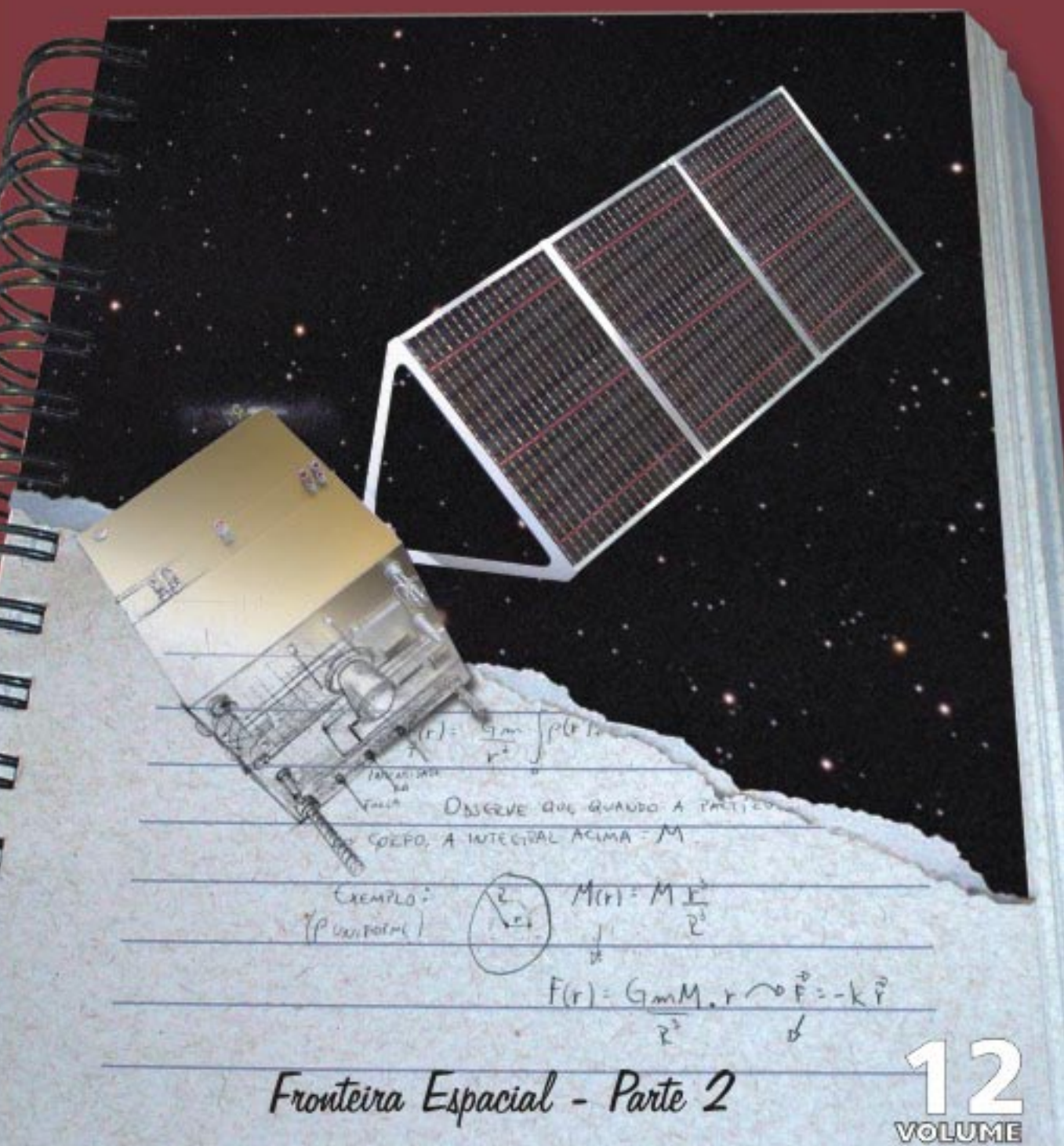


COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

ASTRONÁUTICA



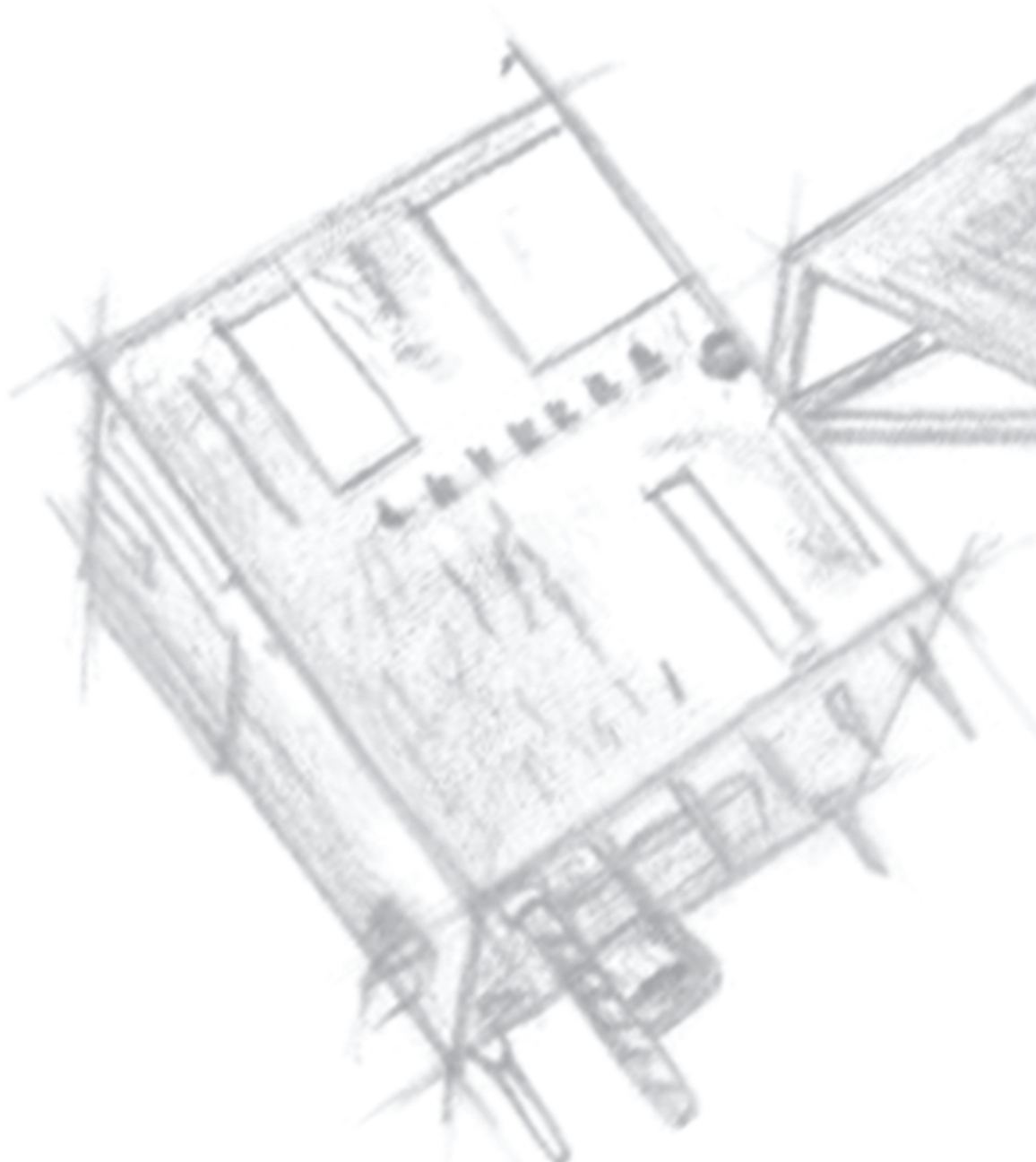
Fronteira Espacial - Parte 2

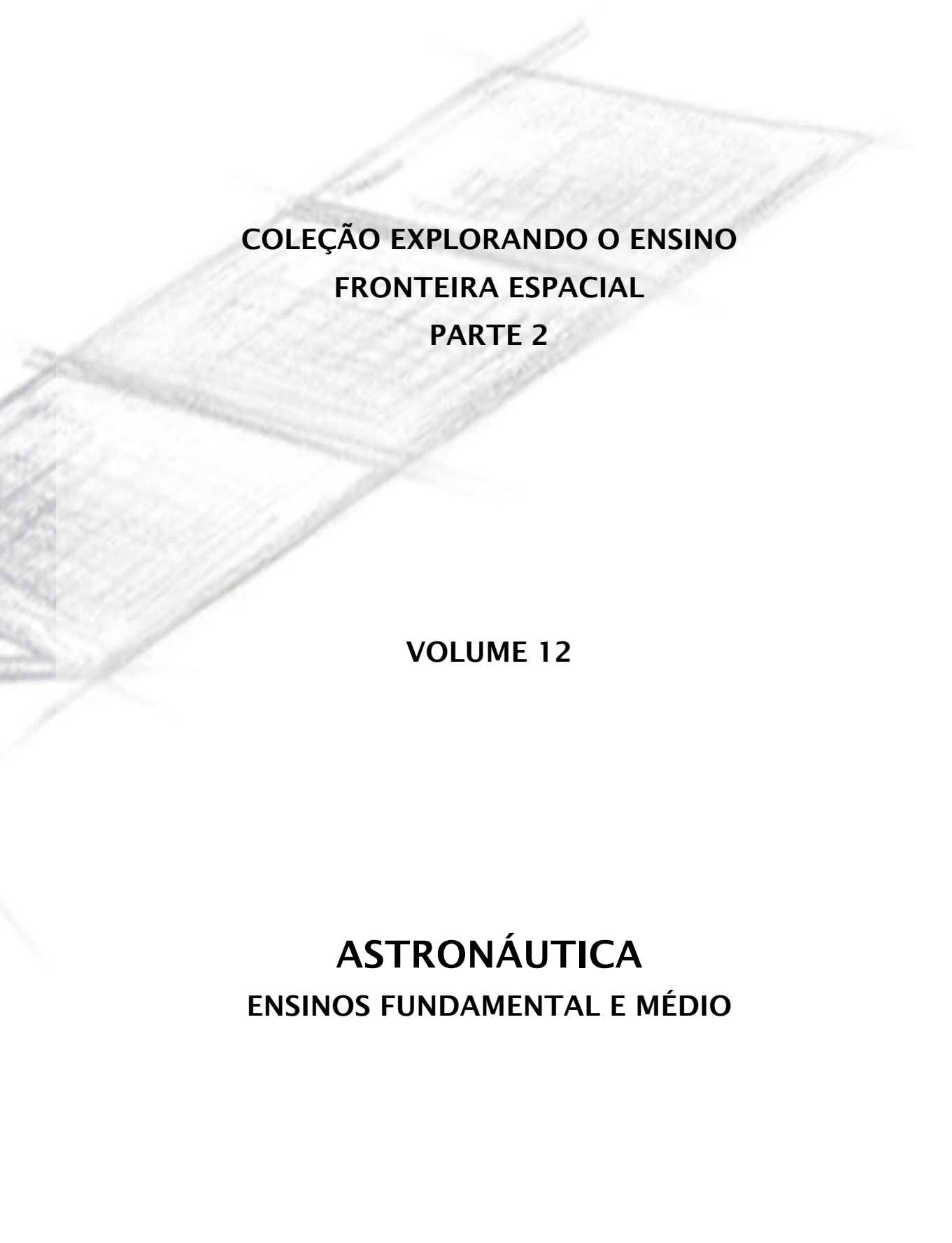
12
VOLUME

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA





**COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO
FRONTEIRA ESPACIAL
PARTE 2**

VOLUME 12

ASTRONÁUTICA
ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

Vol. 1 – Matemática (Publicado em 2004)

Vol. 2 – Matemática (Publicado em 2004)

Vol. 3 – Matemática: Ensino Médio (Publicado em 2004)

Vol. 4 – Química

Vol. 5 – Química

Vol. 6 – Biologia

Vol. 7 – Física

Vol. 8 – Geografia

Vol. 9 – Antártica

Vol. 10 – O Brasil e o Meio Ambiente Antártico

Vol. 11 – Astronomia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro de Informação e Biblioteca em Educação (CIBEC)

Nogueira, Salvador.

Astronáutica : ensino fundamental e médio / Salvador Nogueira, José Bezerra Pessoa Filho,
Petrônio Noronha de Souza . – Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009.

348 p. -- : il. – (Coleção Explorando o ensino ; v. 12)

ISBN 978-85-7783-016-9

Na capa: Fronteira Espacial – Parte 2

1. Astronáutica. 2. Ensino fundamental. 3. Ensino médio.

I. Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica.

II. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. III. Agência Espacial Brasileira. IV. Título.

CDU 629.78

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

ASTRONÁUTICA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

BRASÍLIA
2009

Secretaria de Educação Básica

Diretoria de Políticas de Formação, Materiais Didáticos e Tecnologias para Educação Básica

Diretoria de Concepções e Orientações Curriculares para Educação Básica

Coordenação-Geral de Materiais Didáticos

Coordenação-Geral de Ensino Médio

Agência Espacial Brasileira

EQUIPE TÉCNICA

Andréa Kluge Pereira
Cecília Correia Lima
Elizângela Carvalho dos Santos
José Ricardo Albernás Lima
Lucineide Bezerra Dantas
Lunalva da Conceição Gomes
Maria Marismene Gonzaga

EQUIPE DE APOIO

Andréa Cristina de Souza Brandão
Leandro Pereira de Oliveira
Paulo Roberto Gonçalves da Cunha

COORDENAÇÃO

Ivette Maria Soares Rodrigues
Gestora do Programa AEB Escola da Agência Espacial Brasileira (AEB)

AUTORIA

Salvador Nogueira

CO-AUTORIA E REVISÃO TÉCNICA

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA)
Petrônio Noronha de Souza (Inpe)

COLABORAÇÃO

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj)
Angélica Di Maio (IG/UFF)
Carlos Alexandre Wuenshe de Souza (Inpe)
Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira
Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA)
Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza (UFRJ)
Elisa M. K. Farinha Saeta (SME/PMSJC)
Geraldo Barbosa de Oliveira Filho (SEDF)
Gilvan Sampaio de Oliveira (Inpe/Cptec)
Jhonny Viana Borges (CEF02 Paranoá/SEDF)
João Batista Garcia Canalle (Uerj)
José Leonardo Ferreira (UnB)
Luiz Bevilacqua (UFABC)
Nilson Marcos Dias Garcia (UTFPR)
Norma Teresinha Oliveira Reis (MEC)
Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj)
Pedro Sérgio Baldessar (UTFPR)
Ronaldo da Silva Rodrigues (UnB)

REVISÃO GERAL

Angélica Di Maio (IG/UFF)
Ayrton Lugarinho (SE/DF)
Carlos Alberto Olivieri (Consultor Ad. do MEC)
João Batista Garcia Canalle (Uerj)
Kátia Chagas Lucio (Formatata)
Marcos Barbosa Sanches (Inpe)

REVISÃO ORTOGRÁFICA

Cely Curado
Yolanda Ribeiro da Silva Souza

PROJETO EDITORIAL

Kátia Chagas Lucio (Formatata)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola)

CAPA

Leonardo Nemmer (AEB/Programa AEB Escola)

Tiragem 73.634 exemplares

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

Esplanada dos Ministérios, Bloco L, Sala 500
CEP: 70047-900 Brasília - DF
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010
<http://www.mec.gov.br>

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Setor Policial Sul (SPO), Quadra 3, Bloco A
CEP: 70610-200 Brasília - DF
Tel. (61) 3411-5024 / 3411-5678
<http://www.aeb.gov.br>

SUMÁRIO

Parte 2: ASTRONÁUTICA

APRESENTAÇÃO | 241

INTRODUÇÃO | 249

CAPÍTULO 4

RUMO AO ESPAÇO | 253

PENSANDO EM FOGUETES | 257

CORRIDA PELA SUPREMACIA MUNDIAL | 263

ROBÔS NO ESPAÇO | 273

Exploração de Marte | 274

Exploração de Vênus | 280

Retorno de amostras | 283

Exploração de Mercúrio | 283

Exploração do Sistema Solar Exterior | 284

SANTOS DUMONT, UM VISIONÁRIO | 291

A MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA (MECB) | 294



LEITURAS COMPLEMENTARES | 299

FOGUETES | 299

OS CENTROS BRASILEIROS DE LANÇAMENTO DE FOGUETES | 311

A TEORIA DOS FOGUETES | 317

A FICÇÃO CIENTÍFICA VIRANDO FATO CIENTÍFICO | 323



ATIVIDADES | 326

COMPRESSÃO E DESCOMPRESSÃO | 326

LANÇAMENTO DE FOGUETES POR IMPULSÃO | 332

CONSTRUINDO UM CARRO-FOGUETE DE CORRIDA | 336

CONSTRUINDO E LANÇANDO FOGUETES | 340



DESAFIOS | 346

PARTE I | 346

PARTE II | 347



SALA DE PESQUISA | 353

CAPÍTULO 5

TERRA REDESCOBERTA NO ESPAÇO | 363

CINTURÕES DE RADIAÇÃO | 365

A ATMOSFERA TERRESTRE | 368

ENTENDENDO TEMPO E CLIMA | 374

TÃO LONGE, TÃO PERTO! A OBSERVAÇÃO DA TERRA POR MEIO DE SATÉLITES | 379

SUBPRODUTOS DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL | 386

TELECOMUNICAÇÕES EM ESCALA GLOBAL | 389

LOCALIZAÇÃO VIA SATÉLITE | 392

PROBLEMAS E DESAFIOS DO LIXO ESPACIAL | 394



LEITURAS COMPLEMENTARES | 398

OS SATÉLITES E SUAS ÓRBITAS | 398

OS SATÉLITES ARTIFICIAIS E SUATECNOLOGIA | 401

OS SATÉLITES DE COLETA DE DADOS (SCD) | 406

OS SATÉLITES SINO-BRASILEIROS DE RECURSOS TERRESTRES (CBERS) | 408

ALÉM DOS SATÉLITES | 412

O SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES | 414

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) | 418



ATIVIDADES | 428

COMO GIRAR UM SATÉLITE | 428

CONCEITOS BÁSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO | 433

DECOMPOSIÇÃO DAS CORES | 444

O DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA | 447

OFICINA DE LEITURA DE IMAGENS | 456

EXPERIMENTOS EDUCACIONAIS EM MICROGRAVIDADE NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL - GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO | 461

CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL | 471

O TRABALHO NO ESPAÇO E OS DESAFIOS DE MOVIMENTAÇÃO EM UM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE | 480



DESAFIOS | 501

PARTE I | 501

PARTE II | 502



SALA DE PESQUISA | 506

CAPÍTULO 6

NOVAS FRONTEIRAS | 509

VIDA EM TODO LUGAR AQUI | 513

VIDA FORA DA ZONA HABITÁVEL? | 515
EXPLORANDO MUNDOS DISTANTES | 520
ASTRONOMIA E COSMOLOGIA DO FUTURO | 523
CIÊNCIA EM MICROGRAVIDADE | 526
DE VOLTA À LUA | 528
A CAMINHO DE MARTE | 531



LEITURA COMPLEMENTAR | 533

HÁ VIDA EM MARTE? | 533



ATIVIDADE | 537

JOGO “MISSÕES ESPACIAIS” | 537

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 557

APÊNDICE | 567

CONTEÚDOS COMPLEMENTARES | 567

CD 1 - Da Terra ao Espaço: tecnologia e meio ambiente na sala de aula (documentários) | 567

CD 2 - Missão Centenário | 568

CD 3 - Satélites e seus subsistemas | 569

CD 4 - Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) | 570

CD 5 - Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) | 571

CD 6 - Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) - Utilização de recursos multimídia para o ensino médio e fundamental | 572

CD 7 - Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica | 573

PROGRAMA AEB ESCOLA - VIAJE NESSA IDÉIA ! | 574

APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Educação Básica (SEB) do Ministério da Educação (MEC) e a Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT), por meio do Programa AEB Escola, apresentam aos professores dos ensinos fundamental e médio mais um volume da Coleção Explorando o Ensino, iniciada com os volumes de Matemática. A presente obra tem o objetivo de apoiar o trabalho do professor em sala de aula, oferecendo um rico material didático-pedagógico, referente às diversas disciplinas da grade curricular.

Por sua abrangência, a temática “A Fronteira Espacial” foi dividida em dois volumes: Astronomia (volume 11) e Astronáutica (volume 12). O volume 11 aborda a tentativa do Homem em desvendar os mundos que o cerca, enquanto o volume 12 apresenta a fascinante viagem da espécie humana a alguns desses mundos. Tratam-se, portanto, de obras complementares.

O sonho de viajar ao espaço – e, portanto, a Astronáutica – nasceu com a nossa civilização, mas teve que aguardar séculos para se tornar realidade. Na falta da ciência e tecnologia que pudessem nos auxiliar nessa empreitada, optamos, inicialmente, pelas viagens virtuais, possíveis graças à nossa fértil imaginação. Neste contexto, data do ano 165 uma das primeiras viagens à Lua, por meio do livro Histórias Verdadeiras.

Leonardo da Vinci, Nicolau Copérnico, Johannes Kepler, Galileu Galilei e Isaac Newton foram alguns dos agentes responsáveis por uma série de transformações ocorridas ao final da Idade Média. Foi um período de grande avanço das ciências, o que possibilitou, ao final do século 20, que chegássemos, mais uma

vez, à Lua. Infelizmente, ainda era uma viagem virtual, tornada realidade graças à genialidade do pai da ficção científica: Júlio Verne, homem um século à frente do seu tempo.

Inspirados por Júlio Verne e por suas extraordinárias mentes, Santos Dumont, Kostantin Tsiolkovsky, Robert Goddard, Sergei Korolev e Wernher von Braun deram asas à imaginação e tornaram ficção científica em fato científico.

No entanto, foram fatos ocorridos na esfera política (Guerra Fria) que fomentaram a Era Espacial. Os soviéticos deram o primeiro passo ao colocar o Sputnik em órbita da Terra, em outubro de 1957. O orgulho ferido, o instinto de sobrevivência e a genialidade política de John Kennedy deram início à Corrida Espacial, cujo prêmio era a Lua. Já era tarde da noite do dia 20 de julho de 1969 quando lá chegamos.

Na esteira da corrida lunar, centenas de espaçonaves não tripuladas foram lançadas para visitar os nossos vizinhos, cinco das quais ultrapassarão as fronteiras do Sistema Solar. Entretanto, a maior descoberta que fizemos do espaço foi a Terra. A partir de imagens obtidas pelos astronautas das missões Apollo, ganhamos uma nova dimensão do nosso lar. Desde então, a temática ambiental passou a ser objeto de discussões e preocupações de nossa civilização.

Mas, voltando às questões terráqueas, quais foram os benefícios trazidos pela Era Espacial? Foram muitos. Por exemplo, é difícil imaginar um cidadão que não ligue seu rádio ou sua TV para saber a previsão do tempo. Ao fazê-lo, talvez não faça idéia de que essas previsões são dependentes de informações obtidas de satélites meteorológicos. Outro exemplo são as partidas de futebol e outros eventos transmitidos “ao vivo”. Tratam-se de comodidades já incorporadas ao nosso modo de vida, mas que somente são possíveis graças à existência de satélites de comunicação que orbitam nosso planeta a 36.000 km de distância. Por trás destas e de outras aplicações encontra-se a inteligência da nossa espécie.

