



PEQUENO ATLAS DO

Sistema Solar

E. IVO ALVES

(Página deixada propositadamente em branco)

PEQUENO ATLAS DO

Sistema Solar

E. IVO ALVES



(Página deixada propositadamente em branco)



Porque é **crítico** chegar mais além...
...Critical Software.

DEPENDABLE TECHNOLOGIES FOR CRITICAL SYSTEMS

Do the right things! Do the things right!

Critical Software S.A.

Parque Industrial de Taveiro, Lote 48 · 3045-504 Coimbra, Portugal

t.: +351 239 989 100 · f.: +351 239 989 119 · e: csw-info@criticalsoftware.com · u.: www.criticalsoftware.com

Critical

software

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Imprensa da Universidade de Coimbra
Email: imprensauc@ci.uc.pt
URL: http://www.uc.pt/imprensa_uc
Vendas online: <http://livrariadaimprensa.com>

CONCEPÇÃO GRÁFICA
António Barros

INFOGRAFIA
Carlos Costa
Imprensa da Universidade de Coimbra

EXECUÇÃO GRÁFICA
Sereer, soluções editoriais

ISBN
978-989-26-0035-2

ISBN DIGITAL
978-989-26-0200-4

DOI
<http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0200-4>

DEPÓSITO LEGAL
310970/10

OBRA PUBLICADA COM O APOIO DE:



FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR Portugal

© MAIO 2010, IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. A ORIGEM DO SISTEMA SOLAR.....	15
3. O SOL.....	19
4. MERCÚRIO	23
5. VÊNUS.....	31
6. A TERRA	41
7. A LUA	53
8. MARTE.....	63
9. OS SATÉLITES DE MARTE: FOBOS E DEIMOS	79
10. OS ASTERÓIDES	83
11. OS METEORITOS	89
12. JÚPITER.....	95
13. IO	103
14. EUROPA	111
15. GANIMEDES	117
16. CALISTO	123
17. OS SATÉLITES MENORES DE JÚPITER	129
18. SATURNO.....	133
19. TITÃ.....	139
20. AS OUTRAS LUAS DE SATURNO.....	145
21. ÚRANO	159
22. OS SATÉLITES DE ÚRANO	163
23. NEPTUNO	167
24. TRITÃO E OS SATÉLITES DE NEPTUNO.....	171
25. PLUTÃO E MAIS ALÉM... ..	177
26. OS COMETAS, A CINTURA DE KUIPER E A NUVEM DE OORT.....	183
27. GLOSSÁRIO	193
28. PARA CONHECER MAIS.....	215
29. CRONOLOGIA DA EXPLORAÇÃO DO SISTEMA SOLAR.....	217

(Página deixada propositadamente em branco)

1. INTRODUÇÃO

Um pouco de História

O Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC) foi fundado em 1864, ano em que se começaram as medidas sistemáticas de parâmetros climatológicos (temperaturas, pressão atmosférica, pluviosidade, direcções e velocidades dos ventos). Logo em 1866, sob o impulso de Gauss, criou-se o observatório magnético, que ainda hoje é o único do território nacional. Em 1906 o IGUC adquiriu o primeiro sismógrafo que funcionou em Portugal.

As séries de dados mantêm-se quase ininterruptas desde o início até hoje, tendo sobrevivido a todas as convulsões que ocorreram nestes quase 150 anos. Este é um património ímpar à escala mundial, que deve ser preservado e sempre actualizado.

Quando alguém está doente, os médicos observam-no, usando todos os meios de diagnóstico que estão ao seu alcance: medem a temperatura, a pulsação e a tensão arterial; fazem electrocardiogramas, radiografias e análises aos fluidos corporais. Hoje, que a Terra é cada vez mais encarada como um planeta doente, como é que se pode esperar diagnosticar o seu estado sem recurso aos meios da Geofísica?

Continuando a analogia com a Medicina, uma das ferramentas mais preciosas ao serviço dos médicos é a experiência: quando observam um novo doente podem fazer prognósticos sobre a evolução do seu estado de saúde porque sabem como evoluiu a saúde de outros doentes. Essa é uma das razões porque tem sido dada tanta importância ao estudo de outros planetas. Só para dar um exemplo, Vénus é um laboratório vivo sobre o efeito de

estufa que nos preocupa hoje tanto na Terra. Assim, desde meados do séc. XX que a ciência planetária tem sido um ramo de pleno direito da Geofísica, dado que os métodos que usa para estudar os planetas são os métodos da Geofísica: a detecção remota (análise de imagens obtidas por satélites), a sismologia, o estudo do magnetismo e da gravidade, a meteorologia e a climatologia.

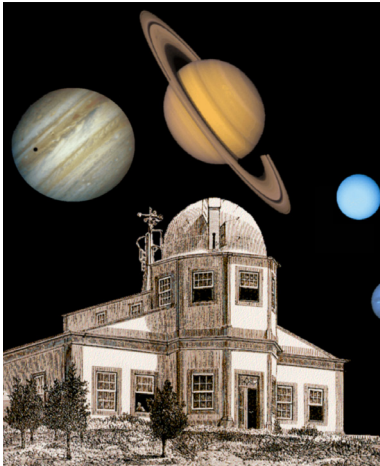


Figura 1.1 - O Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra: passado, presente e futuro. Fotomontagem EIA/IGUC.

A oportunidade

Em Portugal estivemos um pouco arredados deste novo campo de investigação até que se abriu uma janela de oportunidade com a adesão do nosso País como membro de pleno direito da Agência Espacial Europeia (ESA – *European Space Agency*), em 2001.

A fim de dinamizar as ciências planetárias nos países que, como o nosso, são inexperientes neste ramo, a ESA lançou, logo em 2001, um concurso para analisar e divulgar os dados que seriam obtidos pela missão Mars Express, que partiu para Marte em Julho de 2003. O IGUC concorreu e o seu projecto MAGIC (*Mars Geophysical Imagery Classification*) foi aprovado. Inovámos, as-

sim, mais uma vez: fomos o primeiro laboratório português a ser reconhecido e apoiado pela ESA.

Um dos pontos mais importantes do nosso projecto é a divulgação em Portugal das Ciências Planetárias. Como essa divulgação tem que começar pelos mais jovens, iniciámos um ciclo de palestras nas escolas onde, é claro, uma das perguntas recorrentes foi: «como é que posso aprender mais?».

Não é fácil responder a esta pergunta. Os livros de divulgação sobre o Sistema Solar, em Português, destinam-se a um público situado no Ensino Básico, e muitos são bons nessa função. São, contudo, demasiado primários, com poucas imagens – na sua maioria desenhos – e pouco conteúdo. Marte tem dois satélites. Quantas pessoas sabem os seus nomes? Alguém já viu fotografias deles? Que semelhanças e diferenças têm em relação ao nosso satélite?

Um local óbvio para encontrar respostas é a Internet, mas esta tem alguns inconvenientes. Muitos jovens não dominam ainda a língua inglesa, para não falar que nem todos têm acesso à Internet em casa. Além disso, a informação na Internet encontra-se dispersa e oferece credibilidades muito variáveis.

O Atlas

Surgiu, assim, a ideia de fazer este Atlas do Sistema Solar. Ele destina-se a todos aqueles que procuram uma informação condensada, facilmente acessível, e imagens reais de todos os corpos do nosso sistema planetário. Todos os corpos? Bem, não todos. Se se pudessem contar todos os asteróides, todos os cometas, todos os objectos da Cintura de Kuiper e da Nuvem de Oort (todas as partículas nos anéis de Saturno?...), o número teria facilmente mais de quinze zeros. Digamos, os maiores objectos do Sistema Solar que têm nome...

Dada a formação em Geologia do autor, também se juntou informação disponível sobre Geologia Planetária, principalmente a partir dos mapas geológicos dos Serviços Geológicos dos Estados Unidos (USGS), por estes disponibilizados. Estes mapas devem ser lidos “com um grão de

sal”, dado que são bem diferentes dos mapas geológicos terrestres. Reflectem as idades relativas das várias unidades das superfícies planetárias, idades essas que foram obtidas a partir da contagem do número e dimensões das crateras existentes (unidades mais antigas são mais craterizadas – têm mais e maiores crateras) e das relações geométricas entre os objectos observados. A Geologia Planetária é um campo que só pode expandir-se cada vez mais, pois não se sabe ainda quase nada.

Pela mesma razão, juntou-se um capítulo sobre meteoritos, a seguir ao capítulo sobre os asteróides (a sua principal fonte). Recorde-se que o único planeta do qual temos conhecimento geológico directo, para além da Terra, é a Lua. Os meteoritos são um elemento precioso para o conhecimento do Sistema Solar, até porque há fortes razões para crer que alguns dos meteoritos que nos chegaram são provenientes da Lua, de Marte e mesmo de outros corpos, como veremos.

Os nomes das coisas

Agora mesmo, chamou-se “planeta” à nossa Lua. A palavra planeta tem um uso pouco habitual neste Atlas – um pouco o uso que os antigos gregos lhe davam: “corpo celeste errante”. Todos aprendemos na Escola que o Sistema Solar tem nove planetas mas, em muitos aspectos, a nossa Lua merece mais este nome que Plutão. Por isso, chamou-se às vezes planeta, sem vergonha, a qualquer corpo esférico de dimensões razoáveis.

A própria palavra “Lua” tem que se lhe diga: com maiúscula designa a “nossa” Lua e, com minúscula, um qualquer satélite de outro planeta. Até se conhecem asteróides, como Ida, com as suas próprias luas (Dáctilo).

Outra palavra que às vezes foi usada de maneira menos comum é “gelo”. Uma grande parte do Sistema Solar é composta de gelo. Isto quer dizer que é composto de materiais sólidos a muito baixa temperatura, materiais esses que conhecemos habitualmente no estado líquido ou gasoso às pressões e temperaturas da Terra. Assim, o termo gelo inclui sólidos de água mas também de metano, de amoníaco de dióxido de carbono ou de azoto. Em todo o caso, quando aparece a palavra gelo, sozinha, isto quer dizer gelo de água.

O que se disse das palavras planeta, lua ou gelo poderia dizer-se de muitas outras. Cada ciência tem um vocabulário próprio, que não se destina a afastar os leigos mas, pelo contrário, a facilitar a comunicação, evitando que se esteja sempre a repetir as mesmas definições. Por isso, incluiu-se neste Atlas um pequeno glossário daqueles termos que são menos usuais na linguagem do dia-a-dia.

Um problema com que o autor se defrontou foi o dos nomes próprios. Se ninguém tem dúvidas sobre os nomes próprios dos oito principais planetas (e daí... é Urano ou Úrano?), as dúvidas são muitas nos nomes dos corpos mais pequenos. As designações em Inglês são de uso universal, mas pareceu importante que se continuasse a tradição de ter nomes próprios em Português. Para isso, foi necessário traduzir, o que foi mais fácil para os nomes provenientes da mitologia clássica, a maioria, mas bastante mais difícil para os outros – como os satélites de Úrano, precisamente. Estes têm nomes de personagens das obras de Shakespeare e Pope, algumas das quais nunca traduzidas em Português. Perdoe-se ao presente autor alguma liberdade poética nas traduções.

Os números

Este Atlas também tem algo a dar a quem quer um pouco mais que imagens. Procurou-se centralizar em tabelas, em cada capítulo, os dados mais actuais sobre a física, a química e a história da descoberta dos planetas e dos seus satélites mais importantes. A maioria destes dados estão ainda afectados de grandes incertezas, por isso não deve surpreender o encontrar valores algo diferentes noutras fontes.

Uma possível fonte de confusão é o significado dos numerais. Ninguém duvida que um milhão são mil milhares (um, seguido de seis zeros, ou 10^6). E um bilião? A convenção dos países europeus de línguas latinas, que se seguirá no Atlas, é que um bilião é um milhão de milhões (10^{12}), um trilião é um milhão de biliões (10^{18}) e assim sucessivamente. Já no Brasil, um bilhão são mil milhões (10^9), pois lá segue-se a convenção anglo-saxónica.

Mas os números são só acessórios. O que é mesmo importante é renovar sempre o espanto com a beleza deste cantinho do Universo que nos rodeia: o Sistema Solar.

Agradecimentos

Em primeiro lugar às agências espaciais norte-americana e europeia, NASA e ESA, pois são a fonte da maioria das figuras. Além disso, as suas políticas de libertar as imagens para o domínio público são as responsáveis por este atlas não custar um preço proibitivo.

Também aos Serviços Geológicos dos Estados Unidos (USGS) por disponibilizarem os seus mapas geológicos digitais.

À Critical Software, empresa de Coimbra, do Mundo e do Universo, sem cujo apoio este projecto não se teria concretizado.

Ao meu amigo Gian Gabriele Ori, da International Research School on Planetary Sciences, Pescara, que me abriu o maravilhoso campo de estudo da Geologia Planetária.

À minha amiga e colega Teresa Barata, com quem tanto tenho aprendido, pela cuidada revisão científica do texto.

Aos senhores Marco Costa e Diego Merillas, pela pesquisa de informação e pela revisão atenta do texto original, há sete anos, quando eram estudantes de Geologia na Universidade de Coimbra.

Ao Pessoal do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, por todo o apoio prestado.

À Ana e à Mariana, por me terem suportado durante o processo de construção deste Atlas, mesmo sacrificando férias e tempos livres.

Estas pessoas são co-responsáveis por tudo o que o Pequeno Atlas do Sistema Solar tenha de bom. Os erros são da minha inteira responsabilidade.

Um último agradecimento a si, o Leitor. Espero que este livrinho, para além de informativo, lhe dê, a si, tanto prazer a ler como me deu, a mim, a construir.

(Página deixada propositadamente em branco)

2. A ORIGEM DO SISTEMA SOLAR

No Universo conhecido há muitas nuvens de gases e poeiras – nebulosas – que podem dar origem a sistemas solares (Figura 2.1). Em princípio, nessas nuvens há duas forças opostas que se equilibram: a gravidade, que tende a contraí-las, e a pressão térmica, que tende a expandi-las.

Por vezes essas nebulosas são perturbadas por algum tipo de choque, como a onda provocada pela explosão de uma estrela ou simplesmente a aproximação de outra nuvem.

Quando recebe o choque, a nebulosa começa a contrair-se. Para que essa contracção venha a dar origem a um sistema planetário, há algumas condições que têm que se cumprir: a nuvem tem que ter massa suficiente, ser densa, relativamente fria, e tem que estar animada de algum movimento inicial de modo a que a contracção gravitacional seja acelerada num movimento de rotação (da mesma forma que uma patinadora acelera a velocidade das piruetas aproximando os braços do corpo).

A contracção é acompanhada por um aumento de temperatura mas, desde que a massa nebular seja suficiente (massa de Jeans) a força gravitacional é sempre maior que a tendência para a expansão térmica. À medida que a nebulosa inicial roda e se contrai, fragmenta-se. Cada um dos fragmentos, desde que tenha massa e densidade suficientes, individualiza-se e, por sua vez, roda e contrai-se mais.

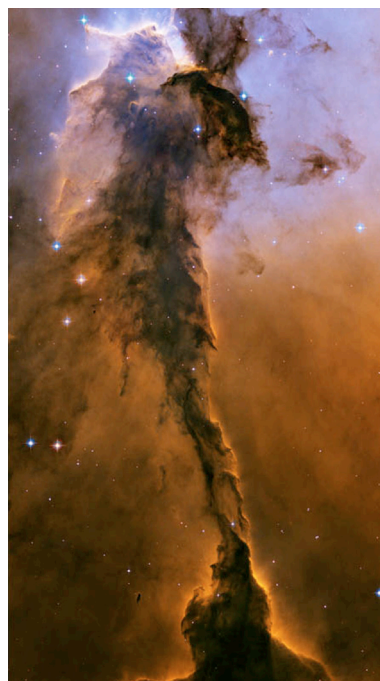


Figura 2.1 - A “maternidade de estrelas” na galáxia M16, vista pelo telescópio espacial Hubble (HST). NASA/HST.

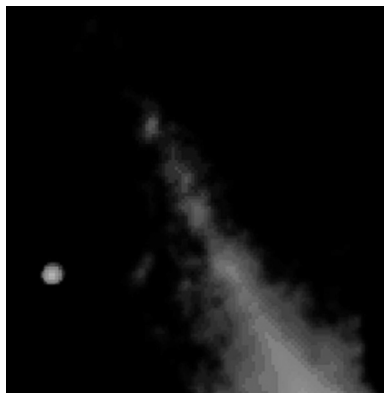


Figura 2.2 – O disco de poeiras em torno da estrela Beta Pictoris. NASA/HST.

Imagem no domínio do infravermelho.

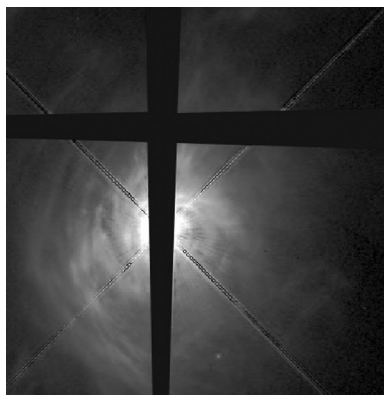


Figura 2.3 – Disco proto-planetário em torno da estrela AB Aurigae com granulações formadas. NASA/HST. As bandas negras destinam-se a ocultar o brilho das estrelas e os rosários em diagonal são fenómenos de difracção.

Nunca se observaram fragmentos nesta fase, não só porque é rápida (alguns milhares de anos), como também porque estarão rodeados por gases e poeiras densos. Só quando a temperatura dos fragmentos atinge os 2000 a 3000 K se tornam visíveis, merecendo agora o nome de proto-estrelas.

Uma destas proto-estrelas, há cerca de 4650 milhões de anos, veio a dar origem ao nosso Sol.

A contracção do proto-Sol deixou para trás um disco de material, a partir do qual se formou o sistema planetário. A composição deste material era a mesma do Sol actual e da nebulosa solar original. Esta era demasiado densa e opaca para deixar escapar energia por irradiação, por isso a contracção gravitacional foi sendo acompanhada por um aumento de temperatura. A uma distância de 300 a 500 milhões de km do proto-Sol, as temperaturas seriam ainda da ordem dos 2000 K pelo que quaisquer elementos estariam no estado gasoso.

Mas, a um certo ponto, a condensação fez com que a nebulosa ficasse transparente, começando assim a arrefecer. Isto veio a permitir que se produzissem compostos, inicialmente sob a forma de grãos de poeira. Um dos primeiros a formar-se teria sido o corindo, o óxido de alumínio impuro que compõe as safiras e os rubis, aos 1760 K,

e os últimos os gelos de metano e de azoto, a 70 K, nos bordos mais frios da nebulosa solar. Isto explica a diferenciação composicional, que se verá nos próximos capítulos, entre os planetas interiores e exteriores.

Mas havia ainda um longo caminho a percorrer entre esta nuvem de poeiras minerais e gelos e um Sistema Solar. À medida que se iam formando, as poeiras iam estabilizando em órbitas no plano médio da nebulosa, no que viria a ser a Eclíptica actual. Podem-se observar estes discos de poeiras em torno, por exemplo da estrela Beta Pictoris (Figura 2.2).

Os choques aleatórios entre partículas e a atracção gravitacional foram gerando agregados cada vez maiores, em tempos e com dimensões dependentes da distância ao centro gravitacional da nebulosa – o proto-Sol. Assim, estima-se em 2000 anos o tempo necessário para coagular grãos com 10 mm de diâmetro a 1 UA do Sol (na órbita actual da Terra), mas 50.000 anos para produzir grãos com 0,3 mm na órbita actual de Neptuno.

A coagulação é um processo acelerado; por isso, ao fim de mais 10 000 a 100 000 anos já haveria corpos com menos de 10 km de diâmetro – planetesimais – em órbitas da ordem de 1 UA: os embriões dos planetas do Sistema Solar interior. Na figura 2.3 pode ver-se o disco proto-planetário da estrela AB Aurigae, já com granulações formadas.

O proto-Sol estava então na fase de ser uma estrela de tipo T-Tauri: juvenil, pequena (talvez o dobro da massa actual) e produzindo jactos fortíssimos de partículas,

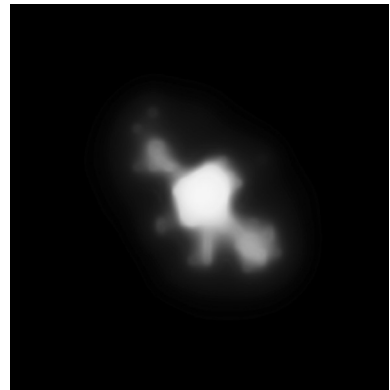


Figura 2.4 – Jactos emitidos pela estrela DG Tauri, nos raios X. Chandra/NASA.

o vento T-Tauri (Figura 2.4). Esse vento lançou no espaço os restos da nebulosa solar, impedindo que Júpiter capturasse gases suficientes para se tornar, também ele, uma estrela.

Entretanto, já estavam definidos os materiais que originariam os planetas do Sistema Solar. A grande massa de Júpiter impediu que se formasse um planeta na zona da cintura de asteróides, fazendo com que as forças das colisões entre poeiras e planetesimais fossem demasiado energéticas para permitir aglomeração por gravidade.

3. O SOL

O Sol domina o Sistema Solar e a nossa vida, por isso é justo que iniciemos esta viagem pela nossa estrela.

O SOL	
Dados Astronômicos	
Orbita	Centro Galáctico
Velocidade orbital média (km/s)	19,4
Período de rotação (dias)	25-36 (equador-pólos)
Inclinação do eixo de rotação	7,25°
Magnitude visual máxima	-26,74
Número de Satélites	8 planetas principais
DADOS FÍSICOS	
Raio médio (km)	696 000
Massa (kg)	1,989 X 10 ³⁰
Volume (km ³)	1,412 X 10 ¹⁸
Densidade média (g/cm ³)	1,408
Gravidade no equador (m/s ²)	274,0
V. de escape equatorial (km/s)	617,7
Temperatura da superfície (K)	5778
Campo magnético (Gauss)	2-3000 (polar-manchas)
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	0,868
Composição da atmosfera (vol%)	H(90,965), He(8,889)
DADOS HISTÓRICOS	
Missões espaciais	Pioneer 5,6,7,8; Skylab; Explorer 49; Helios 1,2; SMM; Yohkoh; Ulysses; Genesis; RHESSI; Hinode; STEREO; SOHO; ACE; TRACE; ACRIMSat; IBEX

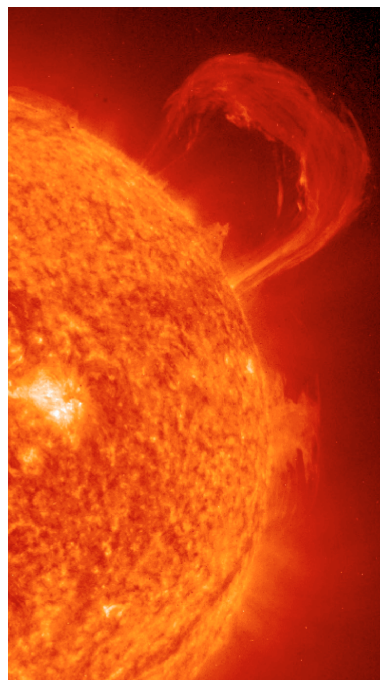


Figura 3.1 – O Sol. Imagem SOHO, ESA/NASA.

Dominar é a palavra certa: se somarmos a massa de todos os planetas, asteróides e cometas faremos apenas 2% da massa do Sistema Solar; os outros 98% de massa estão no Sol; no seu interior caberiam 1,3 milhões de terras; a energia que produz em cada segundo “pesa” mais que a maioria dos asteróides.

Uma tão grande massa é constituída em 75%, paradoxalmente, pelo elemento mais leve do Universo: o hidrogênio.

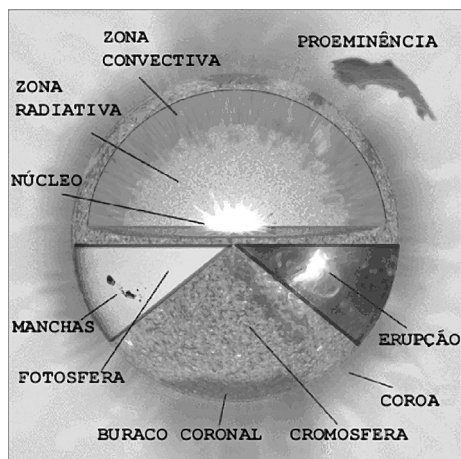


Figura 3.2 – Estrutura do Sol. EIA/IGUC, base SOHO/ESA/NASA

O resto da massa solar é quase só hélio. Toda a matéria solar encontra-se num estado de plasma, nem líquido nem gasoso, um fluido completamente ionizado.

O Sol pode ser grosseiramente dividido em seis camadas (figura 3.2). Do centro para fora, temos o núcleo, a zona radiativa, a zona convectiva, a fotosfera (visível) a cromosfera e a coroa.

O núcleo solar ocupa cerca de um quarto do raio e é onde se processam as reacções de fusão: quatro núcleos

de hidrogénio (protões) fundem-se num núcleo de hélio com libertação de energia sob a forma, principalmente, de fotões gama. Em cada segundo, cerca de 700 milhões de toneladas de hidrogénio são convertidas em 695 milhões de toneladas de hélio e 5 milhões de toneladas de energia. As condições físicas no núcleo são, por isso e para isso, dantescas: temperaturas de 16 milhões de graus e pressões de 250 mil milhões de atmosferas.

A zona radiativa estende-se até cerca de três quartos do raio do Sol e nela, como o seu nome sugere, a energia é transportada por irradiação – muito lentamente. Estima-se que um fotão possa levar em média mais de 150 mil anos desde que deixa o núcleo até atravessar toda a zona radiativa.

Na zona convectiva a temperatura é relativamente muito mais baixa: cerca de 2 milhões de graus. O plasma nesta zona continua a ser demasiado denso e opaco para que a radiação passe livremente por transmissão. Por isso,

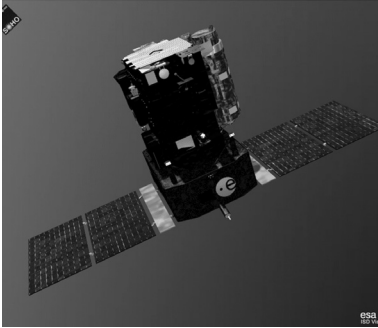


Figura 3.3 – O satélite SOHO. Imagem artística ESA/NASA.

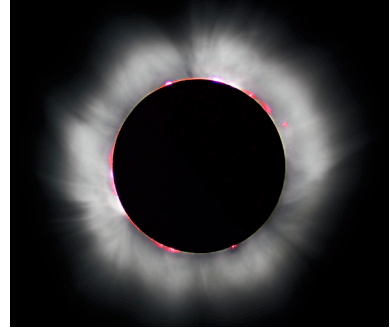


Figura 3.4 – A coroa solar durante o eclipse total de 1999, fotografado em França por Luc Viatour.

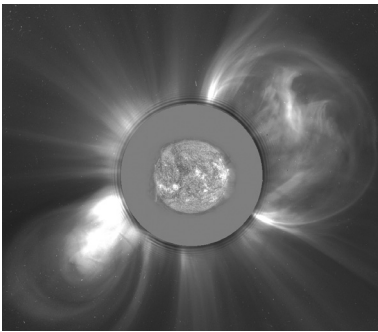


Figura 3.5 – A coroa solar fotografada pelo coronógrafo LASCO a bordo da sonda SOHO. ESA/NASA.

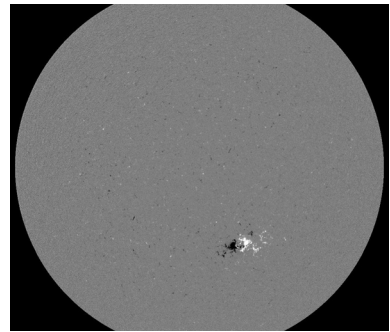


Figura 3.6 – Magnetograma de 31 de Dezembro de 2009: um dia “calmo”. Câmara MDI, SOHO. ESA/NASA. A negro as zonas de polaridade Norte e a branco as Sul.

a energia é transportada por imensas correntes de convecção, de modo que o plasma muito aquecido junto à zona radiativa se move em direcção à superfície mais fria.

A fotosfera é a superfície visível do Sol. É fria, só cerca de 5800 K. Logo acima da fotosfera encontra-se uma camada, a cromosfera, só detectável por espectroscopia, dado

que emite numa zona do vermelho típica da dissociação do hidrogénio. A cromosfera e a coroa são como que a “atmosfera” solar.

A coroa é constituída por um plasma muito difuso (cerca de 0,1 microbar) e, estranhamente, muito quente – cerca de 2 milhões de graus, e ainda mais quente nas zonas onde há erupções. Um dos objectivos da missão SOHO (figura 3.3) é esclarecer estes factos.

A coroa só é observável da Terra, sem instrumentos especiais, durante um eclipse total do Sol (figura 3.4), ou então com um coronógrafo (figura 3.5).

As manchas solares observam-se na fotosfera mas as suas raízes encontram-se na zona convectiva. São áreas mais frias (cerca de 3800 K) podendo atingir 50 000 km de diâmetro, e são magneticamente polarizadas (figura 3.6). Seguindo as manchas ao longo do tempo verificou-se que a rotação das camadas exteriores do Sol não é uniforme mas sim mais rápida no equador que nos pólos.

As proeminências também estão relacionadas com o campo magnético solar, acompanhando as suas linhas de força e podendo, nas épocas de máxima actividade solar, atingir altitudes de mais de 300 000 km (Figura 3.5).

Estes traços da actividade solar, erupções, manchas e proeminências revelam um ciclo de cerca de 11 anos terrestres. O campo magnético solar é fortíssimo e a magnetosfera solar estende se para além de Plutão: todos sentimos as consequências dos máximos de actividade – as tempestades solares – principalmente nas telecomunicações.

As tempestades solares são registadas nos observatórios magnéticos terrestres, como o do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra.

4. MERCÚRIO

O planeta Mercúrio é conhecido do Homem desde os tempos mais remotos, embora até aos Gregos se pensasse tratar-se de duas estrelas (tal como Vénus): Apolo, estrela da manhã e Hermes, estrela da tarde. Ao tempo de Heráclito, contudo, já se sabia que ambos os nomes se referiam ao mesmo planeta. Este astrónomo pensava, muito adiante dos conceitos do seu tempo, que Mercúrio e Vénus orbitavam o Sol e não a Terra.

