dezembro de 1968. Ao girar em torno do satélite natural, a



Nasa. <http://www.nasa.gov/>

Figura 5.3. Fotografia obtida por astronautas a bordo da Apollo 8, mostrando a Terra no horizonte da Lua.

tripulação pode observar pela primeira vez uma situação bela e inusitada: o “nascer da Terra”, surgindo no horizonte lunar. Um dos astronautas, Bill Anders, sintetizou os pensamentos evocados por essa visão ao dizer: “Vimos de tão longe para explorar a Lua e acabamos descobrindo a Terra”.

## CINTURÕES DE RADIAÇÃO

As primeiras descobertas realizadas pelo advento dos satélites artificiais estiveram relacionadas ao **campo magnético terrestre**. Claro, desde muito tempo atrás os seres humanos já sabiam que as camadas internas da Terra de alguma maneira pareciam transformar o planeta num imenso ímã, por isso as bússolas estão sempre apontando para o Norte magnético. Entretanto, quase nada se sabia a respeito da interação entre o campo magnético

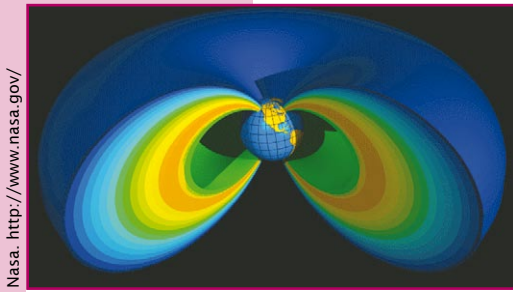


**Apollo 8:** (21 a 27 de dezembro de 1968).

Primeira missão espacial a levar astronautas até uma órbita em torno da Lua. A tripulação, composta por Frank Borman, James Lovell e William Anders, passou a noite de Natal de 1968 circundando a esfera lunar e depois retornou com sucesso à Terra, num passo crucial para o futuro do programa Apollo.

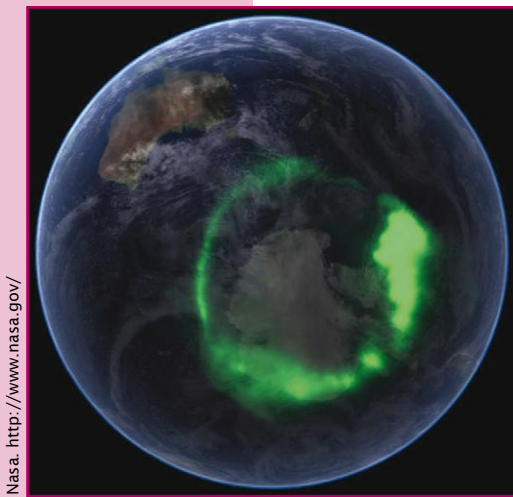
**Campo magnético terrestre:** é produzido no núcleo exterior terrestre, sob o manto, por conta do fluxo de grandes cargas elétricas naquela região. O fenômeno, na prática, transforma a Terra num grande ímã, o que faz com que todas as bússolas apontem para o pólo Norte magnético.

terrestre e as partículas enviadas pelo Sol no vento solar e nas erupções que costumam ocorrer nos períodos em que a estrela está mais ativa. Coube ao primeiro satélite artificial americano, o Explorer 1, lançado em 31 de janeiro de 1958, o mérito de começar a desvendar como exatamente se dá essa interação.



Nasa. <http://www.nasa.gov/>

Figura 5.4. Imagem mostra representação tridimensional dos cinturões de radiação que envolvem a Terra.



Nasa. <http://www.nasa.gov/>

Figura 5.5. Imagem de uma aurora austral vista do espaço, por um satélite da Nasa.

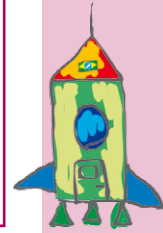
Na verdade, os Sputniks 2 (1957) e 3 (1958), ambos da União Soviética, também possuíam dispositivos capazes de fazer as mesmas medições obtidas pelo Explorer 1, mas os sistemas de gravação dos dados a bordo desses satélites falharam, impedindo os soviéticos de serem os primeiros. O cientista James Van Allen (1914-2006), então na Universidade de Iowa (EUA), conseguiu pôr as mãos em dados que comprovavam a existência de um cinturão de radiação em volta da Terra, que aprisiona muitas das partículas mais energéticas vindas do espaço. A existência de cinturões desse tipo já havia sido proposta teoricamente antes, mas sua descoberta fez com que eles ficassem conhecidos como Cinturões de Van Allen.

Com o avanço das pesquisas com satélites, foi possível distinguir a existência de dois cinturões ao redor da Terra. O mais próximo começa mais ou menos a uns 600 km de altitude. O mais afastado fica a uma distância média de 5.000 km a 65.000 km da superfície terrestre, e é mais concentrado na região a 15.000 km do chão.

Esses cinturões se encontram com a atmosfera terrestre nas latitudes mais elevadas (para o Norte e para o Sul). O choque entre suas partículas e as moléculas do ar produz o fenômeno conhecido pelo nome de aurora (boreal se for no Norte, austral se for no Sul). Um mistério relacionado a eles que ainda carece

de esclarecimentos é a curiosa “Anomalia do Atlântico Sul” – uma região que concentra uma quantidade maior de radiação, e que afeta inclusive o território brasileiro. O fenômeno continua a ser investigado rotineiramente durante as missões realizadas pelos ônibus espaciais americanos e por cientistas que estudam os fenômenos físicos das altas atmosferas, entre eles muitos brasileiros.

*A Anomalia do Atlântico Sul é uma região em que o cinturão interno de Van Allen faz sua aproximação máxima da Terra, resultando num aumento da presença de radiação vinda do Sol e do espaço interestelar naquela área.*



Essa interação entre o campo magnético terrestre e a radiação solar, produzindo os Cinturões de Van Allen, tem implicações diretas para a Terra – haja vista os fenômenos das auroras. Mas sua descoberta é igualmente relevante para o futuro das viagens espaciais.

Um astronauta “estacionado” num dos cinturões estaria em apuros num período relativamente curto – a radiação seria fatal para ele. Por isso, para as missões que vão além da **órbita terrestre baixa** (até hoje, as únicas que entraram nessa categoria foram as viagens à Lua realizadas durante o Projeto Apollo), existe uma preocupação muito grande para que a espaçonave transportando pessoas faça a travessia dos cinturões o mais rapidamente possível.

E, acredite se quiser, a preocupação tem de ser quase a mesma quando estamos falando de veículos não-tripulados: a radiação também é capaz de desabilitar temporariamente ou danificar em caráter permanente circuitos eletrônicos – daí a preocupação com os satélites artificiais durante uma tempestade solar, que aumenta enormemente a presença de radiação nas imediações da Terra, dentro ou fora dos Cinturões de Van Allen.

A descoberta e o mapeamento dos cinturões foram interessantes, mas servem apenas como um exemplo de coisas maiores e mais

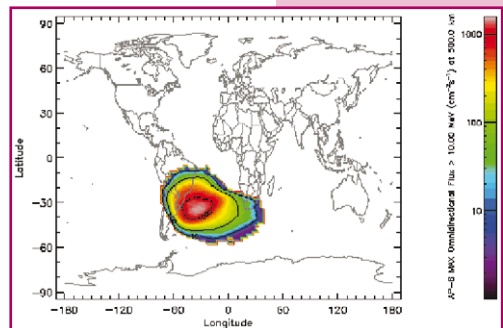


Figura 5.6. Mapa com os contornos da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Nasa. <http://www.nasa.gov>



**Órbitas terrestres baixas:** (LEO, na sigla inglesa) são as que vão de cerca de 200 km até 2.000 km de altitude.

relevantes que estariam por vir em anos seguintes. Embora o planeta Terra seja muito diverso em seus diferentes *habitats*, que vão de vastas florestas tropicais a desertos secos, passando por regiões geladas e áreas de vegetação rala, há um elemento que permeia todas essas regiões, “unificando” o planeta. Estamos falando, naturalmente, da atmosfera. Seu entendimento completo só surgiu a partir da possibilidade de estudá-la por inteiro. E isso só foi possível a partir de plataformas espaciais, que podem ser definidas como artefatos produzidos pelo ser humano dotados de instrumentos e sensores, tripulados ou não, que são colocados em órbita da Terra e lá permanecem por longos períodos de tempo enviando dados.

Para entender mais sobre as tecnologias que estão por trás dos satélites artificiais, leia o texto “Os satélites artificiais e a sua tecnologia” na seção “Leituras Complementares”.

## A ATMOSFERA TERRESTRE

O invólucro de ar que cerca a Terra não é estático. Sendo sua natureza extremamente dinâmica, é praticamente impossível, por exemplo, determinar com exatidão onde termina a atmosfera terrestre. O que ocorre na verdade é uma redução gradual da densidade do ar, conforme aumenta a distância da superfície do planeta. Então, a transição da atmosfera para o espaço se dá com a redução gradual da presença de moléculas do ar, até que não haja praticamente mais nada.



### Livre caminho médio

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Livre caminho médio é a distância média percorrida por uma molécula antes que colida com outra. Ao nível do mar, esta distância é muito pequena, isto é, da ordem de 0,0001 mm. A 80 km de altitude, o livre caminho médio é de 4 mm, ou seja, na média, entre uma colisão e outra, a molécula (ou átomo) percorre a distância de 4 mm. A 500 km de altitude, o livre caminho médio é de 80 km.



Na falta de uma linha delimitadora clara, convencionou-se que o espaço começa “oficialmente” a uma altitude de 100 km. Mas mesmo a 400 km de altitude, região em que orbita a Estação Espacial Internacional (ISS), ainda há moléculas de ar.

A despeito de serem poucas, elas produzem resistência atmosférica suficiente para que espaçonaves em órbita (como é o caso da estação) percam gradualmente sua altitude original. Por isso, de tempos em tempos é preciso que uma nave (o ônibus espacial ou uma das naves russas de abastecimento, Soyuz ou Progress) ligue seus motores e impulse a estação a fim de restabelecer a altitude original.

Mesmo abaixo dos cem quilômetros, a atmosfera não é igual em toda a sua extensão. Diferentes camadas apresentam características variadas. Vamos primeiro conhecer os componentes da atmosfera e então discutir rapidamente quais são as principais divisões da atmosfera terrestre. Vale lembrar que existem mais subdivisões que essas. Apresentamos aqui as mais importantes.

A atmosfera terrestre é composta principalmente pelos gases nitrogênio,  $N_2$ , e oxigênio,  $O_2$ . Eles respondem, respectivamente, por 78% e 21%, em volume, de todo o invólucro gasoso que cerca a Terra. Mas ela não contém apenas esses gases; outros, em quantidades menores, também se fazem presentes. Quase 1% da atmosfera é composta por argônio, um gás nobre, e outras substâncias, como vapor d’água ( $H_2O$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Uma forma alternativa de oxigênio, o ozônio ( $O_3$ ), está presente nas regiões mais altas da atmosfera, e também há traços de uma substância chamada metano ( $CH_4$ ).

Dois desses gases são especialmente relevantes nos dias de hoje: o dióxido de carbono (também conhecido como “gás carbônico”) e o metano. Ambos estão entre os principais gases causadores do efeito estufa, e suas emissões crescentes por atividades humanas ameaçam a estabilidade ecológica da Terra. Mas falaremos de efeito estufa e aquecimento global mais tarde. Por ora, vamos relembrar as principais camadas atmosféricas.