Desde o Sputnik, colocamos em órbita mais de cinco mil satélites. A média atual é de um lançamento de satélite por

semana. Americanos, russos, ucranianos, israelenses, indianos, japoneses, europeus e chineses lançam satélites em um ritmo frenético. Mas por que só eles? Porque até o presente são os únicos que desenvolveram a tecnologia dos veículos lançadores de satélites, que são enormes foguetes capazes de atingir a velocidade de 28.000 km/h, ou mais.

A Astronáutica abrange todas as áreas do conhecimento humano, sem uma única exceção. Portanto, independentemente da disciplina que você leciona, estamos certos de que encontrará nesta obra farto e atualizado material para enriquecer suas aulas, tornando-as ainda mais agradáveis e instigantes. Além das suas habilidades como professor, você terá a seu favor o fato de que a temática naturalmente desperta o interesse dos jovens.

A equipe do AEB Escola e todos aqueles que contribuíram para a consecução deste livro desejam a você e aos seus alunos uma boa viagem.

Para facilitar sua viagem, o livro é dividido em três capítulos, enriquecidos com imagens e ilustrações. A seguir, apresentamos uma breve descrição da sistemática utilizada.

1ª Seção – Temática

É o “corpo” do capítulo, que aborda o tema descrito no seu título. Ao longo da seção, o leitor encontrará elementos interativos e informativos adicionais, incluindo:



Box “Saiba mais” – explica ou complementa o que o autor está desenvolvendo. Alguns são elaborados pelo próprio autor da seção e outros por especialistas e colaboradores da Agência Espacial Brasileira (AEB).



Glossário – palavras ou expressões menos usuais, ou mais complexas, são marcadas no texto com cor diferente e seu significado está expresso na margem lateral do texto.



Caixa de destaque – box pequeno, inserido ao longo do texto, de leitura rápida, que representa um reforço ou uma complementação ao texto principal.

Biografias – informações sobre a vida de alguns nomes importantes citados pelo autor. Estão dispostas na margem lateral do texto.



2ª Seção – Leituras complementares

Traz textos de autores diversos que ampliam a abordagem desenvolvida na seção temática.



3ª Seção – Atividades

Apresenta sugestões de atividades relacionadas à temática explorada no capítulo, as quais já foram realizadas e validadas em sala de aula e em cursos do Programa AEB Escola.



4ª Seção – Desafios

Traz desafios elaborados por especialistas e outros, selecionados das várias versões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). A ideia desta seção é divulgar uma estratégia didática de apoio à aprendizagem e estímulo aos alunos. Apenas alguns desafios têm respostas de modo que o professor e alunos devem procurar resolver os desafios por si sós. A equipe do Programa AEB Escola e o sítio da OBA serão seus aliados nesse processo.



5ª Seção – Sala de pesquisa

Apresenta sugestões de referências bibliográficas, sítios, filmes e outros elementos para aprofundamento ou ilustração da temática tratada no capítulo.

Ao final do volume é apresentada uma lista de referências bibliográficas consultadas ou utilizadas pelo autor e colaboradores da seção temática.

Disciplinas que podem ser trabalhadas na escola com o apoio do volume ‘Astronáutica’:

CAPÍTULO	SEÇÃO	ÁREAS PREDOMINANTES
CAPÍTULO 4	TEMÁTICA Rumo ao espaço	Ética, geografia, matemática, física, história, ciências, artes
	LEITURAS COMPLEMENTARES Foguetes	Física, matemática, geografia, português, ciências, química
	Os centros brasileiros de lançamento de foguetes	Física, matemática, geografia, português, ciências
	A teoria dos foguetes	Física, matemática, geografia, português, ciências, química
	A ficção científica virando fato científico	Física, matemática, geografia, português, ciências
	ATIVIDADES Compressão e descompressão	Física, artes, matemática, ciências, química
	Lançamento de foguetes por impulsão	Física, artes, matemática, ciências, química
	Construindo um carro-foguete de corrida	Física, artes, matemática, ciências, química
	Construindo e lançando foguetes	História, física, artes, matemática, ciências
	DESAFIOS	Geografia, história, física, matemática, ciências, química
CAPÍTULO 5	TEMÁTICA Terra redescoberta no espaço	Ética, geografia, matemática, física, história, ciências, química, artes
	LEITURAS COMPLEMENTARES Os satélites e suas órbitas	Geografia, física, história, matemática, ciências, química
	Os satélites artificiais e sua tecnologia	Geografia, física, história, matemática, ciências, química

CAPÍTULO	SEÇÃO	ÁREAS PREDOMINANTES
CAPÍTULO 5 (CONTINUAÇÃO)	Os satélites de coleta de dados (SCD)	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	O satélite sino-brasileiro de recursos terrestres (Cbbers)	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Além dos satélites	Geografia, física, história, matemática, ciências
	O sensoriamento remoto e suas aplicações	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	O Sistema de Posicionamento Global (GPS)	Geografia, física, história, matemática, ciências
	ATIVIDADES	
	Como girar um satélite	Geografia, física, história, matemática, ciências, artes
	Conceitos básicos de sensoriamento remoto	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Decomposição das cores	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências, química, artes
	O desmatamento da Amazônia	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Oficina de leitura de imagens	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Experimentos educacionais em microgravidade na Estação Espacial Internacional – germinação de sementes de feijão	Ética, didática, geografia, matemática, física, história, ciências, química, artes
	Conservação de água na Estação Espacial Internacional	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	O trabalho no espaço e os desafios de movimentação em um ambiente de microgravidade	Ética, geografia, matemática, física, história, ciências, química, artes
DESAFIOS	Geografia, física, história, matemática, ciências	

CAPÍTULO	SEÇÃO	ÁREAS PREDOMINANTES
CAPÍTULO 6	TEMÁTICA	
	Novas fronteiras	Ética, geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	LEITURA COMPLEMENTAR	
	Há vida em Marte?	Geografia, física, história, matemática, ciências, química
	ATIVIDADE	
	Jogo “Missões Espaciais”	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	DESAFIOS	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências

INTRODUÇÃO

É um velho truque dos entusiastas dos programas espaciais, ao defender sua utilidade, enumerar quantas aplicações práticas e revolucionárias foram concebidas a partir dos usos pacíficos do espaço. A lista vai desde computadores sofisticados a telecomunicações globais, passando pela produção de energia limpa, sem falar nos avanços médicos e na ampliação sem precedentes do conhecimento científico. Tudo isso é verdade, e tocaremos nesses assuntos mais à frente, em circunstâncias mais oportunas. Mas aqui, no começo desta nossa viagem, vale a pena usar uma outra estratégia. Façamos, para início de conversa, da utilidade educacional do espaço.

Por que falar de exploração espacial pode ser potencialmente benéfico numa sala de aula? As respostas são muitas, e explicam muita coisa. Mas talvez a mais simples delas – e, paradoxalmente, a mais contundente – seja a de que crianças, em algum ponto de sua infância, invariavelmente sonham com o espaço. Seja assistindo a aventuras cósmicas na televisão, seja manifestando uma curiosidade natural pelos astros, são raros os meninos e meninas que nunca sonharam ser astronautas. E nada melhor que um sonho ou uma fantasia para despertar a curiosidade científica de um jovem.

Cronologicamente, a astronáutica (ciência que reúne todos os conhecimentos necessários às viagens espaciais) é uma natural sucessora da astronomia. Por essa razão, o volume anterior a este na coleção “Explorando o Ensino” é justamente um panorama da evolução astronômica, que permitiu o surgimento e a maturação

das viagens espaciais. Na verdade, os volumes 11 e 12 foram pensados como uma coisa só, de modo que recomendamos fortemente sua leitura na ordem original. Mas isso não é estritamente necessário. E dificilmente haverá conteúdo mais entusiasmante do que o que virá a seguir.

Além de apresentar um cenário rico e cheio de nuances (que oferece oportunidades para discussão de temas em sala de aula que vão desde a história do século 20 ao futuro da humanidade, passando pelo desenvolvimento econômico e pelo desafio à lei da gravitação ofertado pela ciência dos foguetes), este volume está recheado de propostas de atividades que farão dos alunos legítimos exploradores espaciais – dificilmente haverá oportunidade didática mais entusiasmante.

As sugestões são as mais variadas e trazem, entre outras, explicações elementares sobre o princípio de ação e reação de Isaac Newton e instruções para o “desenvolvimento” de minifoguetes pelos alunos. Esses artefatos, se não chegam ao espaço, demonstram exatamente as forças que envolvem uma missão desse tipo e ajudam os jovens a entenderem a ciência por trás desses esforços.

Embora esta obra tenha um forte viés voltado para propostas de atividades (herança do programa AEB Escola, da Agência Espacial Brasileira, que foi a força motriz deste projeto), que ninguém se engane: o livro também traz muitas informações valiosas na hora de preparar uma aula convencional. Dividido em três grandes capítulos, ele apresenta, em primeiro lugar, um panorama da corrida espacial, disputada inicialmente entre Estados Unidos e União Soviética (atual Rússia), mas não só por eles, e a revolução de conhecimentos acerca dos corpos celestes produzida por essa disputa. De quebra, um quadro detalhado de como surgiu e evoluiu o programa espacial brasileiro – esforço que, embora seja ainda hoje pouco conhecido, foi iniciado precocemente, em 1961.

Numa segunda etapa, relatamos a fantástica mudança de perspectiva ocasionada pelo estudo de um corpo celeste em particular – a nossa Terra. Daí decorrem não só todas as novidades tecnológicas nascidas da Era Espacial, sem as quais hoje nossa vida seria muito diferente, mas também todo o conhecimento acumulado sobre os males que estamos causando em nosso próprio mundo (como o aquecimento global, as extinções maciças de espécies provocadas pelos desmatamentos e a destruição da camada de ozônio na atmosfera). Desnecessário dizer que aí também estão as chaves para evitar toda essa destruição.

Mas a melhor qualidade do espaço, para alunos, professores e entusiastas, talvez seja a de que ele é infinito. Em consequência, sua prospecção produz uma infinidade de possibilidades. Destinamos, por isso, o último capítulo a uma narrativa do que o futuro nos aguarda no campo da astronáutica. E tem muita coisa boa vindo aí, que será construída pelos jovens de hoje, inspirados pelo que estamos dizendo a eles neste exato instante.

Por isso inspirar a juventude é tão fundamental. Desse modo, estaremos não só promovendo o desenvolvimento científico e tecnológico de nossa própria nação, mas sobretudo cultivando a deliciosa curiosidade que é inata ao ser humano e fornecendo os meios para que ela se manifeste de maneira saudável e produtiva, garantindo assim a proteção de nosso maior legado: a capacidade de compreender e manipular a natureza.

Vamos?



capítulo 4

RUMO AO ESPAÇO

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

Exceção feita a Urano e Netuno, os demais planetas do Sistema Solar eram conhecidos desde que o ser humano apareceu na face da Terra. Conseqüentemente, o desejo humano de voar como os pássaros e, com isso, abrir as portas para conhecer outros mundos fora da Terra é antigo.

As descobertas de Galileu, Kepler e Newton, na segunda metade do último milênio, somente aguçaram esse sonho. Antes que outros gênios os sucedessem e criassem os meios necessários à realização da empreitada, coube à literatura concretizar a missão, por meio do gênero conhecido como **ficção científica**.

Esse estilo literário em que normalmente se encaixam as narrativas de viagens espaciais costuma ser identificado como um fenômeno do século 20. Não sem razão; a maioria dos ícones populares da modalidade surgiu nessa época: Arthur C. Clarke (1917-2008), Ray Bradbury (1920-), Isaac Asimov, (1920-1992) Edgar Rice Burroughs (1875-1950), Harlan Ellison (1934-), Gene Roddenberry (1921-1991) e tantos outros que povoaram a imaginação da humanidade com suas criações, em livros e nas mídias então emergentes – sobretudo no cinema e na televisão. Mas limitar nossos sonhos de vôo espacial ao século 20 seria um equívoco grosseiro. Na verdade, a expectativa de viagens além da Terra nos acompanha pelo menos desde a Idade Antiga.

A primeira referência possivelmente é o mito grego de Dédalo e Ícaro, pai e filho que teriam fugido do labirinto da ilha grega de Creta (o mesmo que abrigava o mítico minotauro) ao desenvolverem para si mesmos pares de asas. Dédalo atravessou o mar Egeu



Ficção científica: é o gênero literário em que se enquadram as histórias com base num Universo consistente inspirado pelas possibilidades e limitações impostas pelo conhecimento científico. Normalmente, mas não necessariamente, esses enredos envolvem narrativas futuristas.

Arthur C. Clarke (1917-2008) é mais famoso por ter escrito o livro e o roteiro do filme “2001: Uma Odisséia no Espaço”.

Ray Bradbury (1920-) é conhecido pelos livros “Fahrenheit 451” e “As crônicas marcianas”.

Isaac Asimov (1920-1992) é autor da mais pródiga antologia de contos sobre robôs e criador das famosas “Três leis da robótica”.

Edgar Rice Burroughs (1875-1950) escreveu vários romances ambientados em Marte, mas ficou mais famoso ao criar o personagem “Tarzan”.

Harlan Ellison
(1934-) é um famoso e controverso escritor de ficção científica literária e televisiva.

Gene Roddenberry
(1921-1991) é o criador da série de televisão “Jornada nas Estrelas” (Star Trek).

e pousou no solo em segurança. Já Ícaro acabou seduzido pela curiosidade; ao voar, decidiu tentar alcançar o Sol. Ao se aproximar do astro-rei, a cera que colava as penas de suas asas começou a derreter e os artefatos se desmancharam, levando o intrépido aeronauta a despencar dos céus e encontrar seu fim no mar.

Obviamente, esse mito era apenas uma alegoria – quem quer que o tenha criado, não tinha em mente discutir viagens espaciais, mas sim enfatizar o espírito curioso, audaz e às vezes inconseqüente que o ser humano abriga dentro de si. Outros escritos da Antiguidade seguiram nessa mesma linha, usando o que seriam precursoras conceituais das viagens espaciais como formas metafóricas de discutir a condição humana.

Exemplo célebre desse tipo de narrativa é a obra *Verae historiae* [Histórias verdadeiras], escrita por Luciano de Samósata (125-181) (Samósata é uma cidade da Síria), no século 2. O autor conta ali a trajetória de uma tripulação que, ao enfrentar uma fortíssima tempestade em alto-mar, acaba sendo arremessada, em seu navio, numa jornada de sete dias até a superfície lunar – então descrita como uma grande ilha luminosa. Lá, os navegantes acabam envolvidos num conflito entre os habitantes da Lua e os do Sol. Com o estabelecimento de uma trégua, os aventureiros conseguem voltar à Terra.

Entretanto, a primeira obra que merece ser realmente considerada precursora da ficção científica é o *Somnium*, de Johannes Kepler. Para conseguir seu intento sem despertar a raiva das autoridades, ele “camuflou” suas idéias numa estória.

O pequeno livro conta a história de Duracotus, um rapaz que é expulso de casa por sua mãe Fiolxhilde e vaga pelo mundo até arranjar um trabalho sob a tutela do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe. Após cinco anos de observações com o prestigiado cientista, Duracotus decide voltar para casa. Sua mãe fica feliz em revê-lo, enquanto ele descreve o que aprendeu sobre a Lua e os corpos celestes. Fiolxhilde revela então que já sabia de todas essas coisas, e muitas outras, instruída por um ente benigno, o “demônio da Lavania” – ninguém menos que o espírito da Lua.

Ela diz que a criatura tem o poder de transportá-los até a superfície lunar, oferta que se torna irrecusável para Duracotus. Levados em uma jornada de quatro horas, os dois são recebidos pelo “espírito” e assistem a uma verdadeira aula sobre astronomia e biologia lunares.

Um marco na história da literatura, a narrativa kepleriana abriria o terreno para o surgimento de outros escritores dispostos a produzir “ficção científica” de verdade. Vários seguiram essa trilha, até chegarmos ao maior ícone do gênero pré-século 20: o celebrado Júlio Verne (1828-1905).

Tido até hoje como o “pai” da ficção científica moderna, Verne descreveu várias revoluções tecnológicas do século 20 com décadas de antecipação. Submarinos, balões e viagens ao centro da Terra figuram entre os temas por ele abordados, sempre com um enfoque de aventura “científica”. Mas, de todas essas histórias, é difícil encontrar maior inspiração premonitória do que em “Da Terra à Lua”, de 1865, e sua continuação, “Viagem ao Redor da Lua”, de 1870.

Essas duas obras descrevem com incrível exatidão traços que depois seriam espelhados na verdadeira epopéia lunar. Para começar, Verne aposta nos Estados Unidos como o país capaz de empreender o esforço que levaria os primeiros seres humanos à superfície da Lua – uma previsão que, historicamente, se mostrou correta. O escritor francês também percebeu que um projeto dessa magnitude só poderia ser atingido a partir da canalização das pesquisas bélicas para outros propósitos.

A história se passa após a Guerra Civil americana (1861-1865), na qual morreram mais de 600 mil pessoas. Em Baltimore, os membros do chamado Clube do Canhão (entidade que agregava todos os fabricantes e inventores de armamentos dos EUA) andavam cada vez mais entediados com o cessar-fogo e o fim dos conflitos. Na falta de perspectiva de novos combates, seu presidente, Impey Barbicane, decide iniciar um empreendimento que traria de volta o velho ânimo dos afiliados da instituição: seu plano era enviar um projétil até a Lua, usando o maior canhão já construído.

*O francês **Júlio** (ou Jules) **Verne** foi autor de várias obras inspiradoras de ficção científica, sempre no clima de celebração da ciência que marcou a segunda metade do século 19. Entre seus livros mais famosos estão “A Volta ao Mundo em 80 Dias”, “Da Terra à Lua” e “Viagem ao Centro da Terra”.*

Os intrépidos cientistas bélicos começam então a estabelecer os parâmetros para a construção desse artefato capaz de disparar um projétil, grande o suficiente para ser avistado por telescópios, até a superfície lunar. Consultando os astrônomos do Observatório de Cambridge, constatam que seu canhão precisaria ter quase 300 metros de comprimento. O projétil, para ser grande e ainda assim leve, deveria ser oco e composto majoritariamente por alumínio. Os cientistas consultados apontaram que a ocasião ideal para o lançamento ocorreria em 1º de dezembro de 1866, e a equipe do Clube do Canhão começa a trabalhar freneticamente para construir os sistemas requeridos.

Em meio aos trabalhos, surge um aventureiro francês, de nome Michel Ardan [Miguel, como foi adaptado na tradução para o Português], que propõe a Barbicane a troca do projétil original por um outro, de sua criação. O objetivo é mandá-lo pessoalmente na viagem, no interior do projétil.

A proposta é recebida com entusiasmo, e Ardan se torna um herói nacional. O único a se opor é o capitão Nicholl [Nícoles], um velho desafeto de Barbicane. Pouco antes do lançamento, os dois cientistas bélicos quase entram num duelo mortal, mas Ardan consegue apaziguá-los e convencê-los a viajar com ele no projétil. Retro-foguetes seriam utilizados, como forma de fazer o projétil alunissar suavemente ao solo lunar, onde, diga-se de passagem, os intrépidos terráqueos pretendiam estabelecer uma colônia e lá ficar para sempre.

Na data planejada, o trio parte a bordo da cápsula, que é disparada pelo gigantesco canhão Columbiad, instalado na Flórida, por sua posição geográfica favorável. O projétil acaba sendo desviado da trajetória original por um asteróide e não atinge a



Figura 4.1. Ilustração original de "Da Terra à Lua", de Júlio Verne (1865).

Nasa. www.nasa.gov/

superfície lunar. Em vez disso, é colocado num vôo circunlunar, retornando à Terra alguns dias depois, fazendo um “pouso” nas águas do oceano Pacífico. Os três heróis são resgatados e a história do primeiro vôo até a Lua se torna um *best-seller*.

A quantidade de similaridades entre a narrativa lunar de Verne e o **Projeto Apollo** (1967-1972), da National Aeronautics and Space Administration (Nasa) [Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço], conduzido quase exatamente cem anos depois, é assustadora.

Seria preciso quase um século para que a ficção científica se tornasse fato científico.

PENSANDO EM FOGUETES

Em 1892, o brasileiro Alberto Santos Dumont (1873-1932) visitou a França, aos 17 anos. No ano seguinte, decidiu mudar-se para Paris. Chegou a retornar ao Brasil por curto período e, em 1897, estabeleceu-se em definitivo na capital francesa com o propósito de se tornar aeronauta. Vários especialistas dão a Alberto Santos Dumont o crédito de ter sido a primeira pessoa a realizar um vôo numa aeronave mais pesada do que o ar por meios próprios, dado que o Flyer dos irmãos Wright, embora voasse pelos próprios meios desde 1903, originalmente só decolava com o auxílio do vento ou de uma catapulta. Quanto ao nosso compatriota, seu vôo foi testemunhado por centenas de pessoas em Paris. Era 23 de outubro de 1906 e o 14-Bis desafiava a lei da gravidade executando um vôo nivelado de 60 metros, entre dois e três metros acima da superfície da Terra.

Enquanto os irmãos Wright, Santos Dumont e vários outros pioneiros desafiavam a gravidade, o russo Kostantin Tsiolkovsky (1857-1935), outro fã de Verne, desenvolveu a teoria de que os foguetes poderiam chegar ao espaço.

No entanto, a história dos foguetes é bem mais antiga. Em 1232, a China estava em guerra contra os invasores mongóis, razão,



Projeto Apollo: foi o grande esforço conduzido pelos americanos para enviar astronautas à superfície lunar até o final da década de 1960. Os trabalhos foram iniciados por determinação do presidente John F. Kennedy (1917-1963), em 1961 e o objetivo era o de estabelecer, em menos de dez anos, uma supremacia americana sobre os soviéticos na corrida espacial.



Figura 4.2. Ilustração mostra antigo modelo de foguete chinês, do século 13.



Escarlatina:

doença que afeta principalmente crianças e hoje, ao ser tratada com antibióticos, não é tida como perigosa. Ela é causada por uma bactéria chamada *Streptococcus pyogenes*.

aliás, para o início da construção da Muralha da China. Reza a história que, na famosa batalha de Kai-Keng, o exército chinês bloqueou o avanço das forças de invasão com o uso de “flechas de fogo voador”. Eram os primeiros foguetes de verdade. Não é surpreendente que eles tenham surgido entre os chineses. Afinal, eles foram os primeiros a desenvolver a pólvora. Inventaram também a bússola.

Embora o funcionamento dos antigos foguetes de guerra chineses e dos veículos espaciais modernos seja em princípio similar, há uma gigantesca distância entre os primeiros e os últimos. E esse trajeto só começou a ser percorrido quando Tsiolkovsky entrou no jogo, no início do século 20.