MERCÚRIO	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	0,38710
Excentricidade orbital	0,20563
Período sideral (dias)	87,969
Inclinação orbital	7,004°
Velocidade orbital média (km/s)	47,87
Período de rotação (dias)	58,646
Inclinação do eixo de rotação	0,01°
Magnitude visual máxima	-1,9
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	2439,7
Massa (kg)	0,3302 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	6,083 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	5,427
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	0,37
Velocidade de escape equatorial (km/s)	4,25
Temperatura média à superfície (K)	~90 – 740
Albedo normal	0,106
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0,0033
Pressão atmosférica à superfície (bar)	~10 ⁻¹⁵
Composição da atmosfera	He, Na, O ₂ , H ₂
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	-
Data	-
Missões espaciais	Mariner 10, Messenger, BepiColombo (2014)

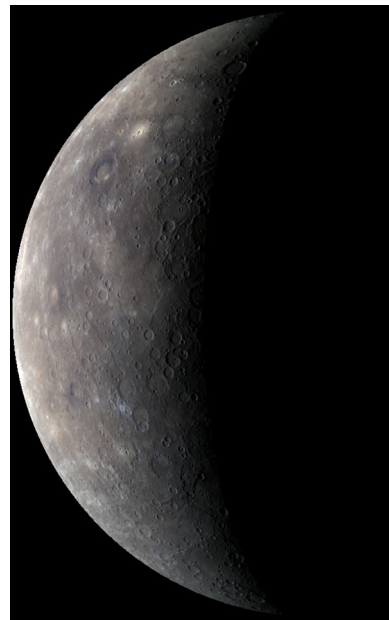


Figura 4.1 – Mercúrio na aproximação da sonda Messenger. NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington.



Figura 4.2 – A sonda Messenger. NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington.

Até 1962 pensava-se que o dia e o ano de Mercúrio eram iguais. Só então se soube que o planeta executa três rotações para cada duas translações - o que é um caso único no Sistema Solar. A órbita de Mercúrio é muito excêntrica, tendo o periélio a 46 milhões de km e o afélio a 70 milhões de km; só a órbita de Plutão é mais excêntrica.

Devido à sua proximidade ao Sol, Mercúrio é o menos bem conhecido dos planetas telúricos. Por um lado, a sua elongação máxima de 28° dificulta a sua observação, quer a olho nu quer com instrumentos. Por outro lado, as elevadas temperaturas e fluxos de radiação que se verificam tão perto do Sol dificultam o envio de sondas científicas e impossibilitam até que se tente obter imagens com o Telescópio Espacial Hubble. Na verdade,

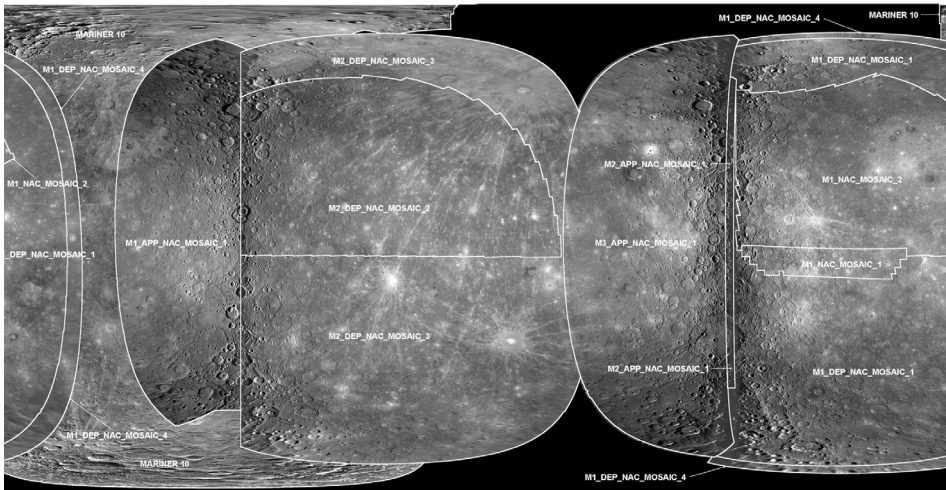


Figura 4.3 – Mapa Global de Mercúrio com a cobertura fotográfica. Messenger/NASA.

até 2008, as únicas imagens de Mercúrio de que dispúnhamos eram provenientes de observatórios terrestres ou da sonda Mariner 10 que, em Março e Setembro de 1974 e Março de 1975 fez três passagens junto do planeta. Por estes motivos, até ao fim de 2009, apenas cerca de 45% da superfície de Mercúrio se encontrava cartografada. Finalmente, em Dezembro de 2009, a sonda Messenger (figura 4.2), lançada pela NASA em 3 de Agosto de 2004, completou o pri-

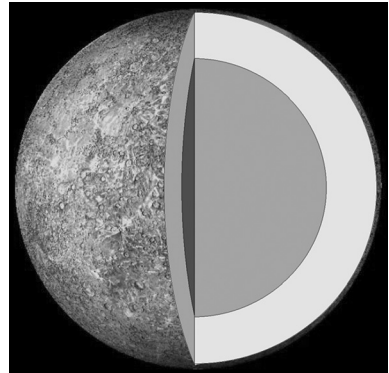


Figura 4.4 - Estrutura interior de Mercúrio. ELA/IGUC.

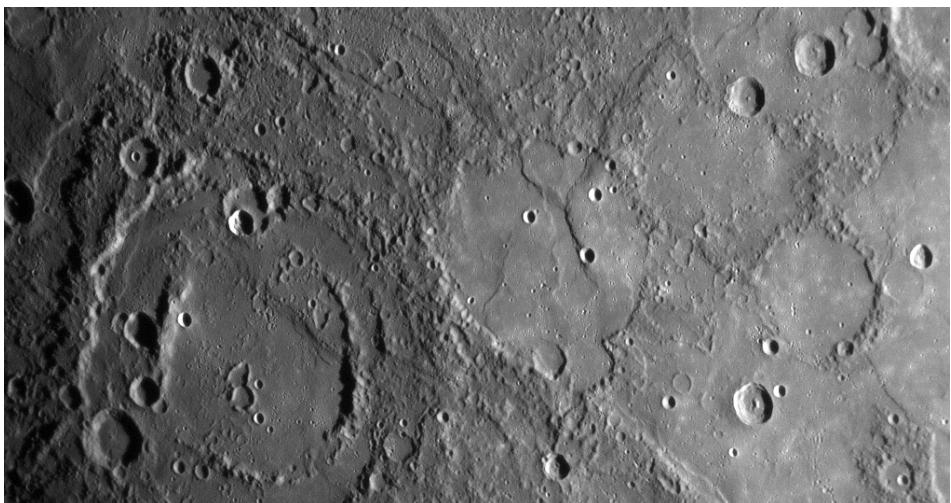


Figura 4.5 – Crateras e escarpas. Cerca de 500 km de lado. NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington. As crateras de duplo anel são características de Mercúrio; a sua superfície plana e lisa parece mostrar que estão preenchidas com lavas. A cartografia geológica planetária (veja-se, abaixo, a figura 4.10) baseia-se na análise das relações geométricas entre os objectos que se vêem nestas fotografias para definir relações estratigráficas: uma cronologia de acontecimentos. Os princípios desta análise foram estabelecidos por Nicolas Steno, no séc. XVII, e continuam válidos. Por exemplo: as pequenas crateras que cobrem o fundo da cratera grande em duplo anel são mais recentes que ela. Consegue ver outras relações estratigráficas?

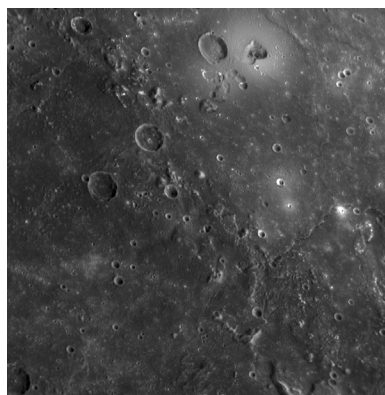


Figura 4.6 – Cratera vulcânica no interior da bacia Caloris. Cerca de 400 km de lado. NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington.

meio mapa global de Mercúrio (figura 4.3), após o terceiro voo, antes de se colocar em órbita (prevista para 18 de Março de 2011).

Superficialmente, as imagens de Mercúrio fazem lembrar a Lua terrestre – pela superfície fortemente craterizada – mas os dois planetas são muito diferentes. Não só Mercúrio é maior (4880 km contra 3476 km de diâmetro) como muito mais denso (5,44 contra 3,34 g/cm³); o único planeta do Sistema Solar mais denso que Mercúrio é a Terra (5,52 g/cm³). Pensa-se que o núcleo metálico de Mercúrio terá 1800 a 1900 km de diâmetro e que parte dele se encontrará em fusão (Figura 4.4) - o que explicaria a

existência de um campo magnético dipolar de origem interna, como o da Terra, mas muito mais fraco (cerca de 1%).

Uma importante diferença morfológica em relação ao nosso satélite é a existência, em Mercúrio, de longas escarpas, muito semelhantes às falhas da crosta terrestre, com centenas de quilómetros de extensão e até três quilómetros de altura. Estas escarpas são geralmente interpretadas como sendo fendas de retracção produzidas pela contracção do planeta em consequência do seu arrefecimento, embora seja possível que pelo menos algumas delas sejam vestígios de uma antiga tectónica activa (Figura 4.5).

Uma das muitas importantes revelações da missão Messenger foi a obtenção das primeiras imagens de estruturas vulcânicas (figura 4.6).

Apesar da proximidade do Sol (e por causa dela) Mercúrio tem uma atmosfera. Esta atmosfera é muito fina e é

composta por uma mistura de átomos arrancados à superfície do planeta pelo vento solar e de partículas do próprio vento solar capturadas pelo campo gravitacional de Mercúrio.

A proximidade do Sol faz com que as temperaturas máximas à superfície de Mercúrio sejam da ordem dos 420 °C, mas as mínimas, à noite e nas regiões polares, podem atingir os 180 °C. Por espectroscopia remota sabe-se que existe gelo de água nas crateras polares mais profundas.

As inúmeras interrogações que ainda se levantam sobre Mercúrio fazem com que ele seja um alvo prioritário da investigação espacial. Em 2014 partirá para Mercúrio a missão BepiColombo, da ESA em colaboração com a Agência Espacial Japonesa (JAXA), que deverá ser composta de dois satélites, um para cartografia da superfície em várias bandas espectrais e outro só para estudar o campo magnético.

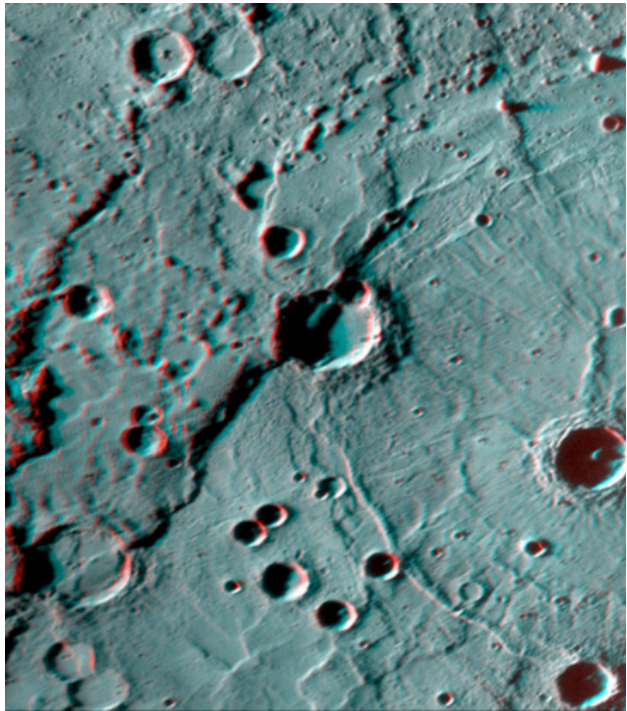


Figura 4.7 – Anaglifo (imagem sintética em 3D) da região da bacia Rembrandt. Messenger, NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington. Foram dados nomes de artistas a muitos dos objectos da superfície de Mercúrio: existe uma cratera Camões. Para obter o efeito 3D, a imagem deve ser vista com óculos coloridos, com filtros, vermelho no olho esquerdo e azul no direito.

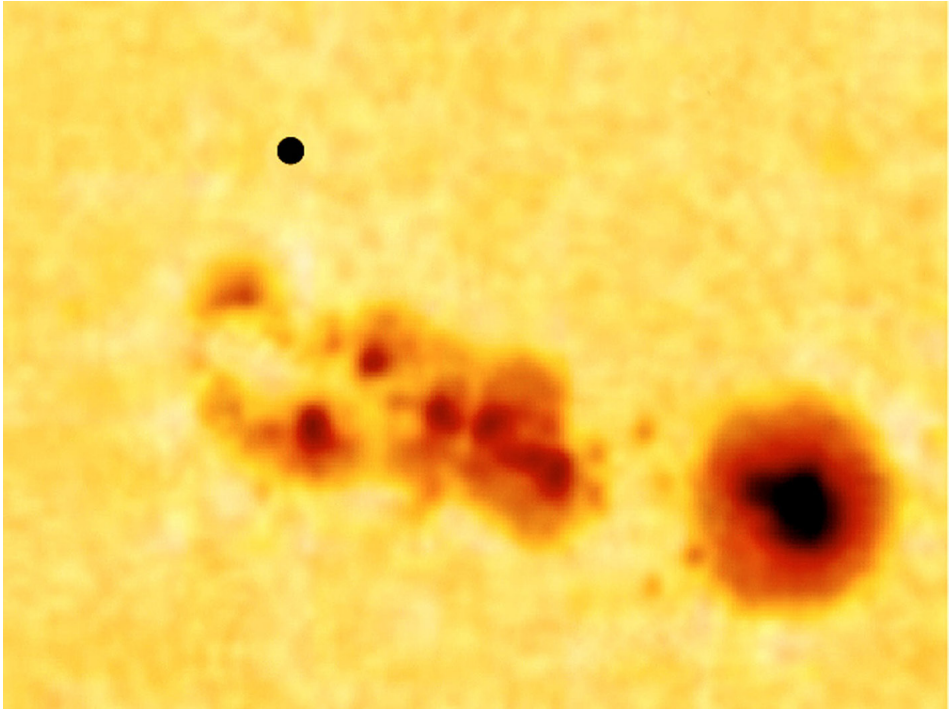


Figura 4.8 – Trânsito de Mercúrio em frente ao Sol, em 2009. ESO. Compare-se a dimensão do planeta com a da mancha solar; 58 milhões de quilômetros mais longe!

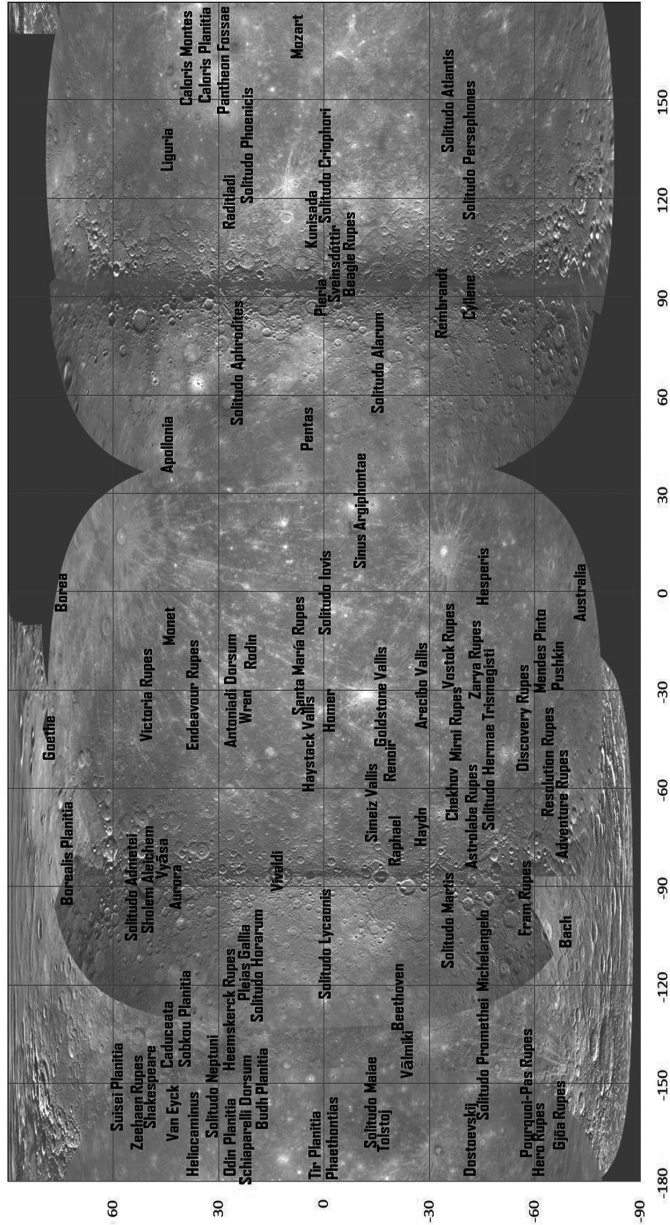
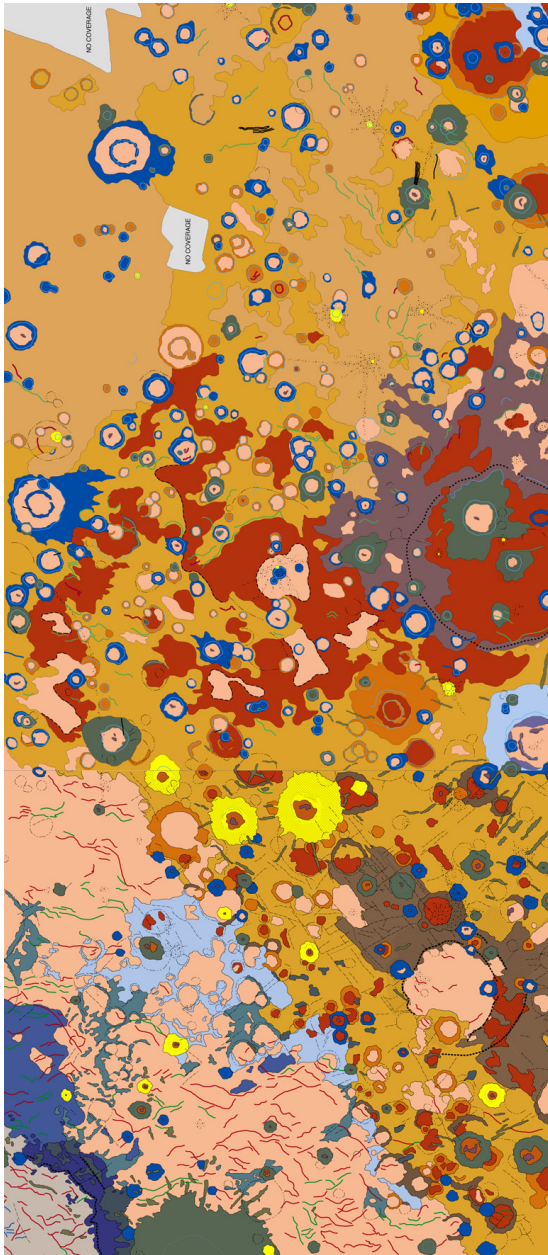


Figura 4.9 – Toponímia de Mercúrio. EIA/IGUC. Há muito mais objectos nomeados no hemisfério ocidental, o único coberto pelos dados da missão Mariner 10, que tivemos mais de trinta anos para estudar. Consegue encontrar um nome português?



CORRELATION OF MAP UNITS

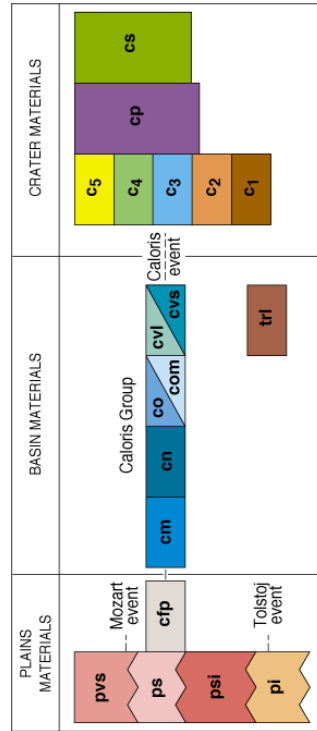


Figura 4.10 – Cartas geológicas de Mercúrio entre as latitudes 25° N e 25° S e as longitudes 70° e 190° W. John King e David Scott, 2003 (metade ocidental); Gerald Schaber e John McCauley, 2006 (metade oriental). USGS.

5. VÊNUS

Vênus é habitualmente o objecto mais brilhante do firmamento a seguir à Lua e ao Sol, pelo que despertou a atenção do Homem desde os tempos mais remotos. Tal como no caso de Mercúrio, até ao auge da astronomia grega pensava-se que a estrela da manhã e a estrela da tarde eram dois corpos diferentes: Eosphorus e Hesperus.

VÊNUS	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	0,72333
Excentricidade orbital	0,0067
Período sideral (dias)	224,701
Inclinação orbital	3,39°
Velocidade orbital média (km/s)	35,02
Período de rotação (dias)	-243,686
Inclinação do eixo de rotação	177,36°
Magnitude visual máxima	-4,4
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	6051,8
Massa (kg)	4,8685 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	92,843 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	5,243
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	8,87
Velocidade de escape equatorial (km/s)	10,36
Temperatura média à superfície (K)	737
Albedo normal	0,65
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	92 000
Composição da atmosfera (vol%)	CO ₂ (96.5), N ₂ (3.5)
DADOS HISTÓRICOS	
Missões espaciais	Venera 1-16; Mariner 2-10; Pioneer 12,13; Vega 1,2; Galileo; Magellan; Venus Express

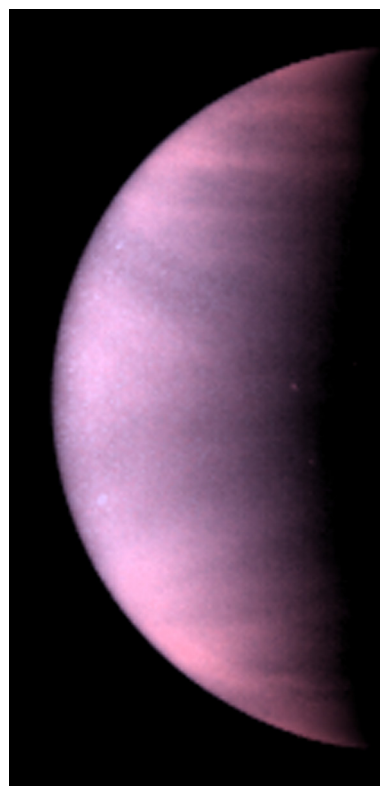


Figura 5.1 – O crescente de Vênus visto pelo telescópio espacial Hubble. Notem-se os padrões de circulação atmosférica definidos pelas nuvens. HST/NASA.

Galileu foi o primeiro a observar que Vénus apresenta fases, como a Lua (e, aliás, como Mercúrio). Na verdade, todos os planetas apresentam a fase gibosa, mas só Mercúrio e Vénus podem apresentar as fases falcadas. A observação, por Galileu, das fases de Vénus foi um dos principais suportes do heliocentrismo.



Figura 5.2 – Panorâmica do solo de Vénus, a leste de Phoebe Regio (13° S; 310° E), obtido pela câmara a bordo da sonda Venera 14. Programa Soviético de Exploração Planetária/NSDCC. A sonda penetrou na atmosfera de Vénus em 5 de Março de 1982, pousou e comunicou com a Terra durante 57 minutos - quase o dobro do tempo previsto.

A razão por que Vénus tem um albedo tão alto (é tão brilhante) é que este planeta se encontra coberto por uma espessa e densa camada quase uniforme de nuvens, compostas predominantemente por ácido sulfúrico e dióxido de carbono, que reflectem a luz solar (figura 5.1).

A pressão atmosférica à superfície de Vénus é da ordem das 90 atmosferas, idêntica à pressão a 1 km de profundidade nos oceanos terrestres.

A atmosfera de Vénus produz um intensíssimo efeito de estufa, o que explica que a temperatura à superfície do planeta varie pouco à volta dos 470 °C - mais quente que Mercúrio, apesar de estar quase ao dobro da distância do Sol. A exploração de Vénus vai seguramente ajudar-nos a compreender o efeito de estufa na Terra.

A espessa camada de nuvens que cobre todo o planeta levou a que só em 1962 se conhecessem as características da sua rotação, por observação de ecos radar emitidos pelo radiotelescópio de Arecibo, na Terra. Descobriu-se, com surpresa, que Vénus roda no sentido retrógrado (o Sol nasce a ocidente) e que o dia venusiano é mais extenso que o ano (243 contra 224 dias terrestres).

Apesar destas condições quase “infernais”, Vénus é o planeta mais semelhante à Terra: tem uma atmosfera substancial, tem cerca de 95% do diâmetro da Terra e 80% da sua massa - o que indica uma composição semelhante, que foi confirmada pelas sondas soviéticas Venera 13 e 14 que pousaram na superfície (figura 5.2).

Além disso, ambos os planetas têm poucas crateras de grande dimensão, um sinal de superfícies relativamente jovens. A contagem de crateras na superfície venusiana e a comparação desses dados com contagens de crateras e datações radiométricas da Lua, sugerem que os terrenos mais antigos de Vénus não terão mais de 800 MA (milhões de anos). Isto só é explicável por um extenso vulcanismo à escala do planeta e, de facto, as imagens obtidas pela sonda Magellan (Magalhães) (figura 5.3) mostraram inúmeros vulcões, de tipos distintos.

Os dados recolhidos, entre 1990 e 1994, pela missão Magalhães são, ainda hoje, a base de trabalho para todos os estudos de geologia de Vénus.

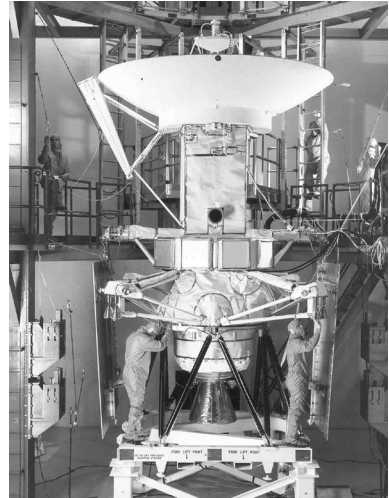


Figura 5.3 – A Sonda Magalhães. NASA.

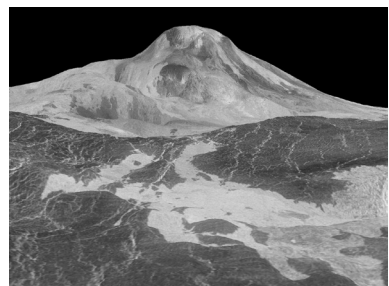


Figura 5.4 – O Monte Maat (1° N; 195° E). Magalhães/NASA. Este é um dos mais prováveis candidatos para a existência de vulcanismo activo em Vénus.



Figura 5.5 – Vulcões-panqueca em Eistla Regio (12°N; 8°E). Magalhães/NASA. A imagem tem 250 km de largura.

Já se identificaram cerca de 1600 vulcões em Vénus. Encontraram-se grandes vulcões-escudo, como o Monte Maat (figura 5.4), semelhantes aos do Havai, na Terra, ou ao monte Olimpo, em Marte (vd. Cap. 7), associados a vulcanismo basáltico. Muito interessante, também se encontram vulcões-panqueca, por vezes em alinhamentos, (figura 5.5) que aparentam ter tido expulsão de lavas viscosas, o que indica serem de composição intermédia a ácida.

Este tipo de vulcanismo muito diferenciado associa-se, na Terra, a limites convergentes de placas tectónicas. É legítimo inferir, portanto, que em Vénus já poderá ter havido uma tectónica activa.

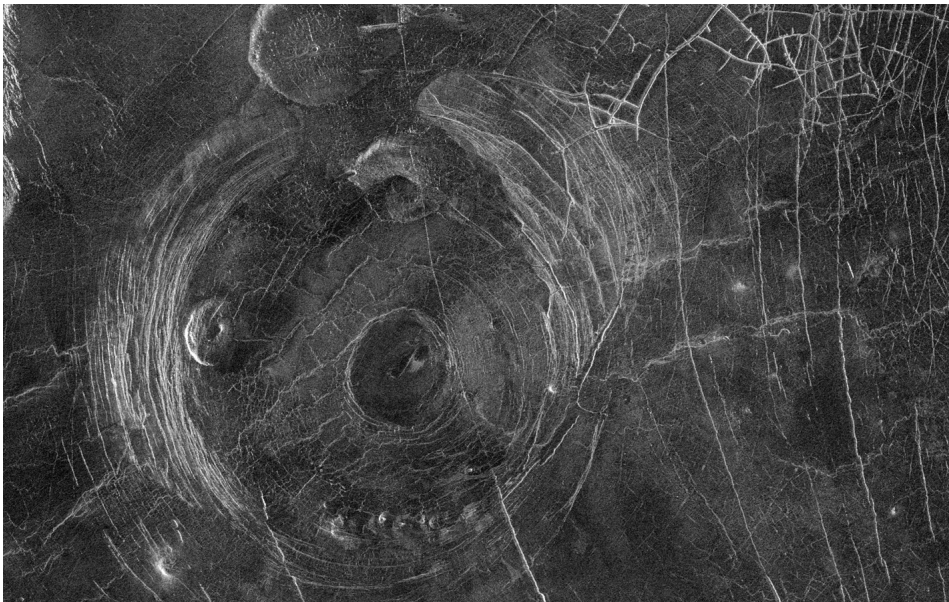


Figura 5.6 – Aine Corona (59° S; 164° E). Magalhães/NASA. A imagem tem 300 km de largura.

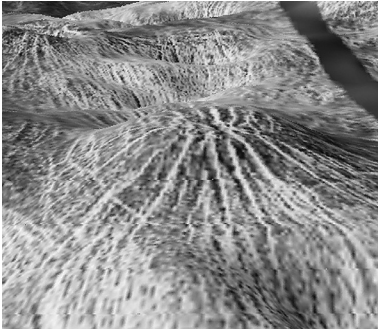


Figura 5.7 – Nova sobreimposta a Yavine Corona (5° S; 249° E). Magalhães/NASA. A imagem tem 100 km de largura.