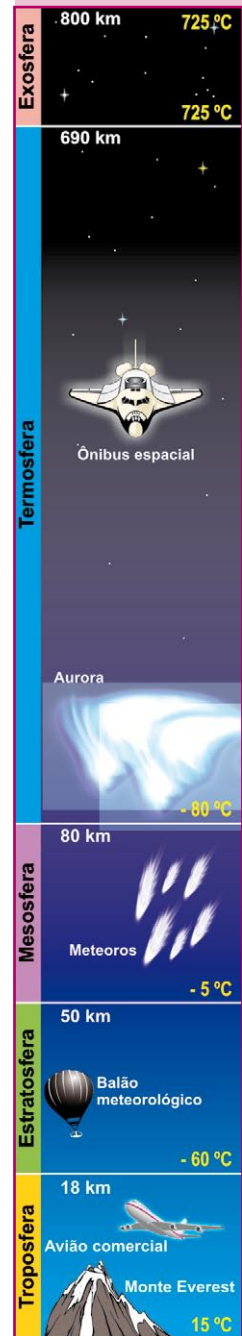


Figura 5.7. As várias camadas da atmosfera terrestre.

Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola). adaptação de ilustração da NOAA. Termos traduzidos por Salvador Nogueira.



Figura 5.8. Imagem da Gemini 7 mostra a atmosfera terrestre vista do espaço – uma estreita camada azul clara sobre a borda do planeta.



Figura 5.9. Considerando-se que o raio da Terra é de 6.350 km, os 100 km de espessura da sua atmosfera representam, proporcionalmente, menos do que a casca da maçã representa para aquela fruta.

## Troposfera

É a região que nos cerca imediatamente. Ela vai do chão a uns 12 km, em média. Na região intertropical (entre os trópicos), ela é mais espessa, indo em média até os 17 km, e, sobre os pólos, é mais estreita, atingindo apenas os 7 km. Esta camada é mais quente próximo da superfície da Terra, aquecida que é por ela.

Com o aumento da altitude nota-se uma diminuição da temperatura, o que ocorre principalmente em virtude da diminuição da densidade atmosférica. A troposfera guarda cerca de 90% do total da massa da atmosfera completa. É nela que os principais fenômenos ligados à vida acontecem, como as chuvas e a formação de nuvens. Também é nela que voam os aviões comerciais.

## Estratosfera

Localizada logo acima da troposfera, a estratosfera se estende a até uns 50 km de altitude. Embora possua uma concentração muito baixa de umidade, sua dinâmica de ventos influencia o tempo e o clima na troposfera abaixo.

É aqui também, sobretudo a partir dos 30 km de altitude, que encontramos a camada de ozônio, famosa capa composta

por moléculas dessa substância parente do oxigênio molecular (enquanto o gás oxigênio que respiramos é composto por dois átomos de oxigênio, o ozônio é composto por três átomos de oxigênio). Sua função é importantíssima na manutenção da vida na Terra, ao absorver boa parte da radiação ultravioleta do Sol, impedindo que uma quantidade maior chegue à superfície. É essa absorção de energia pelo ozônio que explica o aumento de temperatura com a altitude nesta camada da atmosfera.

## **Mesosfera**

Na mesosfera, que vai até cerca de 80 km de altitude, a temperatura volta a cair drasticamente, sendo que a diminuição da concentração de ozônio é uma de suas causas. Trata-se de uma das regiões menos compreendidas da atmosfera terrestre, em virtude da quantidade reduzida de dados experimentais disponíveis. Uma das razões está no fato da sua altitude ser ao mesmo tempo alta demais para aviões e balões que realizam estudos atmosféricos, e baixa demais para os satélites, o que faz com que apenas foguetes suborbitais possam realizar medições, o que ocorre sempre por poucos minutos.

## **Termosfera**

Acima de 80 km e até uma região de cerca de 690 km, temos a termosfera. A temperatura do ar aumenta paulatinamente conforme o aumento da altitude, mas aqui temos uma noção de temperatura diferente da que temos na troposfera.

Estamos falando da energia cinética que cada molécula presente no ar tem individualmente, embora no conjunto isso não signifique muito, pois o ar é muito mais rarefeito a essas altitudes – ou seja, possui muito menos moléculas por unidade de volume. Então, embora cada molécula possua alta energia cinética, a temperatura a ser medida por um termômetro colocado nessa região seria baixíssima.



## Um pouco sobre o conceito de temperatura na termosfera

Salvador Nogueira e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Na faixa que vai de 80 km da superfície da Terra até cerca de 690 km, temos a termosfera. A 80 km, a pressão atmosférica é cerca de quatro milionésimos daquela existente ao nível do mar e a temperatura é de 80 graus Celsius negativos. Nessas condições, a atmosfera é predominantemente formada de  $N_2$  e  $O_2$ . A partir dessa altitude, a temperatura se eleva em função dos processos de dissociação e ionização, causados pela radiação solar.

A 690 km, a pressão é 0,3 trilionésimo daquela existente ao nível do mar. Para efeitos práticos tem-se o vácuo, sendo a atmosfera predominantemente constituída por oxigênio atômico. A energia liberada pelos processos de dissociação e ionização eleva a temperatura atmosférica para 725 graus Celsius. No entanto, aqui temos uma noção de temperatura diferente da usual. Normalmente associamos temperatura à sensação térmica de “quente” e “frio”. Mas a definição mais científica de temperatura está associada à energia cinética das partículas, aqui entendidas como moléculas e átomos. Fisicamente, essa alta temperatura na termosfera resulta de uma elevada velocidade dos átomos de oxigênio, mas, como a atmosfera é rarefeita, raramente há colisão entre elas.

Na prática, se um termômetro fosse colocado nessa altitude, ele estaria sujeito à radiação solar, à radiação terrestre e, finalmente, ao vácuo do espaço. Nessa situação, a temperatura por ele medida não seria aquela associada à energia cinética dos constituintes da atmosfera, uma vez que a possibilidade de colisão dessas partículas com o termômetro seria diminuta. Conseqüentemente, a temperatura registrada resultaria de dois processos simultâneos: absorção de radiação solar e terrestre pelo termômetro, que tenderia a aumentar a sua temperatura, e perda de energia, via radiação térmica, para o vácuo do espaço distante, cuja temperatura é de 270 graus Celsius, negativos!

Considerando-se que vários satélites estão localizados na termosfera, não é difícil concluir que, ao darem em torno de 15 voltas por dia na Terra, eles estão sujeitos a enormes variações de temperatura. Além disso, estão desprotegidos da radiação nociva proveniente do Sol, a qual pode danificar seus equipamentos. De modo similar, os astronautas que trabalham na montagem da Estação Espacial Internacional (ISS) também ficam sujeitos a este ambiente quando passam horas em atividades extraveiculares (fora da estação).

## Uma camada diferente: a ionosfera

Muita gente já deve ter ouvido falar na ionosfera, mas vale lembrar: essa região não faz parte da divisão tradicional que mostramos anteriormente. Ela, na verdade, se sobrepõe à mesosfera e à termosfera, ocupando uma região entre 60 km e 400 km de altitude. Composta por íons – ou seja, moléculas ou átomos presentes na atmosfera que perderam ou ganharam elétrons (em razão de sua interação com a radiação vinda do espaço) e por isso têm uma carga elétrica definida –, a ionosfera produz o fenômeno de reflexão de certos comprimentos das ondas de rádio. É graças a ela que as ondas curtas de rádio podem cruzar os oceanos e ser detectadas do outro lado do mundo. Em vez de deixar a onda “vazar” para o espaço, ela é refletida de volta, onde pode ser detectada.

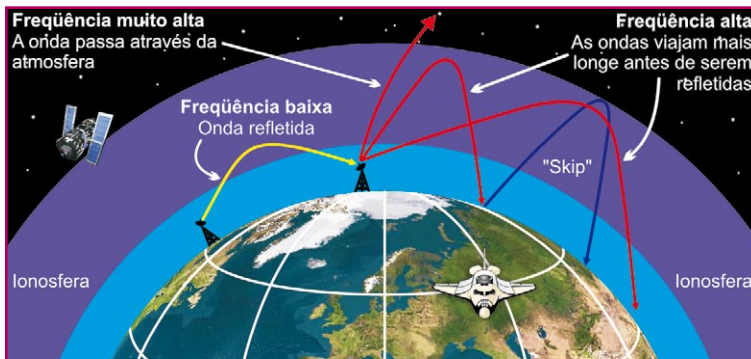


Figura 5.10A. Ondas de rádio subindo, refletindo e voltando para a superfície terrestre.

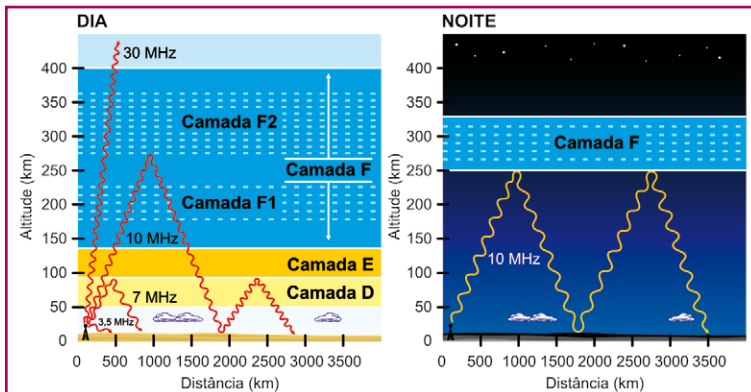


Figura 5.10B. Gráficos mostrando as ondas de rádio subindo, refletindo e voltando para a superfície terrestre.

Adaptada por Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola). Fonte: NASA. [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/)

Adaptada por Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola). Fonte: Encyclopædia Britannica, Inc. [www.britannica.com/](http://www.britannica.com/)

O estudo da atmosfera é fundamental para as atividades humanas – dependemos dela profundamente, em muitos sentidos. Ela armazena energia, permitindo que sigamos vivendo mesmo quando o Sol está escondido, durante as noites, e também produz a dinâmica das chuvas, distribuindo a substância da qual a vida depende mais profundamente.

Não é difícil concluir que entender a natureza da Terra como um “planeta vivo” exige a compreensão da química e da dinâmica atmosféricas, sobretudo no que diz respeito ao chamado “ciclo hidrológico” – o ciclo da água. E, do ponto de vista da dinâmica da circulação da água pelo globo, não faz sentido estudar a atmosfera sem monitorar também os oceanos – principal fonte da substância para as nuvens que se formam rotineiramente por sobre o globo.

É por esta razão que o estudo da água por meio de satélites é muito importante para o meio ambiente, pois sabemos que a Terra é um planeta praticamente aquático, com dois terços de sua superfície coberta por água. Adicionalmente, os oceanos têm sido o depósito favorito das atividades humanas, recebendo poluentes dos mais variados tipos, como derramamentos de óleo, esgotos domésticos e industriais, entre outros. Por isso é essencial o monitoramento das águas.

Assim, graças aos estudos com satélites artificiais, emergiu a conclusão de que atmosfera e oceanos devem ser entendidos em conjunto, como um único sistema – o sistema que permite a vida na Terra.

## **ENTENDENDO TEMPO E CLIMA**

Pouco paramos para pensar nisso, mas o padrão mais visível nos céus é o impresso principalmente pelos oceanos: estamos falando das nuvens. Se não fosse por elas, seria difícil distinguir dia após dia diferenças significativas na atmosfera. Compostas por gotículas de água ou de gelo, ou ambos, dependendo de sua forma, denotam a possibilidade de chuvas ou permitem a identificação de algum outro fenômeno meteorológico, como os tornados.

O tempo no planeta Terra é extremamente variado. Hoje pode estar um dia claro e sem nuvens, amanhã pode chover forte e rapidamente

pela manhã, para um límpido fim de tarde, com direito a arco-íris, seguido por dias de tempo nublado e chuviscos ocasionais. Essas variações diárias são o que definimos como “tempo”.