Tsiolkovsky nasceu na pequena vila de Ijevskoe, a 900 quilômetros de Moscou. Aos dez anos de idade, após uma crise de **escarlatina**, perdeu quase completamente a audição. Frequentar a escola já não foi mais possível. Em vez de se resignar, o rapaz devorou todos os livros que seu pai tinha em casa. E a aeronáutica desde cedo o cativou. Quando deixou sua casa e foi viver em Moscou, em 1873, sua capacidade de aprender e criar atingiu níveis assustadores. A modesta coleção de livros do pai foi trocada pelas grandes bibliotecas moscovitas, e logo Tsiolkovsky provou estar adiante de seu tempo. Com incrível capacidade de abstração para problemas teóricos de física e química, ele se tornou um eminente membro da comunidade científica russa, mesmo sem nenhuma formação acadêmica.

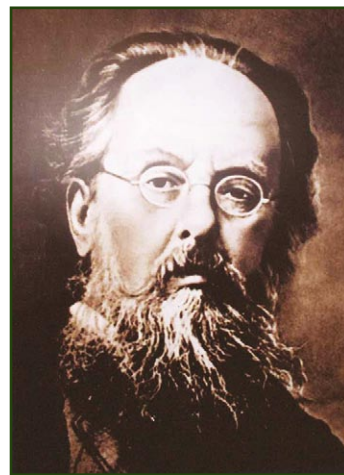


Figura 4.3. Konstantin Tsiolkovsky.

Na aurora do século 20, ele já especulava sobre o potencial de hidrogênio e oxigênio líquidos como combustíveis para foguetes (hoje uma tecnologia amplamente empregada pelos foguetes modernos), descrevia a sensação de ausência de peso para seres humanos em órbita, propunha naves que permitissem a saída de tripulantes em pleno espaço, envolvidos por trajes pressurizados, especulava sobre uma viagem a Marte, sugeria o uso de giroscópios para o controle de atitude (a orientação que uma nave assume no espaço) e calculava a velocidade necessária para que um foguete vencesse a atração gravitacional da Terra o suficiente para entrar em órbita (cerca de 8 km/s).

Seus feitos extraordinários no campo teórico estavam pelo menos 50 anos à frente da tecnologia exigida para torná-los realidade. O desenho do meio da Figura 4.4, por exemplo, mostra um ser humano deitado no topo do foguete. Tsiolkovsky é hoje tido como o pai da astronáutica (ciência da navegação pelo espaço), por ter traçado de forma tão clara o caminho a perseguir, mesmo sem ter realizado um experimento sequer.

Claro, a ausência de experimentos deixou para futuros pesquisadores o fardo de comprovar a praticidade de todas as idéias sugeridas pelo teórico russo. E um dos que assumiram esse fardo com mais entusiasmo, a despeito de todo o ceticismo ao seu redor, foi o americano Robert Hutchin Goddard (1882-1945).

Desde cedo, Goddard adquiriu interesse pelos avanços da ciência, com todo o furor da introdução da eletricidade no cotidiano das grandes cidades. Logo sua atenção migrou para o campo nascente da astronáutica. Goddard tinha o hábito de anotar e registrar todas as suas atividades, o que permitiu determinar exatamente

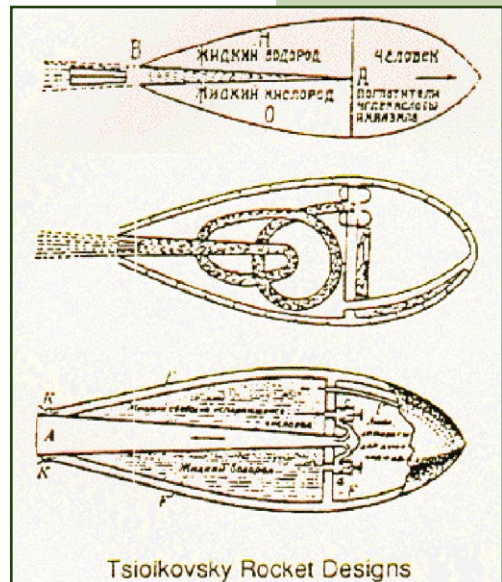


Figura 4.4. Foguetes projetados por Tsiolkovsky.

Herbert George Wells (1866-1946) foi um prolífico escritor de ficção científica britânico. Entre suas grandes obras estão “A Máquina do Tempo” e “A Guerra dos Mundos”.

o dia em que ele cismou de trabalhar com foguetes: 19 de outubro de 1899. Influenciado pela obra de ficção de H.G. Wells “A Guerra dos Mundos” e pelas observações do astrônomo Percival Lowell (1855-1916), que imaginara a existência de uma civilização marciana, Goddard, desde cedo, sonhou com uma viagem a Marte. Para alcançar esse objetivo, ele se formou em física em 1908 e no ano seguinte já estava imaginando a primeira grande inovação no campo – o uso de combustível líquido.

Apesar do pouco respeito que tinha nos círculos científicos e fora deles, o americano continuou trabalhando no assunto até 1919, quando publicou seu trabalho mais importante: *A method of reaching extreme altitudes* [Um método para atingir altitudes extremas].

Na obra, Goddard detalha suas pesquisas com combustíveis sólidos e líquidos e suas equações matemáticas descrevendo o vôo dos foguetes, bem como estabelece até mesmo a eventual viabilidade

de que um foguete seja o meio de transporte adequado para um vôo até a Lua – a resposta ao problema de Júlio Verne!

Em que pese o ceticismo reinante, o pesquisador seguiu experimentando. Lançou seu primeiro foguete de combustível líquido em 16 de março de 1926. O veículo subiu somente 12,5 metros, em 2,5 segundos – mas era já uma prova de princípio da tecnologia de propulsão líquida para foguetes.

Goddard faleceu em 1945 sem ver seu sonho concretizado. Deixou 214 dos seus inventos patenteados. Caberia a um gênio alemão tornar realidade a visão de Kepler, as teorias de Tsiolkovsky e o sonho de Goddard. Seu nome: Wernher Magnus Maximilian von Braun (1912-1977).



Figura 4.5. Robert Goddard posa para foto ao lado de um de seus primeiros foguetes.

O interesse por foguetes já era ativo entre os alemães bem antes de Adolf Hitler (1889-1945) resolver tentar conquistar o mundo. Ainda garoto, von Braun participou da “Sociedade para Vôo Espacial”. Desde 1927, fazia experimentos com propulsão líquida, por uma razão óbvia – após a Primeira Guerra Mundial, a Alemanha foi proibida de experimentar com foguetes de propelente sólido (uma espécie de pólvora *high-tech* que serve como combustível para a ação do motor), que já estavam consolidados como armas de guerra. Mas, com a ascensão do governo nazista, experimentos civis foram proibidos e a Sociedade foi dissolvida. Quem quisesse trabalhar com foguetes deveria seguir a via militar. Foi o que fez von Braun.

E não há dúvida de que o conhecimento acumulado por Goddard ajudou o alemão a desenvolver, no complexo militar instalado na pequena cidade de Peenemünde, o foguete que o tornaria mais famoso: o V-2. Foi com ele que, em 1944, já no fim da Segunda Guerra Mundial, os alemães conseguiram atacar a Inglaterra, realizando vários bombardeios sobre Londres. Ao fim do conflito, diversos foguetes não-lançados foram apreendidos, e Goddard, desconsolado, identificou neles vários elementos que ele mesmo havia desenvolvido. O cientista de foguetes americano morreria meses depois.

O conhecimento, entretanto, acabaria repatriado pelos Estados Unidos após a guerra, quando Hermann Oberth (1894-1989), von Braun e vários outros especialistas de



Figura 4.6. Wernher von Braun, já nos Estados Unidos, segura modelo do foguete V-2.



Figura 4.7. Hermann Oberth e Wernher von Braun, em 1961, nos EUA.



Figura 4.8. Sergei Korolev.

foguetes alemães foram levados à América para trabalhar para o Exército americano.

Com o fim da guerra, a União Soviética ficou igualmente interessada no assunto e também capturou diversos especialistas alemães, que ajudaram a nação comunista a desenvolver seus próprios foguetes. Os trabalhos de Tsiolkovsky são trazidos de volta à luz, após anos de esquecimento, e surge entre os russos a figura que melhor representa a nova era que estava prestes a

se anunciar: Sergei Pavlovich Korolev (1907-1966).

Nascido em Zhytomyr, então parte do Império Russo, hoje Ucrânia, Korolev (pronuncia-se “Karaliiov”) começou seu interesse por engenharia no campo da aviação. Chegou a projetar vários desenhos de planadores e aeronaves até lançar seu primeiro foguete, em 1933, já com sonhos de missões espaciais.

Em 1938, foi injustamente preso pelo governo soviético e enviado a um *gulag* (campo de trabalhos forçados) na Sibéria. Sobreviveu ao encarceramento, embora tenha perdido todos os dentes e a boa saúde. Foi libertado quando as lideranças comunistas começaram a perceber a utilidade de foguetes como mísseis. Korolev inspecionou pessoalmente, na Alemanha, os materiais confiscados

pelo Exército Vermelho sobre os V-2 de von Braun, e trabalhou com vários pesquisadores alemães capturados para estabelecer a liderança russa nessa tecnologia.

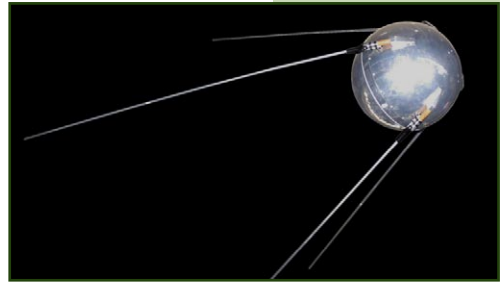
Seu primeiro projeto de foguete após a libertação foi uma reconstrução fiel do V-2, em 1947. O chamado R-1 acabou funcionando com o mesmo nível de confiabilidade obtido por von Braun, e logo Korolev estava desenvolvendo outro modelo. Seu enfoque de trabalho eram



Figura 4.9. O R-7, primeiro lançador de satélites do mundo.

os mísseis de longo alcance, capazes de levar artefatos nucleares a qualquer ponto do mundo ocidental. Caberia a ele, portanto, a tarefa de conceber o primeiro foguete capaz de realmente colocar um artefato em órbita ao redor da Terra.

Aconteceu com o R-7. Após várias tentativas fracassadas de lançamento, o primeiro desses foguetes de grande porte a realizar sua missão a contento partiu da base de Baikonur (localizada no Cazaquistão, uma ex-república soviética) em agosto de 1957. Menos de dois meses depois, em 4 de outubro de 1957, os soviéticos usariam um foguete do mesmo modelo para lançar com sucesso o primeiro **satélite artificial** da Terra, o Sputnik 1. Com esse evento eletrizante, começava a chamada Era Espacial.



Danton Villas Bôas (IAE/CTA).

Figura 4.10. Réplica do Sputnik 1 em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB).

CORRIDA PELA SUPREMACIA MUNDIAL

Entre 1957 e 1958, ocorreu o chamado Ano Geofísico Internacional – um grande evento temático que se propôs a reunir cientistas de todas as partes do mundo em atividades voltadas para o estudo da Terra. Quando os americanos especularam sobre a possibilidade de lançar um satélite artificial, surgiu a desculpa perfeita para Sergei Korolev voltar suas atividades para a exploração espacial: embora o R-7 fosse originalmente um míssil balístico intercontinental, seus potenciais usos desde o início incluíam o lançamento de satélites em órbita. Com o anúncio público dos americanos, Korolev conseguiu autorização do Partido Comunista soviético para perseguir a meta de lançar um satélite artificial antes dos Estados Unidos. Ironicamente, a despeito da promessa, poucos recursos estavam sendo devotados pelos americanos para de fato realizar este feito.

Tudo foi resolvido muito rapidamente e o lançamento do Sputnik 1 veio como uma surpresa. O primeiro satélite artificial terrestre se



Satélite artificial: todo e qualquer objeto colocado em órbita de um corpo celeste, incluindo a Terra, por ação de uma civilização espacial.

resumia a uma esfera com quatro antenas de rádio, que transmitia um sinal na forma de bipes. Com cerca de 50 cm de diâmetro e pesando 80 quilogramas, o efeito psicológico do lançamento foi avassalador. Mas não na União Soviética.

Lá, no dia após o lançamento, ou seja, 5 de outubro de 1957, o jornal russo Pravda deu a notícia no pé da primeira página, com pouco destaque. Mesmo o governo soviético não estava ligando muito para o sucesso. O líder comunista Nikita Khrushchev (1894-1971), sucessor de Stalin (1878-1953), lembrou o episódio da seguinte maneira:

Quando o satélite foi lançado, eles me telefonaram dizendo que o foguete tinha tomado o curso correto e que o satélite já estava girando em torno da Terra. Eu parabeneizei o grupo inteiro de engenheiros e técnicos nesse feito impressionante e calmamente fui para a cama.

O furor aconteceu mesmo no Ocidente. Nos Estados Unidos, o jornal The New York Times julgou o fato merecedor de uma manchete de três linhas na primeira página:

Soviéticos disparam satélite terrestre para o espaço;
Está circulando o globo a 18 mil milhas por hora;
Esfera é rastreada em quatro passagens sobre os EUA.

Ao ver a reação dos adversários, os soviéticos perceberam o poder de propaganda que a exploração espacial poderia desempenhar. Khrushchev imediatamente instruiu Korolev a preparar um novo lançamento. Em 3 de novembro de 1957, era lançado ao espaço o Sputnik 2, que levava no seu interior a cachorrinha Laika – o primeiro animal a deixar a Terra. Com a pressa de impressionar, os russos não se preocuparam em desenvolver uma forma de trazer Laika de volta após a viagem; ela seria sacrificada no espaço. Ainda assim, o feito era impressionante. Em dois meses, a União Soviética havia lançado dois satélites, e um deles transportava um cão!



Figura 4.11. Primeira página do "The New York Times" após o lançamento do Sputnik 1.

Entre os militares americanos, o sucesso soviético não veio como surpresa total. Mas para o público a reação foi de choque, o que obrigou o governo dos Estados Unidos a acelerar sua própria corrida rumo ao espaço.

O projeto então em andamento para o lançamento do satélite, chamado Vanguard [Vanguarda] e desenvolvido pela Marinha, foi acelerado, o que levou a uma tentativa prematura de lançamento em 6 de dezembro de 1957. Diante das câmeras de televisão do mundo todo, o foguete americano levaria ao espaço um “satélite” de massa ridiculamente pequena, mesmo se comparado ao também pequeno Sputnik 1. Mas o lançador subiu por apenas dois segundos antes de despencar e explodir a plataforma de lançamento, num acidente espetacular – e embaraçoso.

Foi quando o presidente dos Estados Unidos Dwight Eisenhower (1890-1969) se voltou para Wernher von Braun e sua equipe. O alemão já estava desenvolvendo, paralelamente ao Vanguard, seu próprio projeto de foguete lançador de satélites, chamado Jupiter-C – ele era uma versão do míssil Redstone, que por sua vez era um descendente direto do velho V-2.

Então, em 31 de janeiro de 1958, com um lançamento feito a partir do Cabo Canaveral, na Flórida, o Explorer 1, primeiro satélite americano, chegava à órbita com sucesso.

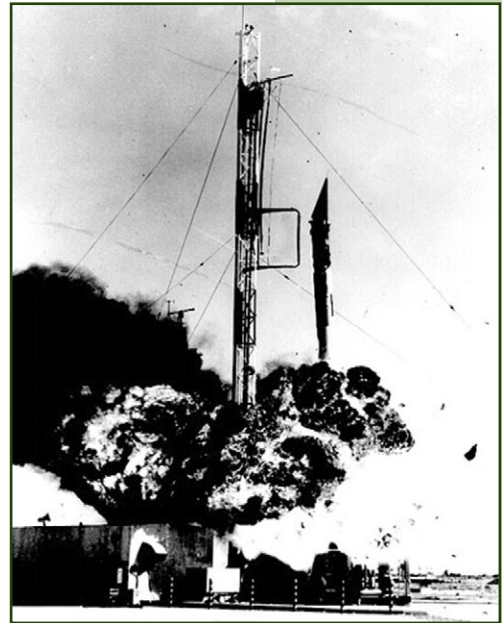


Figura 4.12. Tentativa malograda de lançar satélite americano em 1957.

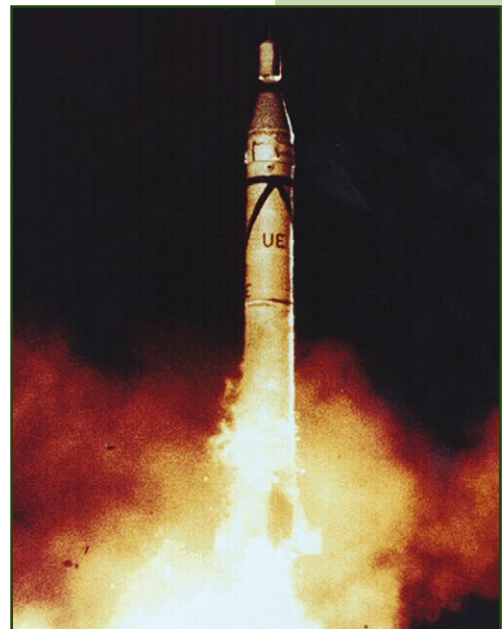


Figura 4.13. Lançamento bem-sucedido do Explorer 1, em 31 de janeiro de 1958.

Nasa. www.nasa.gov/

Nasa. Publicada no sítio da U.S. Centennial of Flight Commission. www.centennialofflight.gov/



Guerra Fria foi o continuado conflito dissimulado entre americanos e soviéticos iniciado após a Segunda Guerra Mundial. Ele não envolvia combate direto entre as duas superpotências; em vez disso, os dois lados manipulavam outras nações numa disputa bipolarizada pela supremacia mundial. A Guerra Fria só terminou com o fim da União Soviética, no início dos anos 1990.

Yuri Gagarin (1934-1968) foi o primeiro homem a atingir o espaço, em 12 de abril de 1961. Filho de uma família humilde e com formação de piloto militar de aviões, tinha o perfil ideal para ser convertido em herói mundial pelo governo comunista da União Soviética.

Era um pequeno dispositivo com apenas 14 quilogramas, mas colocava os Estados Unidos na corrida espacial.

O mundo inteiro acompanhava com grande interesse (e muitas vezes preocupação) esta corrida. Embora fosse mascarada como o sonho humano de atingir as estrelas, todos sabiam que na verdade se tratava de uma disputa para mostrar qual das

duas superpotências – e qual sistema político-econômico – tinha o desenvolvimento científico e bélico mais pujante. Era a Guerra Fria alimentando a Corrida Espacial. E, no início, os soviéticos abriram uma enorme dianteira.

Korolev, encorajado pelos sucessos iniciais, conseguiu convencer seu governo a perseguir um programa tripulado.

Em 12 de abril de 1961, o sonho se tornava realidade, com a viagem de Yuri Gagarin (1934-1968) à órbita terrestre. Ele deu apenas uma volta ao redor da Terra, percurso coberto em 108 minutos, e retornou ao ponto de partida.

A nave que levou o primeiro cosmonauta (modo como os russos chamam seus astronautas) da história, a Vostok 1, era totalmente automatizada. A Gagarin coube apenas o papel de assistir sentado ao espetáculo e contar a novidade à equipe de controle: “A Terra é azul”.

A essa altura, os soviéticos já haviam desenvolvido tecnologias para que a cápsula fizesse a reentrada na atmosfera e sobrevivesse a esse processo violento, mas ainda não havia meio de realizar



Figura 4.14. Yuri Gagarin, primeiro viajante espacial da história, em seu traje de vôo.

Nasa. www.nasa.gov/

um pouso suave – Gagarin teve de ser ejetado da Vostok 1 quando a cápsula estava a cerca de quatro quilômetros do chão.

A escotilha da nave se abriu, seus cintos de segurança foram automaticamente arrebrandos. Dois segundos depois, Gagarin foi atirado para fora da espaçonave realizando uma descida suave de pára-quedas até o chão.

Após seu retorno, o cosmonauta foi ovacionado mundialmente. Fez viagens pelos quatro cantos do mundo, a convite de vários países, como Finlândia e Inglaterra. Na América, ele passou por Cuba e pelo Brasil, onde esteve no Rio de Janeiro, em São Paulo e em Brasília. Sua estada em terras brasileiras começou no dia 29 de julho de 1961 e terminou em 5 de agosto. No dia 2 de agosto, o presidente Jânio Quadros (1917-1992) condecorou Gagarin com a Ordem do Cruzeiro do Sul e, um dia depois, criou o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Gocnae), funcionando em São José dos Campos, SP. Era o início do Programa Espacial Brasileiro.

A missão de Gagarin também enfatizou, mais uma vez, que os americanos estavam atrás dos soviéticos na corrida espacial. O presidente dos Estados Unidos, John F. Kennedy (1917-1963), não gostava nada desta situação. Em reunião com as lideranças da nova agência espacial americana, Nasa, perguntou qual projeto poderia colocar, a médio prazo, os ianques à frente dos soviéticos. A resposta era propor uma missão tripulada à Lua. Em 25 de maio de 1961, Kennedy, diante do Congresso Americano, profetiza:

Penso que esta nação deve empenhar-se para que o objetivo de pousar um homem na Lua e trazê-lo de volta à Terra a salvo seja atingido antes do fim desta década. Nenhum outro projeto será mais importante para a humanidade, mais difícil ou mais caro de ser alcançado. (Disponível em: <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/moondec.html/>. Acesso em: 29 jan. 2009.)

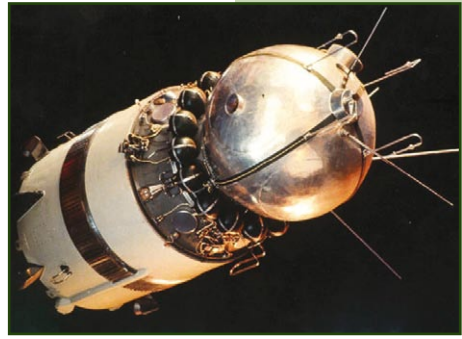


Figura 4.15. Modelo da nave Vostok 1, que levou Yuri Gagarin ao espaço.

Entre 1961 e 1969, russos e americanos empreenderam uma fantástica corrida pela Lua. Os americanos dividiram seu plano lunar em três etapas: Programa Mercury (1961-1963); Programa Gemini (1965-1966); e Programa Apollo (1967-1972). Com o Programa Mercury, os americanos repetiram o feito soviético e colocaram John Glenn (1921-) em órbita da Terra, em 20 de fevereiro de 1962.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.16. O russo Alexei Leonov faz a primeira caminhada espacial da história, em 1965.

Posteriormente, com as Gemini, os americanos aprenderam o verdadeiro significado das leis de Newton e conseguiram efetuar o acoplamento de duas espaçonaves movendo-se a 28.000 km/h cada. Realizaram também a primeira atividade extraveicular americana, conhecida pela sigla em inglês EVA. Nela, Ed White (1930-1967) deixa a cápsula e enfrenta o ambiente espacial. Mas a primeira “caminhada espacial” foi feita pelos russos, em 1965, quando Alexei Leonov (1934-) passou alguns minutos fora de sua nave, a Voskhod 2.



Wikipedia. www.wikipedia.org/

Figura 4.17. O Saturno V, foguete americano para a ida à Lua.