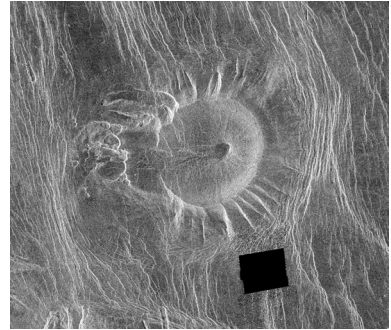


Figura 5.8 - A “carraça” original: o vulcão Tick no bordo noroeste de Alpha Regio (12° N; 8° E). Magalhães/NASA. A imagem tem 122 km de largura.



Figura 5.9 – Manatum Tessera (4° S; 64° E). Magalhães/NASA. A imagem tem 300 km de largura.

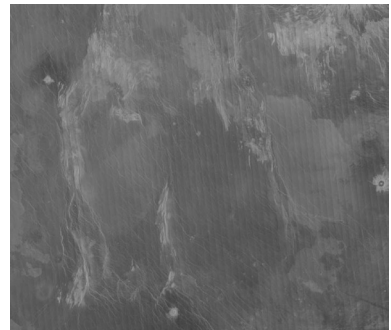


Figura 5.10 – Cristas de enrugamento em Rusalka Planitia (3° N; 170° E). Magalhães/NASA. A imagem tem 300 km de largura.

Vênus tem outras características vulcanológicas invulgarres. As coronas (figura 5.6) são estruturas ovais, compostas de anéis concêntricos. A sua associação a vulcões-panqueca sugere uma origem análoga à do maciço anular sub-vulcânico de Sintra, por exemplo. As novas, redes radiais de diques e/ou falhas, são sempre associadas a coronas (figura 5.7). As “carraças” (“ticks”) são pequenos vulcões que

lembram o infame parasita... O nome foi dado ao vulcão que aparece na figura 5.8 pela equipa que analisou as primeiras imagens Magalhães; mais tarde encontraram-se muitos outros exemplos por todo o planeta.

A tectónica de Vénus também é peculiar. Hoje não tem seguramente uma tectónica de placas, como a da Terra, entre outras razões pela ausência de água, mas as estruturas de cristas complexas chamadas tésseas, até agora só encontradas em Vénus, são difíceis de explicar sem recorrer a importantes tensões e movimentos horizontais que terão causado dobramentos e fracturação (figura 5.9). Também a formação de cristas de enrugamento (*wrinkle ridges*), a característica geomorfológica mais abundante no planeta, parece requerer extensos campos de tensões horizontais (figura 5.10). Outra evidência são os riftes venusianos, largos e extensos, como os que se encontram em Atla Regio e Beta Regio.

Temo-nos interessado, no IGUC, pelo reconhecimento automático de formas com significado geológico em imagens planetárias. Um exemplo da aplicação dos métodos que desenvolvemos é o reconhecimento e cartografia automáticas de cristas de enrugamento em Vénus (figura 5.11).

Outras estruturas que só se encontram em Vénus, e cuja origem ainda levanta dúvidas, são os aracnóides (figura 5.12). Apresentam-se como conjuntos de estruturas ovais, com diâmetros entre 50 e 200 km, cruzadas por outras radiais, cuja complexidade lembra teias de aranha, o que levou os cientistas soviéticos que estudaram as primeiras imagens Venera a dar-lhes o nome que ainda mantém, agora que mais de 250 foram identificados. Há quem ponha em causa se, na verdade, os aracnóides serão diferentes das coronas.

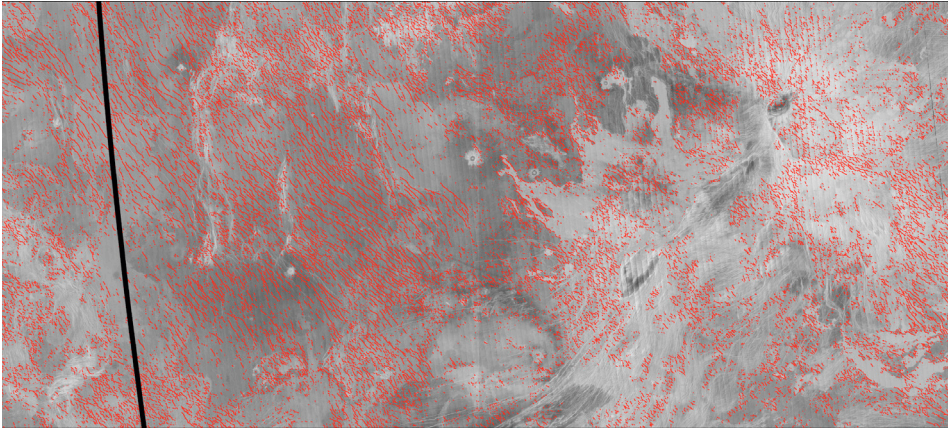


Figura 5.11 – Mosaico de 112 imagens Magalhães em Atla Regio, entre as latitudes 0° e 15° N e as longitudes 180° E - 197° E, com wrinkle ridges na direcção 135° automaticamente detectadas. Teresa Barata/IGUC.

A estrutura interna de Vénus deve ser análoga à da Terra: uma crosta, por vezes espessa (da ordem dos 100 km), um manto silicatado parcialmente fluído e um núcleo metálico sólido, com cerca de 6000 km de diâmetro (figura 5.13). Esta estrutura é a necessária para haver um campo magnético dipolar, como o da Terra, mas a verdade

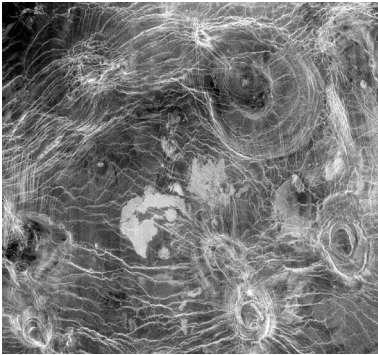


Figura 5.12 Aracnóides em Sedna Planitia. Magalhães/NASA. A localização exacta e a escala da imagem são desconhecidas.

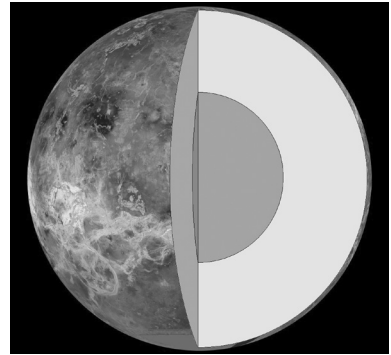


Figura 5.13 – Estrutura interna de Vénus. EIA/IGUC.



Figura 5.14 – Mosaico radar de Vênus, colorido com base em dados Venera, centrado na planície de Rusalka. Magalhães/NASA.

é que Vênus não o possui; a baixa velocidade de rotação tem sido apontada como uma possível causa desta ausência de magnetismo. É claro que só a sismologia poderá esclarecer definitivamente a estrutura interna de Vênus, como a de todos os planetas, pelo que se espera que futuras missões possam fazer experiências nesta área.

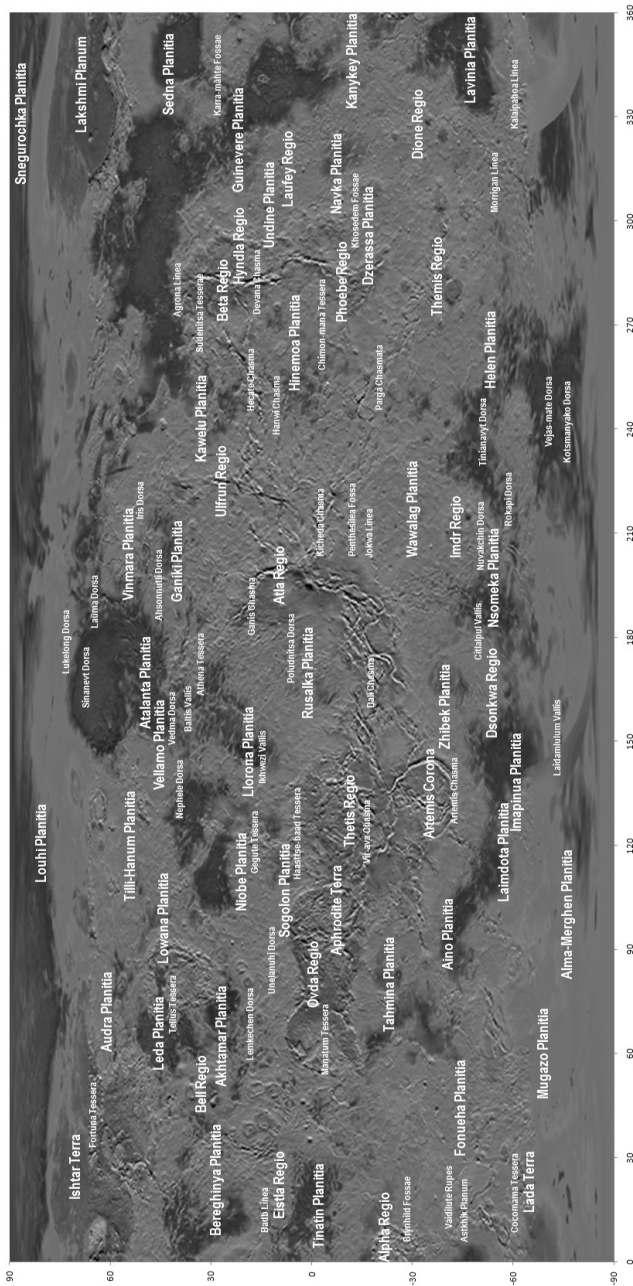


Figura 5.15 – Toponímia de Vênus. EIA/IGUC, base Magalhães.

6. A TERRA

A Terra é muito mais que um simples ponto azul-claro, perdido no espaço (figura 6.1). A Terra é a nossa casa no Universo, tornada singular pela presença de vida, tornada singular pela nossa presença. Na verdade, o único ponto do Universo onde há a certeza de vida é a Terra.

TERRA	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	1 (=149 600 000 km)
Excentricidade orbital	0,0167
Período sideral (dias)	365,256
Inclinação orbital	0° (por definição)
Velocidade orbital média (km/s)	29,78
Período de rotação (horas)	23,9345
Inclinação do eixo de rotação	23,45°
Magnitude visual máxima	-
Número de Satélites	1
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	6378,1
Massa (kg)	5,9736 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	108,321 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	5,515
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	9,78
Velocidade de escape equatorial (km/s)	11,186
Temperatura média à superfície (K)	288
Albedo normal	0,367
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0,3076
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	1014
Composição da atmosfera (% vol)	N ₂ (78,084), O ₂ (20,946)

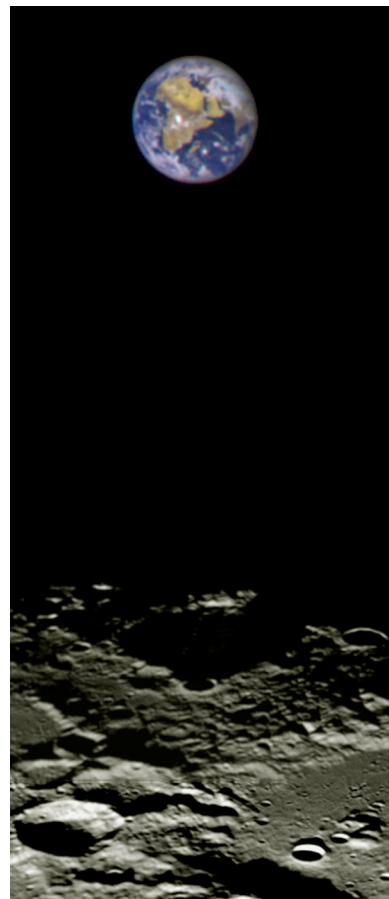


Figura 6.1 – “Terra cheia” sobre a Lua. Fotomontagem Clementine/ NASA/JPL/USGS.

As condições para a existência de vida decorrem grandemente de condições astronômicas e físicas, a mais importante das quais é a Terra ter toda a sua órbita a uma distância do Sol (149 600 000 km = 1 Uni-

AIRS DAYTIME AIR TEMPERATURE AT 700mb (F), May 2009

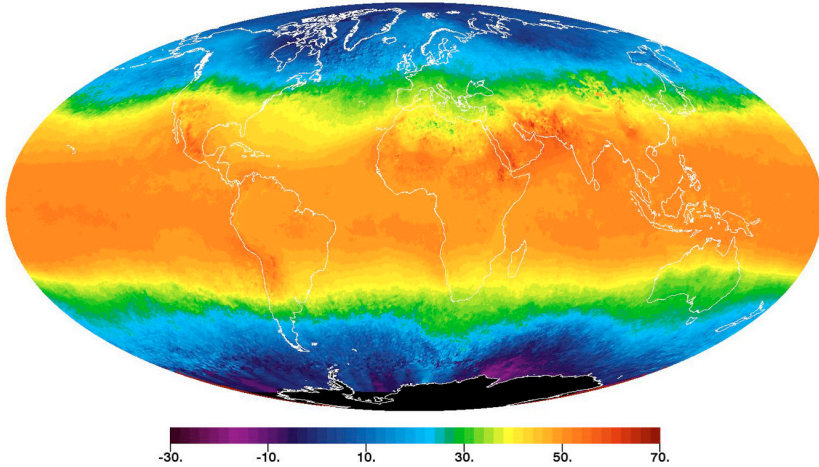


Figura 6.2 – Temperaturas Médias globais (em graus Fahrenheit) em Maio de 2009. AIRS/ EOS/NASA.

dade Astronómica, 1 UA) que lhe permite ter água nos três estados. E, claro, é a presença de água nos oceanos e na atmosfera que confere ao nosso planeta a cor azulada com que pode ser visto do espaço.



Figura 6.3 – O limbo da atmosfera terrestre, fotografado da Estação Espacial Internacional. ISS/NASA.

A Terra é o mais exterior, o de maior (diâmetro equatorial: 12 756 km) e o mais denso (5,52 g/cm³) dos planetas interiores. É também o mais “vivo” dos planetas, não só do ponto de vista biológico como também dos pontos de vista atmosférico, geológico e geofísico.

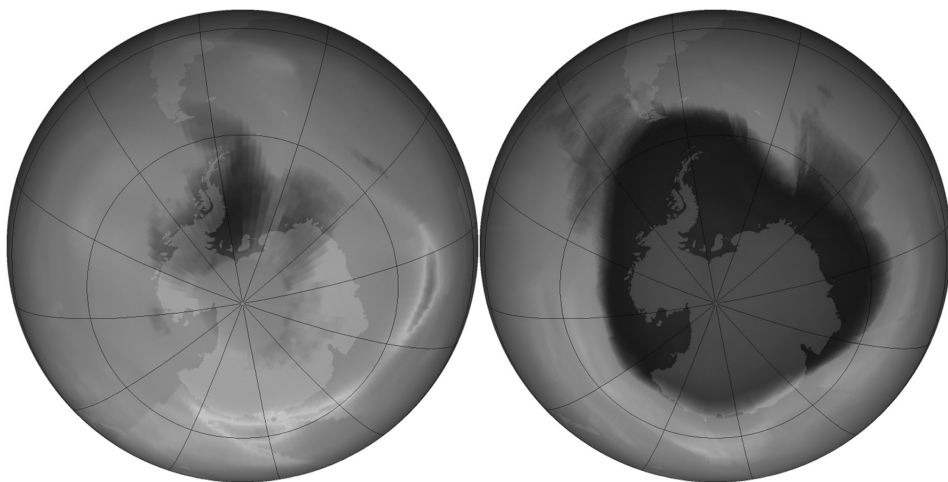


Figura 6.4 – “Buraco do ozono” sobre a Antártida em 1979 (esquerda) e 2008 (direita). OMI/Aura/NASA.

Os principais constituintes da atmosfera terrestre são o azoto, o oxigénio, o dióxido de carbono, o vapor de água e o árgon.

A temperatura média à superfície é de 14 °C (Figura 6.2). Os extremos registados foram de -89 °C (Antárctida, 1983) e +58 °C (deserto da Líbia, 1922), mas a variação vertical é maior. A atmosfera terrestre é estratificada (Figura 6.3), podendo-se definir cinco grandes zonas, de baixo para cima: a troposfera (6 a 20 km), a estratosfera (até aos 50 km), a mesosfera (até aos 90 km), a termosfera (até aos 700 km) e, para lá desta, até cerca de 10 000 km, a exosfera.

Para além de permitir a respiração, a atmosfera tem outros papéis não menos importantes. O dióxido de carbono é o principal responsável pelo efeito de estufa,

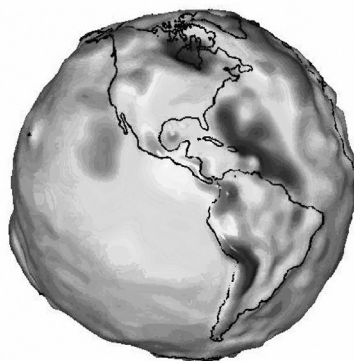


Figura 6.5 – Anomalia gravimétrica no hemisfério ocidental. GRACE/NASA. A anomalia gravimétrica é a diferença entre a atracção gravitacional teórica e a realmente medida.

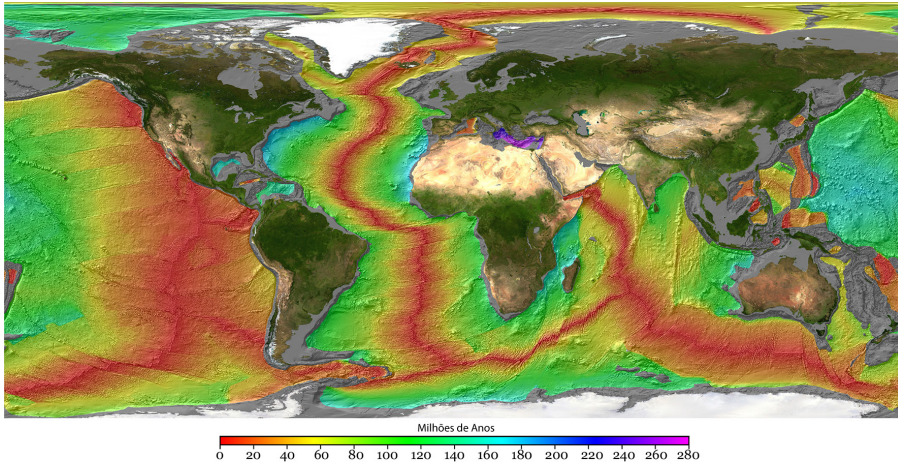


Figura 6.6 – Idades da crosta oceânica. Elliot Lim, NGDC/NOAA.

mantendo a amplitude térmica entre limites que possibilitam a vida e fazendo com que a Terra seja o único planeta do Sistema Solar onde a água pode permanecer à superfície no estado líquido. O ozono que, na troposfera, é um veneno, na estratosfera protege a Terra da radiação ultravioleta proveniente do Sol, pelo que a sua rarefacção é naturalmente preocupante (figura 6.4.).

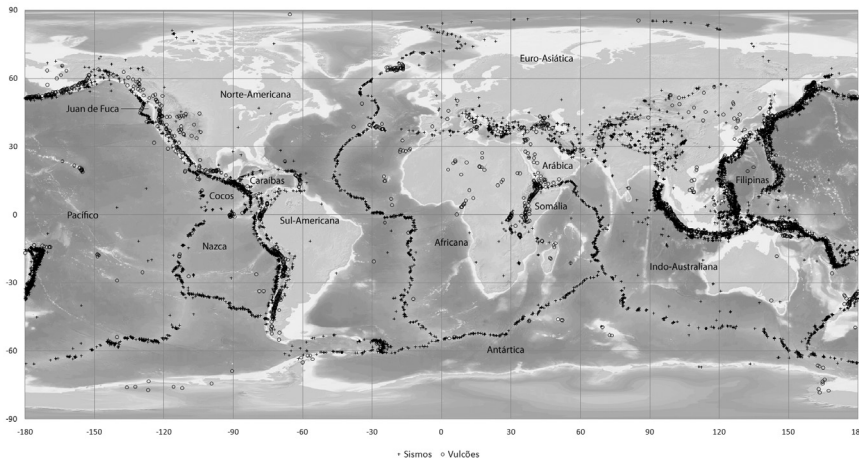


Figura 6.7 – Sismos (símbolo +) com magnitude maior ou igual a 5 e vulcões (símbolo o) activos nos últimos 12 000 anos. EIA/IGUC.

Além disso, a atmosfera protege-nos do constante bombardeamento de meteoros a que estamos sujeitos - vejam-se as crateras nas imagens dos planetas quase desprovidos de atmosfera: Mercúrio, Marte e a Lua, por exemplo (figura 6.1).

Tal como em Marte, o clima na Terra tem estações, causadas pela inclinação do eixo de rotação ($23,45^\circ$) em relação à Eclíptica. Para além dos movimentos de translação e rotação, a Terra tem outros movimentos menos perceptíveis: o eixo de rotação da Terra descreve ainda movimentos de precessão, nutação forçada e nutação livre, num jogo muito complexo de relações gravitacionais externas (influências combinadas da Lua e do Sol) mas também internas, ainda não completamente esclarecidas (figura 6.5).

A Terra é o único planeta em que se conhece uma tectónica activa. Isto significa que a crosta está subdividida em placas, menos densas e mais rígidas que o manto sobre o qual flutuam. As maiores placas que actualmente estão definidas são a euro-asiática, a africana, a indo australiana, a pacífica, a antárctica, a norte-americana e a sul-americana, embora existam inúmeras pequenas placas, como as de Juan de Fuca, Cocos, Caraíbas, Nazca, Arábia, Somália, Filipinas e Carolina.

A tectónica é activa porque estas placas estão em permanente movimento, sendo criadas nas dorsais oceânicas, das quais se afastam como tapetes rolantes, arrastando com elas os continentes, e destruindo-se nos contactos convergentes (figura 6.6). A crosta oceânica da Terra é, portanto, toda ela relativamente jovem.

Assim, na linha de encontro entre placas há sismos, produzidos pelo efeito mecânico do choque, e vulcões,

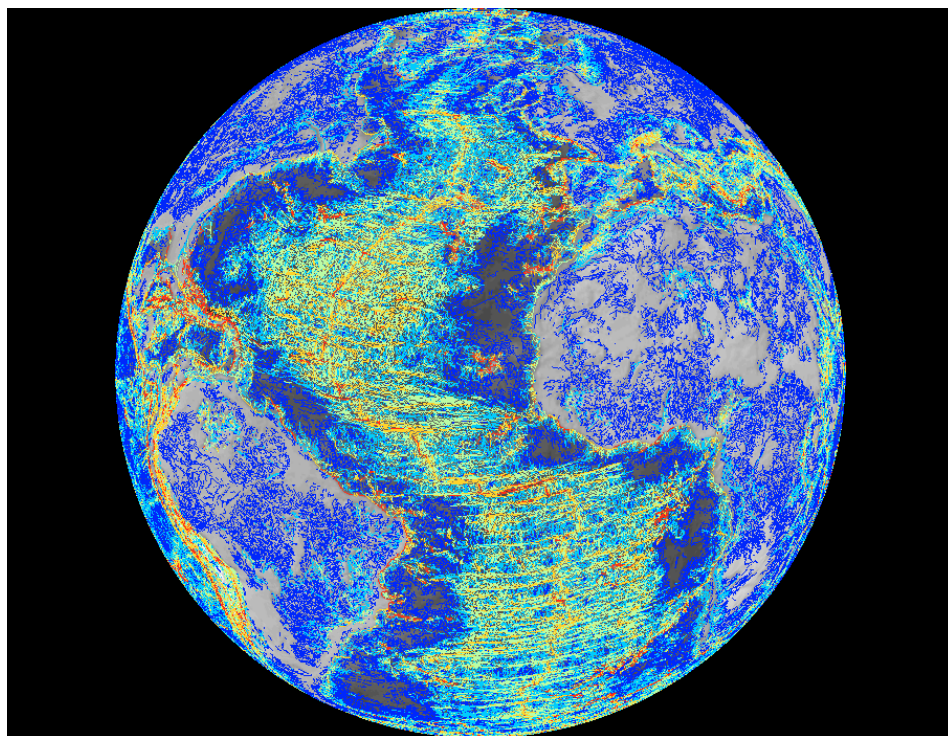


Figura 6.8 – Cartografia automática de falhas. David Vaz/IGUC.

resultado do magma ascendente. O mapa dos sismos e vulcões na Terra é, ao mesmo tempo, o mapa das placas tectónicas (figura 6.7).

Note-se, contudo, na figura 6.7, que há muitos vulcões no interior das placas - isto é bem evidente, por exemplo, nas placas africana e do Pacífico. Este vulcanismo intra-placa acontece nos chamados “pontos quentes” (*hotspots*) onde há ascensão directa de material do manto. Pensa-se que este terá sido o processo dominante do vulcanismo em Vénus e em Marte.

O conhecimento das estruturas tectónicas de um planeta é essencial para a compreensão da sua evolução geológica. Por isso temos procurado, no IGUC, desenvolver

métodos de cartografia automática de falhas que, testados na Terra (figura 6.8), podem ser aplicados noutros planetas, como veremos no próximo capítulo.

A fonte de energia para a geotectónica é o calor interno da Terra, parte dele remanescente da formação planetária, parte proveniente do decaimento de isótopos radioactivos.

A estrutura interna da Terra é conhecida pela análise dos sismogramas, iniciada no princípio do séc. XX, dado que a velocidade de propagação das ondas sísmicas varia com as propriedades mecânicas dos meios que atravessam. Foi possível, assim, definir a seguinte estratigrafia: crosta (-30 a -40 km, de composição “basáltica”, sob os oceanos, -60 a -70 km, de composição “granítica”,

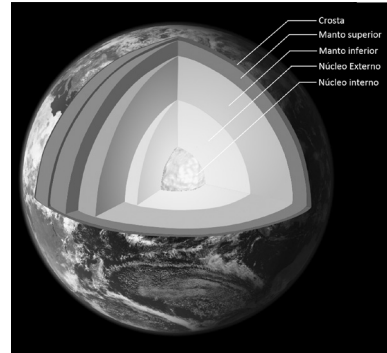


Figura 6.9 – Esquema do interior da Terra. EIA/IGUC, base NASA.

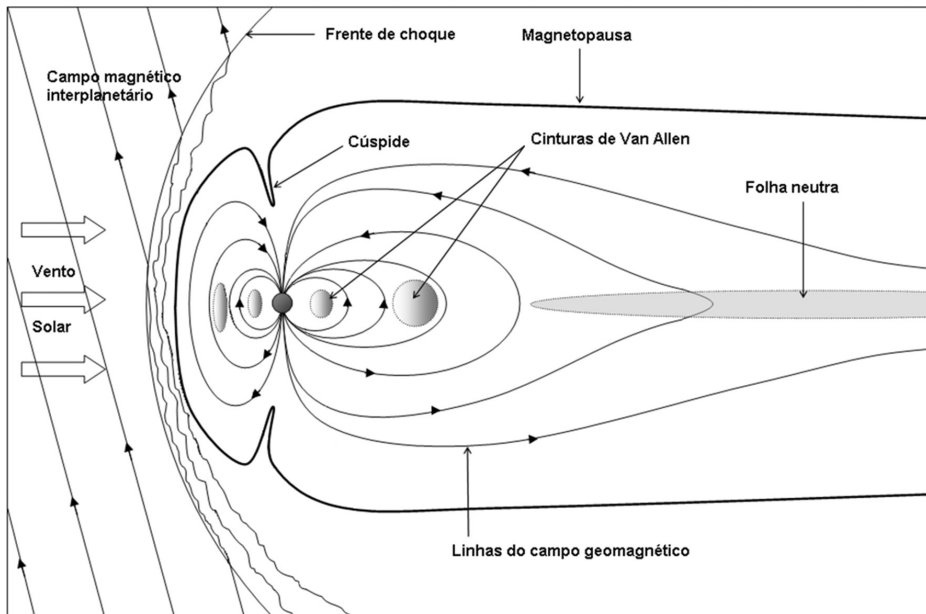


Figura 6.10 – O campo geomagnético externo. EIA/IGUC.

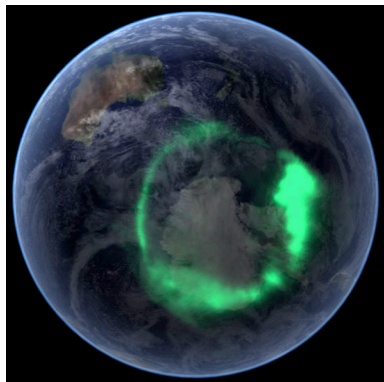


Figura 6.11 – Aurora austral, fotografada pelo satélite IMAGE. NASA.

sob os continentes); manto superior, de composição “peridotítica”, (-650 km); manto inferior, fluido, de composição “dunítica” (-2900 km); núcleo externo, líquido, de composição metálica, predominantemente Fe, Ni, Si, S, (-5200 km); núcleo interno, também metálico, mas sólido (-6378 km) (Figura 6.9).

A análise dos sismos é a única forma que temos de aceder ao interior de um planeta, pelo que seria muito importante que todas as sondas planetárias estivessem equipadas com um sismómetro.