No entanto, quando analisamos uma região por períodos mais longos, nota-se a existência de padrões que se repetem. Nas regiões equatoriais, por exemplo, onde estão localizados os **estados amazônicos** do Brasil, é comum a ocorrência de uma chuva forte e relativamente rápida todos os dias. Fora da região intertropical, o que se nota é um padrão sazonal (que varia ciclicamente com a época do ano), com épocas mais secas e épocas mais úmidas, acompanhando as estações do ano. Nos desertos, como os do norte da África, a regra é não chover quase nunca. Na Inglaterra, é comum aquela névoa rasteira, conhecida lá como *fog*, e por aí vai.

Praticamente todos os lugares do mundo possuem certos padrões repetitivos de tempo, embora em algumas regiões este seja um fenômeno mais sutil. A essa avaliação de longo prazo do comportamento do tempo damos o nome de “clima”.

Uma vez que esses padrões, em suas variações diárias e de longo prazo, começaram a ser notados, surgiu a necessidade de ciências que registrassem e explicassem essa dinâmica do tempo e do clima. A primeira a ser criada, responsável pelas avaliações de curto prazo, foi a chamada meteorologia. Trata-se de um campo que surgiu muito cedo na história humana, embora não com o formalismo e o rigor apresentados hoje.

Os primeiros conhecimentos acerca dessa ciência surgiram no Egito Antigo, mas o nome “meteorologia” só apareceu por volta do ano 350 a.C., cunhado por Aristóteles (384-322 a.C.). A palavra vem de meteoro, que em grego significa algo como “aquilo que está no ar”. (Por isso não é tão complicado imaginar por que pequenos bólidos celestes que atravessam a atmosfera e se desintegram antes de chegar ao chão, produzindo as “estrelas cadentes”, foram batizados de meteoros. Os pedregulhos que conseguem concluir a travessia e chegam ao solo são chamados de meteoritos.)

Mas Aristóteles fez mais que dar o nome à ciência que estuda a atmosfera. Em sua obra “Meteorologia”, ele já oferecia pistas



**Amazônia Legal:**  
é formada por Acre,  
Amapá, Amazonas,  
Mato Grosso, Pará,  
Rondônia, Roraima,  
Tocantins e parte do  
Maranhão.

importantes de alguns dos elementos fundamentais ao desenvolvimento do campo, como um entendimento surpreendentemente refinado do ciclo hidrológico. Ele escreveu:

Agora o Sol, movendo-se como o faz, prepara processos de mudança e surgimento e queda, e por sua ação a água melhor e mais doce todos os dias é carregada e é dissolvida em vapor e sobe à região superior, onde é condensada novamente pelo frio e então retorna à Terra. (ARISTÓTELES, Meteorology, tradução de E.W. Webster, Universidade de Adelaide, 2004, Book 2, Part 2.)

Era um bom começo, mas ainda havia um longo caminho pela frente. Por mais que a observação seguida pelo esforço de imaginar o que estava acontecendo na atmosfera pudesse ser útil, a meteorologia ainda exigiria a construção de instrumentos que ajudassem a medir parâmetros da atmosfera, como pressão, temperatura, vento etc., para poder se desenvolver completamente.

O primeiro barômetro, por exemplo, surgiu em 1643, pelas mãos do cientista italiano Evangelista Torricelli (1608-1647). Trata-se de um aparelho usado para medir a pressão atmosférica. Duas décadas depois, em 1667, o inglês Robert Hooke (1635-1703) construiria um anemômetro, para medir a velocidade do vento.

Saiba  
mais...



## Instrumentos da meteorologia

Barômetros, anemômetros e termômetros são exemplos de instrumentos fundamentais para a meteorologia.

O barômetro mede a pressão atmosférica, sendo que o primeiro construído utilizava uma coluna de mercúrio como escala, daí uma das unidades mais antigas de medição de pressão ser o mmHg, ou milímetro de mercúrio.

O anemômetro é um instrumento que mede a direção, o sentido e a intensidade do vento no local da medição.

O termômetro, o mais comum dos três, mede a temperatura local.



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 5.11. Exemplos de instrumentos de medição: a) anemômetro, b) barômetro e c) termômetro.



Embora a tecnologia tenha evoluído muito de lá para cá, vale lembrar que todos esses instrumentos, apesar de terem sido aprimorados ao longo dos séculos, continuam tão importantes quanto no começo das pesquisas meteorológicas.

E muitos outros se somaram a eles, conforme se tornou possível sondar regiões cada vez mais distantes da atmosfera. Além do desenvolvimento de complexas estações meteorológicas que coletam dados do vento, umidade, temperatura, pressão e índice pluviométrico (quantidade de chuva ao longo do tempo), entre outros, sondagens realizadas com aviões, balões e foguetes de sondagem (por vezes denominados suborbitais) produziram uma visão cada vez mais completa do ambiente atmosférico.

O cenário seria completado pelos satélites meteorológicos, que oferecem, a partir de órbitas variadas em torno da Terra, uma visão global e ao mesmo tempo detalhada do principal objeto de estudo da meteorologia.



Cptec/Inpe. www.cptec.inpe.br/

Figura 5.12. Estação meteorológica.

### Satélite meteorológico

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

O primeiro satélite meteorológico do qual se tem notícia é o Television InfraRed Observation Satellite (Tiros), lançado pelos americanos em abril de 1960. Um ano depois, as imagens do satélite Tiros III foram utilizadas para realizar uma das maiores evacuações em massa de que se tem notícia nos EUA. Um contingente de meio milhão de pessoas foi deslocado para escapar ao furacão Carla, que atingiu o estado do Texas e cercanias, provocando a morte de quase 50 pessoas.



Os fundamentos da meteorologia moderna foram lançados por cientistas a partir do século 19. Foi Robert FitzRoy, na Inglaterra, em 1860, quem traçou a primeira carta sinótica, permitindo que previsões fossem feitas, concretizando assim o termo “previsão de tempo”.

Vilhelm Bjerknes, em 1904, foi o primeiro a afirmar que era possível prever o tempo por meio de cálculos utilizando as leis da natureza. E também foi Carl-Gustaf Rossby, pertencente ao grupo

de pesquisa de Vilhelm Bjerknes, o primeiro a explicar o escoamento atmosférico em grande escala em termos da dinâmica dos fluidos, a ciência que descreve o movimento de líquidos e gases.

Um dos principais, senão o principal, objetivo dessa ciência é desvendar os mecanismos da dinâmica do tempo e do clima com o intuito de poder prevê-los. E o refinamento que temos hoje nas previsões meteorológicas jamais teria atingido este nível sem as imagens de satélites.

É por meio delas que os meteorologistas podem observar o deslocamento de frentes frias, ciclones tropicais, massas de ar quente ou frio, nuvens e outros elementos detectáveis a partir de uma órbita ao redor da Terra. A visão de completude – ver como as coisas se encaixam numa escala global – é fundamental. Por mais que, aqui embaixo, dividamos a Terra em continentes, países, estados, cidades, quando ela é vista de cima temos a clara percepção de que se trata de um único planeta, um só mundo, totalmente interligado e sem fronteiras políticas.

Saiba  
mais...



## Os ciclones tropicais

Um dos fenômenos meteorológicos mais destrutivos que se conhece são os ciclones tropicais. São ocorrências que têm início nos oceanos e, quando atingem os continentes, o fazem levando grandes quantidades de chuvas e ventos de grande intensidade, provocando, em certos casos, inundações, destruição e morte em grandes proporções.

Dois casos recentes estão em nossa lembrança – o furacão Katrina, que assolou a costa americana em 2005, particularmente a cidade de Nova Orleans, e o Catarina, que em 2004 atingiu a costa brasileira na altura do estado de Santa Catarina. Quando eles ocorrem na região das Américas (Caribe e costas dos Oceanos Atlântico e Pacífico), recebem o nome de furacões. Quando ocorrem na costa do Japão, recebem o nome de tufões.

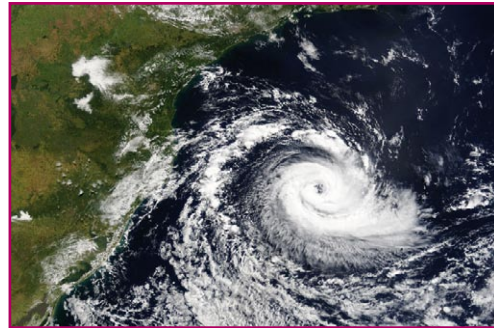


Figura 5.13. Furacão Catarina.

Centro de Informações de Recursos  
Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa  
Catarina (Ciram). <http://ciram.epagri.rct-sc.br/>

## TÃO LONGE, TÃO PERTO! A OBSERVAÇÃO DA TERRA POR MEIO DE SATÉLITES

Quando Yuri Gagarin (1934-1968) foi ao espaço, em 1961, declarou que era possível visualizar até mesmo pequenos detalhes, como grandes construções, na superfície terrestre, a partir da órbita baixa em que ele se encontrava.

A maioria dos cientistas na época ficou surpresa com a revelação – eles jamais imaginaram que detalhes tão ínfimos pudessem ser observados de uma distância tão grande do chão. Pois essa era apenas a primeira revelação de muitas que viriam no setor de observação da Terra. Até hoje, essa é uma das aplicações mais importantes da pesquisa espacial – e uma em que o Brasil se envolve com brilhantismo.

Além de dar pistas sobre a dinâmica da atmosfera e dos oceanos, como vimos anteriormente, as imagens de satélite ajudam a monitorar de forma eficiente as mudanças ocorridas na superfície. Com os satélites-espíões, que permitem distinguir objetos de poucos metros (e em alguns casos menos de um metro) na superfície terrestre, surgem as principais aplicações militares de observação da Terra.

Na época da Guerra Fria, americanos e soviéticos usavam essas fotografias feitas sobre solo inimigo para monitorar a disposição de tropas e armamentos. Foi graças a elas, por exemplo, que os americanos tiveram a certeza de que a União Soviética estava desenvolvendo um foguete para viagens lunares tripuladas. Embora os soviéticos tenham sempre negado a existência de tal projeto, imagens de satélite obtidas pelos americanos da base de Baikonur, localizada em uma das antigas Repúblicas Soviéticas, hoje Cazaquistão, na região central da Ásia, mostravam o gigante N-1 sendo preparado para uma tentativa de lançamento.



Figura 5.14. Foto feita por satélite-espião.

United States Geological Survey (USGS).  
<http://www.usgs.gov/>



## A Guerra Fria

Conflito político-econômico-ideológico surgido da polarização do mundo após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Com a Alemanha nazista derrotada e subjugada, e a Europa devastada pelo conflito, duas grandes potências emergem: os Estados Unidos, com seu modelo capitalista, e a União Soviética, com seu modelo comunista.

Ambos duelariam pelas décadas seguintes para conquistar a hegemonia global. Nesse processo se inserem a corrida armamentista, com o desenvolvimento desenfreado de mísseis e armas nucleares, e a corrida espacial, voltada para o lado propagandístico da corrida. A supremacia na exploração pacífica do espaço servia para enviar mensagens ao mundo sobre qual dos sistemas econômicos tinha maior pujança científica e tecnológica.

A Guerra Fria teve momentos de altos e baixos, mas em nenhum ponto as duas superpotências partiram para um confronto armado direto. Em compensação, disputavam o poder em países periféricos, alimentando guerras locais, como as da Coreia e do Vietnã.

O maior ícone da Guerra Fria foi a divisão da Alemanha em duas, simbolizada pelo muro de Berlim. Com a queda do muro, em 1989, começava a ruir também a bipolaridade do mundo, e a influência soviética. Era um prelúdio da queda do comunismo e do fim da União Soviética, que se dissolveu no início dos anos 1990. A volta do capitalismo à Rússia marcou o fim da Guerra Fria, vencida pelos Estados Unidos.