Findo o Programa Gemini, os americanos, capitaneados por von Braun, tinham desenvolvido o Saturno V, capaz de atingir a estonteante velocidade de 40.000 km/h e permitir, portanto, a viagem de uma tripulação em direção à Lua. O Saturno V permanece até hoje como o maior e mais possante foguete construído pelo ser humano. Com 110 metros de comprimento, 10 metros de diâmetro e pesando 3 milhões de quilogramas (equivalente ao peso de 3.000 automóveis), o Saturno V consumia cerca de 13 toneladas de combustível a cada segundo. Uma maravilha tecnológica, mesmo para os padrões tecnológicos da atualidade.

Os russos também mantiveram um ritmo acelerado, com dezenas de lançamentos. Em 3 de agosto de 1964, o Partido Comunista havia autorizado o esforço para a realização de vôos circunlunares (em volta da Lua) e, finalmente, uma alunissagem (pouso lunar). Conhecido pela estranha sigla “N-1/L-3”, o programa previa a construção de três veículos. Em janeiro de 1966, antes que qualquer uma dessas naves pudesse sair do chão, Korolev morre – segundo as fontes oficiais, vitimado por um câncer, após uma cirurgia fracassada. Sem sua mais forte liderança, o projeto começa a perder o rumo e não consegue realizar sequer um vôo bem-sucedido. O primeiro teste só pôde ocorrer em 20 de fevereiro de 1969 e terminou rapidamente,

com um defeito no primeiro estágio do foguete. Outros três testes foram realizados (3 de julho de 1969, 27 de junho de 1971 e 23 de novembro de 1972), todos com falhas, também no primeiro estágio. O quinto e o sexto testes foram agendados para 1974, mas acabaram adiados. O programa foi cancelado em 1976.

Enquanto isso, os americanos continuavam no caminho certo para a Lua. O esquema da missão era simples. Um foguete Saturno V (obra-prima de Wernher von Braun) levava até a órbita terrestre um conjunto de três módulos, um de serviço, um de comando e um lunar. O primeiro serviria para abrigar os sistemas de suporte e manobra do veículo que entraria em órbita da Lua, além dos propulsores que trariam a nave de volta depois da viagem ao satélite natural da Terra. O segundo era o local de habitação dos astronautas durante todo o percurso. O terceiro servia para o pouso na Lua. Três astronautas faziam a viagem, dos quais um ficaria a bordo do módulo de comando numa órbita lunar, enquanto os dois outros iriam à superfície. O trajeto de cerca de 384 mil quilômetros



Figura 4.18. O N-1, foguete russo para a ida à Lua.

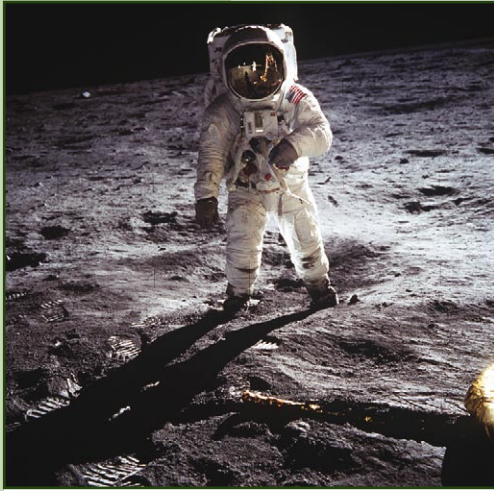


Figura 4.19. Edwin Aldrin na superfície da Lua, fotografado por Neil Armstrong.

exigia três dias e meio na ida e outros três dias e meio na volta.

Lançada 24 anos após o primeiro teste de uma bomba nuclear, 16 de julho de 1969, a Apollo 11 também marcaria, para sempre, a história da humanidade. No dia 20 de julho, às 21h56, horário de Houston, EUA, 23h56 no horário brasileiro, Neil Armstrong (1930-) colocou o seu pé no solo lunar. Os satélites de comunicação já existiam e cerca de um bilhão de terráqueos puderam assistir ao evento do século. Ao pisar no solo lunar, Armstrong proferiu a sua célebre frase: “Um pequeno passo para um homem, um salto gigantesco para a humanidade.”

Coincidentemente, 20 de julho é o dia de nascimento de Santos Dumont. Se fosse vivo, ele completaria naquela data 98 anos.

Depois de 21 horas na superfície (mas apenas duas horas e meia do lado de fora da nave), Neil Armstrong e Edwin Aldrin (1930-) voltam a encontrar Michael Collins (1930-) a bordo do módulo de comando Columbia, cujo nome era uma homenagem ao descobridor do Novo Mundo, Cristóvão Colombo (1451-1506). No Mar da Tranquilidade, Armstrong e Aldrin deixaram a bandeira americana, um sismógrafo, um refletor de raios laser, uma antena de comunicações, uma câmera de TV e a base do módulo lunar, em cuja superfície estava afixada uma placa onde se lia:

*Aqui homens do planeta Terra pela primeira vez
colocaram os pés na Lua*

Julho de 1969, d.C.

Vimos em paz por toda a humanidade.

Assinavam a placa Neil Armstrong, Michael Collins, Buzz Aldrin e Richard Nixon (1913-1994), então presidente dos Estados Unidos.

Os três chegaram à Terra no dia 24 de julho, trazendo várias rochas lunares.

A chegada do homem à Lua mostrou as enormes possibilidades do ser humano e uma visão otimista da tecnologia.

E os russos? Bem, a corrida foi disputada cabeça a cabeça. Três dias antes do lançamento da Apollo 11, os russos lançaram a Luna 15, uma nave não-tripulada cujo objetivo era atingir a superfície lunar, coletar amostras do seu solo e trazê-las de volta à Terra, antes que os astronautas da Apollo 11 o fizessem. A Luna 15 jamais regressou; somente em 12 de setembro de 1970 é que os soviéticos lançaram a primeira missão robótica capaz de pousar na Lua, recolher amostras do seu solo e trazê-las de volta à Terra. Àquelas alturas, a Apollo 12 já havia chegado ao satélite natural.

Por anos a fio, os soviéticos negaram ter tido um programa tripulado de ida à Lua. Só quando a Guerra Fria terminou, os detalhes do projeto (assim como suas deficiências) vieram à tona.

No dia 7 de dezembro de 1972, a Apollo 17 parte na última missão do programa. O vôo marcou a primeira visita de um cientista, mais especificamente um geólogo, Harrison Schmitt (1935-), à superfície da Lua. Acompanhado por Eugene Cernan (1934-), ele realizou o último pouso lunar do século 20 a bordo do módulo lunar Challenger, enquanto Ronald Evans (1933-1990) os esperava no módulo de comando América. O retorno ocorreu em 19 de dezembro.

Se americanos e russos tivessem mantido o ritmo de desenvolvimento e investimentos da época da corrida espacial, é quase certo que o ser humano já teria pousado em Marte. Entretanto, os elevados custos dessas missões levaram ao arrefecimento dos ânimos, de ambos os lados. A partir de então, os russos caminharam em direção ao desenvolvimento de estações espaciais,

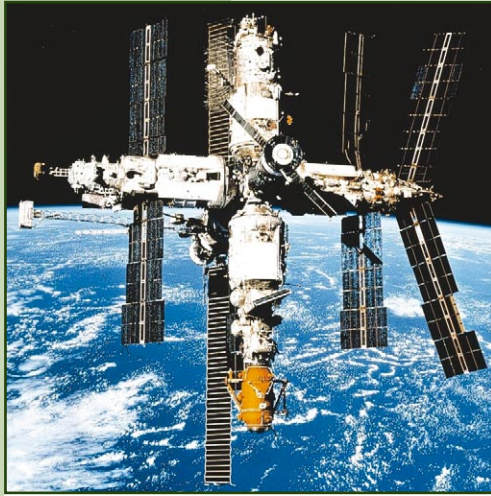


Figura 4.20. A estação espacial russa Mir.



Figura 4.21. Primeiro lançamento do ônibus espacial Columbia, em 12 de abril de 1981.

da qual a Mir [que significa paz em russo] foi a grande vedete. Ela ficou em órbita de 1986 a 2001.

Os americanos, por outro lado, partiram para o desenvolvimento dos ônibus espaciais e, numa homenagem ao vôo de Gagarin, lançaram o seu primeiro ônibus espacial, o Columbia, em 12 de abril de 1981. A essas alturas esses ex-adversários na corrida espacial tinham realizado algo inimaginável na década anterior. Em julho de 1975, uma nave Soyuz (russa) e uma Apollo, ambas tripuladas, acoplaram-se no espaço. Estavam abertas as portas para a cooperação entre dois ex-inimigos da Guerra Fria.

O maior resultado desses novos tempos é a cooperação envolvendo a construção da Estação Espacial Internacional (ISS) [International Space Station], que, de certa forma, une a experiência dos russos na construção e operação de estações espaciais à experiência americana com os ônibus espaciais, primordiais para a conclusão da ISS. Desenvolvida em parceria por Estados Unidos, Rússia, Canadá,

Japão e países europeus, a ISS será o maior e mais espetacular laboratório de pesquisa já construído no espaço. Uma vez concluída, ela terá o tamanho equivalente a um campo de futebol e uma massa de 450 toneladas. Ela orbita a cerca de 350 km da superfície terrestre.

O Brasil chegou a participar da construção da ISS dentro da parte dos Estados Unidos. Sua construção, iniciada em 1998 e ainda em andamento, marca o fim da era de competição no espaço e o início

de uma nova fase. Os investimentos dos diferentes países respondem por cerca de 100 bilhões de dólares – o maior projeto de cooperação internacional da história da humanidade.

Embora seja um excelente laboratório de pesquisa, a ISS não vai a lugar algum – apenas gira em torno da Terra. Portanto, ela não responde por nossos anseios de exploração. Após a corrida para a Lua, o lado exploratório ficou apenas por conta de sondas automáticas.

ROBÔS NO ESPAÇO

Pegando carona na disputa pela supremacia político-econômica no planeta Terra, cientistas soviéticos e americanos desenvolveram espaçonaves capazes de pesquisar outros planetas do Sistema Solar. Desde então, quase 200 sondas deixaram a Terra com destino aos planetas e luas do nosso sistema planetário. Foi a corrida espacial fomentando a pesquisa espacial.

As primeiras tentativas de enviar espaçonaves não-tripuladas para explorar o espaço ocorreram no final dos anos 1950 e início dos anos 1960. Os alvos iniciais foram primeiro a Lua e, pouco depois, os planetas vizinhos: Vênus e Marte.

Até hoje, o satélite natural da Terra foi o único corpo celeste a passar pelas quatro fases possíveis de excursão não-tripulada. Num primeiro momento, ocorrem os sobrevôos – a sonda apenas faz uma visita rápida, tira umas fotos e toma algumas leituras enquanto passa pelo objeto-alvo. As missões soviéticas Luna foram as primeiras a conduzir esse tipo de esforço, a partir de 1959. De fato, entre o lançamento do Sputnik e o vôo de Gagarin, os russos lançaram a Luna 3, sonda que, em outubro de 1959, fotografou a face da Lua que jamais

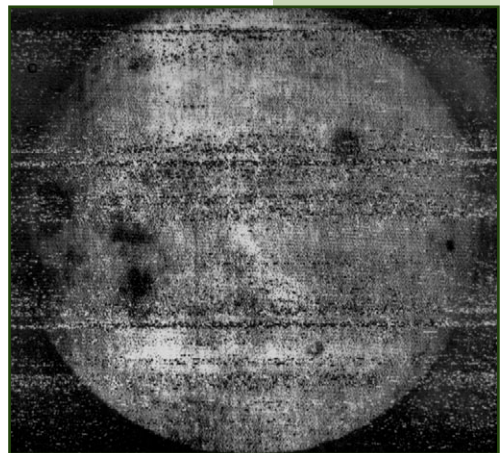


Figura 4.22. Imagem do lado oculto da Lua, enviada pela sonda soviética Luna 3 em 1959.

Nasa. www.nasa.gov/

é vista pelos terráqueos. Um pouco antes, em 1958, os americanos lançaram o satélite Explorer 1 e, com ele, fizeram a primeira descoberta científica da era espacial: o cinturão de van Allen, do qual falaremos um pouco mais no próximo capítulo.

Num segundo momento, há uma bifurcação. É possível apostar em missões orbitais ou de superfície. Se a exploração é feita da forma mais racional, normalmente as primeiras precedem as segundas, e os dados obtidos a partir da órbita são usados para selecionar os melhores locais de pouso para as missões de superfície. No início dos anos 1960, entretanto, colocar uma sonda em torno de qualquer astro, até mesmo da Terra, era fato inusitado. O resultado acabou se manifestando numa inversão de prioridades. As primeiras sondas americanas enviadas à Lua, por exemplo, foram as Rangers, que se chocavam contra a superfície. Foi com essas missões que começaram a ser realizadas as seleções para os locais das alunissagens tripuladas do Projeto Apollo.

Antes que o primeiro ser humano colocasse os pés sobre a Lua, entretanto, a Nasa decidiu que seria bom desenvolver também sondas não-tripuladas com capacidade de colocação em órbita lunar [*Lunar Orbiters*] e pouso suave [*Surveyors*].

Exploração de Marte

Para cobrir a distância de cerca de 384 mil quilômetros entre a Terra e a Lua, são necessários três dias e meio. Viajando à velocidade da luz, um sinal enviado da Terra demora pouco mais de 1 segundo para chegar à Lua. Além da Lua, o único outro corpo a se aproximar de um estágio que permitiria o envio de humanos é Marte. Entretanto, as dificuldades para o envio de uma missão tripulada a Marte são muito superiores às de uma viagem à Lua. Para começar, a distância média Terra-Marte é de 80 milhões de quilômetros. Somente a viagem de ida ocuparia de oito a nove meses. Nessas condições, uma mensagem entre esses dois planetas demoraria cinco minutos.

Ao chegar a Marte, a tripulação encontraria um ambiente hostil. Na sua atmosfera predomina o dióxido de carbono (CO₂), a uma pressão equivalente a um centésimo da pressão atmosférica terrestre. Exposto a essa baixíssima pressão, o sangue humano ferveria. A variação de temperatura também é enorme: -140°C a 20°C, e a gravidade é 40% daquela existente na superfície terrestre. Para completar, não existe ozônio na atmosfera marciana, o que faz com que a radiação ultravioleta proveniente do Sol castigue a superfície daquele mundo. Para que valesse a pena, tal missão demandaria dois anos, mais da metade dos quais consumido com a viagem de ida e volta. Sendo a missão tripulada, não é difícil imaginar as dificuldades de convívio da tripulação por tanto tempo.

É preciso também equacionar a possibilidade de um ou mais membros da tripulação adoecer e necessitar, por exemplo, de uma cirurgia. Enfim, diante dos desafios de uma viagem tripulada a Marte, a ida à Lua é um mero passeio. No presente, o ser humano ainda não conseguiu encontrar respostas a todas as essas questões e, por isso, a viagem tripulada a Marte ainda permanece um sonho distante.

Diante das dificuldades de enviar pessoas a Marte, os cientistas optaram pelo envio de espaçonaves não-tripuladas, o primeiro deles ocorrendo em 1º de novembro de 1962. A soviética Mars 1 estava a caminho do planeta vermelho quando uma falha do sistema de comunicação, a 106 milhões de quilômetros da Terra, condenou a missão ao fracasso.

Nos Estados Unidos, o programa Mariner nasceu com a meta audaciosa de explorar os três planetas, além da Terra, pertencentes ao chamado Sistema Solar Interior – Mercúrio, Vênus e Marte. Com um rápido sobrevôo, realizado em 1965, a Mariner 4 enviou 21 imagens da superfície marciana. Os resultados foram decepcionantes. De perto, Marte era apenas uma esfera

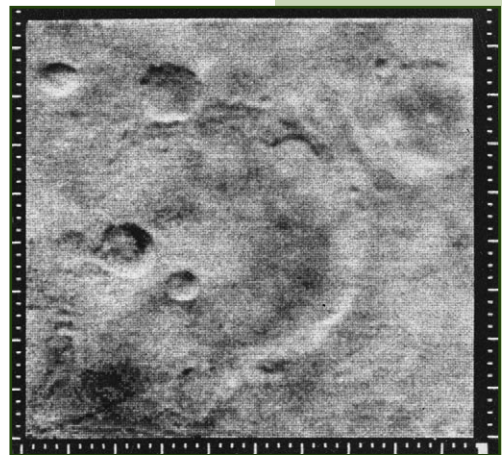


Figura 4.23. Imagem obtida da superfície marciana pela sonda Mariner 4.

Nasa. www.nasa.gov/

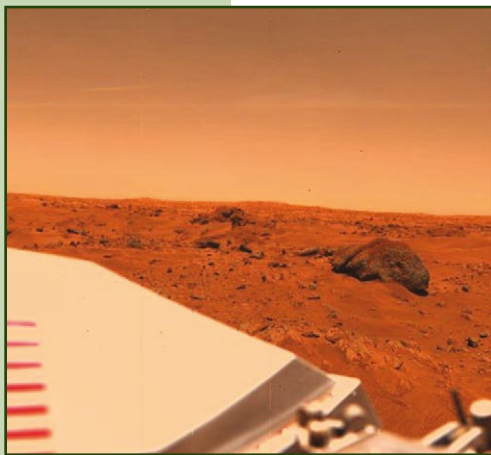
esburacada, cheia de crateras e pouco entusiasmante. A atmosfera era tão rarefeita que, na maior parte da superfície, a água não seria estável em estado líquido nem sob condições de temperatura adequadas aqui na Terra.

Em 1971, a americana Mariner 9 tornou-se a primeira espaçonave a orbitar outro planeta. Operou até 27 de outubro de 1972, fazendo o mapeamento da superfície de Marte, com o envio de 7.329 imagens à Terra. As imagens também mostraram grandes vales de rios, dando a entender que um dia água líquida teria percorrido aquelas áreas em grande quantidade. Ao que parece, Marte já foi muito mais interessante do que é hoje, e em seu interior devem estar escondidos vários traços de seu passado.

Ao custo de 3 bilhões de dólares, os americanos produziram duas sondas sofisticadíssimas em 1975. Idênticas em configuração, ambas eram compostas por dois módulos, um orbital e um de pouso. A Viking 1 partiu em 20 de agosto de 1975, seguida rapidamente pela Viking 2, em 9 de setembro. Seus instrumentos iriam fazer uma imensa varredura da superfície assim que chegassem à órbita marciana, o que aconteceu em meados de 1976.

Nos primeiros dias, os módulos orbitais coletaram informações sobre os locais previamente selecionados para os veículos de descida, constatando que na verdade seria arriscado tentar um pouso ali. Algumas semanas foram consumidas na escolha de novos alvos.

Em 20 de julho de 1976, após uma viagem de quase um ano, na qual percorreu a distância de 100 milhões de quilômetros, a Viking 1 pousou em Marte. Produtos da genialidade humana, as duas Vikings conduziram pousos suaves bem-sucedidos, em duas regiões diferentes do planeta. A primeira pousou em Chryse Planitia. A segunda, em Utopia Planitia.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.24. Cenário observado pela sonda Viking 1, em Marte.

Logo após a descida, as Vikings enviaram as primeiras fotos tiradas diretamente da superfície marciana. Uma paisagem extremamente familiar – extremamente “terrestre”, melhor dizendo, ainda que com um tom alienígena sutil – fascinou os cientistas e o público. Robert Goddard e Tsiolkovsky também teriam ficado felizes por verem os seus sonhos tornando-se realidade.

Medições precisas da composição e densidade atmosféricas, análises de amostras no solo e mapeamento do planeta em escala global eram algumas das tarefas escaladas para a ambiciosa missão americana. Mas ninguém escondia que o grande objetivo era tentar detectar de maneira direta potenciais formas de vida extraterrestres.

Com três experimentos biológicos servindo como verificadores uns para os outros, os responsáveis pelo projeto da Viking pareciam seguros de que, se houvesse algo vivo nos primeiros centímetros de espessura do solo marciano, isso seria detectado. Após alguma controvérsia, surgiu o consenso de que a Viking não detectou nada vivo no planeta vermelho.

Após esse “balde de água fria”, Marte passou alguns anos abandonado. Somente em 1988 alguém resolveu enviar mais artefatos ao planeta. A União Soviética continuava tentando mandar sua primeira sonda realmente útil, e despachou logo duas naquele ano: Fobos 1 e 2, direcionadas ao estudo de Marte e seu satélite maior. A primeira foi perdida no meio do caminho e a segunda, nas proximidades do satélite. Seria o último esforço daquele país direcionado para Marte sob o jugo comunista.

O interesse americano pelo planeta vermelho não cessou. Em dezembro de 1996, partia a Mars Pathfinder [*Pathfinder* significa “localizadora de caminhos”], um módulo de pouso com uma novidade – um pequeno jipe móvel sobre seis rodas, chamado



Figura 4.25. Visão obtida a partir da Viking 2, em Marte.

Nasa. www.nasa.gov/

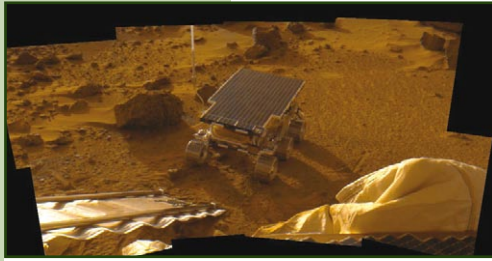


Figura 4.26. Imagem do jipe Sojourner, em Marte.



Sensoriamento

remoto: consiste no monitoramento das condições de um dado corpo celeste a partir de um ponto privilegiado fora dele. As observações podem envolver uma série de técnicas, como radar e imageamento, e cobrir vários elementos diferentes, como a cobertura vegetal, a composição geológica, o ciclo hidrológico e a dinâmica atmosférica.

Sojourner, que daria aos cientistas mobilidade de alguns metros na coleta de dados da superfície marciana. O pouso foi realizado de maneira singular, em 4 de julho de 1997, aniversário da independência americana. Em vez de fazer uso de retrofoguetes para a aproximação final, a nave simplesmente caiu do céu, freada apenas por um

pára-quadras. Para evitar virar sucata ao se chocar contra o solo, foi equipada com um sofisticado sistema de *airbags*, uma espécie de bexiga amortecedora semelhante às encontradas em veículos para proteger os passageiros em caso de acidente, que fez com que ela quicasse no chão até atingir um estado de repouso. Só aí as bexigas se esvaziaram e o casulo se abriu, como uma flor, para que o Sojourner pudesse começar suas andanças pelo solo de Marte. Para despertar o Sojourner da longa viagem, foi tocada a música “Coisinha tão Bonitinha do Pai”, interpretada por Beth Carvalho. A música foi escolhida pela engenheira Jacqueline Lira, que trabalhava no Laboratório de Propulsão a Jato da Nasa, responsável pelo desenvolvimento da sonda. Outro dado relevante é que o local do pouso foi batizado de Memorial Carl Sagan, em homenagem ao cientista e escritor Carl Sagan (1934-1996).

Como o próprio nome sugere, a Pathfinder tinha como objetivo testar tecnologias que poderiam, no futuro, ser úteis na exploração marciana. Primeiro, os engenheiros queriam descobrir se havia um modo mais barato, inteligente e seguro de pousar um artefato no planeta vermelho. Depois, queriam saber se havia como usar um pequeno veículo móvel de forma útil, balanceando sistemas de inteligência artificial e comandos enviados da Terra. Do ponto de vista tecnológico, a missão foi impecável. Previsto para durar um mês, o robô durou três meses.