O calor interno da Terra, para além de fornecer a energia para os movimentos tectónicos, produz correntes de convecção no núcleo externo. O movimento dessas correntes, e a sua interacção com o núcleo interno, produz um mecanismo de dínamo que gera o campo

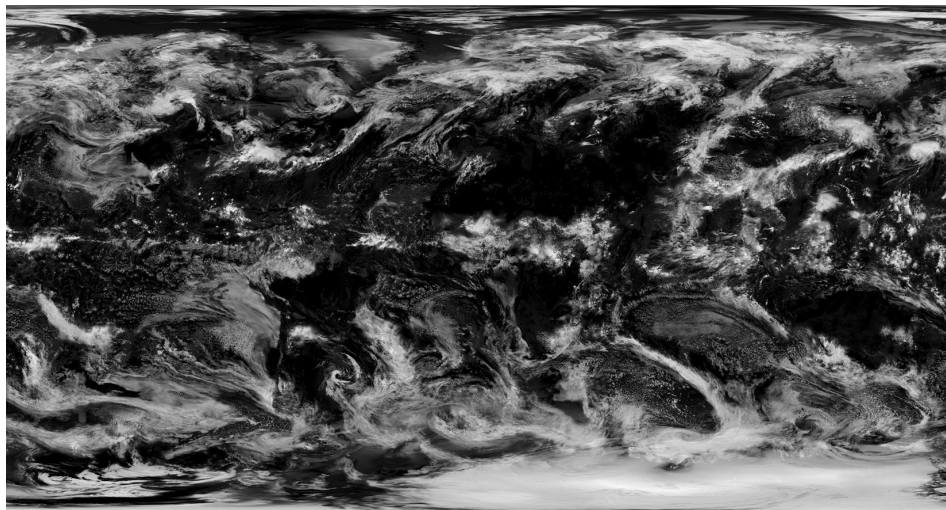


Figura 6.12 – Mosaico da cobertura global de nuvens fotografada pelo satélite MODIS. NASA.

magnético dipolar terrestre, que faz com que a Terra se comporte como um íman, com a polaridade Sul próxima do Norte geográfico. A geração do campo geomagnético é um fenómeno caótico e, como tal, tem variações no tempo que aparentam ser aleatórias, embora sejam fruto de processos bem definidos. Esse carácter caótico é o responsável pelas inversões do campo magnético: por vezes, o Norte e o Sul magnéticos invertem bruscamente (em termos de tempo geológico - cerca de 2000 anos) as suas posições. O conhecimento das épocas dessas inversões ajudou a datar os fundos oceânicos (Figura 6.6) e foi um elemento precioso no desenvolvimento da teoria da tectónica global.

O campo geomagnético é mais um escudo protector da Terra. Sem a sua presença, o vento solar incidiria livremente sobre a superfície do nosso planeta, tornando impossível a vida. A interacção do vento solar com o campo geomagnético dipolar deforma este e produz uma componente não-dipolar, o campo externo (figura 6.10). Algumas partículas do vento solar penetram, contudo, a magnetosfera, tendo como consequências, entre outras, as auroras polares (boreais e austrais) (Figura 6.11).

Para conhecer a Terra talvez não fossem necessários os veículos espaciais mas são estes que nos permitem uma visão global, em tempo real, que hoje é insubstituível para monitorizar a meteorologia (figura 6.12), as alterações climáticas com fenómenos como os degelos polares (figuras 6.13 e 14) ou o fenómeno El Niño (figura 6.15), a distribuição da vida (figura 6.16) e dos recursos naturais (figura 6.17) ou, simplesmente, vermo-nos com outros olhos (figura 6.18).

É pelo estudo da detecção remota da Terra que podemos interpretar com maior segurança os dados que nos chegam dos outros corpos do Sistema Solar.

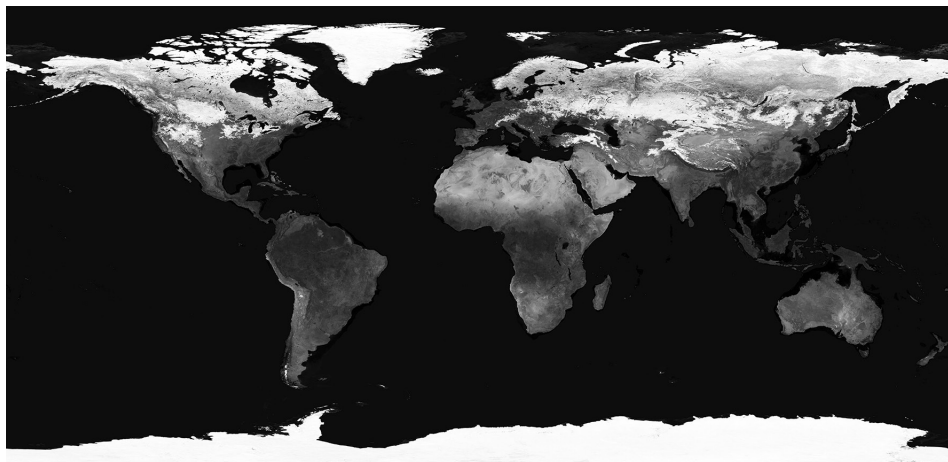


Figura 6.13 Cobertura de gelo em Janeiro de 2004. NASA.

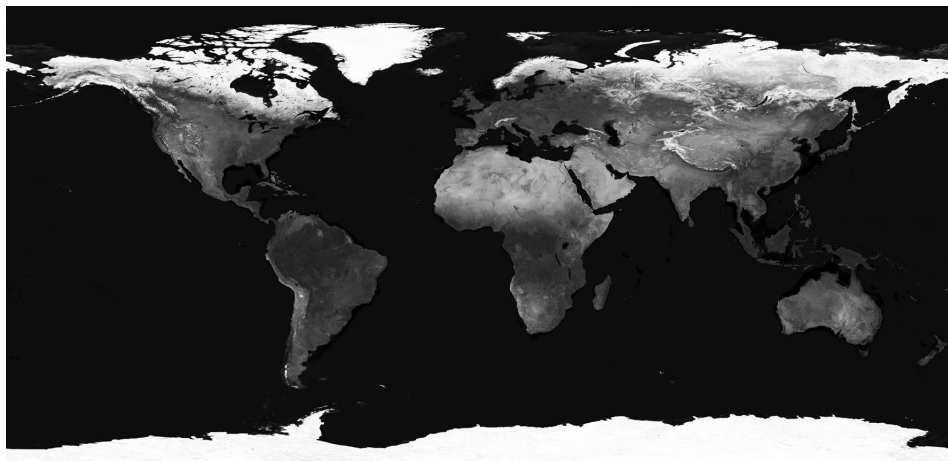


Figura 6.14 – Cobertura de gelo em Abril de 2004. NASA.

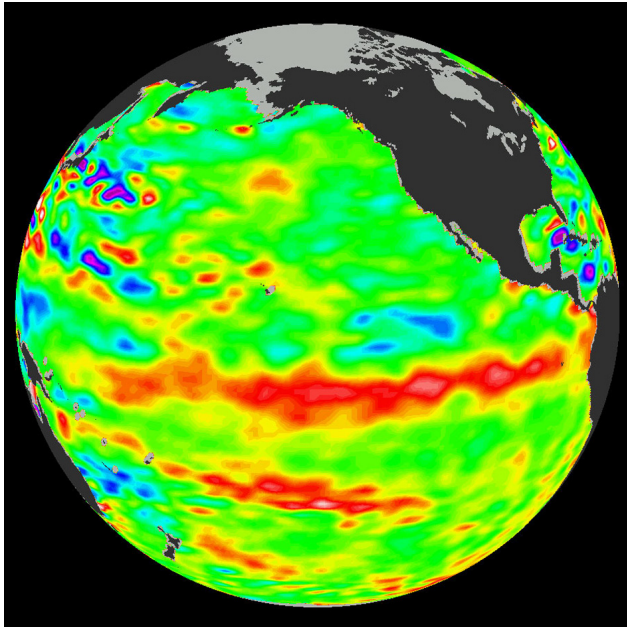


Figura 6.15 – El Niño em Setembro de 2006. NASA.

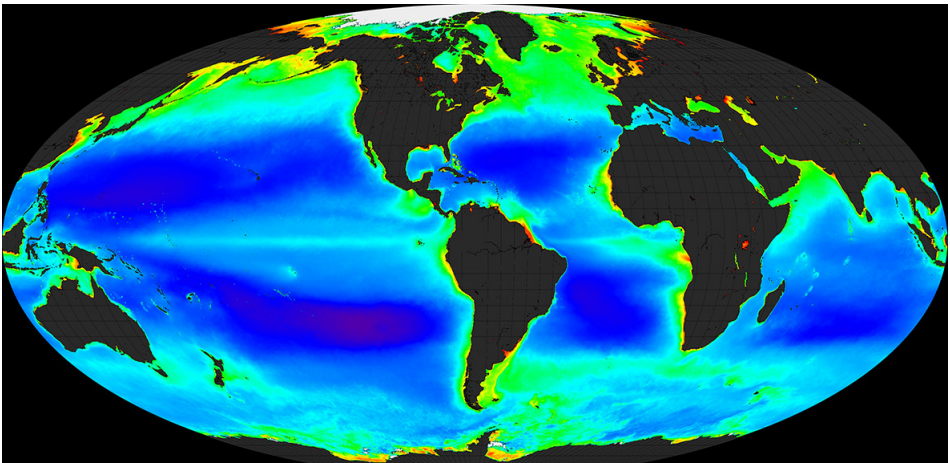


Figura 6.16 – Teores de clorofila na água do mar. NASA.

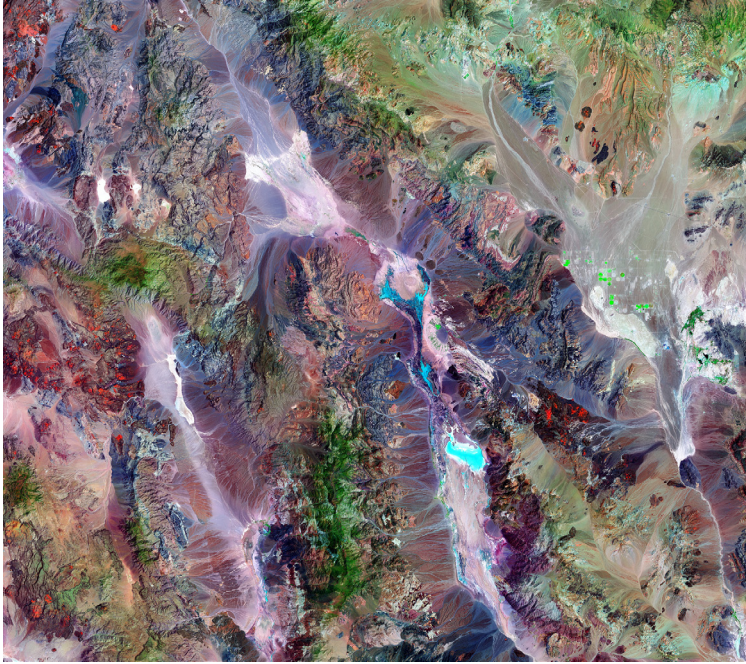


Figura 6.17 - Vale da Morte (Death Valley, USA), composição colorida no domínio do infravermelho (bandas 7 e 4) e visível (banda 2). Laura Rocchio, Landsat 7 ETM+/NASA. As imagens no infravermelho permitem avaliar a cobertura vegetal e o tipo de solo, distinguindo até rochas diferentes e os seus teores de humidade.



Figura 6.18 – Luzes da Terra. NASA.

7. A LUA

A Lua é o “nosso” satélite, um pouco a nossa segunda casa no espaço. É o segundo objecto mais brilhante nos céus. As suas dimensões (diâmetro 3474 km, maior que Plutão) e composição (densidade 3,35 g/cm³ - da mesma ordem da de Marte), principalmente se comparadas com as da Terra, permitem-nos considerá-la um planeta telúrico de pleno direito.

A LUA	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Terra
Distância média à Terra (km)	384 400
Excentricidade orbital	0,0549
Período sideral (dias)	27,3217
Inclinação orbital	5,145°
Velocidade orbital média (km/s)	29,78
Período de rotação (dias)	27,3217
Inclinação do eixo de rotação	6,68°
Magnitude visual máxima	-12,74
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	1738,1
Massa (kg)	0,07349 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	2,1958 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	3,350
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	1,62
Velocidade de escape equatorial (km/s)	2,38
Temperatura média à superfície (K)	~100 - 400
Albedo normal	0,12
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	3 X 10 ⁻¹²
Composição da atmosfera	He, Ne, H ₂ , Ar
DADOS HISTÓRICOS	
Missões espaciais	Luna 1-24; Pioneer 4; Ranger 4-9; Zond 3-8; Surveyor 1-7; Lunar Or- biter 1-5; Apollo 8-17; Muses-A; Galileo; Hiten; Clementine; AsiaSat; Lu- nar Prospector; SMART 1; Kaguya; Chang'e 1; Chandrayaan-1; Lunar- A; LRO; LCROSS



Figura 7.1 – A Lua. NASA.

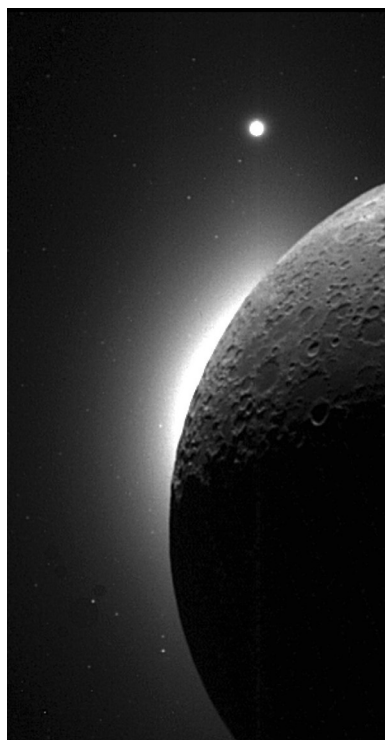


Figura 7.2 – A Lua, Vénus e o Sol. Clementine/NASA. Nesta imagem belíssima só se vê a superfície da Lua porque está iluminada pela luz cinzenta. Também se vêem Vénus e a coroa solar.

Até há pouco tempo, havia três teorias para a formação da Lua: a co-acreção, que supunha ter-se a Lua formado ao mesmo tempo que a Terra a partir da Nebulosa Proto-planetária Solar; a cissão, que supunha que a Lua se separou de uma Terra ainda em fusão por efeito da rotação; a captura, que supunha que a Lua era um pequeno planeta capturado pelo campo gravitacional da Terra. Os dados mais recentes, obtidos pela análise das rochas lunares, conduziram-nos à teoria hoje mais geralmente aceite: a do impacto, que supõe ter a Terra chocado com um objecto pelo menos tão grande como Marte e ter-se a Lua formado a partir do material então ejetado da Terra.

Uma das características mais notáveis desde sempre na Lua é apresentar fases (nova, falcadas, quartos, gibosas e cheia) consoante o ângulo Sol-Terra-Lua. Só no séc. XVI Galileu observou as mesmas fases em Vénus, primeiro, e depois em Mercúrio, o que confirmou ser o Sistema Solar heliocêntrico. Os planetas exteriores também apresentam fases, mas só gibosas e cheia. O luar é, claro, a luz solar reflectida na Lua, que nem é muito reflectora (albedo 0,12). O albedo da Terra é muito maior (0,30) o que tem como consequência que podemos por vezes ver a parte não iluminada da lua, principalmente nas fases falcada até quarto: é a luz cendrada, ou luz cinzenta, reflectida da Terra (figura 7.2).

A sua proximidade da Terra (em média 384 400 km) fez com que fosse o primeiro objecto da exploração planetária. Foi o primeiro objecto extraterrestre onde pousou uma sonda (a sonda soviética Luna 2, em 1959) e o único a ter sido visitado por seres humanos (figuras 7.3 e 7.4) (Apolo 11, em 1969, e mais cinco missões Apolo, até 1972). Foi também o único objecto extraterrestre onde se colheram amostras de solos e rochas (um total de 382 kg), posteriormente trazidas para análise para a Terra, onde, 30 anos depois, continuam a ser estudadas. Temos outras amostras lunares - colhidas na Terra. São os meteoritos lunares, rochas lunares arrancadas aquando de grandes impactos na Lua, tal como acontece com Marte.

A Lua é o único planeta que tem uma influência directa sobre a Terra, sensível à escala humana (apesar do que possam pensar os astrólogos...). De facto, como se sabe, as marés são provocadas pela atracção da Lua sobre os oceanos; menos conhecido é o facto que a Terra sólida também sofre o efeito de maré, com variações de altura que atingem dezenas de centímetros.

A interacção gravitacional Terra-Lua tem outras consequências interessantes: o efeito de maré atrasa a rotação da Terra cerca de 1,5 milissegundo por século e afasta a Lua da Terra cerca de 3,8 cm por ano; além disso, é esta interacção gravitacional a responsável por a rotação da Lua ser síncrona com a sua translação o que faz com que vejamos sempre a mesma face do nosso satélite. Na verdade, os complexos efeitos gravitacionais levam a que a Lua oscile um pouco na sua órbita (movimento de libração), o que nos permite ver cerca de 53% da sua superfície ao longo do ano. Foi preciso esperar pela exploração espacial



Figura 7.3 – Pegada de Edwin Aldrin. Apollo 11/NASA.



Figura 7.4 – Placa num dos pés do módulo de pouso Eagle. Apollo 11/NASA.

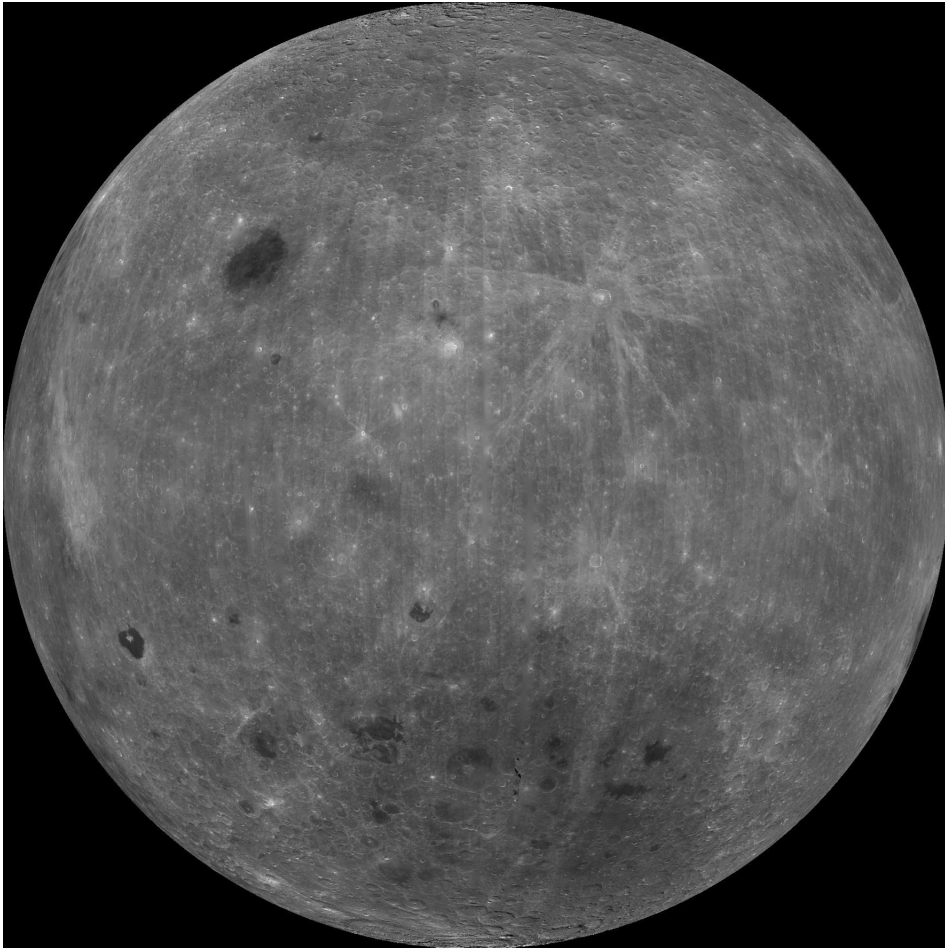


Figura 7.5 – A face oculta da Lua. Clementine/NASA.

para que pudéssemos ver a “face oculta da Lua” (figura 7.5).

A fraca gravidade lunar levou a que a Lua perdesse toda a atmosfera. Apesar disso, dados recentes das sondas Clementine e Lunar Prospector mostraram a existência de gelo de água em crateras profundas próximas dos pólos.

A quase total inexistência de atmosfera, junto com a ausência actual de um campo magnético dipolar (que já deve ter existido, dado que as rochas lunares apresentam magnetizações remanescentes, embora não ordenadas como na Terra e, em menor grau, em Marte), faz com que a superfície lunar esteja exposta ao bombardeamento por objectos de todas as dimensões, provenientes do exterior, desde as partículas do vento solar que, por vezes, interagem e são mesmo capturadas pelos solos, até aos meteoritos que conferem à Lua o seu aspecto característico.

A superfície da Lua não é uniformemente craterizada. Há dois tipos de terrenos predominantes: as “Terras Altas”, muito antigas (da ordem dos 4500 MA) e muito craterizadas, e os “Maria” (mares), mais jovens (da ordem dos 3000 MA), que correspondem a enormes crateras de impacto, posteriormente preenchidas por escoadas de lavas basálticas. Note-se que as rochas terrestres com mais de 3000 MA são raríssimas, pelo que a Lua nos dá infor-

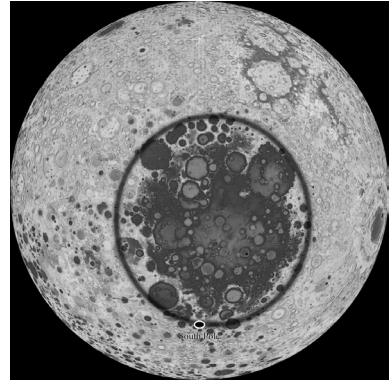


Figura 7.6 – A bacia Pólo Sul - Aitken. Kaguya/JAXA.

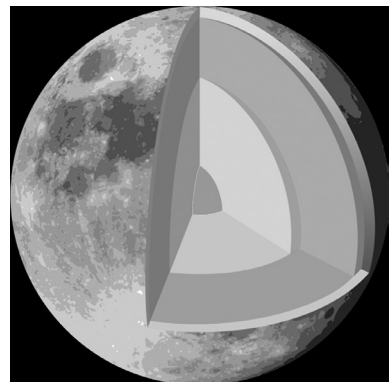


Figura 7.7 – Estrutura interna da Lua. EIA/IGUC.

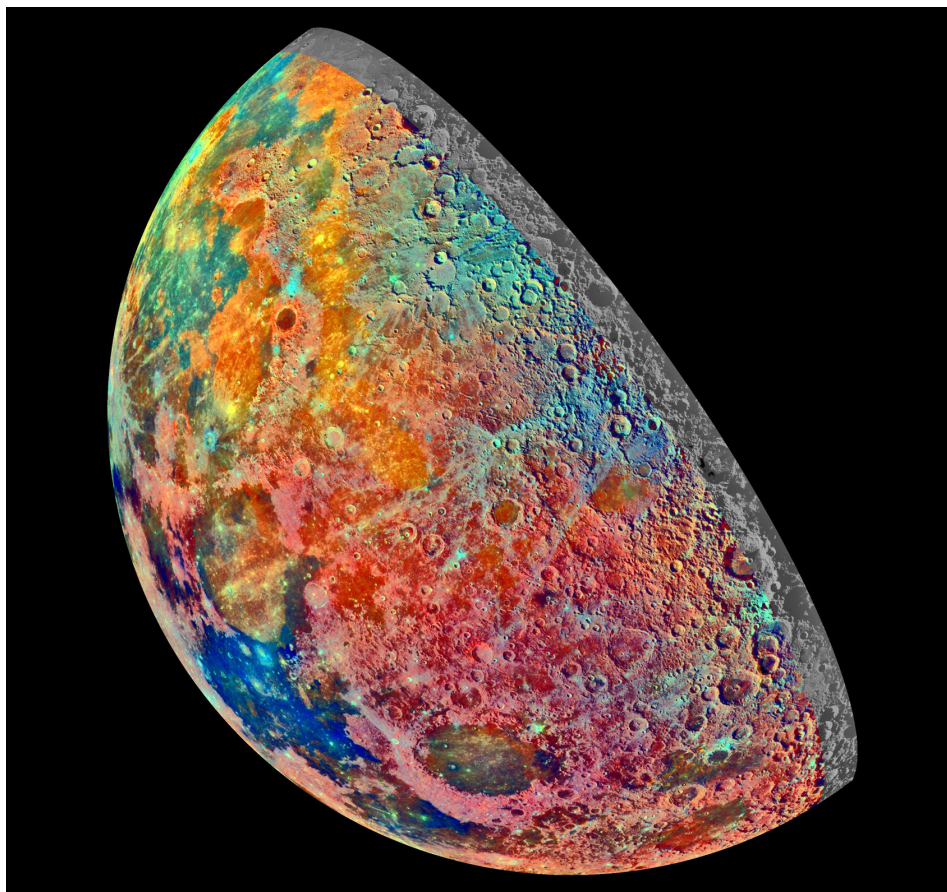


Figura 7.8 – Carta mineralógica da Lua, em cores falsas. Galileo/NASA. A área azul forte, no canto inferior esquerdo, é o Mar da Tranquilidade, rico em minerais de titânio.

mações preciosas sobre a história geológica do Sistema Solar.

Não existem Maria no lado escondido da Lua. Isto deve-se provavelmente ao efeito gravitacional da Terra, que fez do lado próximo da Lua a localização preferencial para as erupções vulcânicas. A maior cratera do Sistema Solar é a bacia Pólo Sul - Aitken, com 2250 km de diâmetro e 12 km de profundidade (figura 7.6).

Tal como na Terra, a estrutura interna da Lua não é uniforme. A crosta, de composição essencialmente anorto-

sítica, pode ter espessuras entre os cerca de 100 km, a norte da cratera Korolev, no lado escondido, até ser quase inexistente sob o Mare Crisium. Segue-se o manto que, ao contrário do da Terra, é quase completamente sólido, e o núcleo metálico, com cerca de 700 km de diâmetro (figura 7.7).

O efeito gravitacional da Terra sobre a Lua tem outra consequência interessante: o núcleo lunar está descentrado cerca de 2 km no sentido da Terra.

A Lua é uma fonte potencial de recursos minerais. Quando, no futuro, dominarmos a fusão nuclear, reproduzindo na Terra os processos dos interiores estelares, a Lua será uma fonte muito interessante de hélio-3, o “combustível” por excelência da produção de energia por fusão nuclear, que existe em grande quantidade adsorvido nos solos lunares, onde é depositado pelo vento solar. E há muitos outros elementos, raros na Terra e abundantes na Lua (figura 7.8). A propósito: o último astronauta na Lua foi Harrison Schmitt, um geólogo (figura 7.9).

Afinal a nossa lua, a Lua, está aqui tão perto...



Figura 7.9 Harrison Schmitt recolhe amostras. Apollo 17/NASA.

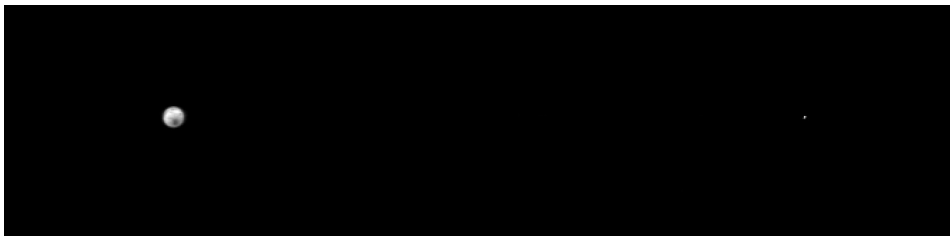


Figura 7.10 - A Terra e a Lua, em verdadeiras proporções. Themis/Mars Odyssey/NASA. Esta imagem foi obtida pela sonda 2001 Mars Odyssey, a mais de 3,5 milhões de quilómetros da Terra, na sua rota para Marte.

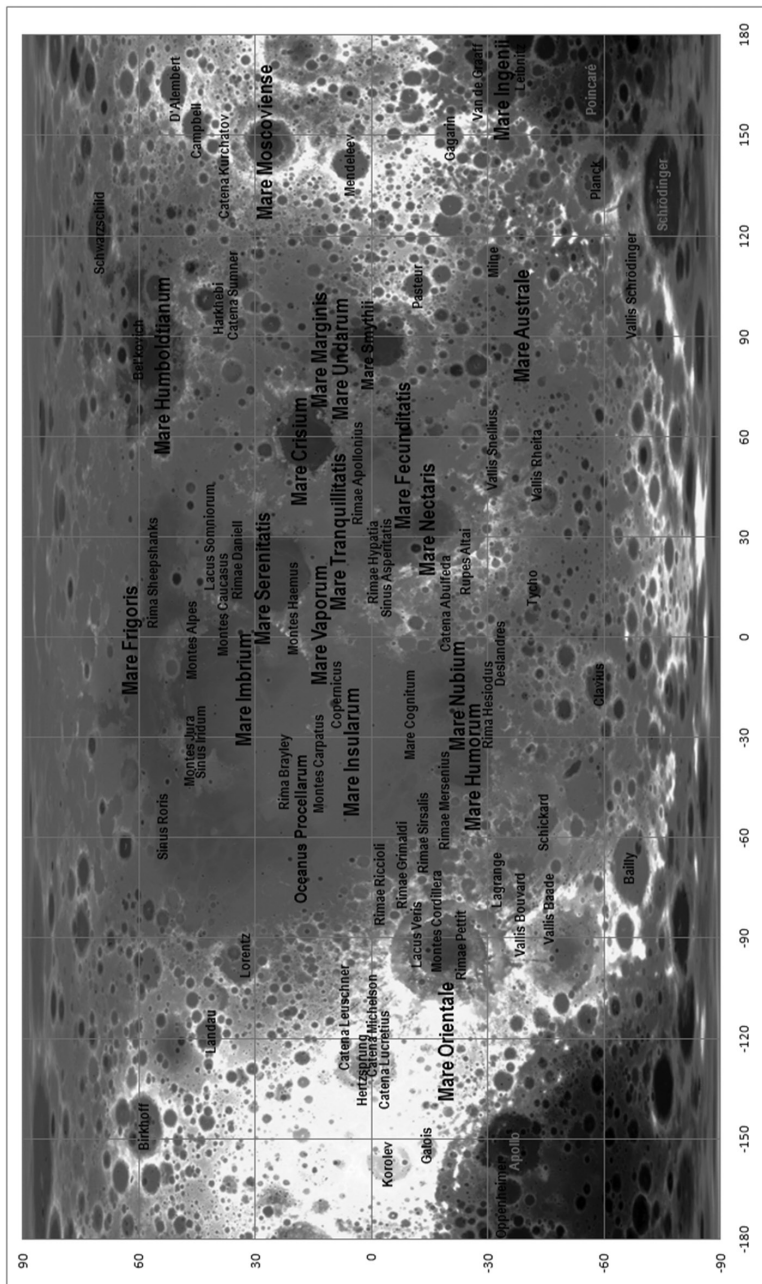


Figura 7.11 – Toponímia da Lua. EIA/IGUC, base Selene/JAXA.