Os satélites-espões de outrora nem se comparam aos de hoje em dia, em termos da capacidade de gerar e transmitir imagens, assim como da sua resolução.

Por resolução entende-se a capacidade do instrumento colocado a bordo do satélite de discriminar objetos em função de seu tamanho. Esta característica pode variar de centenas de metros em satélites convencionais dotados de câmeras de largo campo de visada, a poucos metros ou ainda menos.

Esse é o caso das câmeras instaladas a bordo de artefatos americanos e russos, que conseguem distinguir até mesmo objetos com uns poucos centímetros de largura na superfície. E o que antes

era tido como material altamente confidencial hoje serve para divertir e satisfazer a curiosidade das pessoas. Basta visitar o sítio Google Earth (<http://earth.google.com>) e descarregar um simples programa de computador que dá acesso a imagens que permitem identificar claramente prédios e outras instalações em qualquer local do planeta.

Apesar desses avanços incríveis, a capacidade de ver os detalhes às vezes elimina a chance de ter a percepção do todo. Em estudos ambientais, é fundamental que grandes áreas sejam monitoradas ao mesmo tempo, nas mesmas imagens, e que os dados contidos nelas sejam processados o mais rapidamente possível.

Um grande exemplo de aplicação desse tipo vem do Brasil. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), desde os anos 1970, desenvolve a habilidade de interpretar imagens de satélite, inicialmente compradas dos americanos, como as obtidas pela série Landsat (programa de satélites de observação terrestre desenvolvido pelos Estados Unidos), para quantificar o desmatamento que ocorre ano a ano nas regiões com cobertura de florestas no País, que passaria a ser conhecido como Projeto Desflorestamento da Amazônia Legal (Prodes).

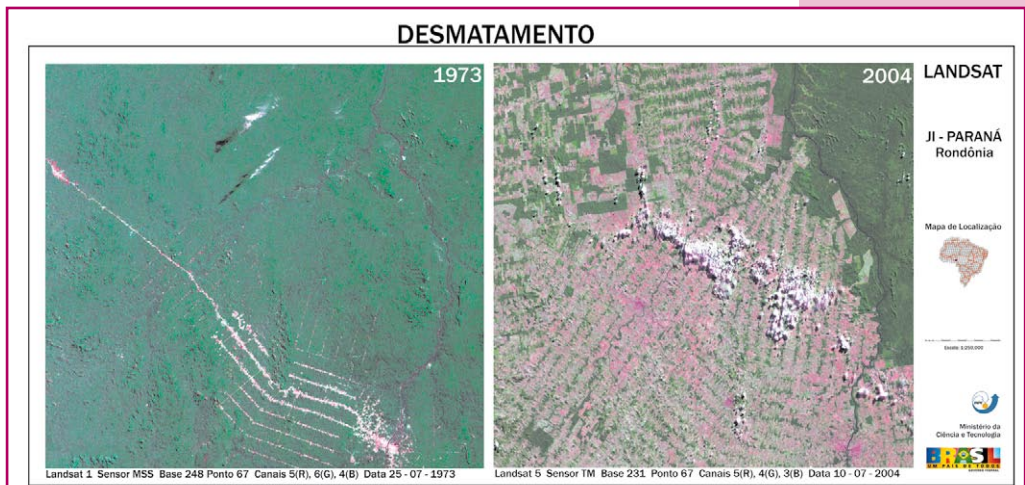


Figura 5.15. Comparativa mostrando uma região ainda não desmatada e já devastada anos depois.

O trabalho culminou, em tempos recentes, com o desenvolvimento do Projeto Deter, sigla para Detecção de Desmatamento em Tempo Real. Realizado pelo Inpe com apoio do Ministério do Meio Ambiente e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o esforço serve não somente para monitorar a destruição da Floresta Amazônica – um dos maiores patrimônios naturais do País, possivelmente o maior –, mas para facilitar sua proteção.

Com o monitoramento em tempo real, é possível reagir mais rapidamente ao desmatamento ilegal e levar os culpados à Justiça.

Atualmente, o Deter trabalha com o processamento de imagens obtidas por um instrumento (chamado Modis) instalado a bordo de dois satélites da Nasa: o Acqua e o Terra. Em tempos mais recentes, o esforço também incorporou o uso de imagens obtidas pelo satélite sino-brasileiro Cbers-2 – mostrando a crescente capacitação brasileira não somente para processar adequadamente os dados, mas também para coletá-los com equipamentos nacionais levados ao espaço.

Os dois trabalhos de monitoramento da floresta conduzidos pelo Inpe são complementares – enquanto as avaliações ano a ano (Prodes) oferecem dados mais consistentes da perda de cobertura florestal, os dados processados no Deter perdem em precisão, mas ganham em agilidade, permitindo a identificação rápida de locais em processo de desmatamento.

*O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações sobre a superfície de objetos sem a necessidade de contato direto com os mesmos.*

*Nossos olhos também funcionam dessa maneira, distinguindo formas, cores e outras propriedades por meio da luz refletida que chega até eles.*



Essa duplicidade mostra o quão versátil é a pesquisa espacial – cada aplicação de observação da Terra precisa ser cuidadosamente “modulada”, a fim de atender uma ou outra necessidade.

A todas essas possibilidades de identificação de fenômenos a partir de observações feitas do espaço dá-se o nome genérico de “sensoriamento remoto”.

No Brasil, é natural que as atenções estejam majoritariamente voltadas para o controle da Amazônia. Mas outros temas ambientais importantes podem ser abordados com tecnologias espaciais.

No Reino Unido, por exemplo, a principal preocupação é com o derretimento de massas de gelo nas altas latitudes (o exemplo mais proeminente é a Groenlândia, que está perdendo em ritmo acelerado o gelo acumulado ali por conta das altas recentes de temperaturas ocasionadas pelo aquecimento global).

Não é surpreendente, se considerarmos que a Grã-Bretanha é uma ilha, e que a elevação do nível dos mares pode ter um impacto considerável naquele país. Isso sem falar no fato de que o clima ameno daquela região ocorre graças a certas correntes marítimas ligadas à temperatura das águas no oceano Atlântico. Os detalhes ainda são incertos, mas os cientistas desconfiam que o acirramento da mudança climática pode ocasionar mudanças drásticas nessa dinâmica.

Outras regiões do mundo têm outras preocupações – a proteção das florestas também é um tema importante no Sudeste Asiático, e o aumento dos desertos é um problema grave a ser acompanhado no norte da África. O monte Kilimanjaro, na Tanzânia, está perdendo a neve que cobre o seu cume.

Um outro fenômeno atmosférico relevante é o do buraco na camada de ozônio que recobre o Pólo Sul, cujo acompanhamento é feito em larga medida por meio do uso de sensores a bordo de satélites.

O seu comportamento tem uma periodicidade anual e constitui um indicador importante de impacto

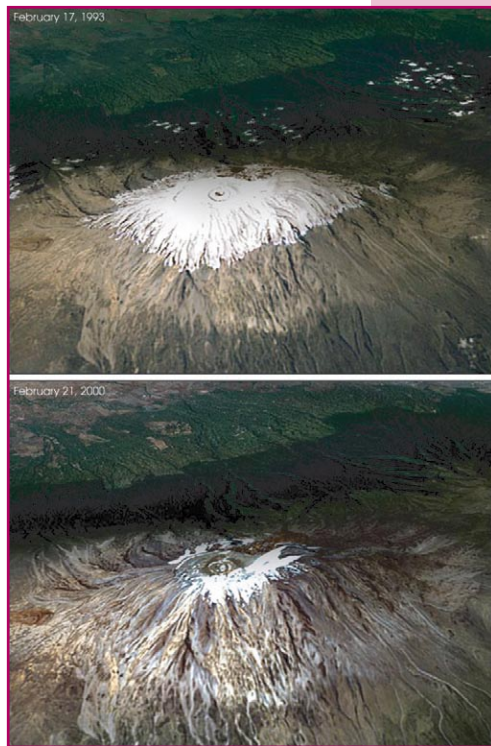


Figura 5.16A e B. Kilimanjaro antes e depois do derretimento de suas neves permanentes.

Nasa. <http://www.nasa.gov/>

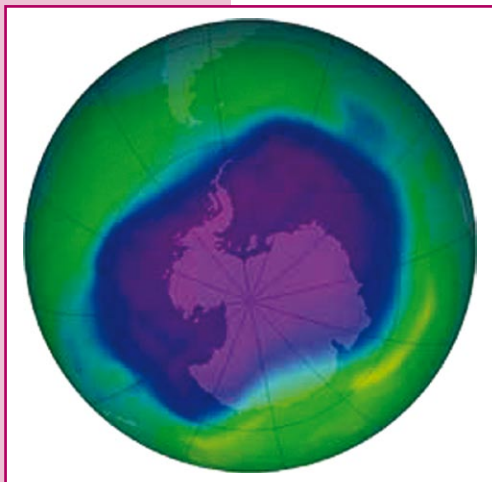


Figura 5.17. Imagem de satélite mostrando o buraco na camada de ozônio sobre o Pólo Sul.

em escala global da atividade humana. Neste caso, foi possível estabelecer uma conexão direta entre o fenômeno global (buraco na camada de ozônio) e uma ameaça para a saúde das pessoas (maior incidência de câncer de pele em virtude do aumento na intensidade dos raios ultravioleta, que deixaram de ser filtrados pelo ozônio).

Isto levou a uma rápida mobilização política em escala mundial, que teve como resultado a redução na produção e emissão de gases destruidores da camada de ozônio (clorofluorocarbonos – CFC).

A questão da descoberta da redução da camada de ozônio teve uma origem até certo ponto inusitada. Em artigo publicado em junho de 1974, na revista *Nature*, os cientistas M.J. Molina e F.S. Rowland (Universidade da Califórnia – EUA) foram considerados alarmistas ao alertarem a comunidade científica a respeito dos riscos da destruição da camada de ozônio pela ação dos CFCs. Rowland e Molina faziam pesquisa básica e usavam constantes das taxas de reações químicas envolvendo o cloro. Os valores dessas constantes de reações tinham sido obtidas a partir de um trabalho patrocinado pela Nasa. Por que a Nasa? Porque Vênus tem moléculas de flúor e cloro em sua atmosfera e a Nasa pretendia conhecer melhor a atmosfera daquele planeta.

Em 1995, ambos tiveram o reconhecimento pelo seu trabalho e, juntamente com Paul Crutzen (artigo de 1970 sobre o efeito do óxido nítrico na destruição do ozônio), foram agraciados com o Prêmio Nobel em Química.

Outro benefício evidente da enorme disponibilidade de imagens da superfície da Terra a baixo custo está na sua utilização como recurso didático inovador em sala de aula. Com elas é possível proporcionar aos estudantes uma experiência motivadora ao permitir que eles observem e lidem com imagens que retratam as cidades e regiões onde moram.



Nestas imagens eles podem reconhecer os acidentes geográficos naturais, as conseqüências da ocupação do solo pelos seres humanos, para construir cidades ou para atividades produtivas (comércio, indústrias, serviços, agricultura, pecuária), os traçados dos rios e estradas que lhes são familiares, as plantações e florestas próximas, ou até mesmo as ruas onde moram. Dificilmente uma aula convencional de geografia ofereceria este tipo de informação.

Assim, a educação pode se beneficiar com dados atualizados sobre o território de nosso país, inclusive obtendo gratuitamente imagens do satélite Cbers, disponíveis no sítio do Inpe (<http://www.inpe.br/>).