Com suas câmeras de altíssima definição, a sonda Mars Global Surveyor foi a grande estrela marciana em 1997, superando tudo que havia sido feito antes a respeito de **sensoriamento remoto** naquele planeta. Com seu sucesso, foi possível descobrir que

um dia Marte teve um campo magnético forte, assim como a Terra, e que o planeta parece estar passando por uma fase de aquecimento global: a cada ano marciano, a capa de gelo de dióxido de carbono presente nos pólos parece estar ligeiramente menor, dando a entender que a quantidade “desaparecida” da substância foi parar na atmosfera, tornando-a mais densa e capaz de preservar o calor. Pelos planos originais, a Global Surveyor só iria operar até 2000, mas sua saúde inabalável permitiu que a missão fosse mantida até 2007.



Figura 4.27. Ilustração da Mars Global Surveyor.



Figura 4.28. Sinais de água geologicamente recentes obtidos pela Mars Global Surveyor.

Em junho de 2000, um novo estudo com a Mars Global Surveyor revelou sinais de água geologicamente recentes na superfície marciana, com no máximo alguns poucos milhões de anos. Isso quer dizer basicamente que ainda hoje devem acontecer, de tempos em tempos, alguns refluxos de água pela superfície. E sabe-se lá o que ocorre no subsolo. O estudo praticamente ressuscitou a esperança de encontrarmos formas de vida ainda hoje no planeta vermelho.

Em meados de 2003, os americanos fizeram nova revolução em Marte, com o lançamento dos dois Mars Exploration Rovers, jipes robotizados que seguiram a trilha de sucesso iniciada pelo Sojourner, na missão Pathfinder. Os dois robôs, chamados Spirit e Opportunity, pousaram com sucesso no planeta vermelho em janeiro de 2004 e permaneceram em operação por alguns anos, embora sua missão originalmente estivesse planejada para durar apenas três meses. Graças a eles, foi possível determinar que, ao menos em algumas regiões marcianas, já houve água líquida em abundância na superfície, reforçando a idéia de que pode ter havido vida no passado do planeta.



Figura 4.29. Ilustração de um dos Mars Exploration Rovers em Marte.

Nessa missão, a música brasileira também se fez presente para despertar o Spirit. Desta feita a escolha ficou a cargo do físico brasileiro Paulo Antonio de Souza Jr. (1976-), participante da missão. Tendo estudado em Vitória, ele se tornou fã da banda capixaba Casaca, que interpreta a música “Da Da Da”.

Exploração de Vênus

O outro grande alvo planetário estabelecido desde o início da Era Espacial, Vênus, se mostrou um desafio muito mais complexo. Aqui também soviéticos e americanos disputaram o espaço desde o início da Corrida Espacial.

Lançada ao espaço antes do vôo de Gagarin, em 12 de fevereiro de 1961, a Venera 1 só chegou a Vênus em 19 de maio de 1961. Ela pesava cerca de 650 kg, com um formato cilíndrico e um metro de diâmetro por dois metros de altura. Quando fez sua aproximação máxima do planeta, a uma distância de cem mil quilômetros, nenhum dos sistemas estava operacional e a comunicação com a nave já havia sido perdida. A sonda fez sua passagem silenciosamente, deixando intactos para suas sucessoras todos os mistérios venusianos.

Os americanos responderam em 1962, iniciando o programa de sondas Mariner. Em 14 de dezembro daquele ano, a Mariner 2 chegou a 34.833 quilômetros da superfície de Vênus. Dados obtidos na frequência do infravermelho mostraram que o planeta era realmente coberto por nuvens, tinha a parte superior da atmosfera bastante gélida e uma superfície escaldante. Como as nuvens iriam bloquear a luz vinda do solo, a Nasa nem se deu ao trabalho de instalar uma câmera para tirar fotografias. E o ambiente encontrado se mostrou tão proibitivo à vida que acabou por reduzir drasticamente o interesse americano pelo planeta.

Como Marte, a atmosfera venusiana é rica em dióxido de carbono, mas com uma pressão atmosférica 90 vezes superior à da Terra. Um mundo fervente, sua temperatura na superfície chega à casa dos 500°C. Nessa temperatura, o chumbo se liquefaz.

Lançada em 16 de novembro de 1965, a Venera 3 tinha um objetivo diferente: impactar diretamente contra a superfície venusiana e enviar informações da atmosfera daquele planeta. A tentativa fracassou quando o contato com a sonda foi perdido. Apesar disso, a nave se tornou o primeiro objeto confeccionado pelo ser humano a cair em outro planeta.

O primeiro grande sucesso soviético veio mesmo com a Venera 4, em 1967. Ela chegou a transmitir dados de dentro da atmosfera, mas foi esmagada como uma lata de sardinha antes de chegar ao solo, por conta da elevada pressão atmosférica do planeta. Um dia depois do sucesso da sonda soviética, em 19 de outubro de 1967, chegava às imediações de Vênus a Mariner 5, terceira tentativa americana de estudar aquele planeta. A missão novamente fez apenas um sobrevôo, a uma distância mínima de 3.900 quilômetros.

Em 1969, os soviéticos alteraram o projeto da Venera para que ela fosse capaz de fazer um pouso suave na superfície. A quinta nave da série foi incinerada ao penetrar na atmosfera venusiana e não produziu dados relevantes. Já a Venera 6 enviou dados de até 11 quilômetros de altitude, antes de também ser destruída. Finalmente, um ano e meio depois, em 15 de dezembro de 1970, a Venera 7 se tornou o primeiro artefato humano a sobreviver a um pouso em Vênus.

A sonda transmitiu dados por 23 minutos, antes de sucumbir às condições terrivelmente adversas de temperatura e pressão. Em 1972, a Venera 8 ampliou esse sucesso, trabalhando por 50 minutos na superfície.

A investida seguinte viria dos Estados Unidos, com a Mariner 10. Mas os americanos não estavam mirando Vênus – pretendiam usar apenas a gravidade do planeta como um estilingue para atirar a sonda na direção de Mercúrio. Foi a primeira vez que essa manobra de aceleração e correção de curso via gravidade foi realizada, numa experiência valiosa para a futura exploração do Sistema Solar Exterior (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno).

IKI (Russian Venus landers)
<http://arc.iki.rssi.ru/eng/>

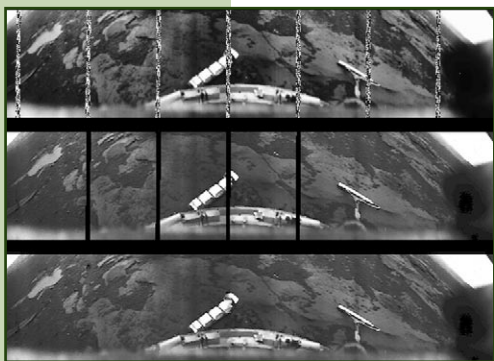


Figura 4.30. Imagem da superfície de Vênus obtida pela Venera 10.

IKI (Russian Venus landers)
<http://arc.iki.rssi.ru/eng/>



Figura 4.31. Imagem colorida da superfície venusiana obtida pela Venera 14.

Nasa. www.nasa.gov/

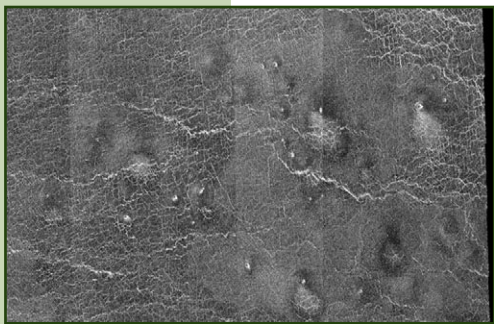


Figura 4.32. Imagem obtida por radar da superfície de Vênus obtida pela Magellan.

Se os americanos a cada momento reduziam seus esforços voltados para Vênus, os soviéticos pareciam em êxtase com seus sucessos. Em 1975, mandaram logo duas missões, Venera 9 e 10. Cada uma delas era composta por um veículo orbital e outro de pouso. Ambas redundaram em sucesso absoluto e transmitiram as primeiras imagens da superfície de Vênus, em branco e preto, mostrando que, apesar de densa, a atmosfera era transparente à luz visível no nível do solo e a luminosidade do Sol permitia que se enxergasse o cenário em volta.

Em 1981, os soviéticos resolveram dar um colorido especial à exploração – literalmente. As sondas Venera 13 e 14 foram as primeiras a enviar imagens coloridas da superfície venusiana, além de conduzir

testes de análise do solo daquele planeta.

Entre 1990 e 1994, a sonda americana Magellan [Magalhães] se instalou em órbita do planeta e forneceu uma verdadeira torrente de dados sobre ele. Contada em *bytes*, ela era maior do que toda a produção das sondas anteriores enviadas a toda parte! O mapeamento por radar atingiu resolução de 300 metros, ofertando uma “visão” espetacular da superfície.

Descobrimos, por exemplo, que Vênus é extremamente ativo e “troca de pele”, ou seja, renova sua superfície, com razoável frequência. Também foi possível constatar que o planeta possui uma dinâmica geológica similar à vista na Terra. Aliás, em termos geológicos, talvez Vênus seja bem mais parecido com a Terra do que Marte. Uma imagem que, se por um

lado aprofunda nossas motivações para estudar de perto os processos correntes na superfície venusiana (na esperança de entendermos melhor nosso próprio planeta), por outro nos confronta com chocantes evidências de que planetas em princípio muito parecidos podem evoluir de formas extremamente diversas.

Retorno de amostras

O visionário Robert Goddard já imaginava, em 1907, qual seria o valor de amostras coletadas em outros mundos para o avanço da ciência. Disse ele:

Em seus vários estágios de desenvolvimento, os planetas estão sujeitos às mesmas forças formativas que operam em nossa Terra, tendo, portanto, a mesma formação e provavelmente a mesma vida geológica de nosso passado e, talvez, de nosso futuro; mas, além disso, estas forças estão atuando, em alguns casos, em condições totalmente diferentes daquelas em que operam sobre a Terra, e por isso devem desenvolver formas diferentes das conhecidas pelo ser humano. O valor do material desse tipo para as ciências comparadas é tão óbvio que dispensa qualquer comentário. (GODDARD, R. 1994, p. 173).

Infelizmente, a despeito dos avanços tecnológicos de lá para cá, o retorno de amostras ainda é um sonho distante. Talvez seja possível coletar algo da atmosfera, mas rochas do solo venusiano parecem difíceis demais para se manusear com as tecnologias atuais. Um veículo de retorno provavelmente sucumbiria pela alta pressão e temperatura antes de ser enviado de volta à Terra com seu precioso e escaldante conteúdo recém-coletado. Missões tripuladas à superfície estão totalmente fora de cogitação.

Exploração de Mercúrio

Do Sistema Solar Interior, só nos resta agora falar de Mercúrio. E olhe que não há muito para dizer. Apesar de estar muito mais perto de nós do que os planetas exteriores, o pequenino mundo foi visitado apenas uma vez, por uma única sonda de sobrevôo, a americana Mariner 10. Mas a sonda só foi capaz

de fotografar 50% da superfície, em três diferentes sobrevôos realizados entre 1974 e 1975.

Duas missões programadas para o futuro devem resolver esse problema. Uma delas, a americana Messenger, foi lançada em agosto de 2004 e tem chegada prevista em Mercúrio em 2011. A segunda, batizada de BepiColombo, é uma missão da Agência Espacial Européia (ESA) [European Space Agency] e só deve decolar em 2013.

Visitar Mercúrio pessoalmente, ou mesmo trazer amostras automaticamente, parece em princípio ser mais simples do que ir até Vênus. Por outro lado, até agora, não houve motivação para desenvolver missões desse tipo. Uma visita tripulada provavelmente só seria possível com um pouso no lado noturno do planeta, onde a temperatura fica na casa dos 173 graus Celsius negativos.

Na porção iluminada pelo Sol, que se mostra com tamanho aparente três vezes maior do que o visto da Terra, a temperatura chega a escaldantes 425 graus Celsius.

Exploração do Sistema Solar Exterior

Além do cinturão de asteróides, o Sistema Solar tem quatro planetas “oficiais”: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Depois deles, vem a ovelha negra, Plutão, classificado como planeta anão. Colocado deste modo, pode não parecer muita coisa. Mas é preciso lembrar que não estamos falando de planetas terrestres convencionais. Esses mundos, à exceção plutoniana, são gigantes gasosos, muito maiores do que os que existem no Sistema Solar Interior. E cada grandalhão desses possui uma infinidade de luas, algumas delas com tamanho suficiente para serem planetas. Cada gigante gasoso pode ser visto, grosso modo, como um sistema planetário em miniatura.

Veja Júpiter, por exemplo: até 2007, os astrônomos já haviam descoberto nada menos que 62 satélites naturais em torno dele.

Tudo bem, há os que mais parecem asteróides (e provavelmente o são), mas há também verdadeiros monstros, como Ganimedes, uma das quatro luas descobertas por Galileu Galilei no sistema joviano. Não só ele é o maior satélite natural do Sistema Solar como tem um diâmetro de 5.270 quilômetros, maior que o de Mercúrio e o de Plutão.

Na condição de mais próximo e maior planeta gigante do Sistema Solar, Júpiter também é o mais visitado dos astros além da órbita de Marte. Curiosamente, a União Soviética não cumpriu um papel muito significativo na exploração de nenhum desses planetas mais distantes.

A primeira missão a Júpiter foi a Pioneer 10, lançada em março de 1972. Numa rota direta, ela fez o sobrevôo de Júpiter um ano e nove meses depois, passando a 130 mil quilômetros do topo das nuvens do gigante gasoso. Ela foi rapidamente seguida pela Pioneer 11, lançada em abril de 1973. Essa missão foi ainda mais ambiciosa, realizando o sobrevôo de Júpiter em fevereiro de 1974 e então usando-o como estilingue para atingir o planeta Saturno. A missão, na verdade, serviu como um belo aperitivo do que se tornaria a maior jornada não-tripulada já conduzida pela humanidade.

A cada 176 anos, aproximadamente, os planetas gigantes gasosos se posicionam de uma forma tal que é possível lançar uma nave na direção de Júpiter e então se aproveitar de uma cascata de efeitos estilingues, em que cada planeta atira a nave na direção do próximo, até a borda do sistema. Tal ocasião se faria presente em 1977, e a Nasa decidiu que precisaria se aproveitar da oportunidade única. Iniciou os planos para uma missão de *Grand Tour* [grande jornada] do Sistema Solar Exterior em 1965, mas acabou se deparando

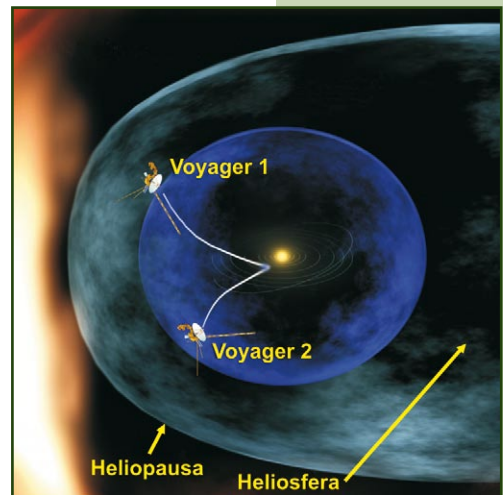


Figura 4.33. Trajeto seguido pelas sondas Voyager 1 e 2.

Nasa. www.nasa.gov/

com um projeto muito caro e decidiu reduzir seu escopo para uma mera missão de visita a Júpiter e Saturno. Foi assim que nasceram as sondas gêmeas Voyager.

Curiosamente, a primeira a ser lançada foi a Voyager 2, em 20 de agosto de 1977. Duas semanas depois, em 5 de setembro, partiria a Voyager 1, que, por adotar uma trajetória mais rápida, acabou sendo a primeira a chegar em Júpiter, em março de 1979, após uma viagem de 800 milhões de quilômetros.

A Voyager 2 chegou logo depois, em julho. A missão dupla fez um sucesso estrondoso: estudou os anéis jovianos (sim, ele também tem anéis, embora sejam bem mais discretos que os de Saturno), descobriu novas luas, fez detecções do poderoso campo magnético do planeta e produziu observações inéditas da dinâmica atmosférica do gigante gasoso. De perto, as gêmeas observaram as quatro luas galileanas: Io, Calisto, Ganimedes e Europa.

Sem demora, ambas partiram para o sistema saturnino. A Voyager 1 foi orientada de modo a fazer seu sobrevôo, realizado em novembro de 1980, o mais perto possível de Titã, a lua mais interessante de Saturno. Com essa orientação, a sonda acabou sendo atirada para fora do plano do Sistema Solar após esse sobrevôo, encerrando a fase planetária de sua missão. Já a Voyager 2, que passou pela mesma região em agosto de 1981, pôde ser direcionada de modo a tomar o rumo para Urano.

Com o sucesso da missão, a Nasa achou que talvez valesse a pena tentar, enfim, realizar o *Grand Tour*. Esticaram o projeto até que a sonda pudesse atingir o sétimo

Nasa. www.nasa.gov/



Figura 4.34. Ilustração das sondas Voyager 1 e 2.

Nasa. www.nasa.gov/



Figura 4.35. Júpiter, visto pela Voyager 1.

Nasa. www.nasa.gov/



Figura 4.36. A despedida de Saturno, pela Voyager 1.

planeta, o que ela fez em janeiro de 1986. Em Urano, estudou seus anéis, descobriu novas luas, mapeou parcialmente algumas delas e identificou atividade atmosférica no estranho planeta, que gira em torno de si mesmo com seu eixo de rotação apontado para o Sol, como se estivesse deitado. Mais um grande sucesso, e mais uma esticada.

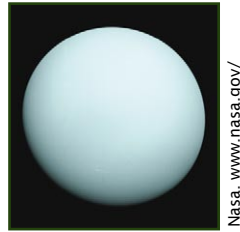


Figura 4.37. Urano, fotografado pela sonda Voyager 2.



Figura 4.38. Passagem da Voyager 2 por Netuno e Tritão.

A sonda foi direcionada a Netuno, por onde passou em 1989, causando similar revolução. Até hoje, a maioria absoluta do que sabemos sobre esses dois planetas veio da Voyager 2, que, a propósito, segue funcionando e em contato com a Terra, numa missão estendida além das fronteiras do Sistema Solar. O mesmo ocorre com a Voyager 1, que, em maio de 2005, atingiu a última fronteira do Sistema Solar, a 14 bilhões de quilômetros do Sol. Mantidas “vivas” graças à energia nuclear, as Voyagers devem operar ainda por vários anos.

As Voyager foram provavelmente as missões não-tripuladas mais marcantes desde o início da Era Espacial. Elas beiram a ficção. Na expectativa de que um dia possam ser encontradas por civilizações extraterrestres, elas carregam, em som e imagem, um grande número de informações sobre nós e nossa localização, evolução, cultura, organização social e tecnologia.

Mas, se olharmos friamente, apesar de todo o sucesso, foram apenas sobrevivôos. Claramente, as centenas de mundos existentes no Sistema Solar Exterior (incluindo aí luas e planetas) merecem mais do que isso. Nada de mais sobrevivôos; estamos falando de missões orbitais.

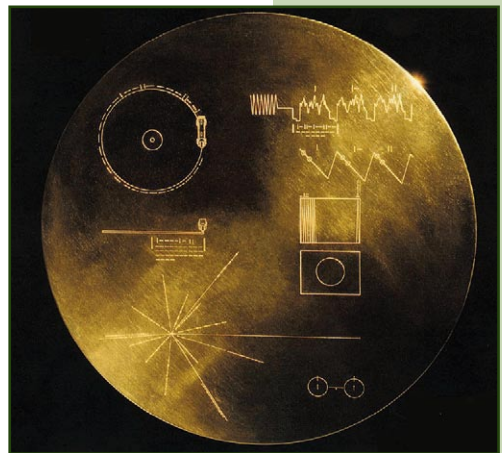


Figura 4.39. Placa de ouro da Voyager.



Figura 4.40. Ilustração da sonda Galileo em Júpiter.

Tudo começa, naturalmente, com Júpiter. Em 1989, partiu da Terra, via ônibus espacial, a sonda Galileo. Sua missão ao redor do planeta foi de dezembro de 1995 a setembro de 2003. Em sua longa estadia, a nave deu um enorme salto qualitativo em nosso conhecimento sobre os arredores de Júpiter.

O mesmo agora está sendo feito por Saturno e suas luas, pela sonda orbitadora Cassini, lançada pela Nasa em

1997. O nome da sonda veio do astrônomo ítalo-francês Jean Dominique Cassini (1625-1712), que, em 1675, descobriu que os anéis de Saturno eram divididos em duas grandes faixas, separadas por um vão, conhecido desde então como a divisão de Cassini. O cientista também descobriu vários dos satélites do planeta.



Figura 4.41. Ilustração da Cassini em Saturno.

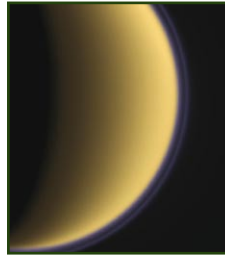
A pesada espaçonave, com seus quase sete metros de comprimento por quatro metros de largura, atingiu o sistema de Saturno em 1º de julho de 2004. Ao entrar em órbita, ela iniciou uma missão que deve durar pelo menos quatro anos, para estudar alguns enigmas hoje sem resposta clara. Por exemplo, por que Saturno tem um campo magnético tão intenso? Ou: o que leva o planeta a

girar tão rapidamente em torno de si mesmo (ele completa um dia a cada dez horas, embora tenha 120 mil quilômetros de diâmetro, dez vezes mais que a Terra), a ponto de ser o planeta mais achatado do Sistema Solar? Qual é o clima que se esconde sob o tom alaranjado aparentemente calmo do topo das nuvens? Por que há diferentes proporções de hélio e hidrogênio lá e em Júpiter, seu parente mais próximo?

A missão ainda teve um adicional – a execução do primeiro pouso de uma nave espacial num satélite natural que não seja a Lua. Acoplada à sonda da Nasa viajou a Huygens, pequena nave em formato de disco construída pela Agência Espacial Européia (ESA) que se desprendeu do veículo principal e realizou uma descida em Titã, enviando as primeiras imagens da superfície daquele mundo, que, acredita-se, possui lagos de metano e plataformas de gelo congelado na superfície.

Por mais que todos esses resultados sejam fantásticos, eles empalidecem diante do que está por vir – ainda há muito a ser feito no campo não-tripulado. A exemplo do que ocorreu com Júpiter, e está ocorrendo com Saturno, Urano e Netuno também merecem visitas mais detalhadas. E a primeira sonda a visitar Plutão, a New Horizons, foi lançada em janeiro de 2006. Ela deve chegar lá por volta de 2015.

Ou seja, a aventura está apenas começando – e tende a se acelerar nos próximos anos. Hoje, os únicos programas espaciais que fizeram investidas consideráveis no campo da exploração não-tripulada foram os de Estados Unidos, Rússia, Europa e Japão. Mas países emergentes gradualmente começam a entrar no jogo. A China, em 2003, se tornou o terceiro país a enviar astronautas por meios próprios ao espaço e, em 2007, enviou sua primeira espaçonave não-tripulada à Lua. A vizinha Índia também tem planos para uma sonda lunar nos próximos anos, e o Brasil caminha para se tornar o nono país a desenvolver a capacidade de lançar seus próprios satélites.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.42. Titã, lua de Saturno, envolta pela espessa névoa que bloqueia a visão da superfície.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.43. Imagem capturada pela sonda Huygens na superfície de Titã.