(Página deixada propositadamente em branco)

8. MARTE

Marte é um dos seis planetas facilmente observáveis da Terra à vista desarmada e, por isso, é conhecido desde a mais remota antiguidade. A sua coloração avermelhada sempre despertou a atenção dos observadores e esse facto, juntamente com a trajectória aparentemente irregular que percorre nos céus, cedo cercou Marte de uma aura de mistério. Não surpreende, por isso, que a história do conhecimento de Marte seja uma das mais apaixonantes da astronomia. Quem não se lembra da polémica dos “canais”? Estes, sugeridos - e meticulosamente desenhados - por Schiaparelli (figura 8.1), que nunca lhes atribuiu uma origem definida, foram depois defendidos como construção artificial por Percival Lowell até ao fim da sua vida.

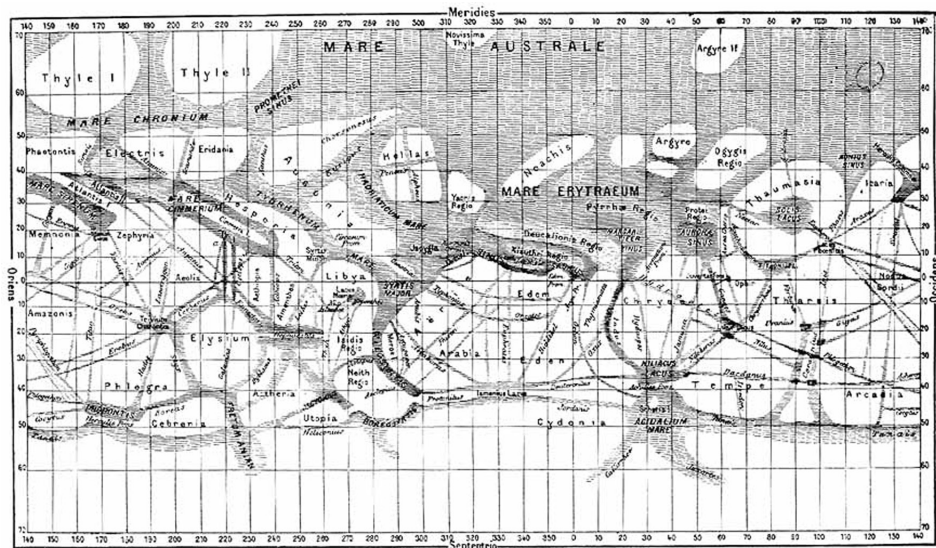


Figura 8.1 – Carta de Schiaparelli, desenhada com base em observações feitas entre 1877 e 1886.

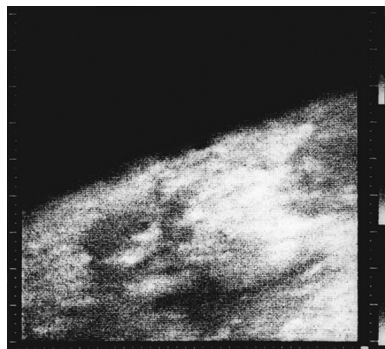


Figura 8.2 – A primeira vista de satélite da superfície de Marte, mostrando 300 km de largura e 120 km desde o limbo à base da imagem. Mariner 4/NASA. Quando a missão Mariner 4 chegou a Marte, em Julho de 1965, o planeta estava coberto por uma tempestade global de poeiras, tendo-se receado, então, nunca conseguir ver a superfície. A Mariner 4 captou e emitiu apenas 22 imagens para a Terra.

O interesse por Marte aumentou ainda quando se soube que este era o planeta superficialmente mais semelhante à Terra. Superficialmente pois, apesar de mais distante do Sol que a Terra (1,5 UA), menor (6794 km de diâmetro) e menos denso (3,93) que esta, possui condições ambientais que parecem “quase” permitir a vida...

De facto, Marte possui uma atmosfera, contém grandes quantidades de água e a temperatura à superfície pode atingir os 27 °C. Vejamos estas condições com mais pormenor.

A atmosfera de Marte é constituída essencialmente por dióxido de carbono (95%), azoto (menos de 3%) e árgon (menos de 2%), sendo o oxigénio apenas vestigial - o que não é surpreendente, dado que o oxigénio da Terra é essencialmente um produto da vida e não a sua causa. Esta atmosfera é muito ténue (menos de 1% da pressão atmosférica normal na Terra) embora seja suficientemente densa para permitir ventos fortíssimos que levantam verdadeiras tempestades de areia que chegam a cobrir quase todo o planeta (figuras 8.2 e 8.3).

A temperatura pode atingir máximos de 27 °C, como se disse, mas só no verão marciano e de dia. As temperaturas polares são da ordem dos -133 °C e a média planetária anual é da ordem dos -55 °C. As baixas temperaturas e a baixa pressão atmosférica levam a que, na maior parte do planeta e na maior parte do tempo, a água só possa existir em dois

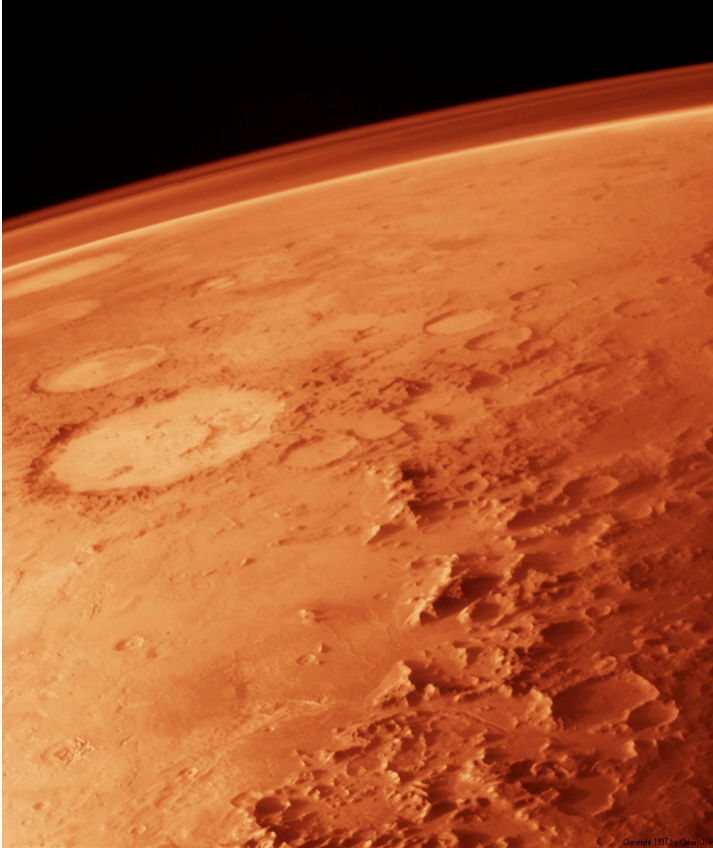


Figura 8.3 – O limbo de Marte. Viking/NASA. Note-se a fina atmosfera, carregada de poeiras.

estados: gelo ou vapor. De facto, identificou-se a presença de vestígios de vapor de água na atmosfera marciana e nas calotes polares (Figura 8.4) que, contudo, são maioritariamente constituídas por gelo de dióxido de carbono.

Dados recentes, da missão 2001 Mars Odyssey, mostraram que há grandes quantidades de água no estado sólido contida nos poros do solo marciano, principalmente a latitudes maiores que 60° (N e S), mas também em algumas zonas limitadas a menores latitudes (figura 8.5).

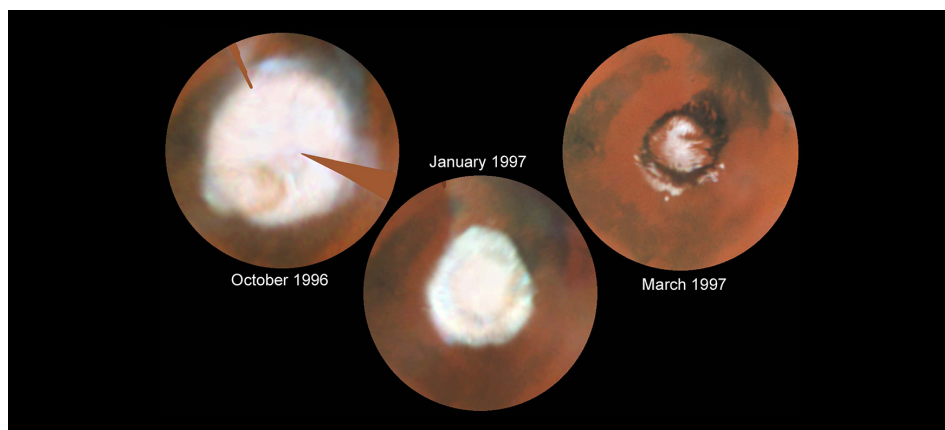


Figura 8.4 – Calote polar setentrional, entre Outubro de 1996 e Março de 1997. P. James, T. Clancy e S. Lee/HST/NASA.

MARTE	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	1,52366
Excentricidade orbital	0,09341
Período sideral (dias)	686,980
Inclinação orbital	1,850°
Velocidade orbital média (km/s)	24,13
Período de rotação (horas)	24,6597
Inclinação do eixo de rotação	25,19°
Magnitude visual máxima	-2,91
Número de Satélites	2
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	3397
Massa (kg)	0,64185 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	16,318 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	3,933
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	3,69
Velocidade de escape equatorial (km/s)	5,03
Temperatura média à superfície (K)	210
Albedo normal	0,15
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	-6,9 - 9
Composição da atmosfera (% vol)	CO ₂ (95,32), N ₂ (2,70), Ar(1,60), O ₂ (0,13)
DADOS HISTÓRICOS	
Missões espaciais	Mariner 4,6,7,9; Mars 3-7; Viking 1,2 ; Phobos 1,2 ; M. Global Surveyor; M. 96; M. Pathfinder ; Nozomi ; 2001M. Odyssey; M. Exploration Rovers; M. Express; M. Reconnaissance Orbiter

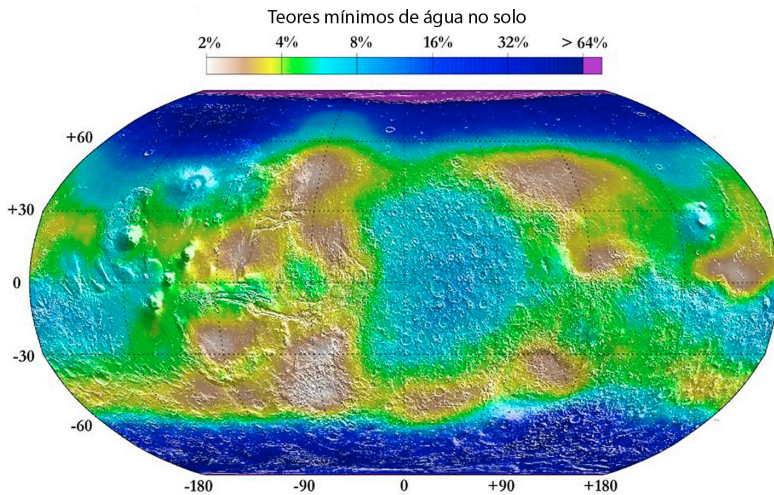


Figura 8.5 – Distribuição de hidrogênio nos solos de Marte. GRS/Mars Odyssey/NASA.

Sabe-se que a água é essencial para a vida, pelo que as missões Viking 1 e 2 fizeram experiências com solos marcianos para tentar revelar a existência de micro-organismos. Estas experiências foram inconcludentes. Nasceu outra esperança de encontrar vida em Marte pela análise de fotografias ultramicroscópicas de um meteorito de origem marciana (figura 8.6). Também essas imagens não foram consideradas concludentes.

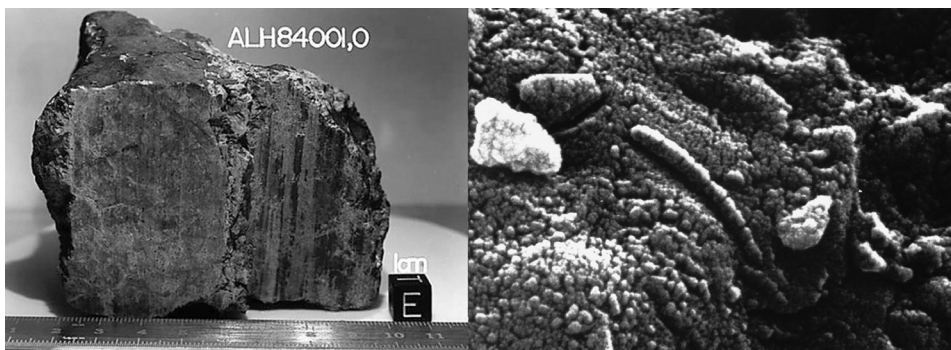


Figura 8.6 – Meteorito ALH84001 e microfotografia de varrimento de electrões. NASA.

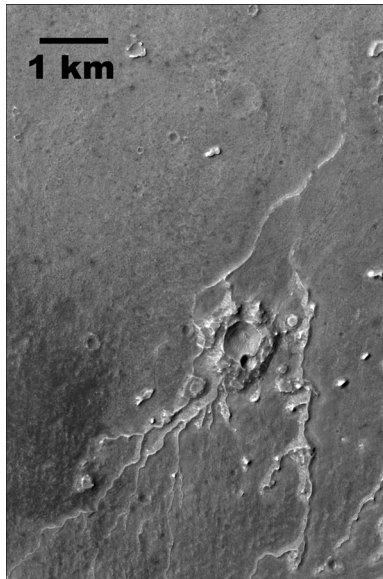


Figura 8.7 – Rede fluvial. MOC/MGS/NASA/JPL/MSSS.

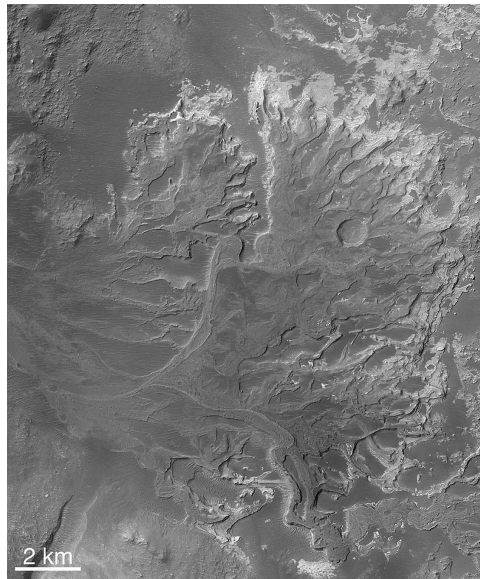


Figura 8.8 – Delta fluvial. MOC/MGS/NASA/JPL/MSSS.



Figura 8.9 – Meandro. MOC/MGS/NASA/JPL/MSSS.



Figura 8.10 – Vale de enxurrada. MOC/MGS/NASA/JPL/MSSS. Note-se como é possível identificar o sentido do fluxo.

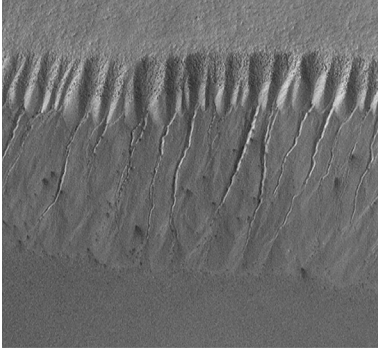


Figura 8.11 – Ravinas de escorrência (“gullies”), centro em 10,7 °S; 9,3 °E, 2,8×2,1 km. MOC/MGS/NASA/JPL/MSSS.

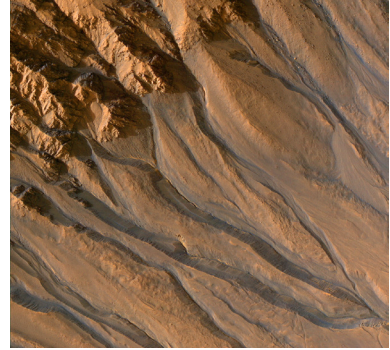


Figura 8.12 – Ravinas de escorrência perto de Gorgonum Chaos, centro em 37,1 °S; 191,9 °E, 1,3×1,6 km. HiRISE/NASA/JPL/University of Arizona.

O que reúne consenso é que Marte já teve água líquida: há formas de relevo (vales fluviais, leitos com meandros, zonas de escorrência e vestígios de verdadeiras enxurradas) que só seriam possíveis se já tiver circulado água na superfície do planeta (figuras 8.7 a 8.10). O conhecimento das condições ambientais em Marte poderá ajudar-nos a compreender melhor o ambiente na Terra.

Quando, em Julho de 1999, se viu a imagem da figura 8.11, tornou-se ainda mais evidente a presença de água líquida na história geológica de Marte. Mais tarde encontraram-se muitas mais ravinas de escorrência, principalmente em latitudes intermédias, entre os 30° e os 70° (figura 8.12).

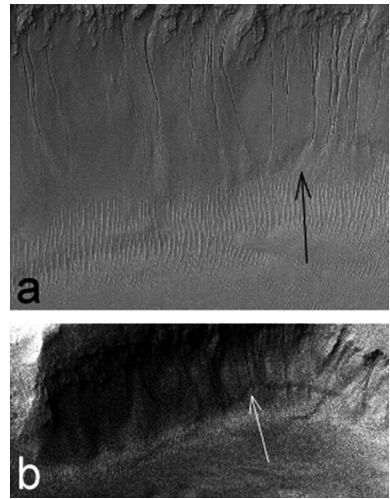


Figura 8.13 – Comparação das imagens MOC2-240 (a – 12 de Julho de 1999) e V01138003 (b – 18 de Março de 2002). EIA et al./IGUC. No espaço apontado por uma seta preta em a, vê-se uma nova ravina em b, apontada pela seta branca.

Uma questão interessante é a do tempo da formação destas ravinas. A comparação de imagens do mesmo local, captadas em 1999 e em 2002, mostra que pode haver emissão de fluidos no presente (figura 8.13). Nas condições actuais de pressão e temperatura a água líquida – pura – não é estável à superfície. Só o será se estiver carregada de solutos, cujos candidatos mais óbvios são os iões sódio, cálcio ou cloreto.

Do ponto de vista geológico Marte apresenta grande interesse e levanta muitas dúvidas. Os mosaicos globais do planeta (figura 8.14) revelam uma dicotomia acentuada entre o hemisfério Norte, com menores altitudes e menos crateras (mais jovem), e o hemisfério Sul, mais alto e mais craterizado (mais antigo).

As diferenças medidas nas densidades das distribuições de crateras permitiram definir três grandes grupos de idades na superfície de Marte: Noaquiano, o mais antigo, com mais e maiores crateras, Hesperiano, de idade intermédia, nas zonas altas meridionais, com muitas crateras pequenas, e Amazoniano, nas planícies setentrionais, com poucas crateras.

A dicotomia Norte-Sul estende-se ao clima e até ao magnetismo. Marte não tem hoje um campo magnético dipolar, como o da Terra ou de Mercúrio, mas seguramente já o teve, o que é revelado pela existência de bandas de rochas com polaridades alternadas, semelhantes às dos fundos oceânicos na Terra, principalmente no hemisfério Sul (figura 8.15).

Outro traço distintivo de Marte são os vulcões - os maiores do sistema solar - hoje extintos. O maior de todos, o monte Olimpo (figura 8.16), atinge uma altitude de 24 km,

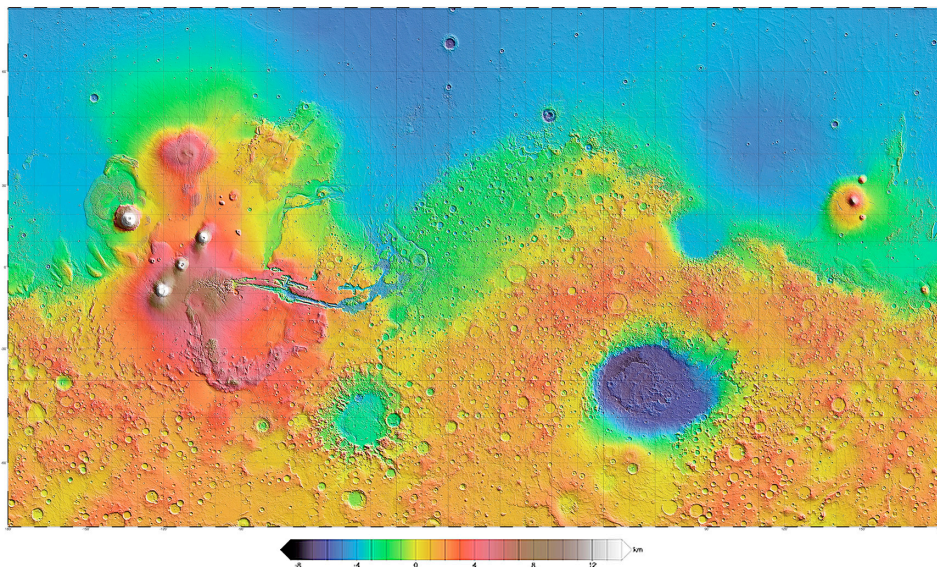


Figura 8.14 – Topografia. MOLA/MGS/NASA.

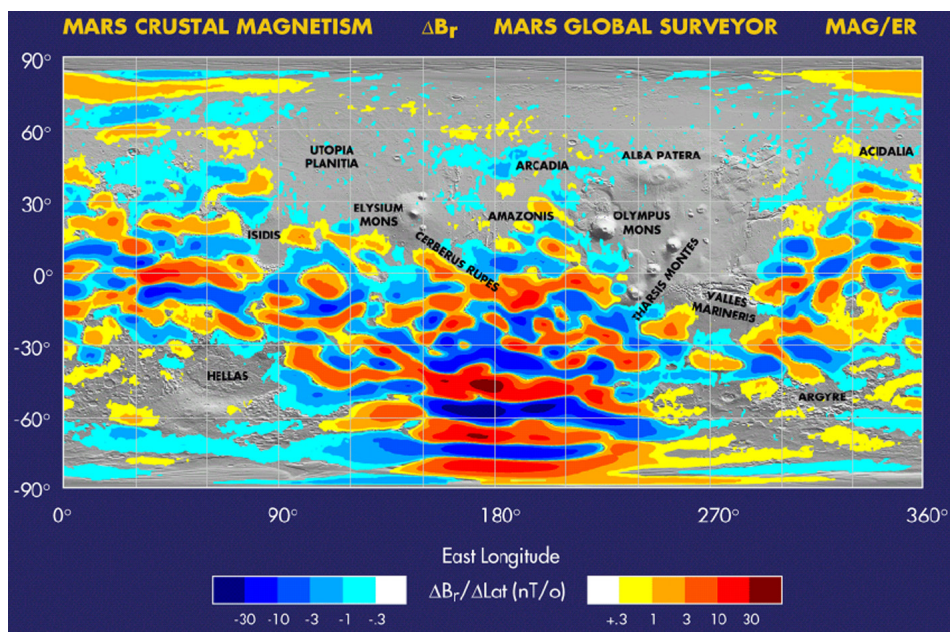


Figura 8.15 – Magnetismo remanescente em Marte. 2001 Mars Odyssey/NASA.

a sua base tem mais de 500 km de diâmetro e é delimitada por um penhasco com 6 km de altura; isto, recorde-se, num planeta com metade do diâmetro da Terra.

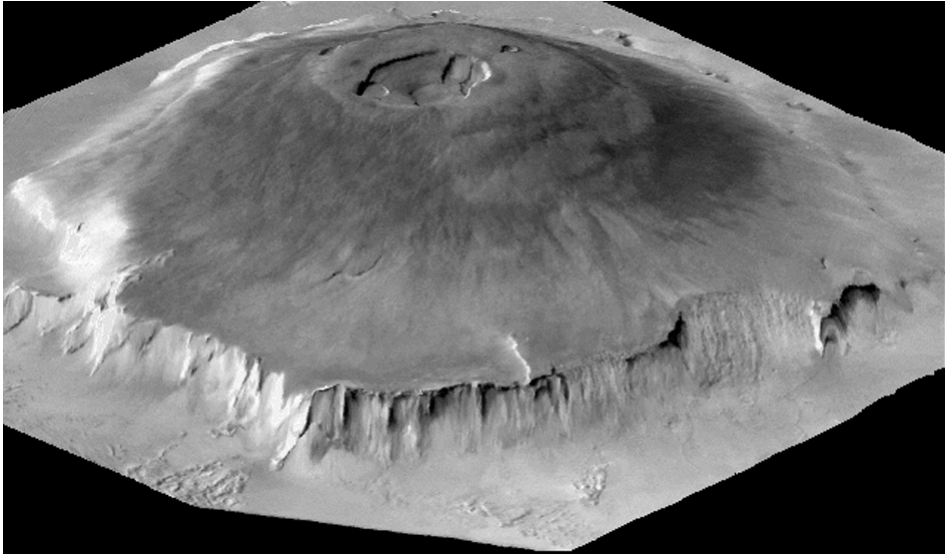


Figura 8.16 – O Monte Olimpo. NASA.

Pensa-se que a origem do monte Olimpo pode estar relacionada com a da bacia de Hellas (figura 8.17), nos antípodas, uma gigantesca cratera de impacto com mais de 6 km de profundidade e 2000 km de diâmetro.

Terá sido esse impacto a produzir a energia necessária para a fusão das rochas e a emergência do monte Olimpo e, eventualmente, também dos montes Tharsis. A ascensão destas enormes massas rochosas terá provocado retracção na crosta adjacente, dando origem a outra estrutura marciana “recordista”: os Valles Marineris (figuras 8.18 e 8.19), que são o maior sistema de desfiladeiros do Sistema Solar, com os seus mais de 4000 km de extensão, chegando a atingir 7 km de profundidade.

Apesar destes relevos desmesurados, Marte não tem, aparentemente, uma tectónica activa. Mas não deixa de ser curioso que as análises *in situ* feitas pela sonda Mars Pa-

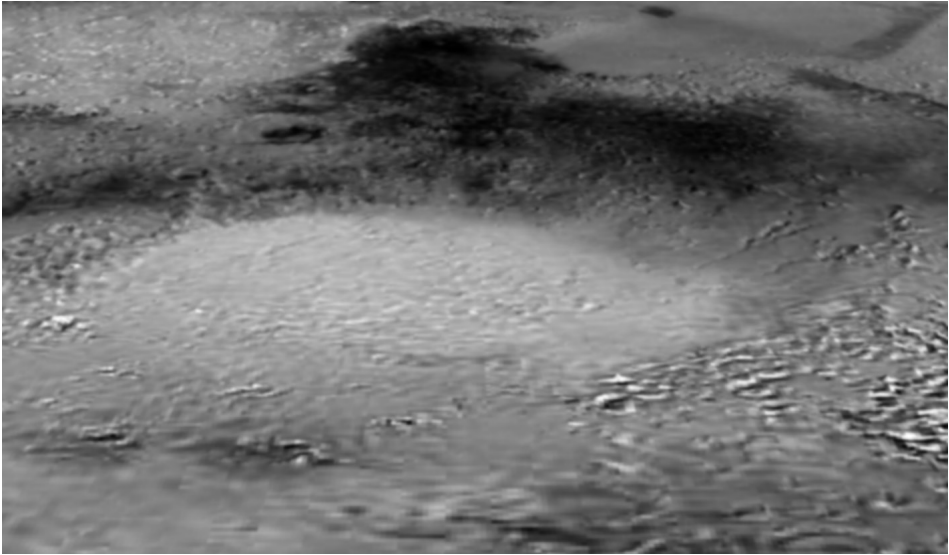


Figura 8.17 – A Bacia de Hellas, em perspectiva para Sul. NASA.

thfinder tenham mostrado rochas de tipo andesítico que, na Terra, estão associadas à formação de cadeias de montanhas e, portanto, à geotectónica. A aplicação a este planeta de métodos de reconhecimento automático de falhas, que já vimos na Terra (figura 6.8), tem-nos permitido compreender melhor a tectónica passada de Marte Marte (figura 8.20).

A estrutura interior de Marte é apenas inferida a partir de dados da superfície e das propriedades físicas globais. Assim, pensa-se que o planeta terá uma crosta mais fina no hemisfério Norte (35 km) que no hemisfério Sul (80 km), um manto silicatado, como o da Terra mas mais denso, e um núcleo metálico composto de um mistura de



Figura 8.18 – Valles Marineris. Viking/NASA.

ferro e sulfuretos de ferro, com um raio de cerca de 1700 km (figura 8.21). Uma análise gravimétrica recente dos dados orbitais da sonda Mars Global Surveyor indicou que o núcleo marciano poderá permanecer líquido ainda hoje.

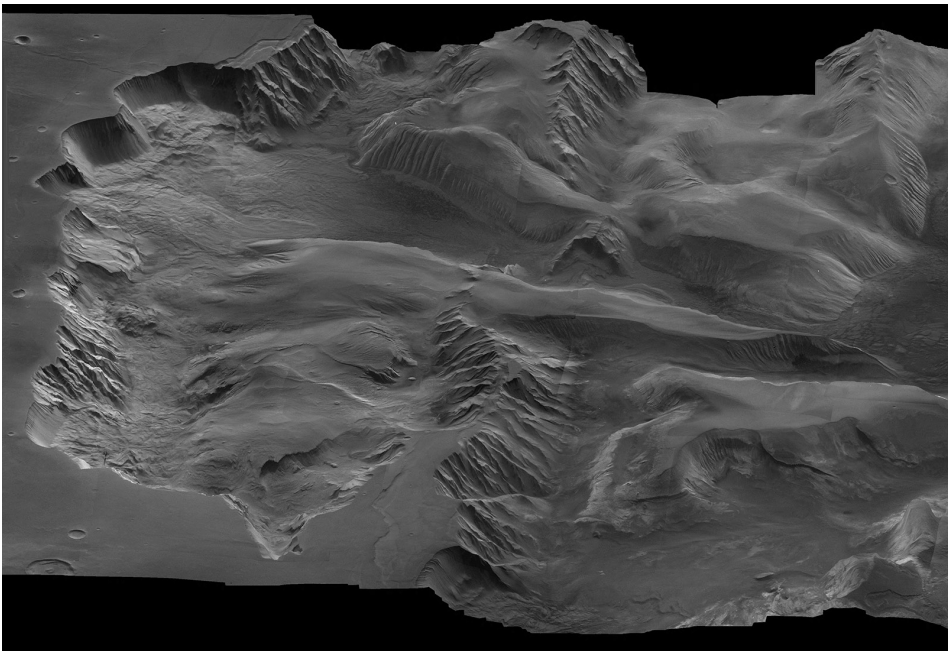


Figura 8.19 – Modelo 3-D dos Valles Marineris. NASA.