As revelações sobre a Terra feitas do espaço são surpreendentes, mas não são os únicos benefícios trazidos para a sociedade moderna. As inovações tecnológicas obtidas ao longo do processo de exploração espacial, particularmente em sua fase inicial, também causaram um enorme impacto social e econômico. Essas tecnologias acabaram impregnando e mudando radicalmente o modo de vida dos seres humanos.

Adicionalmente, é importante notar que quanto maiores as dimensões territoriais de uma nação, maiores são os benefícios que ela pode auferir com o uso das tecnologias espaciais, seja para observar áreas pouco povoadas de seu território, para exercer algum tipo de patrulhamento de fronteiras distantes e extensas, para acompanhar fenômenos meteorológicos que ocorrem sobre grandes áreas territoriais, para prover comunicação e navegação a grandes distâncias etc.

O território brasileiro se encaixa perfeitamente nessa categoria. Somos uma nação que já se beneficia e poderá se beneficiar ainda mais no futuro, à medida que ampliamos nosso domínio dessas tecnologias. Com elas exploraremos nosso território em uma outra dimensão – na dimensão do que hoje se chama “território digital”, ou seja, o território virtual posto à nossa disposição pelas várias tecnologias de obtenção de dados a partir do espaço.

## SUBPRODUTOS DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL



*As células a combustível são largamente utilizadas em missões espaciais tripuladas. A partir da reação química do hidrogênio ( $H_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ) são gerados eletricidade e água potável ( $H_2O$ ). Atualmente, já se produzem carros que fazem uso de célula a combustível.*

As tecnologias desenvolvidas ou aprimoradas por estímulos vindos da área espacial são inúmeras. Uma delas são as chamadas células a combustível. Foram concebidas como uma espécie de bateria elétrica que consome hidrogênio e oxigênio para gerar energia, emitindo um subproduto

não-polvente (água). Seu primeiro uso ocorreu no espaço, para fornecer eletricidade a naves espaciais tripuladas. Esta tecnologia poderá no futuro substituir as fontes de energia atuais para automóveis, hoje baseadas na queima de petróleo e altamente poluentes.

O desenvolvimento de painéis solares – outra fonte de energia limpa para o futuro – também foi grandemente estimulado pela exploração espacial. As células fotovoltaicas, que são os elementos que convertem a luz solar em energia elétrica, são hoje amplamente utilizadas em produtos eletrônicos de consumo geral.

Saiba mais...

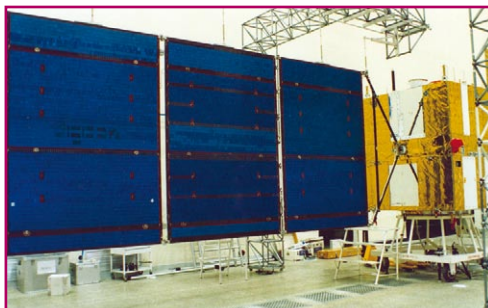


### Do espaço à Terra

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Painéis solares são dispositivos que convertem cerca de 20% da energia recebida do Sol em eletricidade. Em geral, eles são enormes e facilmente identificáveis em um satélite. No caso do Cbers, ele possui 16 m<sup>2</sup> de área, gerando 1.100 W de potência. O mesmo princípio é usado em terra para obter energia elétrica em regiões remotas e de difícil acesso, como é o caso, por exemplo, das plataformas de coleta de dados (PCDs), distribuídas pelo território nacional, para envio de dados aos satélites da série Satélite de Coleta de Dados (SCD).

Figura 5.18. Cbers-1 com o painel solar aberto.



inpe. <http://www.cbbers.inpe.br/>

Da mesma maneira, medicamentos tornam-se possíveis graças a pesquisas em ambiente de microgravidade (com sensação de ausência de peso) realizadas em órbita, e a tecnologia de engenharia de materiais também se beneficia dos estudos realizados no espaço.

E, assim como esses, muitos outros casos parecidos podem ser trazidos à tona. Mas citar áreas específicas acabaria por esconder o que há de mais importante nesta revolução – as modificações que ela trouxe para o cotidiano das pessoas.

Hoje, por exemplo, ninguém se surpreende quando vê um aparelho de telefone celular que contém uma câmera digital para tirar fotografias e serve praticamente como um computador de bolso, para agendar compromissos, anotar telefones e até mesmo jogar videogame. Uma olhada na história por trás de um dispositivo desses, entretanto, inevitavelmente nos remete à exploração espacial.

Os computadores, por exemplo. Houve uma época, em meados do século 20, em que eles eram máquinas gigantes, do tamanho de salas inteiras. Em vez de disquetes ou CDs, eram alimentados com dados por cartões perfurados. E sua principal utilidade era funcionar como sofisticadas calculadoras.

Os cálculos de trajetórias de objetos em vôo espacial são dos mais complicados, a despeito de serem regidos pela ilusoriamente simples teoria da gravitação universal de Isaac Newton – um computador que os fizesse pouparia muito trabalho e esforço, o que motivou o desenvolvimento dessas máquinas no início da era espacial.

Mais que isso, contudo, um computador que fosse levado a bordo de uma nave, como as Apollos que foram à Lua, não poderia ocupar o espaço de uma sala inteira. Não é exagero dizer que o caminho para o espaço teve um papel fundamental na evolução dos computadores e na necessidade de torná-los tão compactos quanto possível.

Podemos ainda falar da câmera digital – invenção que é fruto direto da exploração espacial. Não é difícil visualizar o porquê. As espaçonaves não-tripuladas que primeiro visitaram a Lua e os planetas mais próximos, entre o fim dos anos 1950 e o início dos anos 1960, faziam viagens apenas de ida; seus planos de vôo nunca contiveram a idéia de retornar à Terra.

Como então transmitir as fotos obtidas daqueles mundos distantes para os cientistas, se não havia como trazer o filme fotográfico de volta para revelá-lo? As primeiras sondas tinham um complicado sistema de revelação automática do filme a bordo. Depois de reveladas, as fotos eram “filmadas” com uma câmera de tevê e seu sinal era transmitido à Terra. Mas a qualidade, como se pode imaginar, era muito ruim.

Em outros casos, como em satélites-espiões, os filmes fotográficos eram ejetados dos satélites e caíam de volta na Terra, sendo freados pelo atrito com a atmosfera e por pára-quadras. Um processo caro e arriscado.

Resultado: logo os cientistas tiveram que inventar um meio mais prático de obter essas fotografias, criando dispositivos eletrônicos sensíveis à luz, capazes de converter automaticamente a luz em imagens passíveis de transmissão por rádio. Eram os primeiros *Charged Coupled Devices* (CCDs) [Dispositivo de Cargas Acopladas], dispositivos que funcionam nas câmeras digitais hoje tão comuns. Os mesmos dispositivos também equipam sensores a bordo de satélites como o Cbers, por exemplo.



Saiba  
mais...

### Da máquina fotográfica à câmera de um satélite

Todos os instrumentos colocados em órbita apresentam uma arquitetura semelhante.

Para um melhor entendimento, uma boa analogia seria uma máquina fotográfica digital, como as que hoje já são tão populares. Elas são constituídas por lentes, que captam a luz e a dirigem para um elemento detector (CCD). Este tem a forma de uma matriz de pontos sensíveis, em que cada um deles converte a luz em sinais elétricos. Os sinais de cada um dos pontos são então processados e enviados para uma memória, onde ficam registrados. Da câmera, a imagem pode ser extraída e transferida para uma impressora, para um computador, ou até mesmo transmitida por meio de um telefone celular ou por correio eletrônico.

No caso dos instrumentos colocados em órbita dentro de satélites, um elemento coletor concentra o fluxo de energia em um elemento detector. Este, por sua vez, produz um sinal elétrico que é então processado e armazenado a bordo em gravadores. Em seguida, os dados são enviados para a Terra por meio de sinais de rádio.

Os satélites modernos transportam uma grande quantidade e variedade de sensores. A título de exemplo, o satélite ambiental Terra, da agência espacial americana Nasa, possui um conjunto de sensores projetados para observar simultaneamente a atmosfera, o solo, os oceanos e as camadas de gelo que cobrem nosso planeta.

Finalmente, a principal função do aparelho de telefone celular é no setor de comunicações. E provavelmente não houve área cujo impacto da exploração espacial foi mais profundo. Não é exagero dizer que os artefatos espaciais transformaram o planeta Terra, de fato, numa “aldeia global”. Mas claro que, quando a idéia que permitiria isso apareceu pela primeira vez, foi tida como loucura, a despeito dos avisos de seu proponente de que tudo não era tão fantasioso quanto poderia parecer.

## TELECOMUNICAÇÕES EM ESCALA GLOBAL

Muitos podem considerar a solução proposta nesta discussão muito absurda para ser levada a sério. Uma atitude assim não é razoável, uma vez que tudo imaginado aqui é uma extensão lógica dos desenvolvimentos nos últimos dez anos. (CLARKE, A. C. 1945, p. 305).

Foi com as palavras acima que Arthur C. Clarke, o famoso engenheiro e escritor de ficção científica, autor do clássico “2001: uma odisséia no espaço”, começou a descrever sua idéia para solucionar de uma vez por todas as dificuldades para transmissões de longa distância, fossem elas de rádio, telefonia ou televisão.

O artigo do escritor britânico foi publicado na revista *Wireless World* em outubro de 1945, época em que a coisa mais avançada em exploração espacial eram os mísseis V-2 (bombas foguete de grande poder destrutivo para a época lançadas sobre Londres a partir do continente europeu durante a II Guerra Mundial) de Wernher von Braun. Mas, com seu típico espírito visionário, Clarke parecia convicto de que sua proposta no fim das contas iria mudar o mundo.

Ele começa apresentando o conceito de órbita geoestacionária. Cada órbita possível em torno de um objeto celeste exige uma velocidade diferente para que o objeto ali permaneça. As órbitas mais curtas (conseqüentemente, de menor diâmetro) são as que pedem maiores velocidades. As voltas mais baixas possíveis em torno da Terra exigem uma velocidade de cerca de 28.000 km/h, e são completadas num período de cerca de 90 minutos. Quanto maior a órbita (em outras palavras, quanto mais distante o satélite estiver da Terra), menor a velocidade requerida e maior o tempo que um satélite leva para dar uma volta completa. Seguindo esse raciocínio à risca...

Podemos observar que uma dada órbita (...) tem um período de exatamente 24 horas. Um corpo numa órbita assim, se o plano coincidisse com o do equador terrestre, giraria ao redor da Terra e, portanto, seria estacionário sobre o mesmo ponto do planeta. Ele permaneceria fixo no céu de um hemisfério inteiro e, diferentemente de todos os outros corpos celestes, não iria nascer nem se pôr. (CLARKE, A. C. 1945, pp. 305-306).

Com essas palavras, Arthur Clarke descrevia o conceito do satélite geoestacionário – vale lembrar que nada no espaço até hoje rendeu mais dinheiro que isso. E o mundo jamais seria o mesmo depois deles.

Em seu artigo, o engenheiro mostrou a vantagem de postar estações de transmissão e recepção espaciais em uma órbita geoestacionária e demonstrou que, com apenas três satélites, seria possível obter cobertura global. Os três satélites formariam um triângulo equilátero tendo a Terra como centro. Segundo Clarke, caso fosse preciso fazer uma transmissão do Brasil para o Japão, bastaria enviar um sinal para o satélite geoestacionário mais próximo do território brasileiro, que por sua vez redirecionaria a transmissão para o satélite mais próximo do Japão, que então rebateria o sinal, para ser captado em solo japonês.

Na prática, o sistema é um pouco mais complexo que o imaginado por Clarke. Para dar vazão a toda a demanda, somente três satélites não seriam suficientes; por esta razão, há dezenas em órbita.