Tem alguém aí?

Na expectativa de que um dia elas possam ser interceptadas por seres inteligentes, a Voyager 1 e a Voyager 2 carregam um disco contendo imagens e sons da Terra. O disco, com 30 cm de diâmetro, é feito de cobre e recoberto em ouro. Nele há sons da natureza, incluindo: vento, pássaros, trovão e o choro de uma criança. Existem também sons de invenções humanas, tais como: trem, ônibus, foguete, avião e automóvel. Há sons do beijo de uma mãe no seu bebê recém-nascido e o beijo de um homem numa mulher. As naves levam também saudações em 55 línguas, incluindo o português. Para ouvir a mensagem em português basta acessar o sítio <http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/languages/portuguese.html>. Há também 90 minutos de música, contendo, dentre outras, clássicos de Bach, Mozart, Beethoven e Stravinsky. As 116 imagens contidas no disco pretendem passar informações sobre a nossa civilização. Além de definições físicas e matemáticas, são incluídas imagens sobre a nossa arte e sobre a Lei da Gravitação Universal. Há também imagens que retratam a evolução da espécie humana no planeta Terra e a organização das famílias e os seus biótipos. Como é que eventuais seres inteligentes que interceptarem as Voyager saberão como tocar o disco? As Voyager carregam, externamente à caixa de alumínio que protege o disco, uma série de instruções em linguagem simbólica. O disco deve ser tocado em um toca-disco que opere em 16,33 rotações por minuto. Para ver as imagens, caberá aos interceptadores das Voyager montar um sistema com televisão. A lógica por trás de toda esta iniciativa é dada por um dos idealizadores do disco, o astrônomo Carl Sagan: “Se são capazes de viajar pelo universo recolhendo espaçonaves, eles serão capazes de entender nossas instruções.”

As Voyager são mantidas graças à energia elétrica gerada por pequenas centrais nucleares a plutônio. Quando a disponibilidade de energia cessar e os seus instrumentos pararem, haverá a perda de comunicação com a Terra. No entanto, as Voyager continuarão a viajar pelo espaço interestelar em direção a outros astros. Serão 40 mil anos, antes que elas cheguem a outro sistema solar. Elas hoje encontram-se a cerca de 15 bilhões de quilômetros da Terra, ou seja, na fronteira do Sistema Solar.

SANTOS DUMONT, UM VISIONÁRIO

Saiba
mais...



No seu livro “O que eu vi. O que nós veremos”, escrito em 1918, Santos Dumont profetiza:

É tempo, talvez, de se instalar uma escola de verdade em um campo adequado. Não é difícil encontrá-lo no Brasil. Nós possuímos, para isso, excelentes regiões, planas e extensas, favorecidas por ótimas condições atmosféricas.

Não falemos nas desvantagens de morarem os alunos longe dos campos. Eles precisam dormir próximo à Escola, ainda que para isso seja necessário fazer instalações adequadas, porque a hora própria para lições é, reconhecidamente, ao clarear do dia.

Margeando a linha da Central do Brasil, especialmente nas imediações de Mogi das Cruzes, avistam-se campos que me parecem bons.

Penso que, sob todos os pontos de vista, é preferível trazer professores da Europa ou dos Estados Unidos, em vez de para lá enviar alunos.

É possível que, dentre os quatro ou seis rapazes que forem estudar na Europa, se encontre um, bom professor; isso, porém, não passa de uma probabilidade. Mais acertado e mais seguro, portanto, seria escolher, desde logo, alguns bons professores, entre os muitos que há na Europa e nos Estados Unidos, e contratá-los para ensinar a aviação aqui, em território nosso. (SANTOS DUMONT, Alberto. 1918)



Figura 4.44. O Demoiselle sendo transportado por Santos Dumont.



Figura 4.45. Marechal do Ar Montenegro.

Casimiro Montenegro

Filho (1904-2000), até logo, Júlio Verne!

Foi assim que um dos membros da comitiva oficial, que visitava a área onde o Ministério da Aeronáutica pretendia construir o Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA), se despediu de Casimiro Montenegro Filho.

Natural de Fortaleza, deixou sua terra natal em 1923, rumo ao Rio de Janeiro, para se tornar piloto do exército e realizar o sonho de Santos Dumont. Em 1941, participou da criação do Ministério da Aeronáutica. Em uma viagem realizada aos EUA, em 1943, impressionou-se com o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT).

Ao voltar ao Brasil, estava com a idéia fixa de criar algo parecido com o MIT. Em 16 de novembro de 1945, foi assinado o ato de criação do CTA, de onde surgiu o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Em uma entrevista concedida em 1992, afirmou: "Tudo o que fiz foi com prazer, não foi com a intenção de me promover, foi com o interesse de servir ao País". O Marechal do Ar Montenegro era um homem à frente do seu tempo.

Embora o Brasil ainda esteja por dar seus maiores passos no setor, sua vocação espacial há muito esteve manifesta. A primeira iniciativa governamental claramente voltada para o estabelecimento de um programa espacial nacional remonta ao governo Jânio Quadros.

Em 3 agosto de 1961, pouco antes de renunciar à presidência da República, Jânio Quadros (1917-1992) cria o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Gocnae), agremiação mista civil-militar dotada do objetivo de estabelecer políticas e planos para esta área. Depois consolidado na Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Cnae), essa instituição foi a base para a criação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), em São José dos Campos, interior do estado de São Paulo.

Apesar de o surgimento deste grupo ser o marco inicial mais claro do Programa Espacial Brasileiro, suas raízes surgem claramente ainda nos anos 1940, quando são criados o Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), instalados em São José dos Campos pela Força Aérea Brasileira.

O ITA, subordinado diretamente ao CTA, foi concebido nos moldes do famoso Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos Estados Unidos justamente para produzir mão-de-obra qualificada para a criação de uma indústria aeroespacial pujante no País.

É dentro do CTA que começam a surgir os primeiros projetos com vocação verdadeiramente espacial, entre os quais se destacou o desenvolvimento da série de foguetes Sonda, a partir de 1961. O primeiro veículo da série foi criado em forte cooperação com os Estados Unidos – tanto que boa parte de suas peças foi importada daquele país e suas características básicas eram muito similares a um foguete meteorológico americano chamado Arcas.

Para lançar esses primeiros foguetes foi criado o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), próximo a Natal, RN. A primeira decolagem feita dali foi a do foguete americano Nike Apache, em 1965. No mesmo ano, seria realizado o lançamento

inaugural do Sonda I. Tecnicamente, ele era apenas um foguete de sondagem atmosférica, atingindo uma altura máxima de 64 quilômetros. Mas serviu de base tecnológica para o desenvolvimento de toda uma série de foguetes, com capacidades crescentes.

O Sonda II teve o seu primeiro lançamento oficial em 1972. Seu apogeu (altura máxima) foi de 88 quilômetros. Já o Sonda III, lançado pela primeira vez em 1976, atinge até 595 quilômetros, dependendo da carga transportada. Tanto o Sonda II como o Sonda III encontram-se operacionais, acumulando, respectivamente, 31 e 61 lançamentos ao longo das suas existências. O último foguete da série, o Sonda IV, com desenvolvimento concluído em 1984, atingia 644 quilômetros, tendo sido desenvolvido com vistas a testar as tecnologias que seriam utilizadas no Veículo Lançador de Satélites (VLS). Sua produção foi descontinuada após quatro vôos.

Ainda na linha dos foguetes de sondagem, foram desenvolvidos o VS-40, o VS-30 e o VSB-30. O VSB-30 foi desenvolvido a partir de uma solicitação da Agência Espacial Européia, tendo o seu primeiro vôo sido realizado em 23 de outubro de 2004, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Posteriormente, outros vôos foram realizados, tanto na Europa quanto no Brasil.

O uso de artefatos espaciais produzidos no Brasil por nações mais desenvolvidas revela a qualidade e competência do trabalho realizado pelos técnicos e engenheiros brasileiros, coroando, assim, um esforço de décadas.



Danton Villas Boas (IAE/CTA).

Figura 4.46. Foguete Sonda II, em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB).

**Microgravidade:**

pode ser definida como a sensação aparente de ausência total ou quase total de peso. Essa situação se apresenta quando uma nave está em órbita ou em queda livre (na verdade, uma nave em órbita está em queda livre, mas com uma curvatura tal que sua trajetória sempre “erra” o objeto na direção do qual está caindo).

Embora esses foguetes atinjam o espaço, nenhum deles tem potência suficiente para atingir a velocidade necessária à colocação de um objeto em órbita baixa (cerca de 28.000 km/h). Eles realizam o que se denomina vôo suborbital, transportando uma carga útil (experimento) até uma altitude requerida e retornando à superfície terrestre. Apesar disso, eles são de grande utilidade no meio científico. Durante parte do vôo parabólico que realizam fora da atmosfera terrestre (acima de 90 km), são criadas as condições de **microgravidade**, permitindo, assim, a realização de experimentos importantes para cientistas de todo o planeta.

Além dos cientistas estrangeiros, fazem uso dos foguetes de sondagem nacionais universidades e centros de pesquisa brasileiros. Para fomentar tais atividades, a Agência Espacial Brasileira (AEB) possui dois programas. O Programa Microgravidade objetiva colocar à disposição da comunidade técnico-científica brasileira oportunidades de realizar experimentos em ambientes de microgravidade, provendo o acesso e suporte técnicos necessários. O segundo programa, Programa Uniespaço, visa promover a integração das universidades ao programa espacial. Foi por meio do Programa Uniespaço que cientistas brasileiros conduziram experimentos a bordo da Estação Espacial Internacional (ISS) em abril de 2006.

A MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA (MECB)

A partir de 1969, os projetos dos foguetes de sondagem brasileiros passaram a ser geridos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), um dos institutos do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA). Na mesma época, a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Cnae) foi transformada no Inpe, um instituto voltado apenas para pesquisas, mas não para a formulação de políticas. Conseqüentemente, foi preciso criar uma nova instituição responsável pelo gerenciamento do programa

espacial brasileiro. Surge então a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae). E é deste grupo que eventualmente emerge o conceito da Missão Espacial Completa Brasileira – a idéia de lançar um satélite criado e fabricado no País com um lançador nacional a partir de uma base de lançamentos brasileira. Concebida ao final da década de 1970, a MECB somente foi implementada na década de 1980.

Pelo conhecimento e experiência acumulados com a série Sonda, coube ao IAE a responsabilidade pelo desenvolvimento do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1) brasileiro. Ao Inpe coube a concepção, desenvolvimento e construção do Satélite de Coleta de Dados (SCD-1). Quanto à base de lançamento, seria uma responsabilidade do então Ministério da Aeronáutica. De início, imaginou-se a expansão do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, mas, quando ficou claro que uma nova instalação seria necessária, a Força Aérea decidiu construir em Alcântara, no Maranhão, o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).

Com a criação da MECB, surge o primeiro projeto realmente integrador do programa espacial nacional, costurando as atividades de seus diferentes atores para um fim produtivo. Entretanto, as coisas não saíram como planejadas. A idéia era que todas as peças estivessem em seus lugares para o primeiro lançamento nove anos depois, ou seja, em 1988. Mas não aconteceu.



Figura 4.47. O Veículo Lançador de Satélites (VLS-1).

IAE/CTA - www.iae.cta.br/



Figura 4.48. O SCD-1, primeiro satélite brasileiro.

Inpe - www.inpe.br/

O primeiro satélite de fabricação nacional, o SCD-1, ficou pronto para ser lançado ao espaço em 1993, com cinco anos de atraso. As dificuldades para a conclusão do VLS-1 foram bem maiores que as imaginadas inicialmente. Em função de sucessivas crises econômicas no Brasil, não houve o aporte de recursos financeiros necessários ao desenvolvimento do VLS-1. A política salarial governamental também colaborou para essa situação, levando a perdas significativas de técnicos e engenheiros para a iniciativa privada. Com eles, se foram conhecimentos acumulados por décadas – problema sério, uma vez que, na área espacial, trabalha-se no estado-da-arte do conhecimento.

No campo externo, as dificuldades não foram menores. Sob a alegação de que um foguete como o VLS-1 poderia tanto transportar um satélite como uma bomba, os países desenvolvidos se recusaram, de maneira sistemática, a vender ao Brasil equipamentos e tecnologia necessários ao VLS-1.

Em que pese o Brasil possuir naquela época um programa nuclear, com finalidade pacífica, a verdadeira razão para o boicote é de caráter econômico. O mercado internacional de lançamento de satélites movimenta bilhões de dólares anualmente. Conseqüentemente, as nações detentoras dessa tecnologia não estão dispostas a vender os seus conhecimentos, mas, sim, seus serviços. Afinal, de que lhes interessa mais um concorrente?

Em 10 de fevereiro de 1994, é criada a Agência Espacial Brasileira (AEB), em substituição à Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae). Atualmente, a AEB é subordinada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

Como resultado das dificuldades com o desenvolvimento e qualificação do VLS-1, o SCD-1 foi lançado por um foguete Pegasus americano, a partir da Flórida, nos Estados Unidos, em 9 de fevereiro de 1993.

Sua operação bem-sucedida constituiu um marco: era o primeiro satélite artificial brasileiro em órbita. O equipamento funcionou perfeitamente, demonstrando, mais uma vez, a competência

nacional para o desenvolvimento de artefatos espaciais. Ao SCD-1 competia coletar os dados enviados por estações meteorológicas em terra espalhadas pelo País e retransmiti-los a uma estação receptora. O segundo satélite da série, SCD-2, também foi lançado pelos americanos, em 1998. Ambos continuam operacionais.

O Veículo Lançador de Satélites brasileiro é composto por quatro estágios, todos eles de propelente sólido. Ele é voltado para satélites de pequeno porte (no máximo, 350 quilos), com órbitas de baixa altitude (no máximo, mil quilômetros). Sua principal virtude é dotar o Brasil de acesso próprio ao espaço, capacitação existente hoje somente em oito aíses do mundo (Rússia, Estados Unidos, França, Ucrânia, Índia, Israel, Japão e China).

Em seu primeiro vôo de teste, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara, em 2 de novembro de 1997, o VLS-1 se autodestruíu 29 segundos após a decolagem. A falha ocorreu no primeiro estágio – um dos quatro motores não funcionou, criando estresse excessivo sobre o veículo, que não resistiu. Com ele, foi-se a primeira oportunidade de realizar a MECB. No topo do foguete estava uma réplica do SCD-2, o SCD-2A, que foi perdida no mar com a falha no lançamento.

Nova tentativa de lançar o VLS-1 se deu em 11 de dezembro de 1999, mas, mais uma vez, uma falha, desta feita no seu segundo estágio, impediu o sucesso. Com ele foi perdido o satélite Saci-2, artefato científico desenvolvido pelo Inpe e dotado de um magnetômetro, detectores de partículas e um experimento atmosférico.

Quanto ao Saci-1, havia sido lançado com sucesso dois meses antes por um foguete chinês, mas havia perdido contato com a Terra pouco depois de chegar à órbita.

Na preparação para a terceira tentativa de lançamento, em 22 de agosto de 2003, uma falha muito grave ocorreu, com o acionamento prematuro de um dos motores do primeiro estágio enquanto técnicos e engenheiros ainda trabalhavam no foguete, na plataforma. O resultado foi a morte de 21 técnicos do IAE. Atualmente, técnicos russos e brasileiros trabalham na revisão do VLS-1,

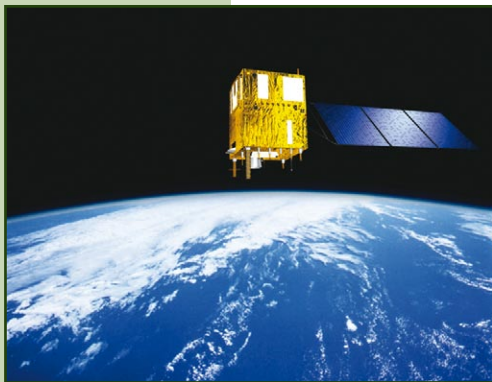
visando dotá-lo de maior confiabilidade e segurança para a realização de um novo lançamento.

Felizmente, o Programa Espacial Brasileiro vai muito além do VLS-1, e vários outros projetos animam os pesquisadores brasileiros. O de maior destaque, hoje, é o Programa Cbers, sigla para

China-Brazil Earth-Resources Satellite [Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres] – o desenvolvimento de uma série de satélites de observação da Terra em parceria com a China. O primeiro satélite da série, Cbers-1 foi lançado juntamente com o Saci-1, em 1999, e funcionou com perfeição até 2002.

Em 2003, foi lançado, também da China, o segundo da série, Cbers-2. O terceiro partiu em 2007 (Cbers-2B) e mais quatro estão previstos até 2020.

Com a conclusão do desenvolvimento do VLS-1 e a continuidade dos trabalhos do Inpe em satélites científicos e de observação da Terra, novas fronteiras certamente se abrirão para o Brasil no campo da exploração espacial. Provavelmente já estão hoje cursando o Ensino Fundamental e Médio os futuros profissionais que trabalharão com as primeiras espaçonaves brasileiras a irem à Lua, a Marte ou além.



inpe...www.inpe.br/

Figura 4.49. O Cbers-1, primeiro satélite nacional feito em parceria com a China.



LEITURAS COMPLEMENTARES

FOGUETES

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

Foguetes são veículos destinados ao transporte de cargas e pessoas ao espaço. Podem ser classificados quanto ao tipo (foguetes de sondagem e veículos lançadores de satélites), propelente (sólido, líquido, híbrido), número de estágios (mono, bi e multi-estágios) e aplicação (tripulado e não-tripulado). A Figura 4.51 mostra a representação esquemática de um foguete mono-estágio, com os seus principais constituintes, quais sejam: coifa, carga-útil, sistema de recuperação (para-quadras), motor-foguete, empenas e tubeira. A coifa serve para proteger a carga-útil, que pode ser um satélite, um astronauta, ou experimentos de microgravidade. A sua forma visa diminuir o atrito do foguete com a atmosfera terrestre. Em algumas situações é de interesse recuperar a carga-útil. Nesses casos, é necessária a utilização de um sistema de recuperação do tipo para-quadras para, quando do vôo descendente do foguete, diminuir a velocidade de impacto com o solo ou com a água.

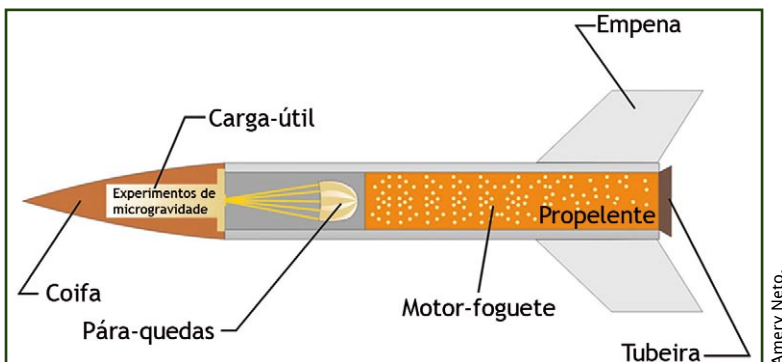


Figura 4.51. Representação esquemática de um foguete e os seus principais componentes.



Figura 4.50. O nosso "von Braun"

Academia Brasileira de Ciências (ABC).
www.abc.org.br/

Jayne Boscov nasceu em 09 de agosto de 1932 na cidade de São Paulo. Aos 27 anos concluiu o seu curso de engenharia aeronáutica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Depois de trabalhar por vários anos no Programa Espacial Francês, ele retornou ao Brasil em 1969, tendo formado e chefiado a Divisão de Projetos e Foguetes do Instituto de Aeronáutica e Espaço. Entre 1969 e 1992, gerenciou o desenvolvimento dos foguetes de sondagem Sonda III, Sonda IV e do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1). Ao se aposentar, em outubro de 1995, o Eng^o. Boscov, como era conhecido entre os seus liderados, tinha formado uma geração inteira de técnicos para o Programa Espacial Brasileiro. Dentre esses, seu nome é referência. Tendo dedicado sua vida profissional ao Programa Espacial Brasileiro, o Eng^o. Boscov hoje se dedica a um dos seus hobbies, a pintura.

Amery Neto.

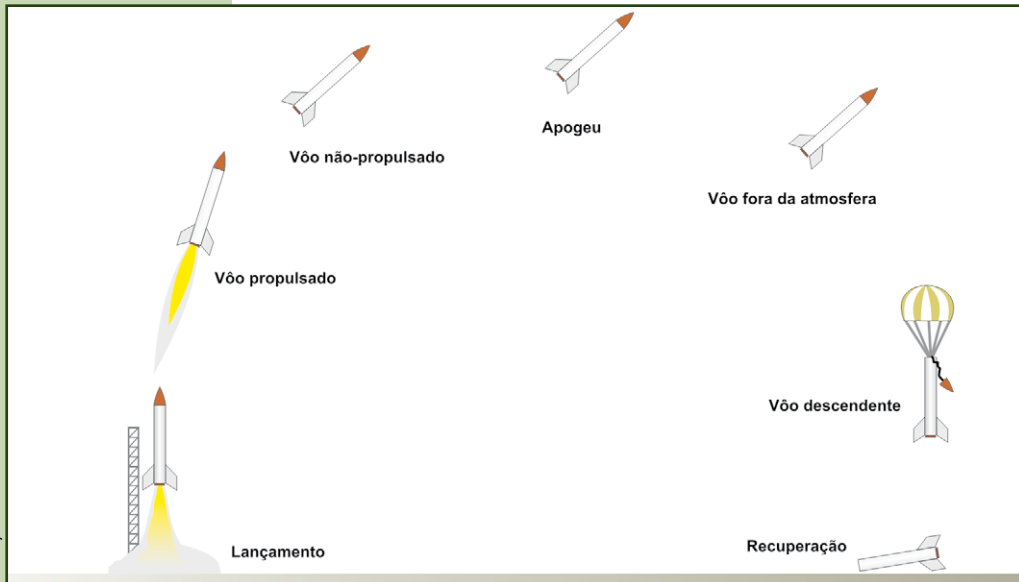


Mais informações em:
"Foguetes: manual do professor com atividades de ciências, matemática e tecnologia."
Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

O motor-foguete, ou propulsor, é o principal componente do foguete. É ele que transporta a energia necessária ao movimento do foguete. Na maioria dos casos, os foguetes fazem uso de energia química transportada na

forma de combustíveis (propelentes), que podem ser sólidos ou líquidos. Os propelentes respondem por cerca de 80% da massa total de um foguete. Como resultado de sua combustão são gerados os gases que, expelidos em alta velocidade através da tubeira, causam o movimento do foguete.

As enpenas são pequenas asas localizadas na base do foguete. Elas servem para conferir estabilidade durante o voo. Sem elas, o foguete poderia voar de uma maneira instável, girando e dando cambalhotas durante o voo. Tal comportamento é inaceitável ao propósito dos foguetes, uma vez que altera a trajetória previamente programada, colocando em risco o voo, as propriedades sobre os quais o voo ocorre e, mais importante, vidas humanas.