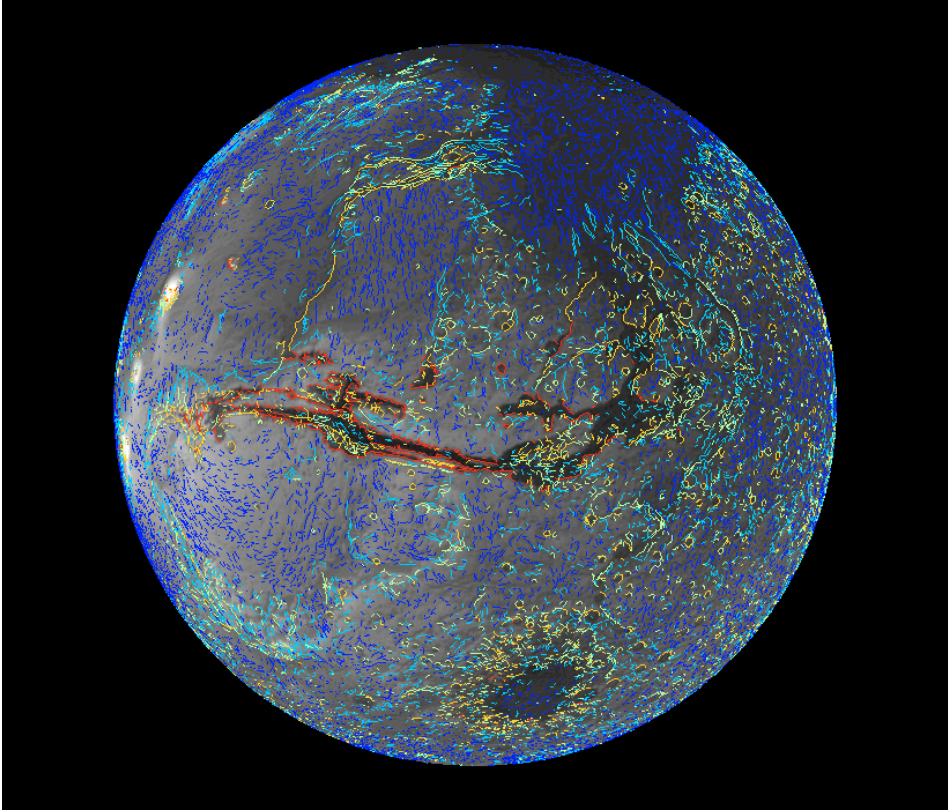


Figura 8.20 – Cartografia automática de falhas centrada em Valles Marineris. David Vaz/IGUC.

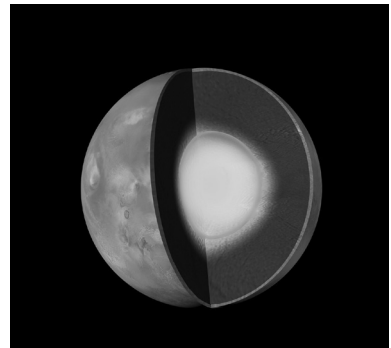


Figura 8.21 – Estrutura interna de Marte. NASA.

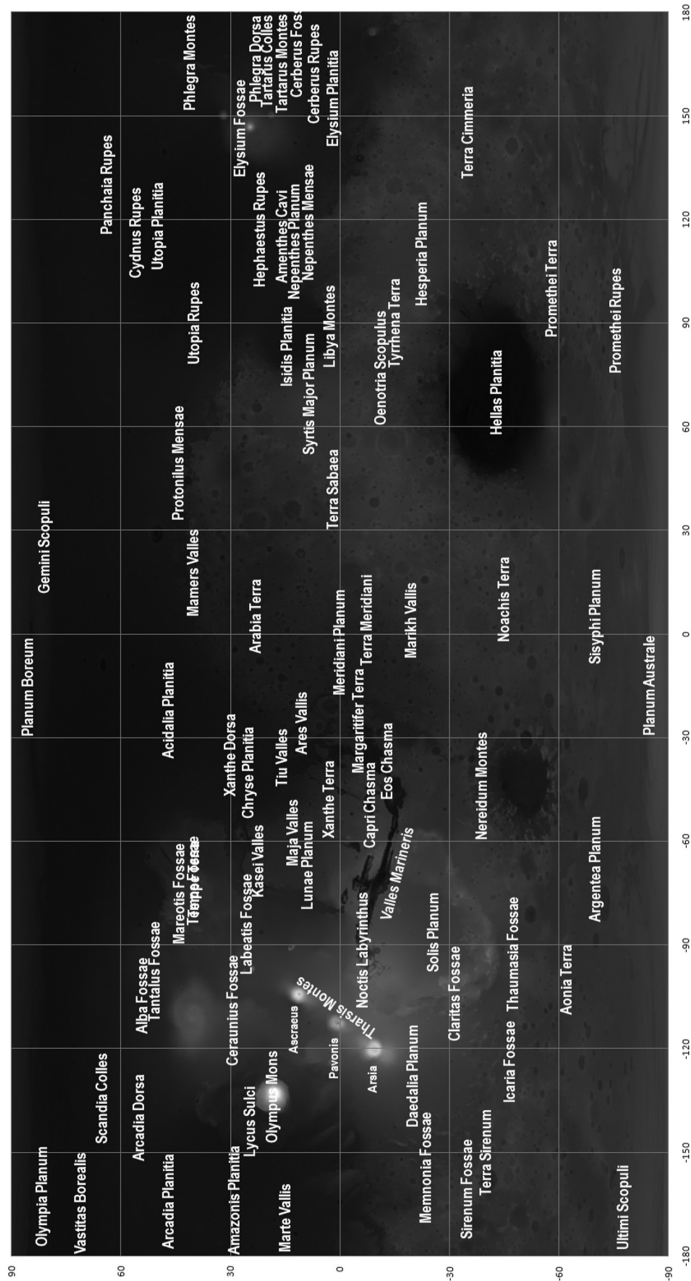


Figura 8.22 – Carta toponímica de Marte. EIA/IGUC.

(Página deixada propositadamente em branco)

9. OS SATÉLITES DE MARTE: FOBOS E DEIMOS

Fobos e Deimos são os únicos satélites conhecidos de Marte.

Os seus nomes (“medo” e “pânico”) recordam-nos a mitologia grega: Fobos e Deimos eram os filhos de Ares (Marte) e Afrodite (Vénus) e conduziam o carro do Senhor da Guerra.

Fobos e Deimos foram ambos descobertos durante a oposição de 1877 pelo astrónomo americano Asaph Hall, apesar de já Herschel ter tentado, um século antes, encontrar satélites em órbita de Marte. A sua observação continua a ser difícil – inacessível à maioria dos instrumentos amadores – por serem muito pequenos: nas suas maiores dimensões têm, respectivamente, 27 e 15 km.

Fobos é, em todo o Sistema Solar, o satélite que orbita mais próximo do planeta-mãe: menos de 6000 km acima da superfície marciana. Encontra-se, por isso, abaixo da órbita síncrona para Marte. Por esse motivo, a sua órbita vai descendo a um ritmo de 1,8 m por século. Assim, dentro de 50 MA pode ocorrer uma de duas coisas: ou Fobos se despenha ou, o que é mais provável, antes que isso aconteça as forças gravitacionais destruirão o satélite criando um anel à volta de Marte.

A característica mais distintiva de Fobos (figura 9.1) é a cratera Stickney (baptizada por Hall com o apelido de solteira da sua mulher...) com cerca de 10 km de diâmetro -

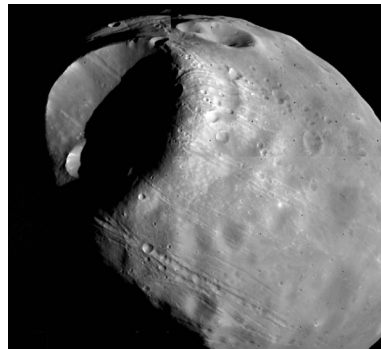


Figura 9.1 – Fobos. Viking/NASA/JPL.

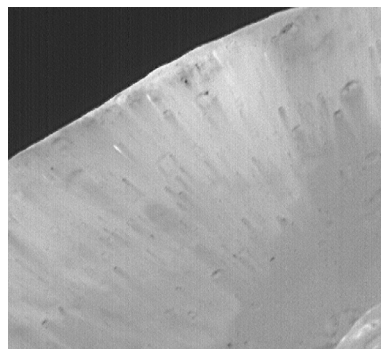


Figura 9.2 – A cratera Stickney. MOC/MGS/NASA/JPL/MSSS.

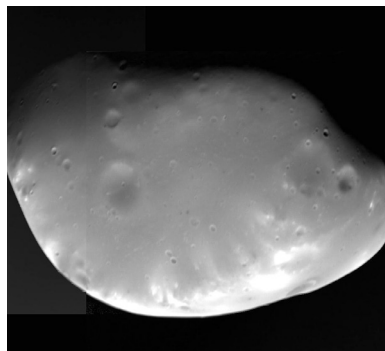


Figura 9.3 – Deimos. Fotomosaico Viking/NASA/JPL.

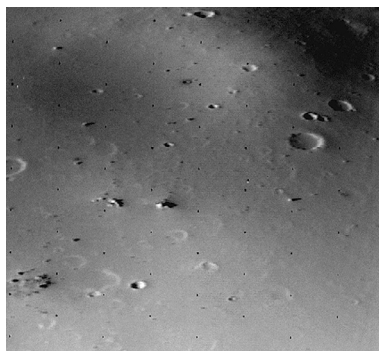


Figura 9.4 – Pormenor da superfície de Deimos. Viking/NASA/JPL.



Figura 9.5 – Eclipse do Sol por Fobos visto em Marte pelo rover Opportunity. MER/NASA/JPL/ Cornell.

num objecto que, recorde-se, tem de maior dimensão 27 km (figura 9.2). Isto equivaleria a ter, na Terra, uma cratera com cerca de 3500 km de diâmetro, ou seja, abrangendo toda a Europa.

O impacto que provocou esta cratera deve ter causado grande destruição em Fobos, que teria sido inicialmente muito maior. As estrias que irradiam da cratera são provavelmente vestígios dessa destruição.

Deimos (figura 9.3) é um dos mais pequenos satélites conhecidos do Sistema Solar. A sua superfície parece estar coberta por uma camada de poeiras com espessura estimada de 50 metros (figura 9.4). A baixa densidade de Deimos (1,8), da mesma ordem que a de Fobos (1,9), indica deverem ter composições semelhantes - provavelmente uma mistura de silicatos e gelo análoga à dos asteróides de tipo C. Um argumento a favor desta composição foi obtido pela sonda soviética Fobos 2, que observou a libertação de uma fina pluma de vapor da superfície de Fobos.

Por todas estas razões, é provável que Fobos e Deimos sejam ambos corpos que se desviaram da cintura de asteroídes, tendo sido capturados pelo campo gravitacional de Marte.

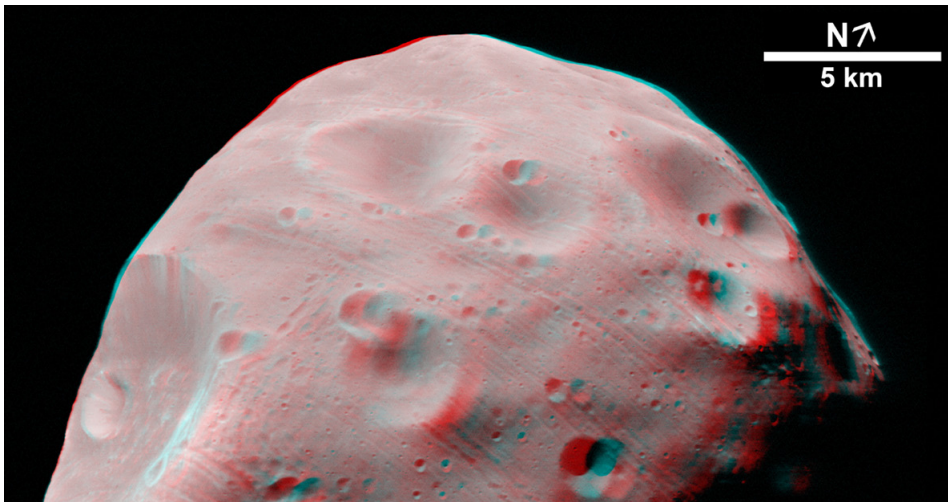


Figura 9.6 – Anaglifó de Fobos. ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum).

	FOBOS	DEIMOS
	DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Marte	Marte
Distância média a Marte (km)	9378	23459
Excentricidade orbital	0,0151	0,0005
Período sideral (dias)	0,31891	1,26244
Inclinação orbital	1,08°	1,79°
Período de rotação (dias)	0,31891	1,26244
Magnitude visual máxima	11,3	12,4
	DADOS FÍSICOS	
Raios (km)	13,4x11,2x9,2	7,5x6,1x5,2
Massa (kg)	10,6 X 10 ¹⁵	2,4 X 10 ¹⁵
Densidade média (g/cm ³)	1,900	1,750
Albedo normal	0,07	0,08
	DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	A. Hall	A. Hall
Data	1877	1877
Missões espaciais	Phobos 2	Phobos 2

(Página deixada propositadamente em branco)

10. OS ASTERÓIDES

Em 1778 o matemático e astrónomo alemão Johann Bode desenvolveu uma relação empírica que lhe permitia determinar aproximadamente as distâncias médias dos planetas ao Sol.

Começamos com uma simples sequência de números: 0; 3; 6; 12; 24; 48; 96; 192. Adicionamos 4 a cada número: 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196. Dividimos os resultados por 10: 0,4; 0,7; 1,0; 1,6; 2,8; 5,2; 10,0; 19,6.

Esta última sequência é muito próxima das distâncias reais dos planetas ao Sol, incluindo Úrano, que só veio a ser descoberto por Herschel em 1781 (Tabela 10.1).

Havia, contudo, um problema bem evidente com a lei de Bode: onde estava o planeta a 2,8 UA do Sol?

Só em 1801 foi descoberto um corpo à distância correcta, o asteroide baptizado

por Piazzi com o nome da deusa romana das colheitas: Ceres (figura 10.1). Em 2006 Ceres foi promovido à categoria de planeta anão, ao mesmo tempo que Plutão foi despromovido à mesma categoria.

Peter Thomas, da universidade de Cornell, com base em observações da forma de Ceres, efectuadas a partir do telescópio espacial Hubble, propôs que este tivesse um interior diferenciado como os planetas “a sério”: uma cros-

Tabela 10.1 – ‘Lei’ de Bode

PLANETA	DISTÂNCIA PREVISTA PELA LEI DE BODE (UA)	DISTÂNCIA REAL (UA)
Mercúrio	0,4	0,39
Vénus	0,7	0,72
Terra	1,0	1,00
Marte	1,6	1,52
?	2,8	?
Júpiter	5,2	5,20
Saturno	10,0	9,54
Úrano	19,6	19,19

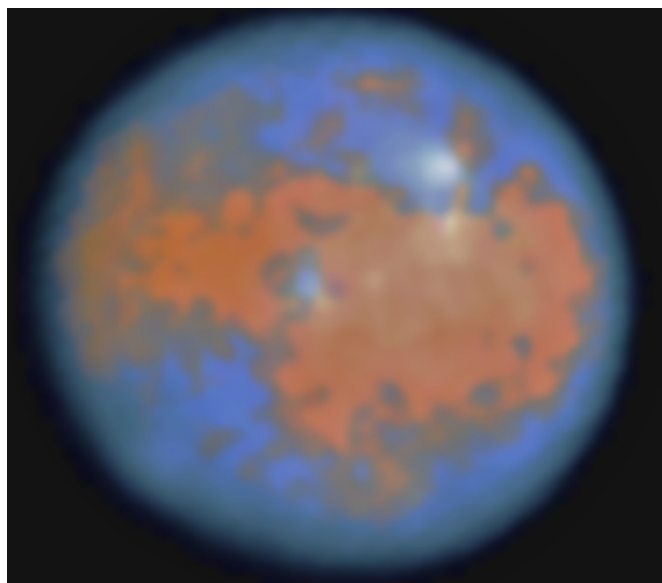


Figura 10.1 – Ceres em cores falsas. ELA/IGUC, com base em imagens HST/NASA.

ta fina, composta de poeiras líticas, um manto com 100 km de espessura, composto principalmente de gelo de água e um núcleo rochoso (figura 10.2).

De então até hoje, já foram descobertos e catalogados algumas centenas de milhares de asteróides e todos os anos a lista é acrescentada com mais alguns mi-

lhares. Como é evidente, o catálogo é muito completo para os corpos grandes (tabela 10.2) e muito incompleto para os pequenos – pensa-se que possa haver cerca de um milhão de asteróides com cerca de 1 km de diâmetro.

Já agora, por curiosidade, o asteróide número 3933, descoberto em 1986, em La Silla, por West, tem o nome do nosso País: Portugal.

As órbitas da maioria dos asteróides estão à volta da distância prevista pela lei de Bode, numa zona do espaço chamada Cintura Principal de Asteróides, entre 2 e 4 UA do Sol. Nesta cintura, a sua distribuição não é homogênea: os asteróides dispõem-se por famílias de proximidade, havendo zonas

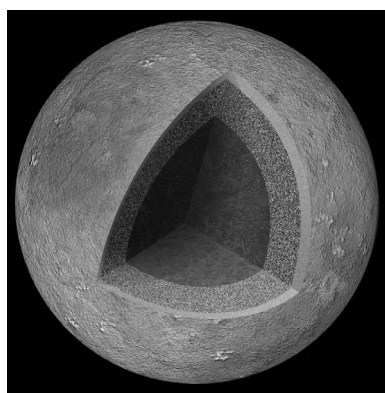


Figura 10.2 – Estrutura interna de Ceres. NASA.

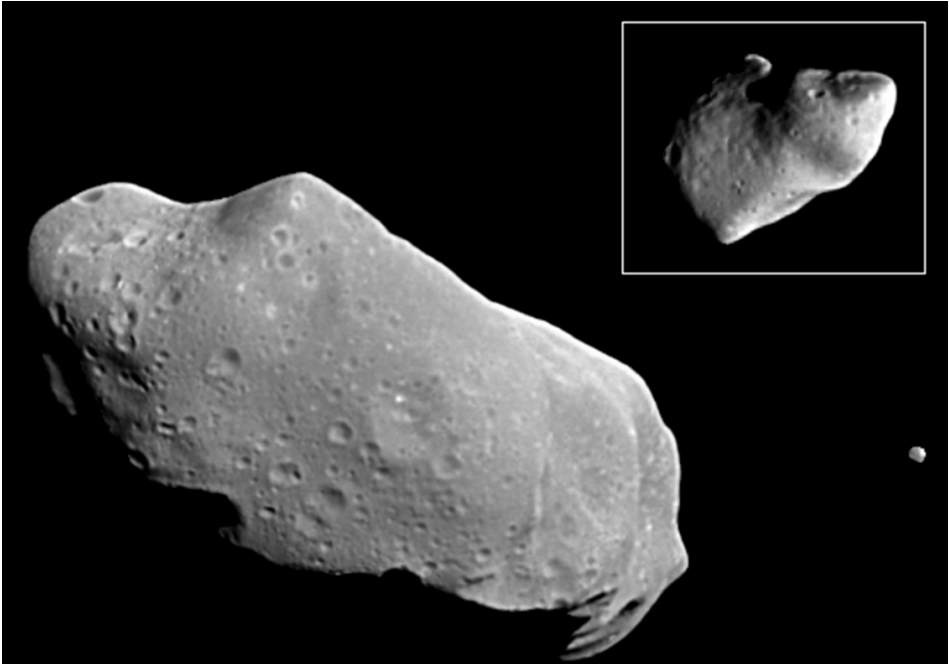


Figura 10.3 Ida e Dáctilo. Galileo/NASA. Em proporções reais, Dáctilo é o pontinho junto ao bordo direito da imagem, ampliado no canto superior direito.

sem asteróides, as falhas de Kirkwood, provocadas pelo campo gravitacional de Júpiter.

Já se identificou um asteróide na cintura principal (243 Ida) que possui a sua própria lua: Dáctilo (figura 10.3). É provável que haja outros.

Há ainda famílias fora da cintura principal: os troianos, na órbita de Júpiter, são várias centenas em dois grupos, 60° à frente e 60° atrás do planeta (em pontos chamados de Lagrange). Também se identificaram troianos nos pontos de Lagrange das órbitas de Neptuno e de Marte. Encontrou-se um asteróide que quase partilha a órbita da Terra, 3753 Cruithne (pronuncia se aproximadamente “crúinia”, nome gaélico do povo mais habitualmente designado

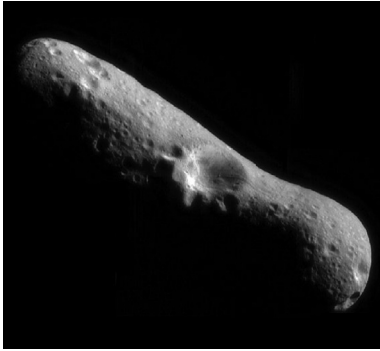


Figura 10.4 – Eros. NEAR/NASA/JPL. Esta é a primeira imagem de um asteroide obtida por uma sonda a orbitá-lo.

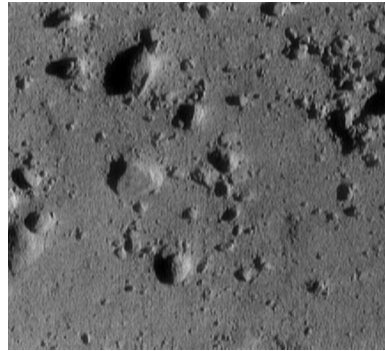


Figura 10.5 – O solo de Eros. NEAR/NASA/JPL. Imagem obtida a 250 m de altitude; largura: 12m.

por Pictos), mas não é, estritamente, um troiano, dado que não se encontra estabilizado num ponto de Lagrange.

Os NEA (*Near-Earth Asteroids*: asteroides próximos da Terra) têm órbitas cujo periélio é da ordem de 1 UA e são os objectos que constituem um maior perigo para o nosso planeta: a maioria dos meteoritos provém deste grupo. Para além do seu interesse científico, o estudo dos NEA é uma questão de segurança planetária, pelo que estes objectos são permanentemente catalogados, seguidos e estudados por telescópios.

Em 1996 a NASA lançou a missão NEAR com o fim de estudar de perto estes corpos, em particular o asteroide 433 Eros, onde se despenhou (propositadamente!) em 12 de Fevereiro de 2001 (figuras 10.4, 10.5 e 10.7).

Conhecem-se várias composições possíveis para os asteroides, com base nas suas observações

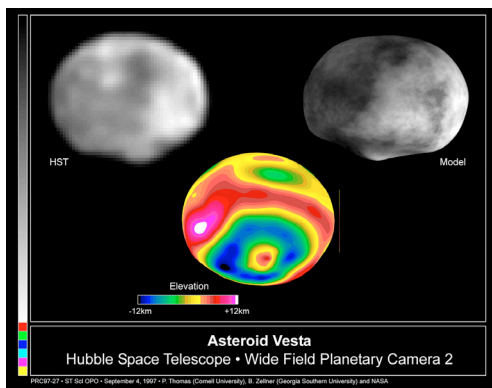


Figura 10.6 – Vesta: imagem HST, modelo e topografia. HST/NASA.

espectroscópicas e também no estudo dos meteoritos, sendo as seguintes três as mais representadas:

Tipo C – albedo baixo (0,03), semelhantes aos meteoritos condritos carbonáceos, de composição supostamente semelhante ao Sol, excepto os voláteis hidrogénio e hélio; são cerca de 75% dos asteróides estudados.

Tipo S – albedo alto (0,10-0,22), uma mistura de ligas ferro e níquel com silicatos ferromagnesianos, semelhantes aos meteoritos siderólitos, são cerca de 17% dos asteróides estudados.

Tipo M – albedo alto (0,10-0,18), ligas de ferro e níquel, semelhantes aos meteoritos sideritos.

As percentagens indicadas são necessariamente provisórias. É provável que os asteróides tipo C estejam subavaliados dado que, pelos seus albedos baixos, tornam-se mais difíceis de encontrar.

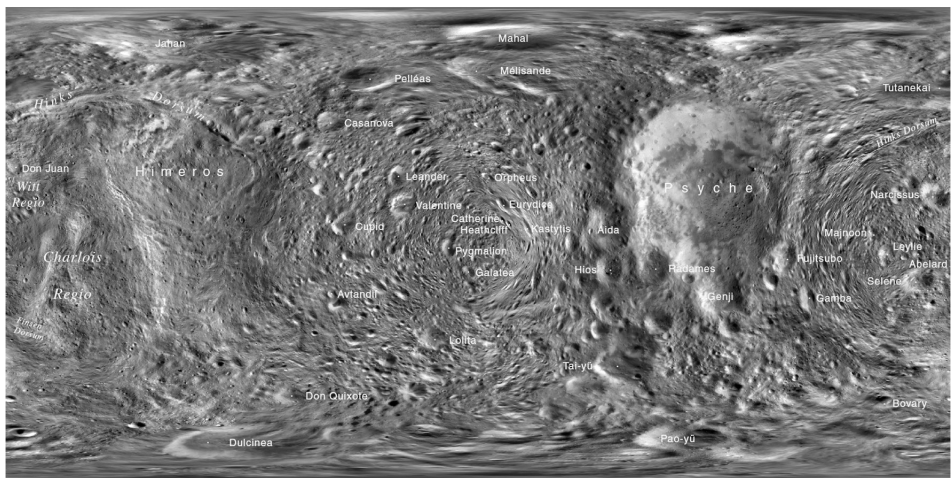


Figura 10.7 – Mapa de Eros em projecção cilíndrica. USGS.

Como se verá no próximo capítulo, possuímos, na Terra, amostras de um asteroide: 4 Vesta. Este ainda não teve uma missão dedicada pelo que as melhores imagens de que dispomos foram obtidas pelo telescópio espacial Hubble que, mesmo assim, têm permitido conhecê-lo melhor (figura 10.6).

Tabela 10.2 – Os maiores asteroides.

NOME	MAGNITUDE	DIÂMETRO (KM)	ANO	LOCAL	AUTOR
1 Ceres*	3.34	848.40	1801	Palermo	Piazzi
2 Pallas	4.13	498.07	1802	Bremen	Olbers
4 Vesta	3.20	468.30	1807	Bremen	Olbers
10 Hygeia	5.43	407.12	1849	Nápoles	De Gasparis
511 Davida	6.22	326.07	1903	Heidelberg	Dugan
704 Interamnia	5.94	316.62	1910	Teramo	Cerulli
52 Europa	6.31	302.51	1858	Paris	Goldschmidt
87 Slvia	6.94	260.94	1866	Madrasta	Pogson
31 Euphrosyne	6.74	255.90	1854	Washington	Ferguson
15 Eunomia	5.28	255.34	1851	Nápoles	De Gasparis
16 Psyche	5.90	253.16	1852	Nápoles	De Gasparis
65 Cybele	6.62	237.26	1861	Marseille	Tempel
3 Juno	5.33	233.92	1804	Lilienthal	Harding
324 Bamberga	6.82	229.43	1892	Viena	Palisa
451 Patientia	6.65	224.96	1899	Nice	Charlois
107 Camilla	7.08	222.62	1868	Madrasta	Pogson
532 Herculina	5.81	222.19	1904	Heidelberg	Wolf
48 Doris	6.90	221.81	1857	Paris	Goldschmidt
45 Eugenia	7.46	214.63	1857	Paris	Goldschmidt
29 Amphitrite	5.85	212.22	1854	Londres	Marth
121 Hermione	7.31	208.99	1872	Ann Arbor	Watson
423 Diotima	7.24	208.77	1896	Nice	Charlois
13 Egeria	6.74	207.64	1850	Nápoles	De Gasparis
94 Aurora	7.57	204.89	1867	Ann Arbor	Watson
88 Thisbe	7.04	200.57	1866	Clinton	Peters

* Desde 2006, Ceres é classificado como planeta anão.

11. OS METEORITOS

Hoje temos um conhecimento profundo sobre a composição, a origem e os processos sofridos pelas rochas que compõem o nosso Planeta. Temos ainda um razoável conhecimento em primeira mão sobre as rochas lunares, a partir dos 382 kg de amostras colhidas pelos astronautas do programa Apolo e 326 g recuperados por três missões soviéticas Luna não tripuladas.

E dos outros corpos do Sistema Solar?

Há análises químicas obtidas directamente nas superfícies de Vénus e de Marte pelas sondas robóticas que lá pousaram, mas estas análises não foram controladas por análises petrográficas (análise microscópica dos minerais e das suas relações geométricas), que não se podiam fazer remotamente.

Mas também temos outra ajuda preciosa para conhecer a geologia extraterrestre: os meteoritos.

As “estrelas cadentes” que se podem ver quase todas as noites e são particularmente numerosas em algumas épocas do ano são meteoros: pedaços de asteróides e cometas que atingem altíssimas temperaturas pelo atrito que sofrem ao atravessar a atmosfera, de tal modo que a maioria se vaporiza antes de atingir o solo. Se um meteoro tem dimensão suficiente para sobreviver à travessia da atmosfera, atinge a superfície terrestre e pode ser encontrado e estudado: é um meteorito. A terminação “ito”, em português de Portugal, significa “rocha”, como em granito – rocha granular – tal como a terminação “ite”, como em volframite, significa “mineral”. Assim, um meteorito é uma rocha do céu.

E temos muito material para estudar. Crê-se que todos os dias a nossa atmosfera é atravessada por mais de cem toneladas de meteoros, embora a maioria se vaporize. Em todo o caso, neste momento já se conhecem e estão catalogados meteoritos num total de cerca de 500 toneladas.

É possível classificar os meteoritos em várias categorias segundo a sua textura e a sua composição química e mineralógica. As mais importantes são:

1. Condritos. São os mais comuns (cerca de 82% do total de meteoritos). Meteoritos líticos (de composição semelhante a rochas terrestres), caracterizam-se por terem côndrulos: pequenas esferas (cerca de 1mm) de minerais fundidos (figura 11.1).

1.1. Condritos comuns (figura 11.2), 95% dos condritos.

1.2. Condritos carbonáceos (figura 11.3). Caracterizam-se por terem carbono – o elemento mais essencial para a vida – na sua composição.