A comunicação entre satélites geoestacionários também não é realizada de forma regular, mas apenas em escala experimental – as comunicações normalmente vão do solo para um satélite, voltam para o solo em um ponto distante, subindo em seguida para outro satélite, e assim sucessivamente. O único caso de transmissão regular entre satélites não-militares é o do sistema TDRS da Nasa, que suporta as comunicações de seus satélites científicos, do ônibus espacial e da ISS.

É graças a esse mecanismo que hoje todos nós podemos assistir a eventos esportivos, como as Olimpíadas e a Copa do Mundo, ao vivo, via satélite. Nada disso teria sido possível, se não fosse pelo desenvolvimento das telecomunicações por meio de artefatos espaciais.



### **A primeira transmissão via satélite**

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

A primeira transmissão via satélite ocorreu em 10 de julho 1962 entre os EUA e a França, por meio do satélite americano Telstar. Em função da sua órbita bastante elíptica (não era uma órbita do tipo geoestacionária), a transmissão ocorria durante 20 minutos, a cada duas horas e meia da sua órbita. No Brasil, a primeira transmissão via satélite ocorreu em 28 de fevereiro de 1969. Tratou-se de uma mensagem do papa Paulo VI ao povo brasileiro, gravada na véspera.

Hoje em dia, o mercado de lançamento de satélites geoestacionários é extremamente significativo – bilhões de dólares são investidos todos os anos nessa atividade. Grandes empresas muitas vezes compram seus próprios satélites de telecomunicações e pagam por seu lançamento ao espaço – a brasileira Embratel já foi uma delas –, para depois recuperar o investimento explorando os canais de transmissão disponíveis ou alugando-os a outras companhias que precisem do serviço.

Os satélites geoestacionários são dispostos em um cinturão distante cerca de 36 mil km da superfície da Terra. Os satélites são distribuídos em diferentes longitudes, dependendo da região do planeta que será atendida pelos seus serviços.



*Além de satélites, a comunicação entre continentes ainda faz uso intensivo dos cabos submarinos, feitos atualmente de fibra ótica.*

Para evitar que um mesmo espaço seja disputado por mais de um satélite, bem como para evitar que mais de um satélite utilize uma mesma frequência de transmissão, o que causaria

interferências que prejudicariam o funcionamento de ambos, há organismos internacionais patrocinados pela Organização das Nações Unidas (ONU) que disciplinam a utilização desta que é a mais valiosa de todas as órbitas. Assim, ela é tratada como um patrimônio universal cuja utilização por organizações públicas ou privadas é feita respeitando regras comuns elaboradas e aceitas pela maioria das nações.

## LOCALIZAÇÃO VIA SATÉLITE

O primeiro desses sistemas a ser estabelecido e usado com frequência no Ocidente foi o chamado Navstar GPS, mais conhecido como *Global Positioning System* (GPS) [Sistema de Posicionamento Global] criado pelos Estados Unidos.

Composto por uma rede de 24 satélites ao redor da Terra (o primeiro elemento foi lançado em 1978), o GPS americano serve para que qualquer pessoa, dotada de um equipamento próprio para se conectar ao sistema por meio de ondas de rádio, possa saber com precisão em que coordenadas do globo (latitude, longitude e altitude) ela se encontra.

Até mesmo para quem está o tempo todo mais ou menos na mesma região do planeta, saber as coordenadas exatas de sua localização está se tornando cada vez mais valioso. Hoje, há sistemas de GPS instalados em veículos que ajudam a localizar rotas para fugir do tráfego ou para achar uma rua distante.

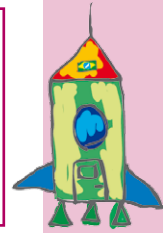
Calcule então a importância e o impacto dessas informações para o tráfego aéreo, por exemplo. Com tantos aviões no ar, como



existem hoje, é fundamental que todos saibam exatamente onde estão, para evitar acidentes nas rotas mais movimentadas e mesmo se certificar de que as aeronaves estão em seu curso correto.

Conforme o sistema começou a se tornar disponível a mais pessoas, novas aplicações foram surgindo, que envolvem aplicações tão dispares quanto estudos geológicos, agrimensura, administração de agricultura e sincronização de relógios ao redor do mundo.

*Agrimensura – a ciência/técnica da medição da terra – é talvez, junto com a astronomia, uma das mais antigas ciências/técnicas desenvolvidas pelo ser humano.*



Um outro uso, cada vez mais difundido, é o GPS para automóveis de passeio e caminhões que são rastreados para evitar o roubo de cargas ou mesmo utilizam o sistema para mostrar as melhores rotas para se chegar aos lugares.

O uso hoje é tão disseminado que existe forte concorrência se desenvolvendo aos serviços prestados pelo GPS americano. Na Rússia, existe uma rede própria, denominada *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (Glonass) [Sistema de Satélites para Navegação Global], com 24 satélites nas mais diferentes órbitas.

E a União Européia recentemente iniciou a formação de seu próprio concorrente, chamado Galileo – o primeiro satélite da rede, dos 30 planejados, foi lançado em dezembro de 2005 e o sistema todo deve estar operacional na próxima década.

Como se vê, há muitas aplicações que são possíveis apenas graças à exploração espacial. E há muitas possibilidades para desenvolvimento econômico para os países que decidirem investir no setor.

O Brasil, felizmente, está em boa posição. Por duas razões: em primeiro lugar, a despeito dos problemas (que envolvem



Figura 5.19. Uso do GPS em um veículo.

Wikipedia Commons.  
<http://www.wikipedia.org/>

principalmente a falta de recursos) e da lentidão com que é conduzido o programa espacial nacional, o País já tem uma tradição consolidada no campo, iniciada em 1961. Em segundo lugar, o Brasil possui um território vasto e, nele, uma região específica que apresenta vantagens econômicas e estratégicas praticamente insuperáveis no mercado de lançamentos comerciais.

## PROBLEMAS E DESAFIOS DO LIXO ESPACIAL



ESA. <http://www.esa.int/>

Figura 5.20A e B. Representação artística dos milhares de satélites em órbita da Terra.

Ao que parece, é uma das sinas do ser humano poluir cada novo ambiente que ocupa antes mesmo que seja capaz de entendê-lo. Com o espaço, não tem sido diferente. E hoje existe uma grande preocupação com os chamados detritos espaciais.

O grande problema é que, uma vez que objetos vão parar no espaço em velocidade orbital, é muito difícil tirá-los de lá. Lascas de tinta, pedaços de foguetes, parafusos soltos – todos esses cacarecos se tornam pequenos “satélites artificiais”, viajando em torno da Terra a 28 mil quilômetros por hora. Uma colisão com um desses detritos, por menor que ele seja, pode ser fatal para satélites de verdade ou mesmo espaçonaves tripuladas. E a única coisa, no momento, que pode tirá-los de lá é a

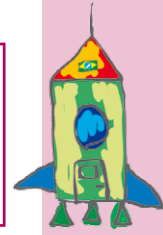
atmosfera terrestre, que só atinge as órbitas

mais baixas. Destroços em órbitas mais altas do que 800 km da superfície da Terra estarão lá por décadas; mais altas do que 1.000 km, por séculos; e, acima de 1.500 km, praticamente para sempre.

Desde o Sputnik 1, em 1957, estima-se que o homem tenha enviado à órbita terrestre mais de 5.400 satélites. Desses, cerca

de 10% estão operacionais. Os “aposentados”, em boa parte dos casos, ainda continuam no espaço – como lixo espacial. Isso sem falar nos pequenos detritos.

*Se você deseja saber onde está a Estação Espacial Internacional (ISS) e outros satélites, acesse <http://science.nasa.gov/realtime>*



Redes de monitoramento de destroços montadas nos Estados Unidos e na Rússia acompanham constantemente os pequenos pedaços. Cerca de 9.000 objetos maiores que 10 centímetros localizados em baixas órbitas são mantidos sob constante vigilância, mas as estimativas são de que haja mais de 100 mil pequenos fragmentos resultantes de atividades humanas com tamanho comparável a uma bolinha de gude.

Já há registros, embora raros, de satélites que tenham parado de funcionar por conta de impacto com um detrito espacial. Na maior parte das vezes, o que ocorre são pequenas colisões que não chegam a comprometer o seu funcionamento. Notáveis observações foram feitas na estação espacial russa Mir, nas missões dos ônibus espaciais americanos e em satélites cujas peças foram recuperadas para análise posterior em terra, como ocorreu na troca dos painéis solares que alimentam o Telescópio Espacial Hubble. Diversos experimentos também foram colocados em órbita para medir os riscos de impacto com lixo espacial.

A crescente preocupação com o problema levou o Comitê das Nações Unidas para os Usos Pacíficos do Espaço a produzir, em 1999, um relatório técnico resumindo o conhecimento acerca dos detritos espaciais. Ficou constatado que as fragmentações de estágios superiores de foguetes e as naves espaciais compõem aproximadamente 43% da população de satélites identificada e podem responder por até 85% de todos os destroços espaciais maiores que cinco centímetros.

Para as atividades espaciais, os restos de lançamentos anteriores são muito mais perigosos do que pequenas rochas espaciais. Para que se tenha uma idéia da escala, a cada dado momento, há em torno da Terra cerca de 200 quilos de rochas na região que vai do topo

da atmosfera até os 2.000 km de altitude. No mesmo espaço, há 3.000 toneladas de destroços introduzidos por ação humana.

As projeções do relatório das Nações Unidas estimam problemas crescentes resultantes do acúmulo de lixo espacial. Aliás, hoje em dia, o problema já causa preocupações. As naves espaciais atuais são feitas com reforços capazes de agüentar impactos de objetos menores. A Estação Espacial Internacional (ISS) também é projetada nesses moldes. Ainda assim, isso só serve para proteger contra pequenos impactos – e mesmo nesses casos não há garantias.

Diversas organizações nacionais se mobilizam hoje em dia para criar mecanismos de controle para o problema. Nos Estados Unidos – responsável, junto com a Rússia, pela geração de pelo menos 40% dos destroços em órbita –, a Nasa, o Departamento de Defesa (DOD), a Administração Federal de Aviação (FAA) e a Administração Nacional de Oceano e Atmosfera dos EUA (Noaa) trabalham no sentido de atingir os seguintes objetivos: controlar os destroços liberados durante operações de rotina; minimizar os destroços gerados por explosões acidentais; selecionar trajetórias e configurações operacionais seguras para veículos espaciais; regular o descarte de estruturas espaciais após sua vida útil.

No âmbito internacional, a Agência Espacial Européia tem adotado uma política pró-ativa na limitação da criação de destroços em órbita. Em 2002, o Comitê de Coordenação de Destroços Espaciais Inter-Agências (IADC) adotou guias normativas para reduzir o crescimento do lixo espacial. Também a Organização Internacional de Normalização (ISO), por intermédio de seu Grupo de Trabalho de Destroços Espaciais (ODWG), vem desenvolvendo normas nas áreas de projeto, operação e descarte de estruturas espaciais que devem ser publicadas em breve.

O trabalho dessas organizações busca estabelecer recomendações de boas práticas que venham a ser acatadas por todas as organizações que desenvolvem atividades espaciais. Dentre as técnicas recomendadas, destacam-se a remoção de satélites, cujas vidas úteis tenham expirado, para órbitas sem interesse, ou sua completa retirada

da órbita da Terra, para que se queimem ao reentrar na atmosfera.

As mesmas recomendações valem para os últimos estágios dos lançadores de satélites, que por muito tempo permanecem em órbita. Na eventualidade de uma explosão, causada pelos restos de combustíveis armazenados em seus tanques, mais detritos são gerados.