Amery Neto.

Figura 4.52. Perfil de voo de um foguete.

Foguetes de sondagem

Os foguetes de sondagem são aqueles que, não possuindo a energia suficiente para fornecer a velocidade orbital de 28.000 km/h à sua carga-útil, atingem uma determinada altitude, denominada apogeu, e retornam à Terra por ação da gravidade. Essa situação é esquematicamente ilustrada na Figura 4.52 para um foguete com um único motor (foguete mono-estágio), na qual são representadas as principais etapas de vôo. Alcance é a distância entre o ponto de lançamento e o ponto de recuperação da carga-útil.

Veículos lançadores de satélites

Os veículos lançadores de satélites devem carregar energia suficiente para garantir, ao final do vôo, que a sua carga-útil (satélite, por exemplo) possua uma componente de velocidade paralela à superfície terrestre de 28.000 km/h. Portanto, uma das diferenças entre um foguete de sondagem e um veículo lançador de satélites é a capacidade de fornecer velocidade à carga-útil. Para deixar clara esta diferença, vale comparar o foguete de sondagem Sonda IV com o VLS-1, ambos mostrados numa mesma escala na Figura 4.53. Ambos são capazes de atingir 750 km de altitude. No entanto, o perfil de vôo do Sonda IV é similar àquele ilustrado na Figura 4.52, e o do VLS-1 é aquele mostrado no quadro “O Veículo Lançador de Satélites”. Enquanto o Sonda IV dá início ao seu movimento descendente ao atingir a altitude de 750 km, o VLS-1, ou o que dele restou desde o lançamento, permanece em órbita da Terra, a 28.000 km/h. As diferenças vão além, pois enquanto o Sonda IV carrega cinco toneladas de propelente em seus dois propulsores e possui nove metros de comprimento, o VLS-1 transporta 41 toneladas de propelente, divididas em seus sete propulsores, possuindo um comprimento total de 19 metros.

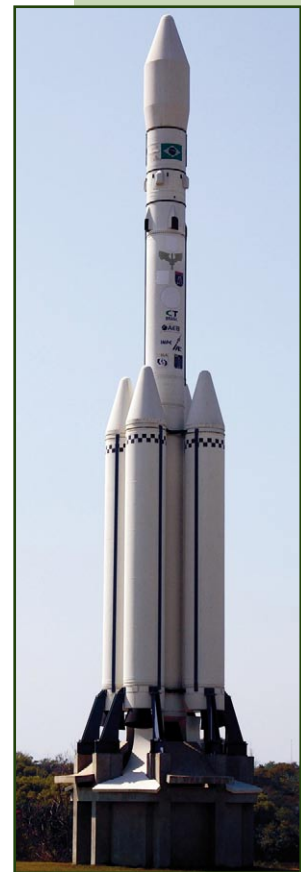
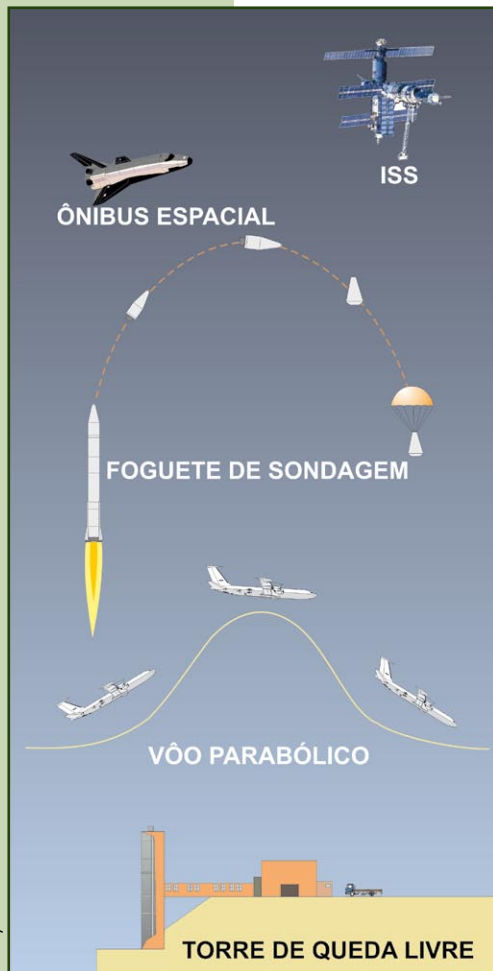


Figura 4.53A e B. Comparação entre o VLS-1 e o Sonda IV.

Danton Villas Bóas.

Ambiente de microgravidade



Amery Neto.

Figura 4.54. Meios para obtenção de microgravidade.

Um exemplo bastante utilizado pelos professores de Física é aquele no qual os cabos de um elevador são cortados e o mesmo despenca, pela ação da gravidade. Durante os breves segundos de duração da queda, o infeliz passageiro desse elevador sentirá o chão faltar aos seus pés. Se estivesse em pé sobre uma balança, esta não registraria o seu peso. Esta sensação de ausência de peso é decorrente do fato de que tanto o elevador quanto o passageiro caem com a mesma aceleração. Alguns parques de diversão possuem torres que permitem que o candidato despenque de uma altura equivalente a um prédio de 20 andares. Para os que têm coragem e apreciam fortes emoções, este é o meio mais barato e seguro de se experimentar a sensação de ausência de peso.

Baseado no princípio acima exposto, alguns países construíram torres de queda livre. Essas torres podem atingir a altura de cem metros. Para eliminar a influência do atrito, é feito vácuo no seu interior. Durante os cinco segundos de queda livre, é possível obter uma gravidade equivalente

a cem milésimos da gravidade na superfície terrestre. Apesar de pequeno, este intervalo de tempo permite a projeção e desenvolvimento de experimentos a serem realizados no ônibus espacial e na Estação Espacial Internacional. Países como Estados Unidos, Alemanha e Japão possuem Torre de Queda Livre.

Outro exemplo de criação de ambiente de microgravidade próximo à superfície terrestre são os vôos parabólicos realizados por

aviões. Tais vôos duram cerca de 30 segundos e são largamente utilizados no treinamento de astronautas. Nos dias de hoje, empresas privadas oferecem essa diversão a pessoas dispostas a pagar a bagatela de três mil dólares, mais despesas de hospedagem e transporte até o local do vôo. Entretanto, vale a ressalva de que tais vôos são apelidados de “Cometa do Vômito”.

Se os segundos providos pelas torres de queda livre e pelos vôos parabólicos com aviões não são suficientes para o fim desejado, há a possibilidade de realizar vôos parabólicos com foguetes de sondagem, obtendo-se cerca de seis minutos de microgravidade. Por meio do Programa Microgravidade, a Agência Espacial Brasileira oferece a universidades, centros de pesquisa e escolas a possibilidade de realizar experimentos em ambiente de microgravidade. Para tanto, são utilizados os foguetes de sondagem produzidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE).

Caso o tempo necessário para a realização do experimento seja da ordem de alguns dias, as únicas opções são o ônibus espacial americano e a Estação Espacial Internacional (ISS). Nesses casos, entretanto, não se admite que os materiais utilizados nos experimentos, ou mesmo os experimentos, imponham qualquer risco à tripulação e à espaçonave. Conseqüentemente, realizar experimentos nesses ambientes custa caro.

O Projeto Sara, sigla para Satélite de Reentrada Atmosférica, visa ao preenchimento da lacuna existente entre os vôos suborbitais com foguetes de sondagem e os vôos orbitais com o ônibus espacial e a Estação Espacial Internacional. O Projeto Sara encontra-se em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e com ele pretende-se dotar o Brasil de uma plataforma orbital para a realização de experimentos em ambiente de microgravidade. A colocação do Sara em órbita da Terra exigirá um veículo lançador de satélites, similar ao VLS-1. O Sara foi concebido para ficar dez dias em órbita da Terra (tempo de vida das suas baterias), após os quais ele terá sua reentrada induzida, sendo recuperado na superfície terrestre.

Para finalizar, é importante ressaltar que a intensidade do campo gravitacional terrestre nas altitudes de operação do ônibus espacial e da ISS é cerca de 90% daquela existente na superfície terrestre. O fato de os astronautas e objetos flutuarem no interior dessas espaçonaves decorre de que tanto elas quanto os astronautas e objetos encontram-se em permanente processo de queda livre em direção à superfície terrestre. Entretanto, como são dotadas de uma componente de velocidade paralela à superfície da Terra de 28.000 km/h, à medida que caem, as espaçonaves descrevem uma trajetória curvilínea que acompanha a curvatura da superfície terrestre. Conseqüentemente, elas nunca atingem a superfície.

O Veículo Lançador de Satélites (VLS-1)

Ao final da década de 1970, foi criada a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), que previa a construção e lançamento de satélites a partir do território nacional, por meio de foguetes brasileiros. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) coube o projeto, desenvolvimento e construção dos satélites. Ao Comando da Aeronáutica, na época Ministério da Aeronáutica, coube a construção de um novo centro de lançamento, o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). O desenvolvimento do foguete necessário à colocação dos satélites em órbita, o VLS-1, ficou a cargo do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), órgão subordinado ao Comando da Aeronáutica.

O desenvolvimento do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1), Figura 4.55, teve o seu início efetivo em 1984, após o primeiro lançamento do foguete de sondagem Sonda IV. O projeto do VLS-1 baseou-se na premissa de que o sistema deveria fazer o uso máximo da tecnologia, dos desenvolvimentos e das instalações já disponíveis no País. As tecnologias não dominadas seriam desenvolvidas no Brasil e, em último caso, adquiridas de outros países.

O VLS-1 é um lançador de satélites convencional lançado a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), situado na cidade

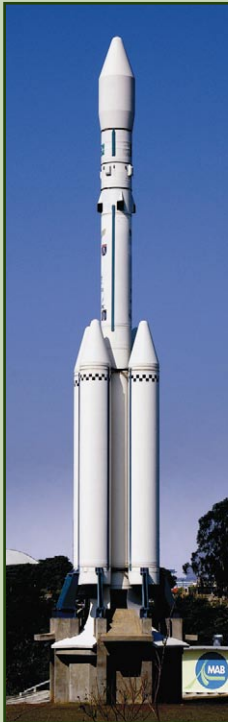


Figura 4.55. Maquete do VLS-1 em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB).

de Alcântara, MA, próximo ao Equador terrestre. A propulsão principal é fornecida por sete propulsores a propelente sólido, divididos em quatro estágios. Das 50 toneladas de massa inicial, 41 toneladas são propelente. Tal se explica pela necessidade de impor a velocidade de 28.000 km/h ao satélite. No instante da decolagem, o VLS-1 possui 19 metros de altura. Uma missão típica do VLS-1 permite a colocação de um satélite de 150 kg numa órbita equatorial de 750 km de altitude. Dessa forma, o VLS-1 seria capaz de colocar em órbita o SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados 1), desenvolvido pelo Inpe.

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 voo 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, Figura 4.56. Tipicamente, o tempo de combustão de cada um dos motores é de 60 segundos.

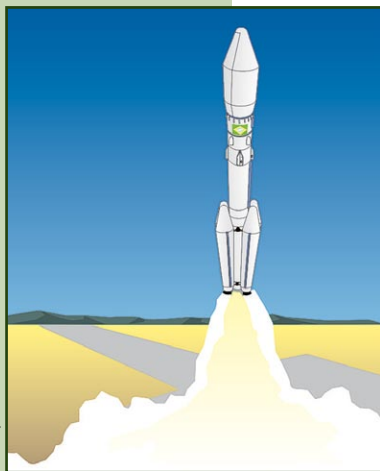
Com o intuito de controlar o voo do VLS-1, as tubeiras dos três primeiros estágios são móveis. A cada instante do voo, um dispositivo denominado plataforma inercial informa ao computador de bordo a atitude do veículo, ou seja, sua orientação em relação a cada um dos eixos de referência. Comparando a atitude real com aquela prevista pelos técnicos que desenvolveram o VLS-1, o computador de bordo comanda o movimento das tubeiras. Essas correções de trajetória são feitas automaticamente durante o voo, sem que haja a intervenção dos técnicos que, do solo, acompanham o voo do VLS-1. Ou seja, o VLS-1 é dotado de “inteligência” que lhe permite, em “tempo real”, decidir o que fazer.



Figura 4.56. Estágios do VLS-1.

As fases do voo do VLS-1

Para a inserção de um satélite em órbita da Terra, é necessária uma série de eventos, todos bastante complexos e que devem ocorrer com enorme precisão.



Amery Neto.

Figura 4.57. Lançamento do VLS-1.

Quando da ignição dos quatro propulsores do 1º estágio do VLS-1, é gerado um empuxo total de cerca de 1.000 kN (aproximadamente cem toneladas), ou seja, duas vezes o peso do VLS-1, Figura 4.57.

Os gases dos propulsores do 1º estágio são expelidos da tubeira a 8.300 km/h.

Com 25 segundos de voo, o VLS-1 atinge a velocidade do som, ou seja, 1.100 km/h. Tal ocorre numa altitude de 3.200 m.

A literatura aeroespacial define uma grandeza que relaciona a velocidade do veículo à velocidade do som. Trata-se do número de Mach. Portanto, a 3,2 km de altitude, o VLS-1 está voando a Mach 1.



Amery Neto.

Figura 4.58. Separação do 2º estágio, ignição do 3º estágio e ejeção da coifa.

Alguns segundos antes do final de queima dos motores do 1º estágio, é acionada a ignição do propulsor do 2º estágio. Tal visa ao efetivo controle do veículo na fase entre o final de queima dos quatro motores do 1º estágio e a separação destes. Os envelopes-motores do 1º estágio caem no mar e não são recuperados. Os gases de combustão dos propulsores do 2º estágio são expelidos a 10.000 km/h. Durante a queima do 2º estágio, o VLS-1 atinge Mach 8,4. Tal ocorre 118 segundos após o lançamento, a uma altitude de 100 km.

Alguns segundos após a separação do motor do 2º estágio, é acionada a ignição do propulsor do 3º estágio, Figura 4.58. Nesse instante, o VLS-1 já ultrapassou as camadas mais densas da atmosfera

terrestre, que, para todos os efeitos práticos, encontram-se abaixo dos 100 km de altitude. Conseqüentemente, não há mais necessidade da coifa, dispositivo que protege o satélite do atrito com a atmosfera. Com a ejeção da coifa, elimina-se uma massa de cerca de 157 kg, melhorando o desempenho do lançador. Tanto o envelope motor do 2º estágio quanto a coifa caem no mar, próximo à costa do continente africano. Todos esses eventos devem ser cuidadosamente avaliados pelos técnicos que trabalham no VLS-1, como forma de evitar que partes do veículo caiam sobre regiões que possam causar danos a pessoas e a bens materiais.

Aos 193 segundos de voo, ocorre o fim da queima do motor do 3º estágio, bem como a sua separação. Nesse instante, o VLS-1 encontra-se numa altitude de 243 km e voando a 18.600 km/h. A essa altura, o conjunto Baia de Equipamentos/4º estágio/satélite, Figura 4.59, encontra-se sobre o Oceano Atlântico. É na Baia de Equipamentos que se encontram a plataforma inercial, o computador de bordo e oito micropropulsores responsáveis pelo sistema de basculamento. Considerando-se o plano da Figura 4.59,

ainda o conjunto Baia de Equipamentos/4º estágio/satélite está inclinado em 52° em relação à vertical. A ignição do motor do 4º estágio somente ocorre após a separação da Baia de Equipamentos. No entanto, com ela se vai a “inteligência” do VLS-1 e, portanto, somente pode ocorrer após a manobra de basculamento, que visa posicionar o conjunto Baia de Equipamentos/4º estágio/satélite na atitude desejada, qual seja, paralela à superfície terrestre. O princípio de funcionamento dos micropropulsores responsáveis pela manobra de basculamento é semelhante ao dos motores principais, mas, neste caso, o empuxo é gerado pela descarga de nitrogênio pressurizado. A operação de basculamento demora cerca de 60 segundos, podendo consumir cerca de quatro quilogramas de nitrogênio, que são transportados em tanques



Figura 4.59. Manobra de basculamento do VLS-1.

pressurizados na Baía de Equipamentos. Como não se encontra propulsado durante essa fase, há uma redução de velocidade do conjunto, decorrente da ação da força gravitacional.



Figura 4.60. Indução de rotação do VLS-1.

Finalizada a orientação do motor do 4º estágio, que a ele tem acoplado o satélite de um lado e a Baía de Equipamentos do outro lado, são acionados os quatro propulsores de indução de rolamento, Figura 4.60, que impõem 180 rotações por minuto, em torno do eixo longitudinal. Tais propulsores fazem uso de 600 gramas de propelente sólido cada, consumidos em dois segundos. Essa rotação é necessária para conferir estabilidade ao sistema, de modo análogo ao que ocorre com os piões. Em uma trajetória típica do VLS-1, a indução de rolamento ocorre após 457 segundos de vôo, quando o VLS-1 está voando a uma velocidade de 15.600 km/h, a 700 km de altitude. Somente neste instante é feita a separação da Baía de Equipamentos, Figura 4.61. Vale ressaltar que desde a separação do motor do 3º estágio não há força propulsiva. Portanto, o que restou do VLS-1 continua subindo por inércia. Em função da gravidade que continua a agir sobre ele, a sua velocidade, que era de 18.580 km/h, foi reduzida para 15.600 km/h.



Figura 4.61. Separação da Baía de Equipamentos do VLS-1.

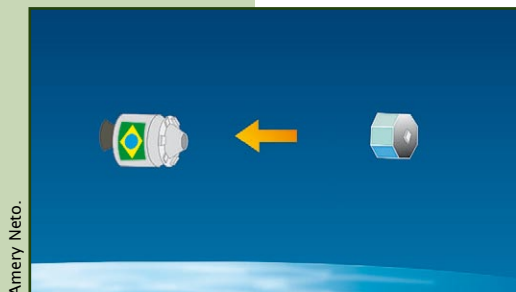


Figura 4.62. Separação do satélite.

Depois das manobras de basculamento, indução de rotação e separação da Baía de Equipamentos, o propulsor do 4º estágio é acionado, levando o satélite de 15.600 km/h à velocidade final de 28.000 km/h. Após os 60 segundos de queima do propulsor do 4º estágio, dá-se a separação do satélite do 4º estágio, Figura 4.62. Neste caso, ficam

em órbita da Terra o satélite e o envelope-motor do 4º estágio que, vazio, vira lixo espacial.

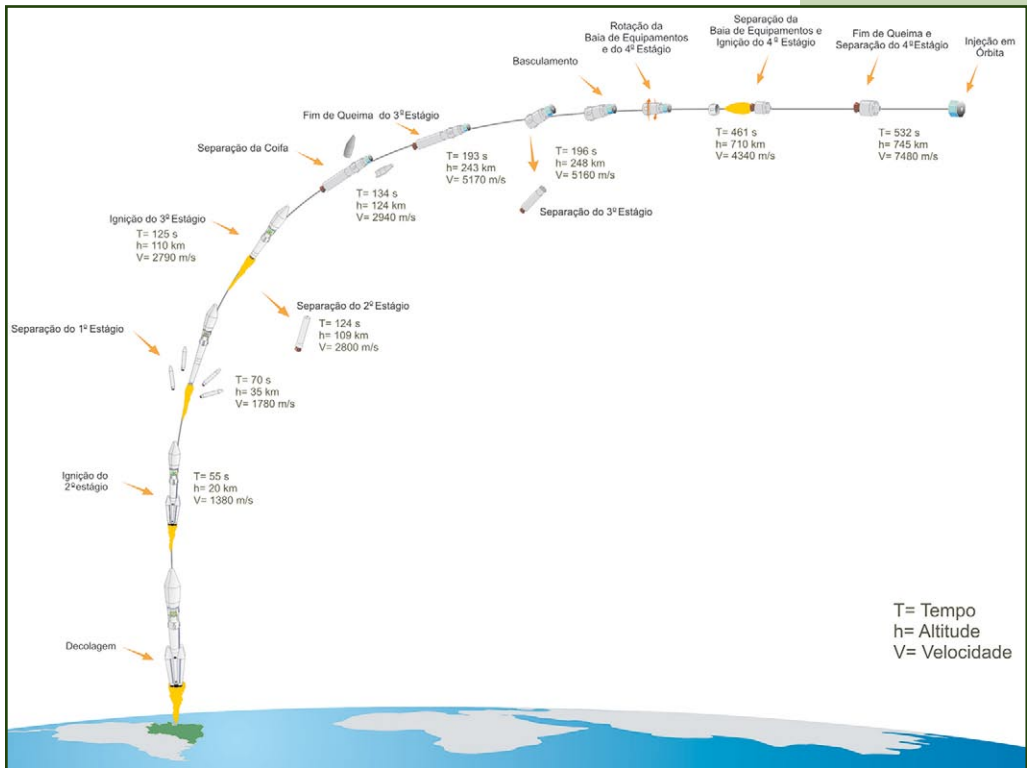
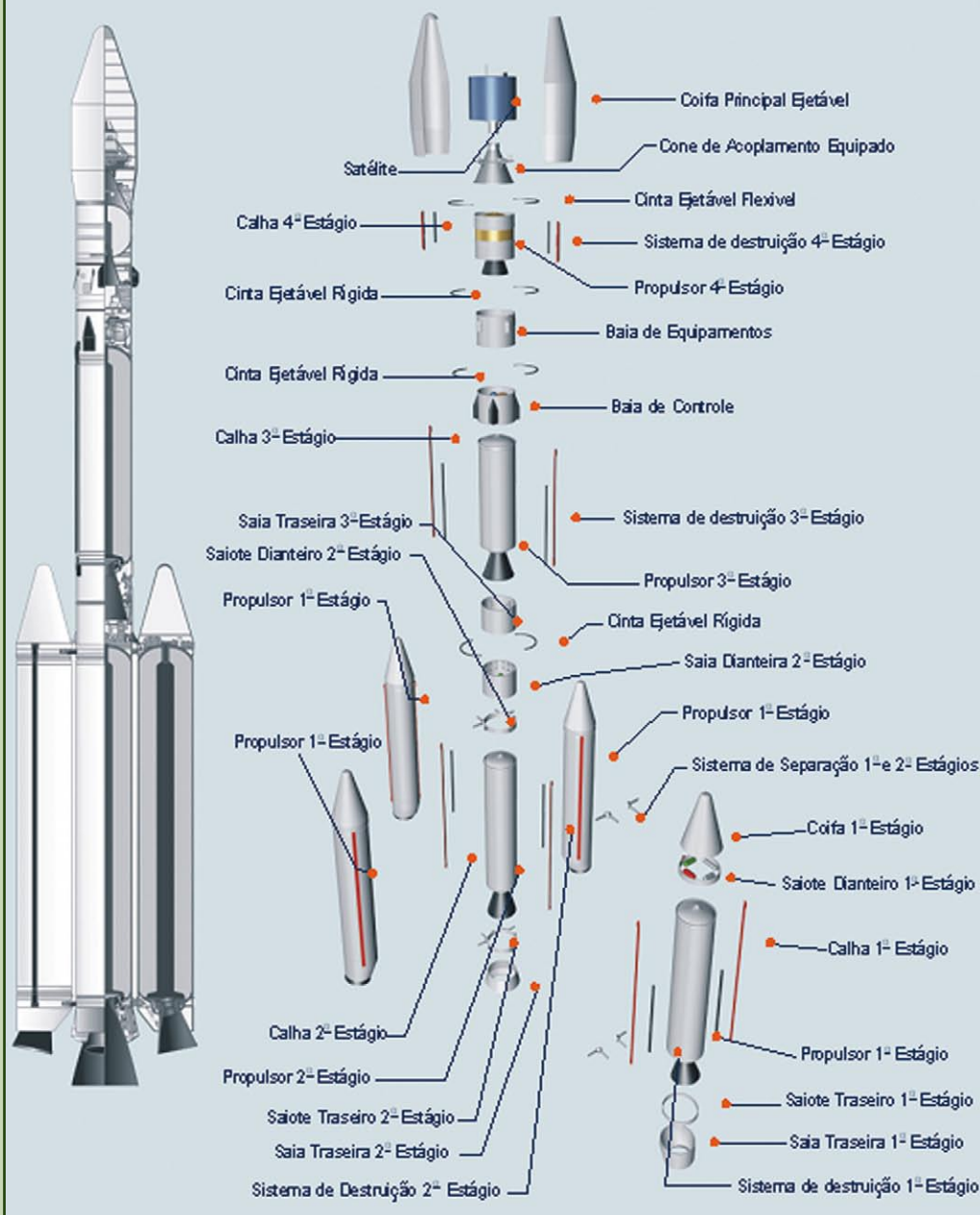


Figura 4.63. Perfil da missão do VLS-1.