2. Acondritos. São também meteoritos líticos, tal como os condritos, mas não apresentam côndrulos. Constituem cerca de 8 % dos meteoritos e são, talvez, os mais interessantes para a ciência planetária pelas suas supostas origens.

2.1. Tipo HED (Howarditos, Eucritos, Diogenitos), supõe-se provirem do asteroide 4 Vesta, do solo (H – figura 11.4), da crosta basáltica (E – figura 11.5) ou de maiores profundidades (D – figura 11.6).

2.2. Tipo SNC (Shergottitos, Nakhlitos, Chassignitos), supõe-se provirem de Marte, basaltos (S – figura 11.7), peridotitos (N – figura 11.8) e dunitos (C – figura 11.9). O meteorito ALH84001 (figura 8.6), onde se pensou encontrar fósseis de bactérias era um acondrito de tipo SNC.

2.3. Lunares (figura 11.10) que serão provenientes da lua.

Outros tipos, geralmente associados a vários tipos de asteróides.

3. **Sideritos** (figura 11.11). Constituídos por ligas cristalinas de ferro e níquel, são cerca de 5% dos meteoritos. Caracterizam-se pelas estruturas de Widmanstätten, figuras únicas de cristais de ferro-níquel (figura 11.12). A sua composição deve assemelhar-se à do núcleo terrestre.

4. **Siderólitos**. (figura 11.13). São misturas de ligas de ferro e níquel e materiais líticos. Raros (cerca de 1% do total), pensa-se que a sua composição deve ser semelhante à da zona de transição núcleo/manto na Terra.

A queda de meteoritos é a responsável pelo craterismo que modela a superfície de Mercúrio, da Lua, de Marte, mas também da Terra e dos planetas com atmosferas (figura 11.14). Neste caso, só os maiores atingem a superfície, com energias da ordem das megatoneladas de TNT, pensando-se que possam ter sido responsáveis pelas grandes extinções faunísticas dos finais dos períodos Pérmico e Cretácico.

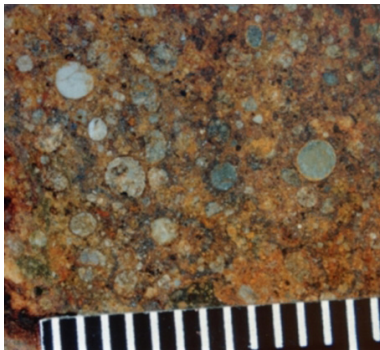


Figura 11.1 – Côndrulos no meteorito Grassland.



Figura 11.2 – Condrito comum: o meteorito NWA 869. H. Raab.

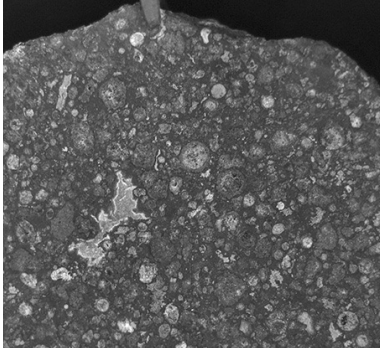


Figura 11.3 – Fragmento do meteorito Allende, o maior condrito carbonáceo jamais encontrado (cerca de 2 toneladas). ST.



Figura 11.6 – Diogenito: o meteorito Tatabouine. Meteorite Recon.



Figura 11.5 – Eucrito brechificado: o meteorito GRA98033. NASA.

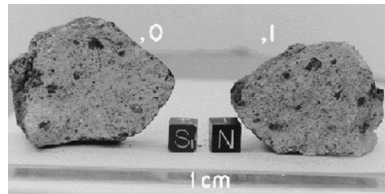


Figura 11.4 – Howardito: dois fragmentos do meteorito QUE94200. NASA.

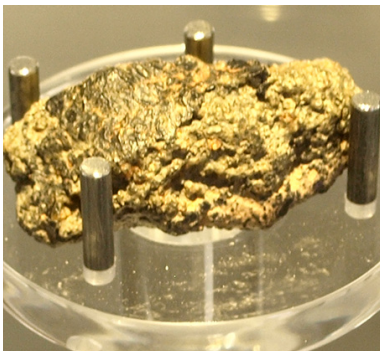


Figura 11.7 – Sbergottito recolhido em Marrocos. Caplmondo.



Figura 11.8 Nakhlito: o meteorito Nakbla original. NASA.

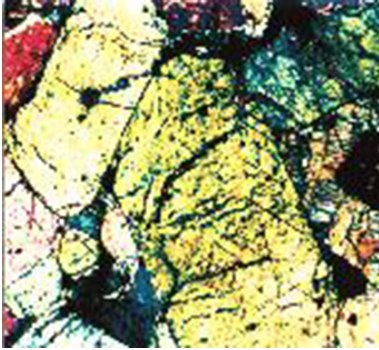


Figura 11.9 – Lâmina delgada do meteorito Chassigny original, um dos dois únicos chassignitos, em luz polarizada. NASA/JPL. Largura: cerca de 3 mm. Os minerais que se observam são principalmente olivinas.

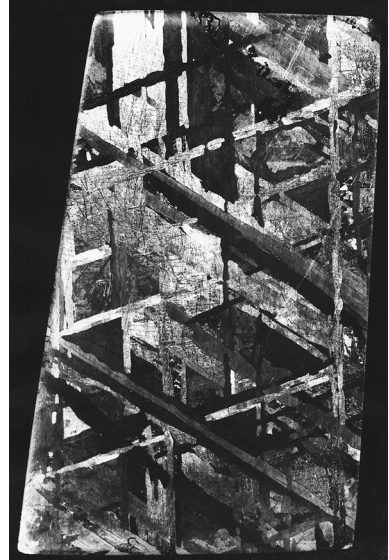


Figura 11.12 – Estruturas de Widmanstätten. Hans Bernhard.



Figura 11.10 – Meteorito lunar: ALH 81005, o primeiro cuja proveniência foi positivamente identificada. NASA.

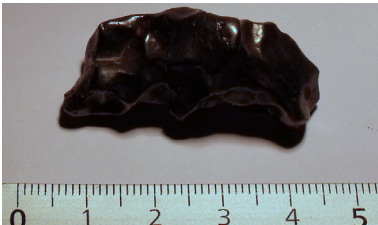


Figura 11.11 – Siderito. EIA/IGUC.

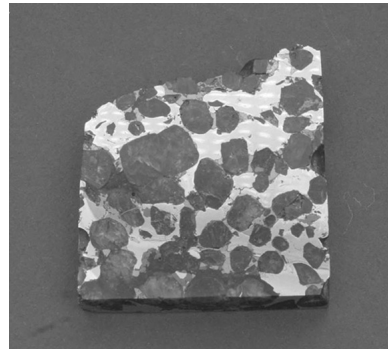


Figura 11.13 – Siderólito: o meteorito Brabyn. Oliver Schwarzbach. Vêem-se bem os grandes cristais de olivina numa matriz metálica.



Figura 11.14 – A cratera Barringer, no Arizona. USGS.

12. JÚPITER

Depois de termos visto os planetas telúricos, ou terrestres, vamos, continuando a afastar-nos do Sol, começar a ver os planetas gigantes gasosos, ou jovianos. Júpiter, o Zeus grego, era o rei dos deuses – e o planeta Júpiter é bem o rei dos planetas do Sistema Solar.

Júpiter é conhecido pelo Homem desde sempre – é o quarto objecto mais brilhante do firmamento (embora por vezes seja ultrapassado por Marte em oposição). Tem o importante papel histórico de ter sido o primeiro objecto extraterrestre onde se observaram satélites (Galileu, em 1610), o que foi um argumento determinante a favor do

JÚPITER	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	5,20336
Excentricidade orbital	0,04839
Período sideral (anos)	11,86179
Inclinação orbital	1,304°
Velocidade orbital média (km/s)	13,07
Período de rotação (horas)	9,9250
Inclinação do eixo de rotação	3,13°
Magnitude visual máxima	-2,94
Número de Satélites	63
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	71492
Massa (kg)	1898,6 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	143 128X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	1,326
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	23,12
Velocidade de escape equatorial (km/s)	59,5
Temperatura média à superfície (K)	165
Albedo normal	0,52
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	4,28
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	1000 (por convenção)
Composição da atmosfera (% vol)	H ₂ (89,8), He(10,2),
DADOS HISTÓRICOS	
Missões espaciais	Pioneer 10, 11; Voyager 1, 2; Ulysses; Galileo

heliocentrismo copernicano (figura 12.1). Nos quatro capítulos seguintes veremos os satélites galileanos com mais pormenor.

Hoje estão catalogados 63 satélites de Júpiter, 50 dos quais têm nomes. Além disso, a missão Voyager (figura 12.2) descobriu em 1979 que, tal como Saturno, Júpiter também tem anéis. Estes são, contudo, menos densos, menos extensos e menos reflectivos que os de Saturno (figura 12.3). Os seus baixos albedos (cerca de 0,05) parecem dever-se a serem principalmente compostos de poeiras líticas (rochosas).

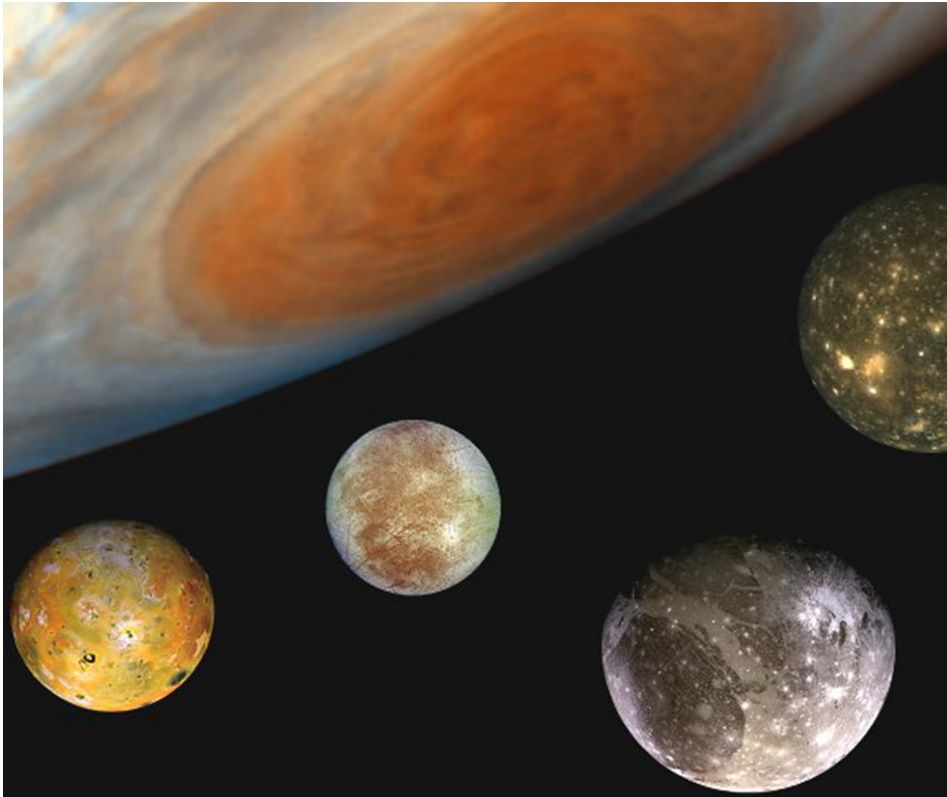


Figura 12.1 – Júpiter e os satélites galileanos. Da esquerda para a direita: Io, Europa, Ganimedese Calisto. Fotomontagem NASA.

Júpiter é o planeta de maior massa (318 vezes a massa da Terra, mais que todos os outros planetas juntos) e maior raio (cerca de 71 500 km, 11 vezes o raio terrestre). Na verdade, Júpiter é tão grande que se pensa poder ser uma estrela abortada – não tem ainda a massa suficiente para que as forças gravitacionais pudessem começar a fusão nuclear. Outro elemento em favor desta teoria é a composição da atmosfera joviana: 90% de hidrogénio, 10% de hélio e vestígios de metano, dióxido de carbono, água, amoníaco e silicatos – não muito diferente da Nebulosa Solar primordial. Assim, se Júpiter fosse maior (cerca de 80 vezes maior), o nosso Sistema Solar teria uma estrela dupla Sol-Júpiter e nós não estaríamos aqui...

A massa de Júpiter é suficientemente grande, contudo, para ter efeitos sobre todo o Sistema Solar. Na Terra, por exemplo, uma análise matemática das marés mostra que, para além do efeito dominante, bem conhecido, da Lua, há um segundo efeito de origem solar (embora o Sol esteja muito distante a sua massa é bastante para se fazer sentir) e um terceiro efeito, muito mais fraco mas claramente originado por Júpiter. A cintura de asteróides, entre Marte e Júpiter, deve-se ao efeito de maré de Júpiter, que não permitiu que os planetesimais se aglutinassem num planeta. É também este efeito de maré que mantém activo o vulcanismo de Io, a mais interna das luas galileanas de Júpiter.

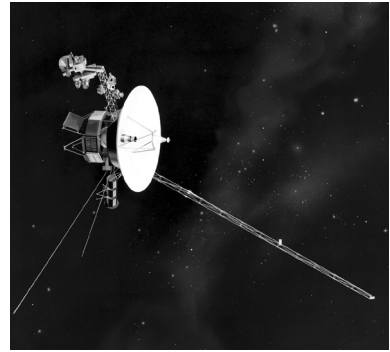


Figura 12.2 – Impressão artística das naves Voyager. NASA.

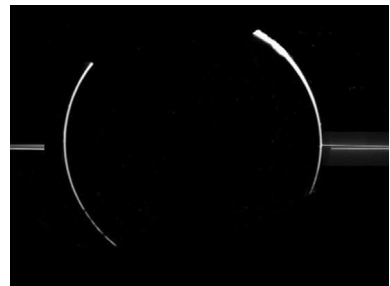


Figura 12.3 – Os anéis de Júpiter. Galileo/NASA/JPL.

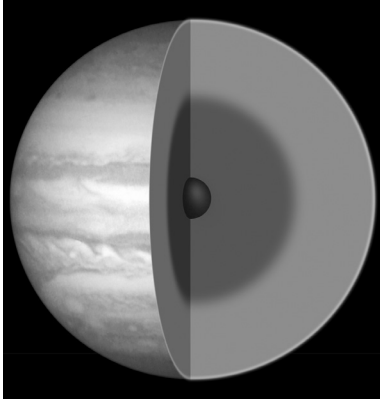


Figura 12.4 – Modelo da estrutura interna de Júpiter. NASA.

Como a composição de Júpiter é essencialmente gasosa, o seu raio é definido arbitrariamente como o raio da isóbara de 1 bar, posição que não corresponde a nada de sólido. As imagens que vemos do planeta mostram-nos os topos das nuvens.

À medida que vamos descendo na atmosfera de Júpiter (figura 12.4), encontramos condições cada vez mais estranhas. A pressão crescente só permite que o hidrogénio se encontre no estado líquido. A cerca de 10 000 km de profundidade, atinge-se a pressão de 1 Mbar. A partir daqui, embora ainda líquido, o hidrogénio comporta-se como um metal, não muito diferente do mercúrio que conhecemos na Terra: um agregado de núcleos atómicos (neste caso protões) que partilham uma nuvem electrónica condutora livre. É à existência desta “camada” de hidrogénio metálico que se deve o fortíssimo campo magnético do planeta. Para se encontrar material sólido, ter-se-ia que descer até ao núcleo planetário, a uma profundidade da ordem dos 60 000 km e a uma temperatura da ordem dos 20 000 K. A partir daí, pensa-se, o núcleo interno é um único cristal de hidrogénio!

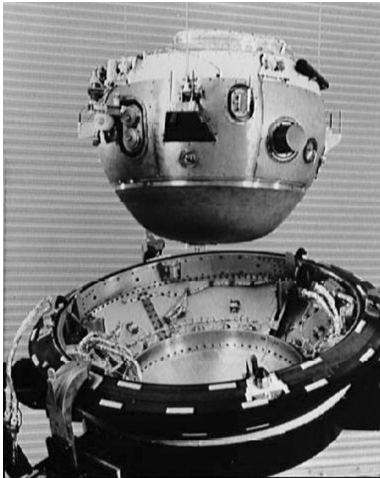


Figura 12.5 – Sonda da Missão Galileo que mergulhou na atmosfera de Júpiter. NASA.

As pressões em jogo explicam que provavelmente nunca se terá um conhecimento directo do interior de Júpiter. A sonda atmosférica da nave Galileo (figura 12.5), um dos objectos mais robustos que a humanida-

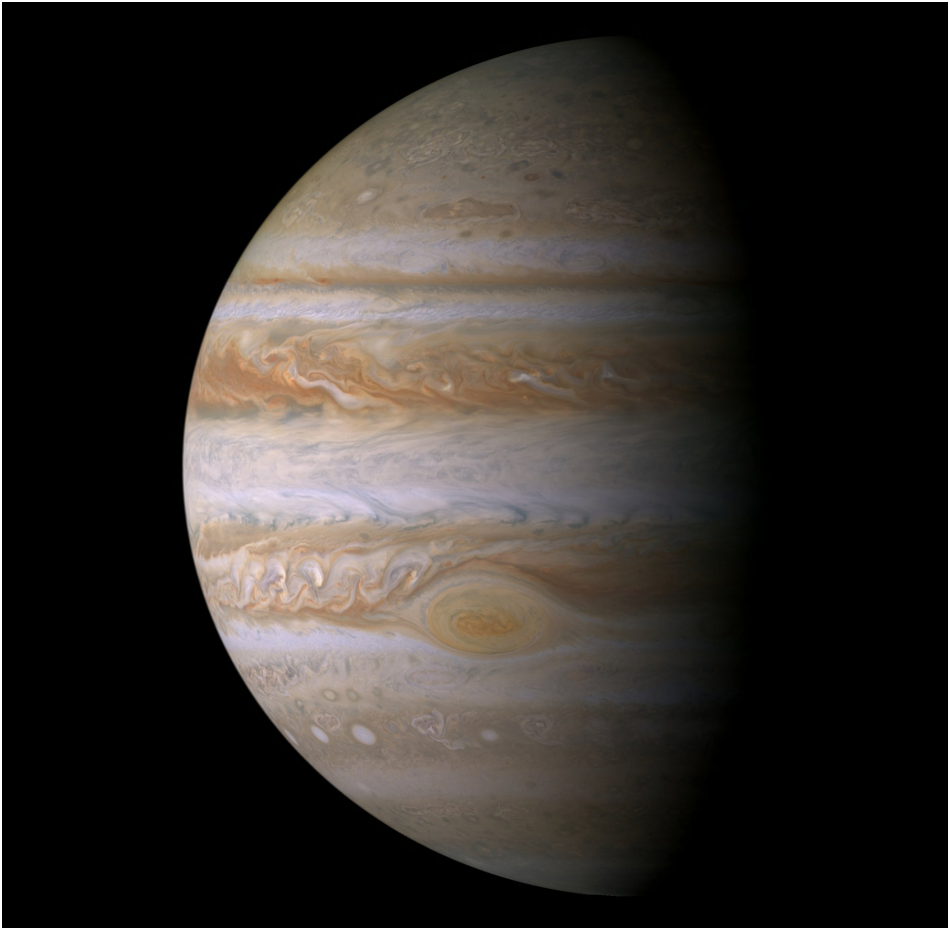


Figura 12.6 – A atmosfera de Júpiter. Cassini/NASA/JPL/SSI.

de construiu, tinha penetrado até uma profundidade de 150 km quando foi destruída.

Mas o exterior de Júpiter é tão interessante como o seu interior – e muito mais acessível.

A meteorologia joviana é muito invulgar. Observam-se violentíssimos fenómenos transientes, como ventos com mais de 500 km/h, que se encontram confinados a bandas definidas de latitude (figura 12.6), como em Saturno e nos

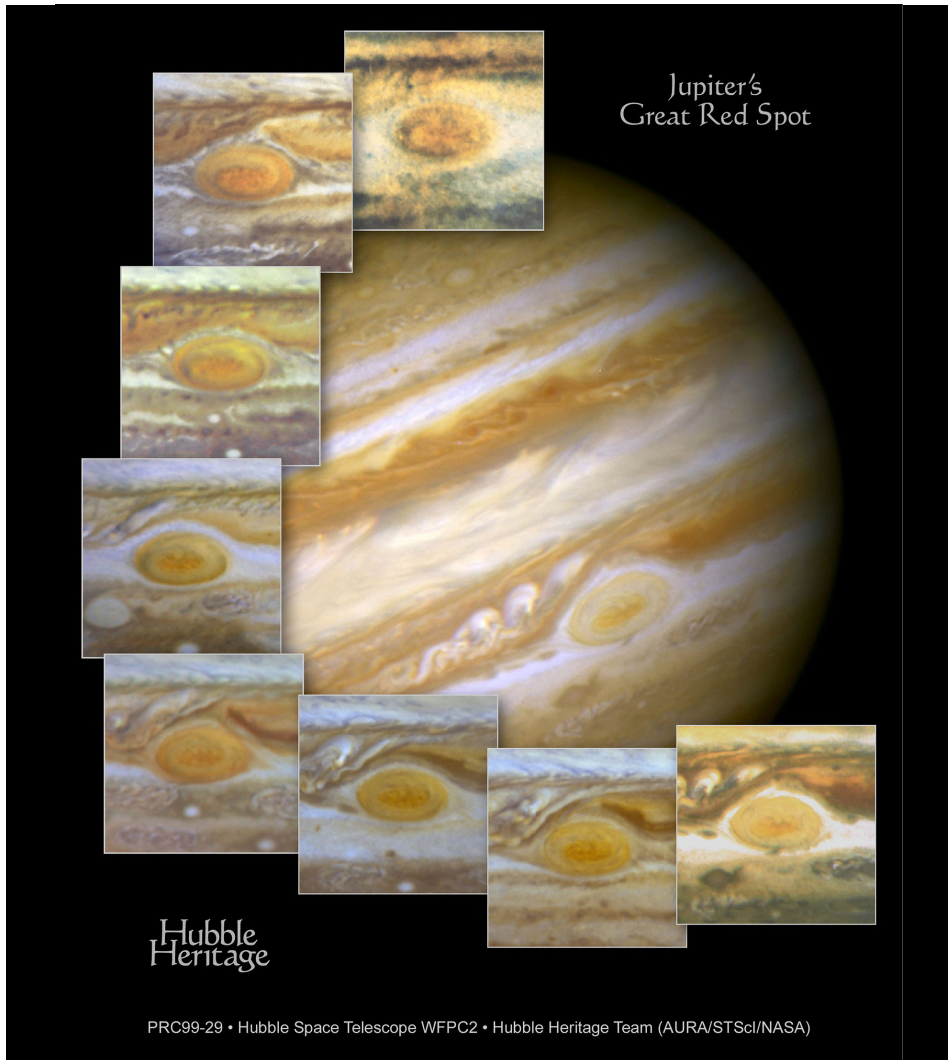


Figura 12.7 – A Grande Mancha Vermelha entre 1992 e 1999. HST/AURA/STScI/NASA.

outros gigantes. Em bandas adjacentes os ventos sopram em direções opostas, nas interfaces das quais se observam fenômenos de turbulência.

O perfil realizado pela sonda Galileu mostrou que a atmosfera é muito turbulenta em profundidade o que in-

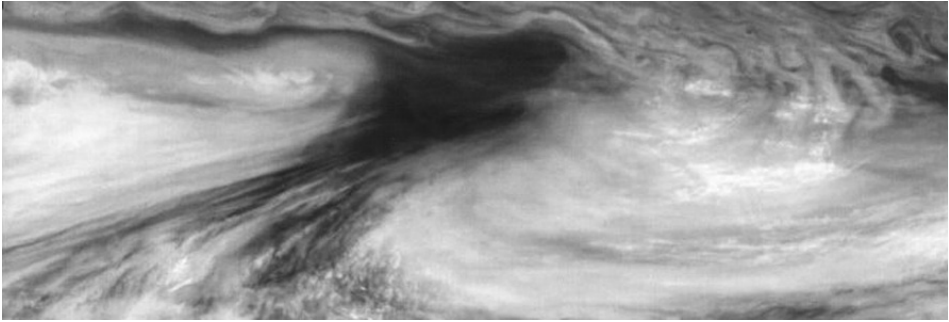
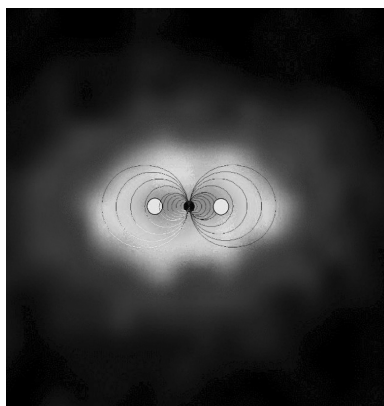


Figura 12.8 – Modelação 3D das nuvens de Júpiter. Galileo/NASA/JPL.

dica que os ventos em Júpiter devem ser fruto do calor interno e não da irradiação solar como na Terra. Ao mesmo tempo que se observam estes transientes, há estruturas meteorológicas de muito longa duração, como a famosa Grande Mancha Vermelha – mesmo grande, com $12\ 000 \times 25\ 000$ km – que se conhece com a mesma forma desde Cassini, no séc. XVII (figura 12.7).

As nuvens de Júpiter parecem dispor-se em três camadas de composições distintas: gelo de amoníaco, hidrossulfureto de amónia e uma mistura de água e gelo (figura 12.8). As cores das nuvens atribuem-se geralmente a vários estados de valência do enxofre, mas os pormenores são mal conhecidos.

A magnetosfera é análoga à terrestre mas, como tudo em Júpiter, a uma escala imensa: o vento solar deforma-a, achatando-a na face voltada para o Sol, poucos milhões de quilómetros, e estendendo uma magnetocauda que chega a abranger Saturno, a mais de 650 milhões de km de distância. O campo magnético de Júpiter captura iões do vento solar e confina-os em zonas toroidais do espaço envolvente do planeta, análogas as cinturas de Van Allen na magnetosfera terrestre (figura 12.9).



Tal como na Terra, também, os iões do vento solar são por vezes capturados, interagindo com as camadas atmosféricas superiores e produzindo auroras. Nessas auroras é por vezes possível distinguir as impressões dos satélites galileanos (Figura 12.10), que deformam o campo magnético.

Figura 12.9 – A magnetosfera de Júpiter. Cassini/NASA/JPL/SSI.

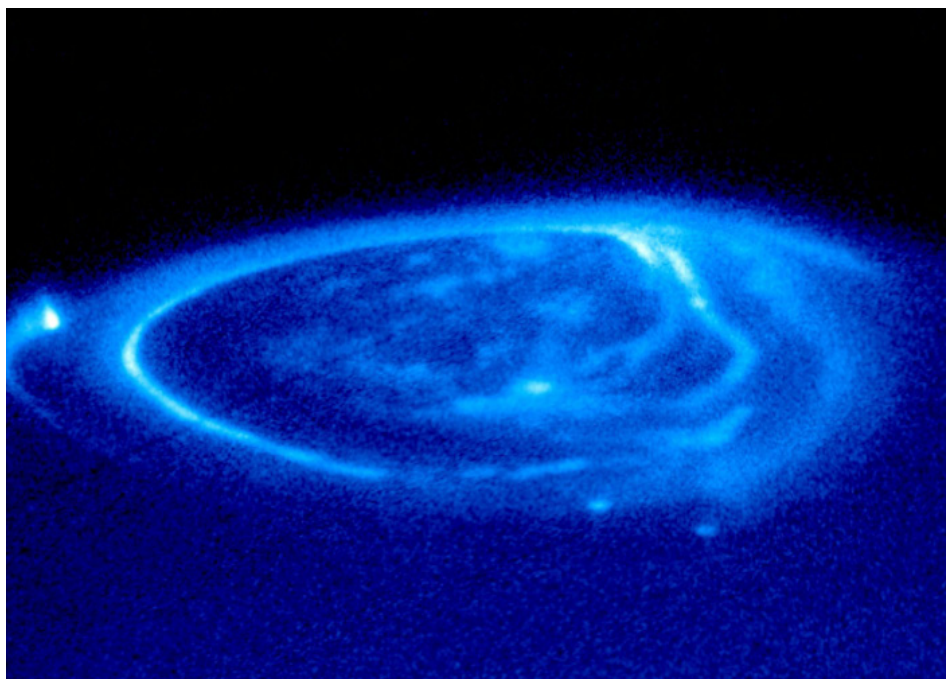


Figura 12.10 – Aurora boreal em Júpiter. J. Clarke/HST/NASA/JPL. Observam-se claramente as impressões de Io (no extremo esquerdo do limbo), Ganimedes (perto do centro), Europa (abaixo e à direita de Ganimedes) e outro satélite, não identificado (mais à direita).

13. Io

Io é, dos satélites galileanos, o que orbita mais perto de Júpiter. É só um pouco maior que a nossa Lua, mas muito diferente dela. Na verdade, Io é muito diferente de todos os outros corpos do Sistema Solar.

A nave Voyager 1 (figura 12.2) foi a primeira a observar Io de perto, em 1979, e as primeiras imagens surpreenderam os cientistas da missão: em vez de se encontrar uma lua de superfície antiga, muito craterizada, o que se viu foi um planeta jovem, de superfície pontuada por inúmeros vulcões (figura 13.1).

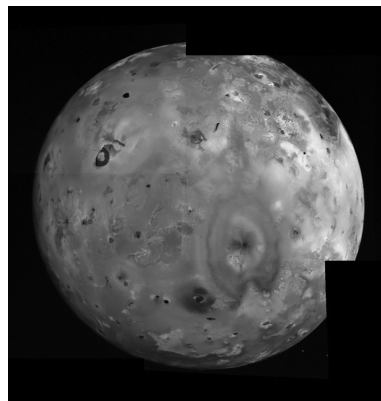


Figura 13.1 – Io. Voyager/NASA/JPL.