Moral da história: o espaço traz promessas maravilhosas para a humanidade, mas teremos antes de aprender a explorá-lo com segurança, ou estaremos condenados a, em pouco tempo, vermos a era espacial terminar com a Terra envolta por uma perigosa barricada composta por nosso próprio lixo. Felizmente, já conhecemos o problema e os engenheiros trabalham hoje para produzir foguetes e satélites que produzam cada vez menos detritos espaciais.



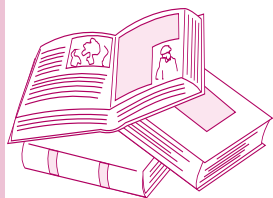
Figura 5.21A e B. Dano causado por lixo espacial ou micrometeorito a um satélite.



Figura 5.22. Restos de lançadores caídos de órbita.

Long Duration Exposure Facility, (LDEF) Archive System, Nasa. Langley Research Center, Hampton, Virginia. <http://www.nasa.gov/>

Nasa. <http://www.nasa.gov/>



## LEITURAS COMPLEMENTARES

### OS SATÉLITES E SUAS ÓRBITAS

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).



Nasa. <http://www.jpl.nasa.gov/>

Figura 5.23. Ilustração semelhante a uma elaborada por Isaac Newton, quando este apresentou a Lei da Gravitação Universal.

Satélites artificiais normalmente giram ao redor da Terra, também podendo ser colocados em órbita da Lua, do Sol ou de outros planetas. A trajetória do satélite em torno da Terra define a sua órbita. O movimento orbital do satélite pode ser entendido como o movimento de um ponto de massa ao redor da Terra. Este ponto representa toda a massa do satélite.

O satélite mantém-se em órbita devido à aceleração da gravidade e à sua velocidade. Dessa maneira, ele permanece em constante queda livre em torno da Terra, comportando-se como se estivesse “preso” em sua órbita. É importante notar que satélites podem ficar girando em órbita da Terra por um longo tempo, indefinidamente em certos casos, sem que seja necessário consumir combustível continuamente, como é o caso dos aviões.

A Figura 5.23 apresenta uma série de três ilustrações semelhantes a uma elaborada por Isaac Newton, quando este apresentou a Lei da Gravitação Universal, em 1687. Ela sugere que, de um canhão suficientemente potente colocado no alto de uma montanha, seria possível lançar um projétil que permaneceria em órbita da Terra. Guardadas as devidas proporções, essa foi uma sugestão tecnicamente fundamentada de como seria possível colocar um artefato em órbita de nosso planeta.

Uma outra forma de explicar o fenômeno seria imaginando um experimento de lançamento de uma pedra.

Se ela for levantada e solta, a mesma cai verticalmente puxada pelo seu peso, isto é, pela força da gravidade. Se jogada horizontalmente em frente, ela também cai, só que desta vez realiza uma trajetória curva antes de atingir o solo. Se lançada com bastante força de um local alto, esta ainda descreve um arco antes de cair ao solo, só que muito mais longe. Se for possível lançá-la com tanta força que o arco que realiza seja paralelo à curvatura da Terra, então a pedra dará uma volta na Terra, passando pelo ponto de lançamento, e continuará “caindo”, isto é, dando voltas em torno da Terra, desde que o atrito com o ar seja desconsiderado. Neste momento pode-se dizer que a pedra entrou em órbita e se transformou num satélite da Terra.

As órbitas sofrem alterações ao longo do tempo, pois outras forças atuam sobre o satélite. Dentre elas destacam-se as atrações gravitacionais do Sol e da Lua, além dos efeitos da pressão de radiação solar e do arrasto atmosférico. Este último é causado pelo choque dos satélites com átomos remanescentes da atmosfera terrestre ainda encontrados a poucas centenas de quilômetros da superfície. São efeitos pequenos, mas que acumulados ao longo do tempo causam alterações no movimento orbital. Por isso, os satélites precisam ser equipados com dispositivos para corrigir sua órbita, que têm a forma de pequenos motores foguete.

O número de órbitas possíveis em torno da Terra é infinito, bastando para tanto que satélites ou aeronaves colocados em órbita estejam fora das camadas mais densas da atmosfera, caso contrário, eles rapidamente perderão energia por atrito e cairão. As órbitas terrestres consideradas baixas são as circulares distantes entre 200 km e 2.000 km da superfície da Terra. A título de exemplo, elas são as mais utilizadas por missões tripuladas (o ônibus espacial e a Estação Espacial Internacional estão situados entre 300 km e 400 km). Nessa região é que se localiza a maioria dos satélites científicos e de observação da Terra, como é o caso do satélite sino-brasileiro Cbers, que fica a 780 km de altura.

Dentre as órbitas classificadas como altas, a mais importante é aquela na qual está situada a maioria dos satélites de telecomunicações

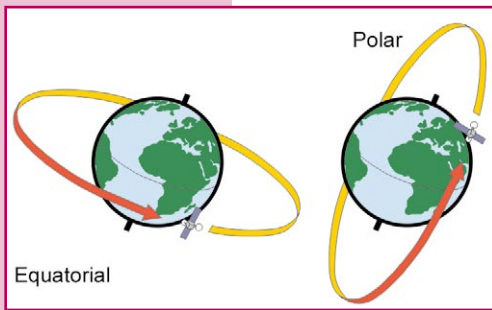


Figura 5.24. Órbitas equatoriais e polares.

e meteorológicos – os chamados “satélites geostacionários”. Essas órbitas distam aproximadamente 36.000 km da superfície terrestre e nelas o tempo que leva o satélite para dar uma volta na Terra (período da órbita) é de 24 horas (mais exatamente 23 horas, 56 minutos e 4 segundos). Quando observado da Terra, a longitude destes satélites fica inalterada, embora sua latitude possa variar para cima e para baixo. Em termos práticos, se ele estiver em uma órbita geostacionária que também seja equatorial, o satélite ficará aparentemente “parado” com relação a um ponto na superfície de nosso planeta.

Além da altitude das órbitas, outros fatores também as diferenciam. Um deles é a forma da órbita, que pode ser elíptica ou circular (caso da maioria dos satélites atuais). Outro é o plano da órbita, que pode variar do equatorial ao polar. No primeiro, uma linha imaginária ligando o centro da Terra ao satélite cruzaria a superfície do planeta pela linha do equador. No segundo,

esta linha passaria alternadamente pelos pólos Norte e Sul.

Tudo o que foi dito acima se aplica indistintamente a qualquer objeto, natural ou artificial, colocado em órbita da Terra, pois as leis físicas que definem os movimentos orbitais são universais. Também é o caso para as sondas interplanetárias, estas naves que saem da órbita terrestre e buscam os outros planetas do sistema solar. O que muda neste caso é que as definições adotadas para classificar as órbitas em torno da Terra perdem o valor.



# OS SATÉLITES ARTIFICIAIS E SUA TECNOLOGIA

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Uma missão utilizando satélites envolve várias partes. A mais notória é a que é colocada no espaço. Cada uma delas é geralmente designada “segmento”. Dentre os vários segmentos existentes, os mais conhecidos são: Segmento Espacial, que é a parte que é colocada em órbita, também designada “satélite”; o Segmento Lançador, que é a parte utilizada para a colocação do satélite em órbita, também designada “fogete” e, finalmente, o Segmento Solo, que é a parte encarregada da supervisão do funcionamento do satélite, de seu controle e da recepção dos dados de seus instrumentos.

O segmento espacial, ou satélite, é normalmente dividido em duas grandes partes. A primeira delas é designada “Plataforma” e contém todos os equipamentos necessários para o funcionamento do satélite. A segunda parte é denominada “carga-útil” e é constituída pelos equipamentos requeridos para o cumprimento da missão dos satélites. Os equipamentos que formam a Plataforma dos satélites são normalmente organizados em subsistemas.

Subsistemas são partes de um sistema. Esta é uma forma prática que a engenharia moderna utiliza para dar maior eficácia ao processo de produção de um equipamento complexo. Com isso é possível dividir o trabalho e entender melhor cada uma das partes envolvidas. Essa abordagem normalmente resulta em um menor custo e maior qualidade do produto.

## *Tipos de satélites:*

- *Astronômicos*
- *de Comunicações*
- *Meteorológicos*
- *Militares*
- *de Navegação*
- *de Observação da Terra*



No caso de satélites, isso é feito para sistematizar o trabalho de especificação, compra, projeto, revisão, montagem e testes, dividindo-o em áreas de competência. Os subsistemas usualmente encontrados nos satélites convencionais são os sete seguintes:

- 1. Controle de atitude:** tem por objetivo controlar o apontamento do satélite no espaço. Faz uso de sensores que determinam com base na posição da Terra, do Sol e das estrelas para onde o satélite está apontado. Em complemento aos sensores, o subsistema utiliza atuadores que aplicam torques que giram o satélite em torno de seu centro de massa.
- 2. Suprimento de energia:** tem por objetivo fornecer a energia necessária para o funcionamento do satélite. Utiliza equipamentos como painéis solares e baterias. Os painéis solares são necessários já que, devido à longa duração das missões, não seria possível suprir as necessidades dos satélites apenas com baterias previamente carregadas em Terra. Os painéis solares são recobertos com células fotovoltaicas, que são elementos capazes de converter a luz solar em energia elétrica, gerando voltagem e corrente que alimentam os demais equipamentos.
- 3. Telecomunicação de serviço:** tem por objetivo enviar e receber os dados que permitem o acompanhamento do funcionamento e o comando do satélite. Utiliza transmissores, receptores e antenas.
- 4. Gestão de bordo:** tem a finalidade de processar as informações recebidas da Terra (do Centro de Controle do satélite) ou que serão enviados para ele. Utiliza computadores de bordo e uma rede interna de comunicação de dados.
- 5. Estrutura e mecanismos:** este subsistema tem por objetivos fornecer o suporte mecânico e movimentar as partes do satélite, bem como oferecer proteção contra as vibrações de lançamento e contra a radiação em órbita. É constituído por estruturas metálicas e de materiais compostos, como fibra de carbono. Os mecanismos presentes normalmente têm a função de abrir e girar painéis solares, separar o satélite do lançador, apontar antenas, entre outros.

6. **Controle térmico:** este tem por objetivo manter os equipamentos dentro de suas faixas nominais de temperatura. Utiliza aquecedores, isoladores, pinturas e radiadores.
7. **Propulsão:** tem por objetivo fornecer o empuxo necessário para o controle da atitude e da órbita do satélite. Utiliza tanques de combustível, bocais, bombas, tubulações e válvulas.

A carga-útil dos satélites é constituída por um ou mais equipamentos, tais como sensores, transmissores, antenas. São eles que cumprem as missões para as quais os satélites são projetados.

Por falar em missões, elas são normalmente classificadas em três categorias: científicas, operacionais e tecnológicas. As científicas são normalmente representadas por missões de astronomia e astrofísica, geofísica espacial, planetologia, ciências da Terra, atmosfera e clima.

As classificadas como operacionais são as de observação da Terra, coleta de dados, comunicações, meteorologia, navegação, alarme, busca e localização e de uso militar.

Finalmente, encontram-se as missões tecnológicas, que são as de aplicação da microgravidade, teste de novos equipamentos e de inovações tecnológicas.

O desenvolvimento e a utilização de um satélite seguem um processo rigoroso e detalhado, o qual é normalmente dividido em fases. Estas fases constituem o que se convencionou chamar de “ciclo de vida” do satélite. Como qualquer outro equipamento construído e utilizado por nós, este também apresenta fases de desenvolvimento, utilização e descarte. Vamos a elas:

1. **Fase de especificação:** estabelece como o satélite deve ser e o que deve fazer.
2. **Fase de projeto preliminar:** é criada uma concepção inicial para atender às especificações.
3. **Fase de projeto detalhado:** é elaborado com base no projeto preliminar.