Na Figura 4.63 é apresentado o perfil típico do vôo do VLS-1. Podem ser vistos os tempos (T), altitudes (h) e velocidades (V) em que ocorrem os principais eventos de vôo. Por exemplo, a injeção do satélite em órbita da Terra é feita em 532 segundos, ou seja, cerca de nove minutos após a decolagem, em uma altitude de 745 km. A partir desse resumo não é difícil concluir do extraordinário desafio relacionado à colocação de um satélite em órbita da Terra, ainda mais quando se considera que o VLS-1 é composto de 2.000 peças, conforme esquematicamente ilustrado na Figura 4.64. Não é à toa que apenas oito países do mundo detêm a tecnologia de lançamento de satélites.

VLS - Veículo Lançador de Satélites



Amery Neto.

Figura 4.64. Alguns dos milhares de componentes do VLS-1.

OS CENTROS BRASILEIROS DE LANÇAMENTO DE FOGUETES

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

O primeiro centro de lançamento a se tornar operacional em território brasileiro foi o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), em Parnamirim, ao sul de Natal, RN, que começou a operar em 1965. A partir dele o Brasil lançou centenas de foguetes nacionais e estrangeiros. Todos tinham em comum o fato de serem suborbitais, ou seja, não chegavam a colocar um objeto em órbita da Terra. Na maioria dos casos, seu propósito era o de transportar experimentos para o estudo das altas atmosferas, daí o fato de também serem conhecidos como “foguetes de sondagem”. Além de conduzir operações de lançamento de foguetes nacionais, o CLBI participa dos lançamentos dos foguetes franceses Ariane, lançados da Guiana Francesa e rastreados em parte dos seus vôos pelo CLBI.

Com isso estabeleceu-se uma longa tradição de realização desse tipo de missão, que perdura até hoje e é conduzida pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), órgão do Ministério da Defesa.

No final dos anos 1970, quando nasceu a chamada Missão Espacial Completa Brasileira (o lançamento de satélites nacionais por um foguete nacional de uma base também nacional), ficou claro que as instalações necessárias para atividades de lançamento do VLS-1 não poderiam ser atendidas pelo CLBI. Embora já funcionasse com eficiência, a antiga base não tinha mais espaço ao seu redor para se desenvolver, além de ter áreas urbanas muito próximas, que poderiam ser colocadas em risco no caso de uma falha no lançamento.

A Aeronáutica então iniciou estudos para a construção de uma nova base, e o local escolhido foi Alcântara, no Maranhão. Assim, foi criado o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).

Seria difícil encontrar um lugar no mundo tão adequado. Em primeiro lugar, Alcântara fica muito perto da Linha do Equador, apenas 2 graus e 18 segundos no Hemisfério Sul. Mas qual é a vantagem de se estar localizado próximo ao Equador? Ora, sabe-se que a Terra gira em torno de um eixo que passa pelos pólos Norte e Sul. Isto significa que, quanto mais distante deste eixo, maior a velocidade de um corpo na sua superfície. Os pontos mais distantes deste eixo estão sempre sobre o Equador.

Por outro lado, para que um satélite seja colocado em órbita, ele precisa ganhar uma grande velocidade, independentemente do ponto de onde seja lançado. No entanto, se o ponto de partida estiver próximo do Equador, ele já sai com a velocidade daquele ponto. Isso barateia substancialmente os lançamentos, quando se compara a outros pontos de lançamento na Terra, por ser necessário um foguete menor, ou por ser possível colocar em órbita um satélite maior.

Para entender melhor esse fenômeno, basta girar um globo para ver que um ponto no Equador tem de dar uma volta muito maior que um ponto perto do pólo, embora ambos os pontos completem a volta ao mesmo tempo – o que denota uma velocidade maior do chão nas regiões equatoriais. É por essa razão que russos e americanos tentaram desenvolver seus principais centros de lançamento (Baikonur e Cabo Canaveral) o mais perto possível da Linha do Equador. No entanto, nenhum desses países tinha uma localização tão favorável quanto Alcântara.

Hoje, o único ponto de lançamento de foguetes que está mais próximo da Linha do Equador que Alcântara é o chamado Sea Launch – uma plataforma de petróleo marinha transformada em base de lançamentos por um consórcio de países que inclui Estados Unidos e Rússia. Embora ela possa se deslocar pelo oceano e se postar onde bem entender, a vantagem do posicionamento é diminuída

pelo alto custo de manutenção da instalação, além das dificuldades iminentes ao transporte do foguete e do seu combustível.

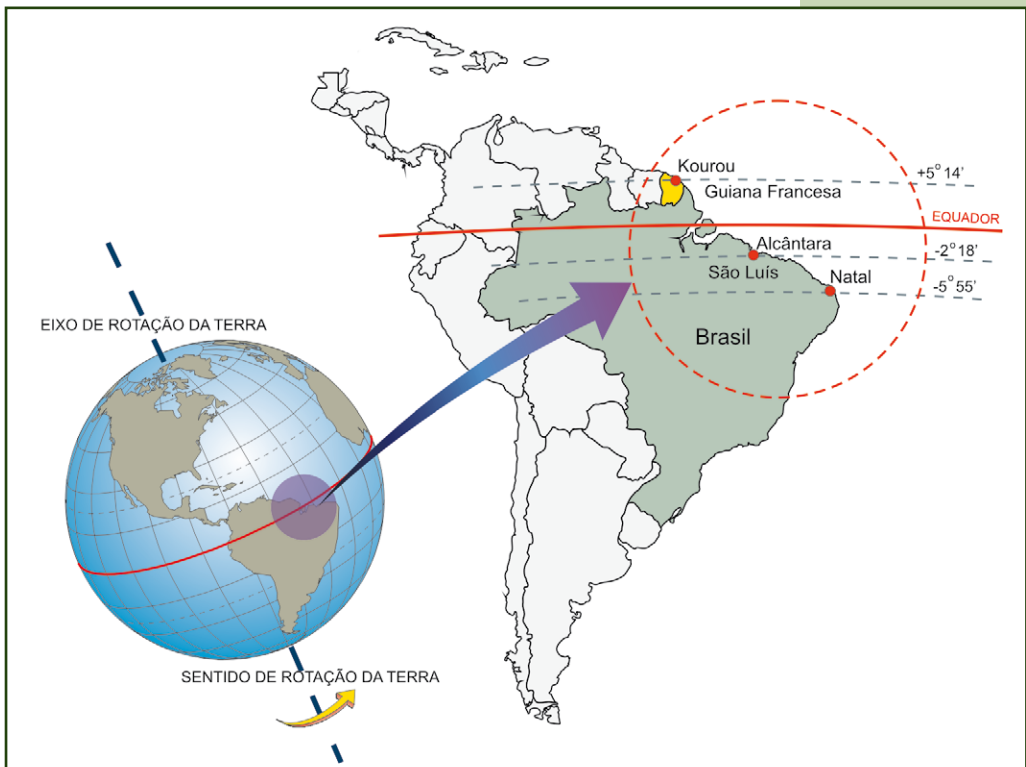


Figura 4.65. Mapa mostrando a região norte da América do Sul, localizando Alcântara e Kourou.

Excluído o Sea Launch, o principal competidor da base brasileira é o centro de Kourou, na Guiana Francesa – ele está localizado a 5 graus e 3 segundos do equador, mas na direção do Hemisfério Norte. É de lá que partem os foguetes da empresa francesa Arianespace (principal companhia de lançamentos de satélite comerciais), e os russos recentemente estabeleceram uma parceria com a Agência Espacial Européia (ESA) para fazer decolar de lá lançadores da linha Soyuz.

Mas Alcântara tem, além da localização, algumas vantagens adicionais. A disposição da península em que ela está localizada, na baía de São Marcos, permite lançamentos em todos

os tipos de órbita, desde as equatoriais às polares, e as regiões onde cairiam os vários estágios dos foguetes lançadores ficam no mar. Como fator de segurança adicional, a região tem baixa densidade demográfica e espaço para ampliação da base, possibilitando a existência de diversos portais para foguetes diferentes.

Finalmente, Alcântara também apresenta vantagens climáticas. O clima estável, com regime de chuvas bem definido e ventos em limites aceitáveis, torna possível o lançamento de foguetes em praticamente todos os meses do ano.

Resumindo: é difícil encontrar outro lugar no mundo tão propício à instalação de uma base de foguetes. Foi apostando nisso que, em 1983, a Aeronáutica criou ali o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).

De início, a base foi usada para lançamentos de pequeno porte, como os foguetes de sondagem brasileiros, e como ponto de partida para as tentativas de lançar o VLS-1. Mas já existem planos bastante avançados para converter o CLA numa instalação maior e mais sofisticada, que passaria a se chamar Centro Espacial de Alcântara. De lá, além dos foguetes brasileiros, haveria espaço para a cooperação internacional, de modo que o Brasil tenha chance de abocanhar parte do lucrativo mercado de lançamentos de satélites comerciais.

A comercialização de serviços de lançamento de satélites no Brasil

Em 2003, a Agência Espacial Brasileira (AEB) firmou uma parceria com a Ucrânia (uma das ex-repúblicas soviéticas), detentora de avançada tecnologia de mísseis balísticos e, por consequência, lançadores de satélites. A idéia era reunir as vantagens da posição de Alcântara à capacitação tecnológica dos ucranianos, desenvolvendo uma empresa binacional que explorasse o lançamento comercial de satélites.

O acordo entre as duas nações prevê que será utilizado o lançador Ciclone-4, o mais avançado da reconhecida família Ciclone de foguetes ucranianos. Ele poderá colocar até 5,5 toneladas numa órbita baixa, ou 1,7 toneladas em uma órbita geoestacionária, mais útil aos satélites comerciais.

A despeito da parceria, e da disponibilidade do foguete para lançamentos nacionais, ele continuará sendo produto de outro país, e não garante, em longo prazo, autonomia do Brasil no acesso ao espaço.

O astronauta brasileiro

O Brasil também tem um acordo de cooperação com os Estados Unidos na construção da Estação Espacial Internacional – iniciativa que colocou o País no rol das nações que realizam missões com astronautas. O escolhido foi o piloto da Força Aérea Brasileira Marcos Cesar Pontes (1963-), que também é engenheiro formado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Em 1998, Pontes iniciou o seu treinamento na Nasa. Tendo em vista as dificuldades do Brasil em participar da construção da ISS nos níveis inicialmente previstos, a significativa redução no número de vôos do ônibus espacial (em decorrência do acidente com o Columbia, em fevereiro de 2003) e as dezenas de astronautas americanos também desejosos de ir ao espaço, eram pequenas as chances de o tenente-coronel Pontes ir à ISS a bordo de um ônibus espacial americano. Considerando-se esses fatos, bem como o centenário do vôo do 14-Bis, em 23 de outubro de 2006, o governo brasileiro, por meio da Agência Espacial Brasileira (AEB), aceitou o oferecimento dos russos para levar o astronauta brasileiro à ISS. A viagem de Pontes foi batizada de Missão Centenário, em homenagem ao genial Santos Dumont.

Era noite do dia 29 de março de 2006, horário de Brasília (manhã do dia seguinte no Cazaquistão). Marcos Pontes foi conduzido

ao foguete Soyuz [que significa união, em russo] por uma lenda viva. Seu nome: Valentina Tereshkova, que, em junho de 1963, tornou-se a primeira mulher a entrar em órbita da Terra, onde permaneceu por três dias.

Uma vez na ISS, Pontes realizou oito experimentos desenvolvidos por universidades, centros de pesquisa e escolas brasileiras, participantes do Programa Microgravidade e do Programa AEB Escola, ambos patrocinados pela Agência Espacial Brasileira. Foram eles:

1. Efeito da microgravidade na cinética das enzimas.
2. Danos e reparos do DNA na microgravidade.
3. Teste de evaporadores capilares em ambiente de microgravidade.
4. Minitubos de calor.
5. Germinação de sementes em microgravidade.
6. Nuvens de interação proteica.
7. Germinação de sementes de feijão.
8. Cromatografia da clorofila.

Os experimentos Germinação de Feijão e Cromatografia da Clorofila foram desenvolvidos por alunos e professores do ensino fundamental da Secretaria de Educação de São José dos Campos, SP.



Para saber mais sobre os experimentos realizados por Marcos Pontes, acesse:
<http://www.aeb.gov.br/missaocentenario/Experimentos Científicos>.

À medida que o astronauta executava os experimentos na ISS, alunos e professores o acompanhavam, realizando os experimentos na Terra. Este acompanhamento, em “tempo

real”, foi possível graças ao envio por Pontes, via correio eletrônico, das fotos digitais tiradas a bordo da ISS. Detalhes sobre os experimentos das escolas, incluindo os resultados, podem ser obtidos no sítio www.las.inpe.br/microg/.

A TEORIA DOS FOGUETES

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

O princípio de funcionamento dos foguetes é o mesmo observado ao se brincar com um balão de látex (balão de aniversário) cheio de ar. Se o bico do balão é mantido fechado, há a situação de equilíbrio e nenhum movimento do balão é observado. Trata-se da situação ilustrada esquematicamente no item a da Figura 4.66. No entanto, ao se permitir a passagem de ar através do bico do balão, esta se move no sentido contrário ao de escape do ar, situação esta ilustrada no item b da Figura 4.66. Ao escape dos gases através do bico denomina-se “ação”, enquanto o movimento do balão corresponde à “reação”. Na prática, como o bico do balão não é fixo, o seu movimento se dá de uma maneira aleatória, isto é, em ziguezague. Em que pese simples, este é o princípio de funcionamento dos foguetes e dos motores a jato dos aviões. É também o princípio de funcionamento do carro-foguete de corrida descrito na atividade de “Construindo um Carro-Foguete” (Figura 4.80).

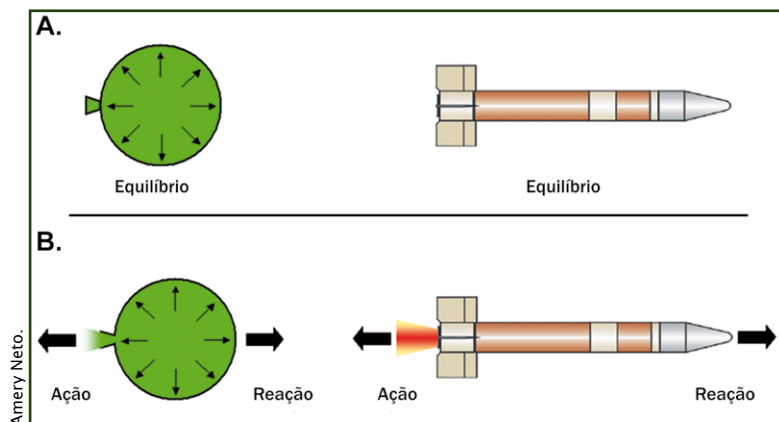


Figura 4.66A e B. Balão de látex (balão de aniversário) e foguete.

Em um foguete, o balão é substituído por uma cavidade, geralmente de forma cilíndrica, enquanto o bico é substituído por um dispositivo denominado tubeira. Nos foguetes, os gases de escape são gerados pela queima do combustível. Na engenharia de foguetes, o combustível e o oxidante são denominados propelentes e o processo de combustão é comumente referido como queima. Há combustíveis sólidos, como a pólvora, e líquidos, como o querosene.

Tendo inventado a pólvora no século 11, coube aos chineses a invenção dos foguetes a propelente sólido. Ainda que a teoria fosse desconhecida, os resultados impressionavam e não tardou para que os próprios chineses fizessem, no século 13, uso bélico da sua invenção. Passaram-se quatro séculos até que o inglês Isaac Newton formalizasse a teoria que explicaria o princípio de funcionamento dos foguetes, qual seja o da ação e reação, conhecido como a Terceira Lei de Newton.

A força de ação que impulsiona o foguete é chamada empuxo. A intensidade dessa força depende, dentre outros fatores, da quantidade e da velocidade de escape dos gases através da tubeira. Ao escaparem através da tubeira, os gases geram uma força de empuxo (“ação”) que desloca o foguete em sentido contrário (“reação”).

Para facilitar a comparação com os balões, os foguetes da Figura 4.66 foram representados horizontalmente. Na prática, os foguetes são posicionados na vertical. Tal fato traz conseqüências importantes. A principal delas diz respeito à ação da força da gravidade, que atua no sentido de manter o foguete no solo. Para ilustrar, considere o foguete VLS-1 com um peso de 50 toneladas. Para tirá-lo do solo, é necessário um empuxo (força) superior a 50 toneladas. Enquanto a força de empuxo gerada pela queima dos quatro motores do 1^o estágio do VLS-1 (veja Veículo Lançador de Satélites) for inferior à força peso, o VLS-1 não se moverá um único milímetro na direção vertical. No entanto, ao atingir o regime de operação nominal, os quatro propulsores do VLS-1 geram um empuxo de cem toneladas. Considerando-se que a força de empuxo seja constante e que a massa do VLS-1 diminua à razão de meia tonelada por segundo

(em função da queima do propelente), o VLS-1 é continuamente acelerado na direção vertical. Foi também Isaac Newton que formalizou este conceito por meio da Segunda Lei de Newton.

Propulsão sólida

O propelente sólido consiste de uma mistura de alumínio em pó (16% em massa), perclorato de amônia (NH_4ClO_4 , 70% em massa), polibutadieno hidroxilado (12% em massa) e agentes de cura (2% em massa). O alumínio age como combustível, enquanto o perclorato de amônia age como oxidante. O combustível e o oxidante, na forma de uma mistura pastosa, são inseridos no envelope-motor, que funciona como molde. Após a cura, o propelente tem consistência semelhante a uma borracha dura. Posteriormente, são instalados o ignitor e a tubeira, obtendo-se o motor-foguete. Sob condições de pressão e temperatura ambiente, não há combustão. A combustão se inicia quando o propelente é exposto a uma fonte externa de calor, a qual provém do ignitor, instalado normalmente em uma das extremidades do motor, conforme mostrado na Figura 4.67. Por voarem no vácuo do espaço, os motores-foguete carregam consigo o oxidante necessário à combustão. No caso dos motores-foguete a propelente sólido, oxigênio necessário à queima do combustível provém do perclorato de amônia.

Dada a ignição, inicia-se a queima do combustível no interior da câmara de combustão fazendo com que gases a alta pressão e temperatura sejam gerados. Vale destacar a existência de uma região ôca no interior do propulsor, ilustrada na Figura 4.67. Dessa forma, o propelente é queimado de dentro para fora, ao longo de todo o seu comprimento.

Os motores-foguete que utilizam propelente sólido são de construção e operação mais simples do que aqueles que fazem

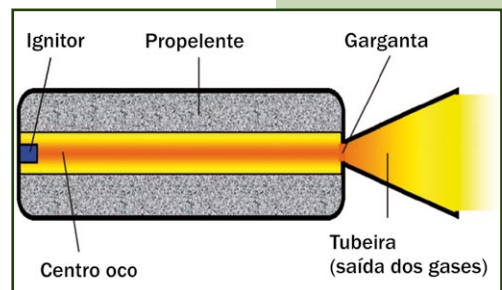


Figura 4.67. Vista em corte longitudinal de um propulsor sólido.

Danton Villas Bôas.

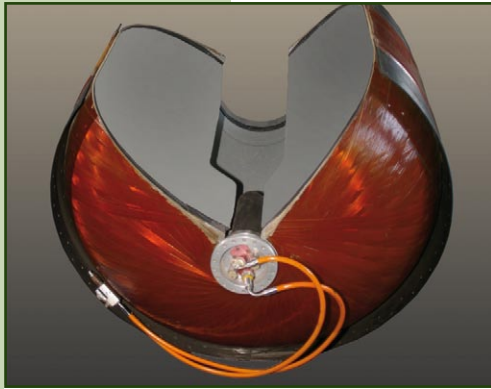


Figura 4.68. Vista em corte do motor-foguete S44 (sem tubeira), utilizado como 4º estágio do VLS-1.

uso de propelentes líquidos. Podem também ser armazenados por vários anos. Em contrapartida, são menos eficientes que os líquidos e, uma vez iniciada a combustão, não há como interrompê-la.

Os motores-foguete a propulente sólido podem variar enormemente em termos de dimensões e aplicações. Por exemplo, enquanto os quatro propulsores do primeiro estágio do VLS-1 carregam 7.000 kg de propulente, os quatro propulsores de indução de rolamento transportam 0,6 kg cada.

Propulsão líquida

Em um propulsor líquido, Figura 4.69, o combustível e o oxidante são armazenados em tanques separados. Quando injetados na câmara de combustão, ocorre a ignição, combustão e geração de gases. Querosene e hidrogênio são largamente utilizados como combustíveis de foguetes, enquanto o oxigênio é o oxidante mais comum. Como necessitam de grandes quantidades de combustível e oxidante, os foguetes devem transportá-los na fase líquida. Quanto ao querosene, não há maiores problemas, uma vez que ele se apresenta na fase líquida sob as condições de pressão e temperatura ambiente. No entanto, para que existam na fase líquida, tanto o hidrogênio quanto o oxigênio precisam estar a temperaturas criogênicas, ou seja, -150°C para o oxigênio e -250°C para o hidrogênio. É por isso que, quando do lançamento de foguetes como o Soyuz e o Saturno V, observa-se o desprendimento de placas da sua superfície externa. Tratam-se de placas de gelo formadas pela solidificação do vapor d'água existente no ar atmosférico. Em decorrência das dificuldades em operar com temperaturas tão baixas (criogênicas), os tanques contendo hidrogênio e oxigênio líquidos são carregados somente algumas horas antes do lançamento.

O foguete americano Saturno V, que levou o homem à Lua, fazia uso do par propulente oxigênio-querosene no primeiro estágio