4. **Fase de fabricação:** as partes que constituem o satélite são fabricadas.
5. **Fase de montagem:** ao final desta fase o satélite está na forma, “configuração” – no jargão do setor, como será lançado.
6. **Fase de testes:** dentre todas as demais, esta é uma das mais críticas. É nela em que é verificado se o satélite funciona corretamente e se resiste ao ambiente espacial. Para entender sua importância, basta dizer que, dos milhares de equipamentos já lançados pelo homem, apenas dois satélites e mais as estações espaciais tripuladas têm ou tiveram a oportunidade de receber algum tipo de manutenção em órbita. Todos os outros foram entregues à própria sorte após seu lançamento, o que significa dizer que todo o investimento feito seria perdido se eles não funcionassem corretamente. Daí a importância dos testes.
7. **Fase do lançamento:** quando ele é posto em órbita por um foguete.
8. **Fase de utilização:** geralmente é a fase mais longa, por ser aquela em que o satélite realiza o serviço para o qual foi projetado. Dependendo da missão, a duração desta fase poderá variar de uns poucos meses a anos, ou mesmo décadas. A título de exemplo, os satélites de telecomunicações mais recentes são projetados para ao menos 15 anos de vida útil em órbita.
9. **Fase de descarte:** quando ele é removido de sua órbita e substituído. Esta fase no passado não era considerada muito relevante. Atualmente, em virtude dos problemas causados pelo lixo espacial, não é mais aceitável que satélites que já cumpriram sua missão permaneçam em órbitas de interesse científico e econômico, podendo com isso causar danos a satélites ainda em operação, ou a naves tripuladas.

No caso dos satélites nacionais, organizações governamentais e privadas atuam simultaneamente em uma ou mais das fases acima. Normalmente, a fase 1 é desenvolvida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), órgão do Ministério da Ciência

e Tecnologia (MCT) localizado em São José dos Campos, São Paulo.

*Para mais informações, acesse o conteúdo do CD "Satélites e seus Subsistemas", que integra o encarte deste volume.*



As fases 2, 3 e 4 são normalmente desenvolvidas por empresas contratadas pelo Inpe.

As fases 5 e 6 são desenvolvidas no Laboratório de Integração e Testes (LIT), que pertence ao Inpe. O LIT é um complexo laboratorial único na América Latina, resultado de grandes investimentos governamentais, e que atende tanto ao Programa Espacial Brasileiro, quanto a uma crescente demanda industrial para testes e certificação de equipamentos, particularmente nas áreas de comunicações e automotiva.

A fase 7 é executada pela organização responsável pelo lançamento (nacional ou estrangeira), juntamente com funcionários do Inpe e das empresas por ele contratadas. A fase 8 fica sob a responsabilidade do Inpe. No Brasil ainda não tivemos a oportunidade de ativar uma fase 9.



Figura 5.25. Cbers em fase de integração e testes no LIT.

## OS SATÉLITES DE COLETA DE DADOS (SCD)

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Embora as atividades espaciais brasileiras tenham tido início na década de 60, foi com o advento da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) que o País passou a ter um plano mais consistente de desenvolvimento para a área. A MECB começou oficialmente em 1980, e previa, entre outros projetos, que seriam produzidos e lançados dois satélites de coleta de dados ambientais denominados Satélite de Coleta de Dados (SCD). Esta meta foi alcançada, tendo sido colocados em órbita os satélites SCD-1 e SCD-2, lançados respectivamente em 1993 e 1998.

O SCD-1 é um satélite de pequeno porte que opera em uma órbita de 760 km de altitude. A Figura 5.26 apresenta sua forma octogonal característica.

Trata-se de um satélite de dimensões reduzidas (1 m de diâmetro, 1,45 m altura), 115 kg e potência de 110 Watts fornecida por células solares (também chamadas de fotovoltaicas) que o revestem.

Sua estabilidade é mantida por rotação, como um pião colocado no espaço, e sua órbita é circular, com uma inclinação de 25 graus em relação à Linha do Equador.

Os satélites da série SCDs fazem parte da Missão de Coleta de Dados, que visa fornecer ao País um sistema de coleta de dados ambientais baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs), distribuídas pelo território nacional. As PCDs são pequenas estações



Figura 5.26. SCD-1.

automáticas instaladas, geralmente, em locais remotos. Desde o início do programa, o número de PCDs instaladas tem aumentado continuamente, já havendo centenas em operação. Sua fonte de energia são pequenos painéis solares.

Os dados adquiridos pelas PCDs são enviados aos satélites que os retransmitem para as estações receptoras do Inpe em Cuiabá (Mato Grosso) e Alcântara (Maranhão). A partir daí os dados são enviados para a cidade de Cachoeira Paulista (SP), onde é feito o seu tratamento, para distribuição imediata aos usuários do sistema. Os usuários cadastrados recebem os arquivos com os dados já processados utilizando a Internet.

O Inpe atende a aproximadamente cem organizações usuárias. Os dados coletados são classificados como de interesse meteorológico, hidrometeorológico e agrometeorológico. Os dados típicos fornecidos aos usuários do sistema são medidas da pressão atmosférica, das temperaturas do ar e do solo, da velocidade e direção do vento, da umidade relativa do ar, dos níveis de rios e reservatórios, da intensidade da radiação solar etc. A Figura 5.27 mostra um exemplo das Plataformas de Coleta de Dados utilizadas.



Figura 5.27. Plataforma de Coleta de Dados.

Os dados coletados pelos satélites SCD-1 e SCD-2 são também utilizados para aplicações como: alimentar os modelos de previsão de tempo do Cptec; estudos sobre correntes oceânicas, marés e química da atmosfera; planejamento agrícola, entre outras. Uma aplicação importante dos satélites é o monitoramento das bacias hidrográficas por meio de plataformas de coletas de dados. Os dados fluviométricos e pluviométricos coletados são de interesse tanto da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), quanto da Agência Nacional de Águas (ANA).

## **OS SATÉLITES SINO-BRASILEIROS DE RECURSOS TERRESTRES (CBERS)**

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Dentre as inúmeras responsabilidades de um Estado moderno, destaca-se a de preservar seu patrimônio ambiental por meio do estabelecimento de ações e regras que visem à sua exploração com eficácia econômica e sustentabilidade. Para tanto, o uso das modernas ferramentas de observação da Terra torna-se obrigatório, dada a dinâmica induzida pelas mudanças naturais e pela atividade humana.

Para compreender a complexa relação entre os diversos fenômenos ambientais nas mais variadas escalas temporais e espaciais, a observação da Terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva de coletar os dados necessários para monitorar e modelar os fenômenos ambientais, particularmente no caso de nações de grande extensão territorial, como é o caso do Brasil.

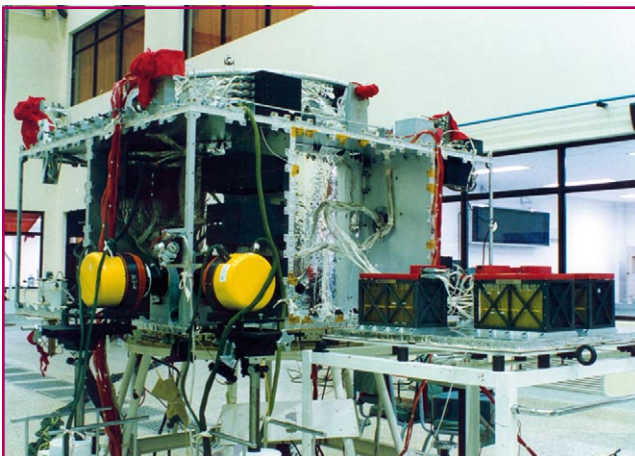
Embora seja possível obter de forma regular no mercado internacional os produtos necessários para este trabalho (os dados brutos coletados pelos satélites), a situação de dependência é sempre indesejável sob o ponto de vista estratégico, seja por não permitir o domínio de todas as tecnologias envolvidas, seja pelo constante envio de divisas para fora do País, pela possível inadequação dos sensores em órbita a todas as peculiaridades do território a ser observado e, finalmente, pelo risco de não dispor dos produtos requeridos por razões que lhe fogem ao controle.

Cientes desses fatos, na década de 1980, China e Brasil iniciaram um processo de aproximação com o objetivo de buscar alternativas de cooperação em atividades espaciais, particularmente na exploração das técnicas de observação da Terra. As duas nações



perceberam o quão estratégica essa cooperação seria para ambas por disporem de vastos territórios carentes de observação com sensores adequados; por serem total ou parcialmente dependentes de satélites estrangeiros para a obtenção das imagens de que necessitavam; por terem população distribuída de forma irregular, e por compartilharem objetivos estratégicos semelhantes nas áreas de ciência e tecnologia.

Assim, em 6 de julho de 1988, durante o governo do Presidente José Sarney, um programa de cooperação para desenvolver um par de satélites de observação da Terra foi assinado pelos governos do Brasil e da República Popular da China, sendo então criado o Programa Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (Cbers) [China-Brazil Earth Resources Satellite]. Na China, a implementação do Programa Cbers ficou sob a responsabilidade da Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (Cast) e, no Brasil, ficou a cargo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).



#### **Características do Cbers:**

- Massa total: 1.450 kg
- Potência: 1.100 W
- Dimensões do corpo: 1,8 × 2,0 × 2,2 m
- Dimensões do painel solar: 6,3 × 2,6 m
- Órbita: hélio-síncrona, circular e polar a 778 km
- Vida útil: 3 anos

Figura 5.28. Cbers.

Esse acordo de cooperação foi concebido de forma diversa das modalidades usuais de cooperação ou assistência técnica existentes entre nações, seja por meio do intercâmbio de pesquisadores, seja pela venda de equipamentos. Neste caso, o objetivo era o de buscar de forma desimpedida o desenvolvimento conjunto

de um sistema sofisticado de observação da Terra por meio de satélites, no qual cada uma das nações se beneficiaria das vantagens competitivas da outra.

A título de exemplo, deve ser mencionada a maior familiaridade brasileira com os métodos e técnicas de gerenciamento de programas espaciais praticados no ocidente e seu maior acesso ao mercado internacional dos componentes requeridos por estes sistemas. Pelo lado chinês, a experiência por eles acumulada no desenvolvimento de lançadores e no lançamento e operação de diversos satélites constituía um complemento ideal à capacitação brasileira.

Seu objetivo era unir a capacitação técnica e os recursos financeiros das duas nações com o propósito de desenvolver um sistema completo de observação da Terra, que apresentasse compatibilidade com os sistemas já disponíveis comercialmente e que pudesse vir no futuro competir com eles no mercado de comercialização desse tipo de produto.

Para tanto, foi concebido um sistema com cobertura global realizada com diversas câmeras ópticas, complementadas por um sistema de coleta de dados ambientais.

China e Brasil dividiram a responsabilidade pelo custo do desenvolvimento dos satélites e seu lançamento, cabendo 70% e 30% respectivamente a cada um. Coube ao Brasil fornecer a estrutura mecânica, os equipamentos para o sistema de suprimento de energia (incluindo o painel solar), a Câmera Imageadora de Largo Campo de Visada (WFI) e os sistemas de coleta de dados e de telecomunicações de bordo. Dentre elas, a fabricação dos computadores de bordo e dos transmissores de microondas foi contratada junto a empresas brasileiras. Aos chineses coube o fornecimento das outras partes dos satélites e dos lançadores utilizados.

As atividades tiveram início em 1988 e culminaram com o lançamento do primeiro modelo (Cbbers-1) em 14 de outubro de 1999 e, do segundo, em 21 de outubro de 2003, utilizando-se o foguete chi-