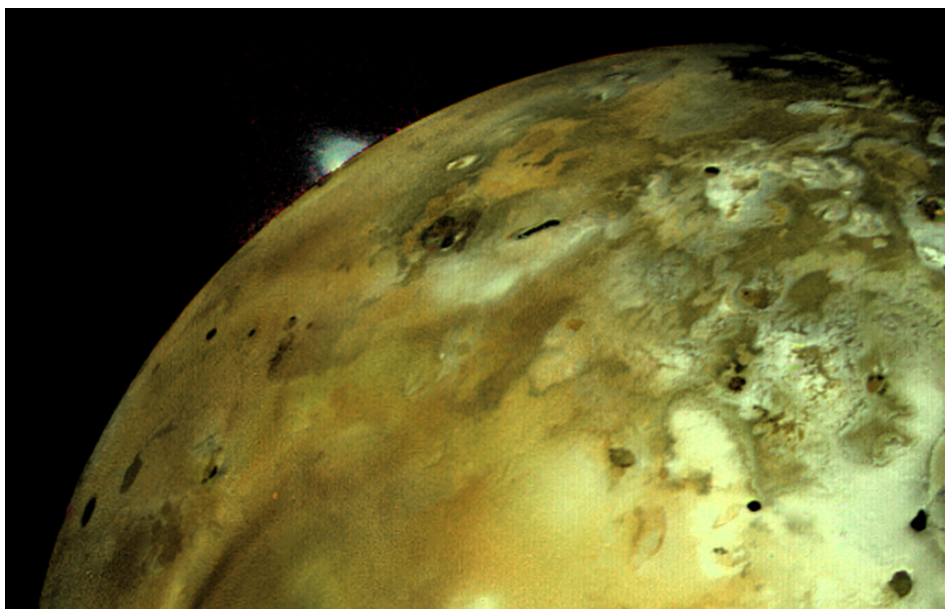


Figura 13.2 Erupção no limbo de Io. Voyager/NASA/JPL.

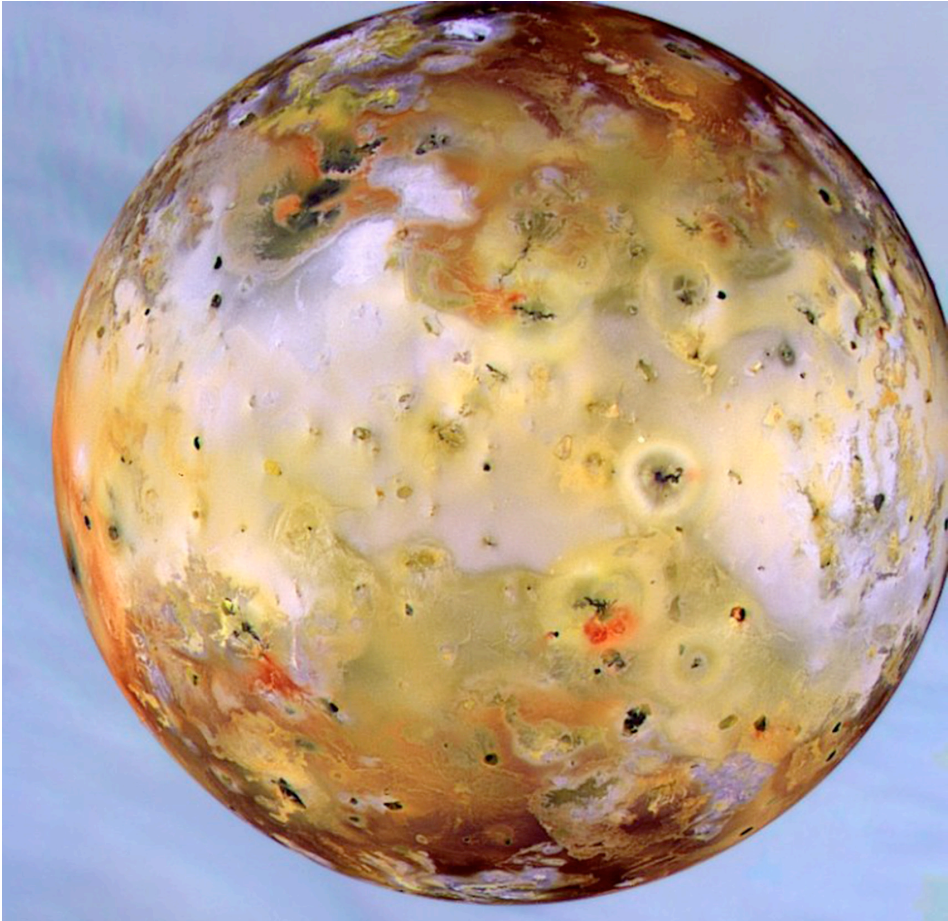


Figura 13.3 – Io, com Júpiter em fundo. Galileo/NASA/JPL.

Ainda em 1979, descobriu-se em algumas imagens Voyager vestígios de actividade vulcânica – penachos de gases e de partículas sólidas (figura 13.2). Mas foi só mais tarde, com a missão Galileo, que se teve resolução espacial e espectral suficiente para analisar o vulcanismo de Io com mais pormenor (figura 13.3).

Os resultados continuaram a ser surpreendentes. Neste momento, estão catalogados mais de 100 vulcões activos

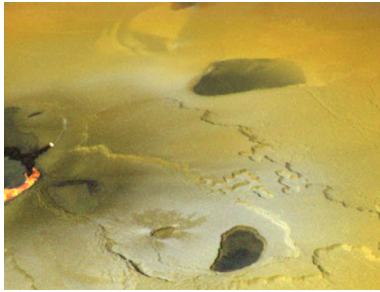


Figura 13.4 – Vulcanismo em Io, 250 km de largura. Galileo/NASA/JPL.

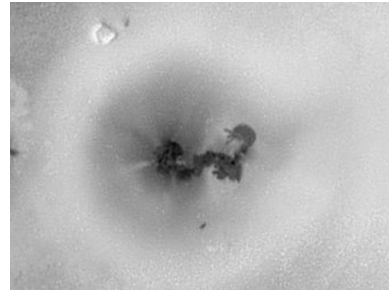


Figura 13.5 – Erupção do vulcão Prometeu (Prometheus Mons), 500 km de largura. Galileo/NASA/JPL. Este vulcão já tinha sido visto em erupção pela missão Voyager, 20 anos antes.

Io	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Júpiter
Distância média a Júpiter (km)	421 600
Excentricidade orbital	0.0000
Período sideral (dias)	1,76914
Inclinação orbital	0,040°
Velocidade orbital média (km/s)	17,34
Período de rotação (dias)	1,76914
Inclinação do eixo de rotação	0°
Magnitude visual máxima	5,02
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	1821,6
Massa (kg)	0,8932 X 10 ²³
Volume (km ³)	2,532 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	3,530
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	1,796
Velocidade de escape equatorial (km/s)	2,56
Temperatura média à superfície (K)	130
Albedo normal	0,62
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0,011
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	<0,001
Composição da atmosfera	SO ₂ , ...
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	Galileu
Data	1610
Missões espaciais	Pioneer 10,11; Voyager 1,2; Ulysses; Galileo

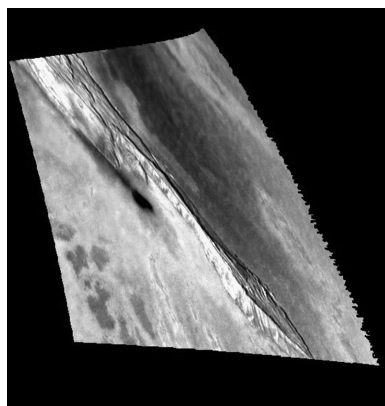


Figura 13.6 – As montanhas Zal, cerca de 250 km de extensão. Galileo/NASA/JPL.

em Io e o vulcanismo é muito diferente do terrestre. Os penachos vulcânicos atingem 500 km de altitude e a temperatura das lavas é da ordem dos 1600 °C, cerca de 400 °C a mais que as mais quentes lavas terrestres. Isto excluiu as hipóteses iniciais (nomeadamente de Carl Sagan), de que os vulcões em Io ejectariam enxofre líquido.

Uma conclusão que os geoquímicos tiram dos conhecimentos actuais é que as lavas devem ser silicatadas, mas muito indiferenciadas (muito básicas), ricas em magnésio, pelo que o vulcanismo em Io poderá ser

análogo ao primeiro vulcanismo terrestre. Mais uma vez, o estudo de outro planeta poderá dar-nos informações sobre a história do nosso. Estes dados não excluem, contudo, que existe grande quantidade de enxofre à superfície de Io, e é esse enxofre, em vários estados de valência, o responsável pelas colorações amarelas e vermelhas do planeta. Aliás, a atmosfera de Io é constituída essencialmente por dióxido de enxofre (figuras 13.4 e 5).

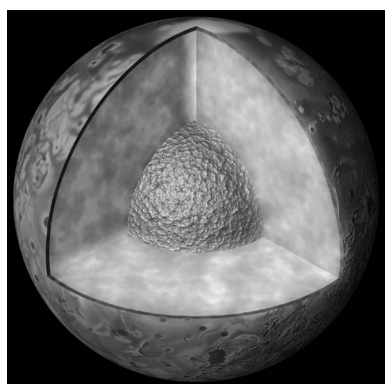


Figura 13.7 – Estrutura interior de Io. NASA.

A razão para Io ser tão diferente de todos os outros corpos do Sistema Solar – só se conhece outro vulcanismo silicatado activo na Terra – é a proximidade do planeta-mãe: Júpiter. De facto, pensa-se que são as poderosas forças gravitacionais de Júpiter, combinadas com as de Europa e Ganimedes que, deformando Io, lhe causam um aumento de temperatura suficiente para fundir as rochas. Estima-se que as marés sólidas (que

na Terra, recorda-se, atingem amplitudes de poucas dezenas de centímetros) poderão ter em Io amplitudes da ordem dos cem metros.

Outro factor que pode contribuir para o aumento de temperatura é o magnetismo: quando o campo magnético de Júpiter é atravessado por Io, induz neste correntes que poderão atingir diferenças de potencial, no equador, de 400 000 V, e intensidades de 3 000 000 A, com o consequente aquecimento por efeito de Joule. Pensa-se, além disso, que Io tem um campo magnético próprio.

Apesar de o vulcanismo ser o fenómeno dominante na dinâmica externa de Io, existem à superfície do planeta formas de origem aparentemente não vulcânica, como cadeias de montanhas (Figura 13.6). Estas montanhas poderão ser originadas por impactos antipodais ou por fenómenos de contracção e dilatação térmicas, já que não se identificou uma tectónica activa em Io.

Os dados da gravimetria e do magnetismo permitem supor que o interior do planeta será composto por duas unidades: um núcleo metálico com cerca de um terço do raio planetário, sendo o resto uma crosta silicatada (figura 13.7). Estes modelos, contudo, não são únicos, pelo que deverão ser ainda muito aperfeiçoados.

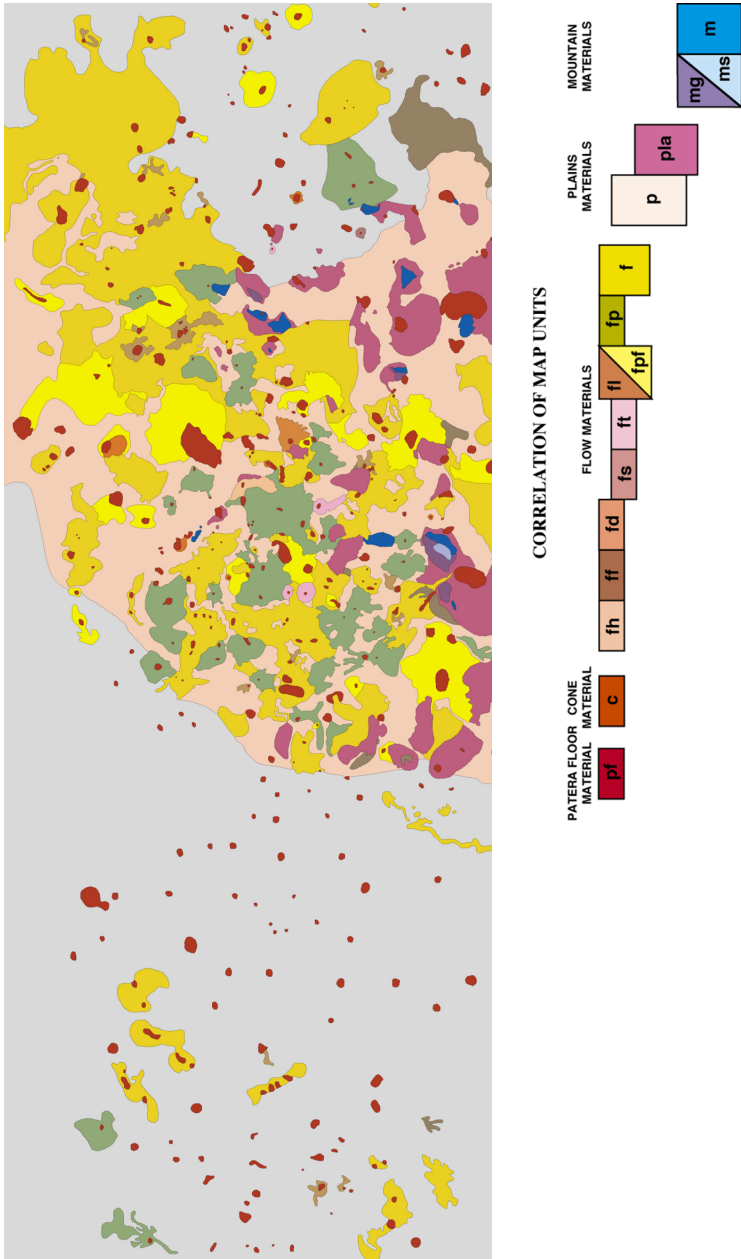


Figura 13.9 – Carta geológica de Io, entre as latitudes 50° N e 50° S e as longitudes 180° W e 180° E. USGS.

(Página deixada propositadamente em branco)

14. EUROPA

Europa é a segunda das luas galileanas e também tem características que a tornam um planeta único no Sistema Solar.

Aquilo que chamou primeiro a atenção dos astrónomos foi o altíssimo albedo, da mesma ordem que o de Vénus. Por esse motivo, pensou-se muito tempo que também Europa estaria coberto de nuvens. Só em 1979, com as primeiras imagens de alta resolução obtidas pela missão

EUROPA	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Júpiter
Distância média a Júpiter (km)	670 900
Excentricidade orbital	0,0002
Período sideral (dias)	3,55112
Inclinação orbital	0,04°
Velocidade orbital média (km/s)	13,74
Período de rotação (dias)	3,55112
Inclinação do eixo de rotação	0°
Magnitude visual máxima	5,29
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	1560,8
Massa (kg)	0,48 X 10 ²³
Volume (km ³)	1,593 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	3,010
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	1,315
Velocidade de escape equatorial (km/s)	2,02
Temperatura média à superfície (K)	110
Albedo normal	0,64
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	~0,002
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	~10 ⁻⁸
Composição da atmosfera	O ₂ , ...
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	Galileu
Data	1610
Missões espaciais	Pioneer 10,11; Voyager 1,2; Ulysses; Galileo

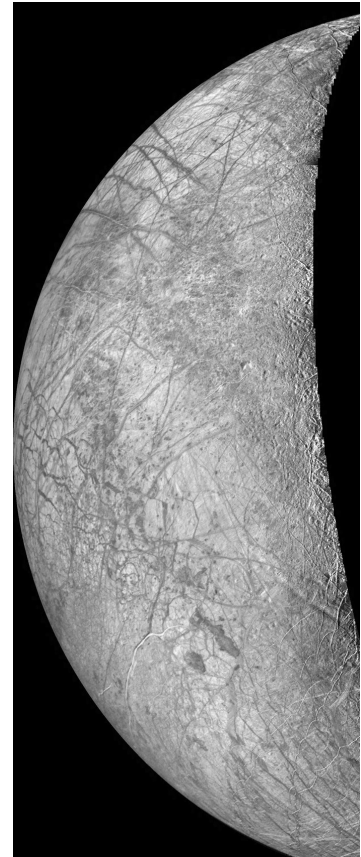


Figura 14.1 – Crescente de Europa. Voyager/NASA/JPL.

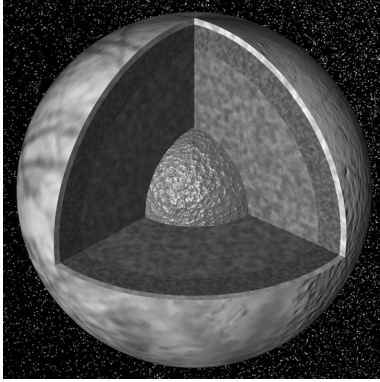


Figura 14.2 Modelo da estrutura interna de Europa. NASA.

Voyager, se verificou que era a superfície planetária coberta de gelo, muito lisa e jovem, a responsável pela alta reflectividade (Figura 14.1).

Europa tem características que o assemelham quer a Io quer a Calisto. Também a superfície de Calisto aparenta ser coberta de gelo, embora menos puro que no caso de Europa. Por outro lado, tal como Io, Europa deverá ser um planeta geologicamente desenvolvido, com uma estrutura interna bem definida (figura 14.2).

Assim, a uma crosta fina de gelo (talvez com uma dezena de quilómetros de espessura), seguir-se-á uma camada profunda (as estimativas variam entre 50 km e 200 km) que parece hoje dever ser um verdadeiro oceano de água líquida, hipótese que foi confirmada pelas medidas gravimétricas e magnetométricas da missão Galileo. Este enorme oceano será o responsável pelo campo magnético de Europa e tem suscitado grande entusiasmo junto da

comunidade dos exobiólogos, como sendo um dos locais no Sistema Solar onde será mais possível encontrar vida. Pelo menos, seria o único local, para além da Terra, onde se encontrariam grandes volumes de água líquida.

A esse oceano seguir-se-á um manto rochoso, silicatado, talvez em estado plástico ou, pelo menos, com bolsas de fusão parcial. É possível que exista vulcanismo activo à superfície desta camada rochosa.

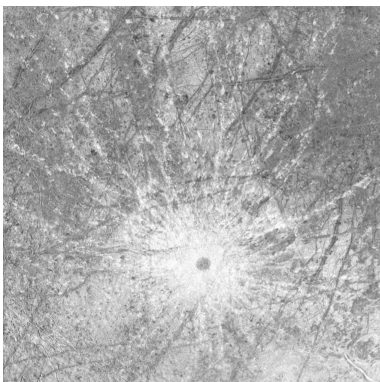


Figura 14.3 – A maior cratera de Europa, Pwll. Galileo/NASA/JPL.

Esse vulcanismo contribuiria para manter o oceano subsuperficial no estado líquido e é mais um factor de reforço da possibilidade de existirem condições para uma vida rudimentar, do mesmo tipo das bactérias extremófilas que foram encontradas na Terra, sob grandes espessuras de gelo, na Antárctida.

O núcleo, com cerca de um terço do raio planetário, deverá ser metálico (ferro e níquel), contribuindo também para a geração do campo magnético de Europa, que é fraco – cerca de um quarto do de Ganimedes – mas, ao contrário dos campos de outros satélites, varia periodicamente.

As imagens de alta resolução espacial e espectral da missão Galileo mostraram outros pontos de interesse na superfície de Europa.

Em primeiro lugar, esta superfície é muito jovem: só se encontraram no planeta três crateras com mais de 5 km de diâmetro (figura 14.3) e há muito poucos elementos de relevo com mais que algumas centenas de metros de altura pois o gelo tende a reconstituir a superfície original, apagando os traços de impactos.

Também o próprio aspecto da superfície gelada é inusual. Se, por um lado, lembra os mares polares terrestres, com a sua rede de fracturas (figura 14.4 e 14.5), por outro, não só estas fracturas podem ser muito mais extensas que na Terra, como também apresentam variações composicionais transversais. As maiores fracturas podem chegar a ter 20 km de largura, com bordos difusos e uma banda central mais clara (Figura 14.6).

Pensa-se que nesta zona central pode haver fenómenos de “hidrovulcanismo” em que água líquida, menos fria, ascende à superfície pela fractura na crosta gelada, do

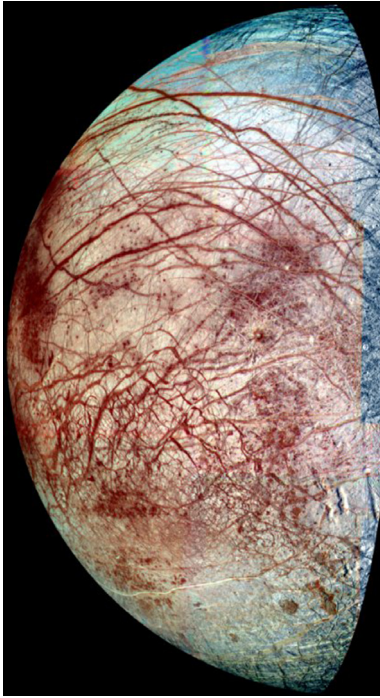


Figura 14.4 – Europa fotografado no violeta, verde e infravermelho próximo. Galileo/NASA/JPL.

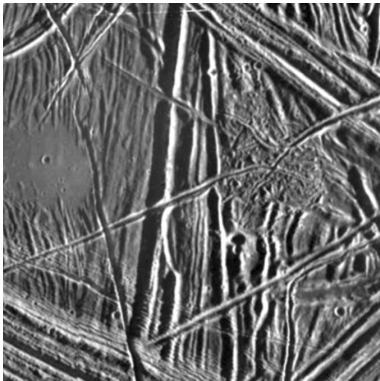


Figura 14.5 – Fracturas, cerca de 13 km de largura. Galileo/NASA/JPL.

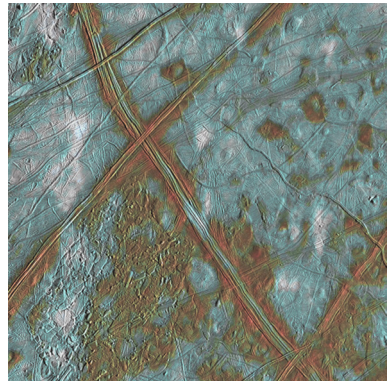


Figura 14.6 – Fracturas em cores falsas. Galileo/NASA/JPL. A imagem tem cerca de 600 km de largura.

mesmo modo que, na Terra (ou em Io), um magma ascende através da crosta sólida formando vulcões. A semelhança desta “tectónica gelada” com a tectónica terrestre vai ao ponto de haver enrugamentos – dobras – na crosta de gelo (Figura 14.7).

Embora a “geologia gelada” de Europa seja tão interessante, ainda não existe nenhuma carta geológica publicada.

Observações recentes do Telescópio Espacial Hubble mostraram que Europa tem uma atmosfera de oxigénio, finíssima (cerca de 0,000 000 000 01 da pressão atmosférica normal na Terra). Ao contrário do que sucede na Terra, esse oxigénio não deve ser de origem biológica mas sim o resultado da dissociação da água superficial pelo intenso bombardeamento das partículas carregadas da ionosfera de Júpiter.

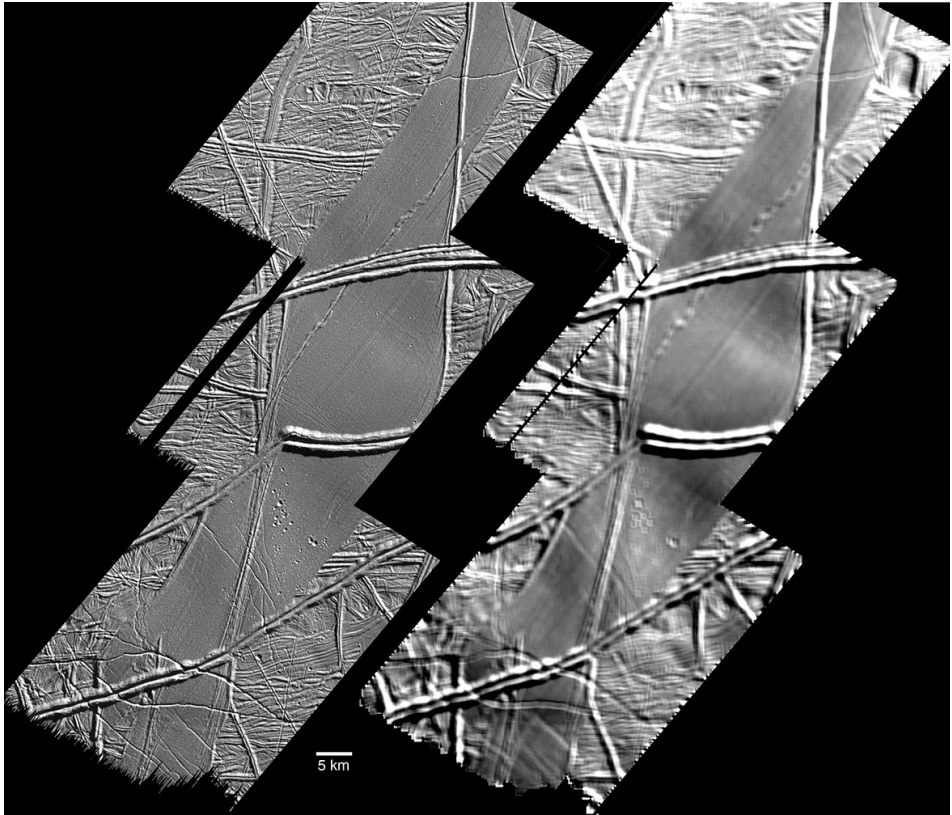


Figura 14.7 – Dobras na crosta gelada. NASA/JPL/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Brown University. Fotomosaicos da mesma zona, com diferentes tratamentos. À esquerda, para pôr em evidência estruturas lineares (as fracturas). À direita para pôr em evidência estruturas tridimensionais (as dobras).

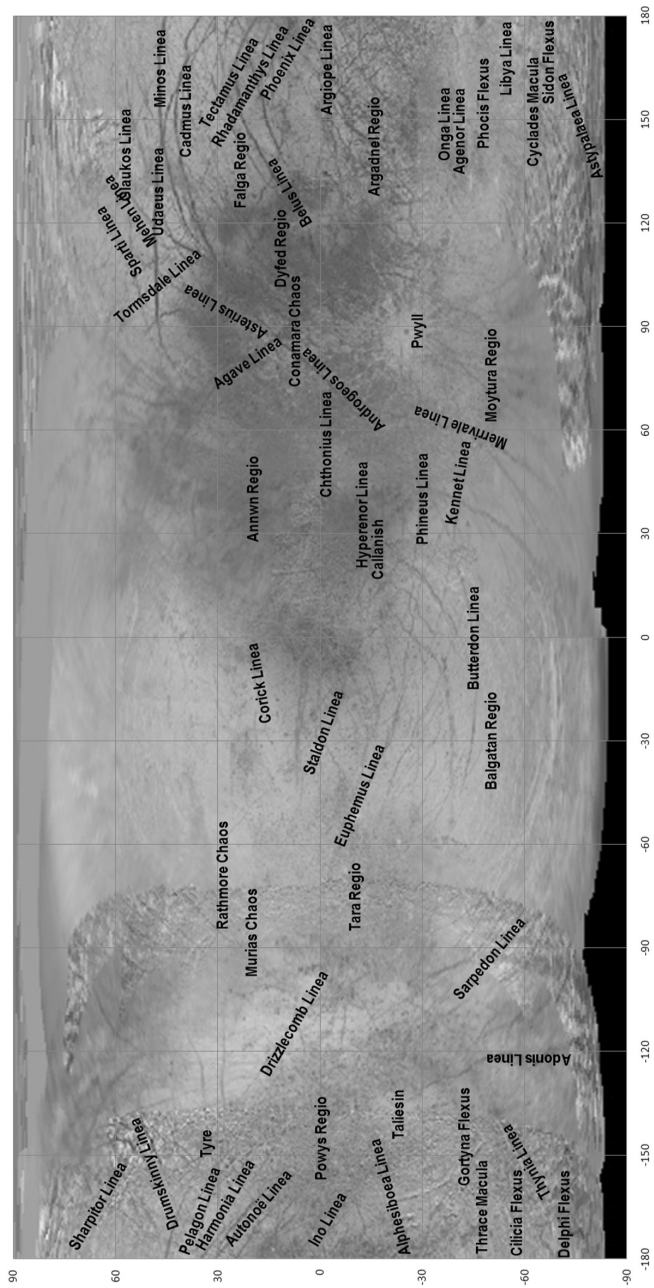


Figura 14.8 – Toponímia de Europa. ELA/IGUC, base Galileo/NASA/JPL.

15. GANIMEDES

Ganimedes é o terceiro satélite galileano de Júpiter e o maior de todos. De facto, é o maior satélite do Sistema Solar, sendo muito maior que Plutão e mesmo maior que Mercúrio embora tenha só cerca de metade da sua massa. Isto deve-se à sua composição, com uma espessa crosta de gelo (figura 15.1) provavelmente mais diferenciada que a de Calisto.

GANIMEDES	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Júpiter
Distância média a Júpiter (km)	1 070 000
Excentricidade orbital	0,0011
Período sideral (dias)	7,15455
Inclinação orbital	0,195°
Velocidade orbital média (km/s)	10,88
Período de rotação (dias)	7,15455
Inclinação do eixo de rotação	0°
Magnitude visual máxima	4,61
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	2631,2
Massa (kg)	1,4819 X 10 ²⁵
Volume (km ³)	7,63 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	1,940
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	1,43
Velocidade de escape equatorial (km/s)	2,74
Temperatura média à superfície (K)	155
Albedo normal	0,44
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	~0,008
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	<10 ⁻⁸
Composição da atmosfera	O ₃ , O ₂ , ...
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	Galileu
Data	1610
Missões espaciais	Pioneer 10,11; Voyager 1,2; Ulysses; Galileo

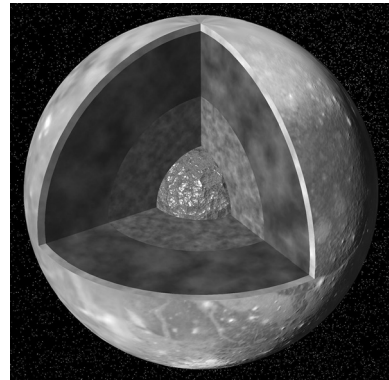


Figura 15.1 – Modelo do interior de Ganimedes. NASA.

Assim, pensa-se que a estrutura interior de Ganimedes deve ser constituída por uma crosta fina de gelo sólido, um



*Figura 15.2 – Mosaico global.
Voyager/NASA/JPL.*

manto de gelo “mole”, próximo do ponto de fusão, um núcleo externo de rocha e um núcleo interno metálico. Esta estrutura explicará o facto de a missão Galileo ter descoberto que Ganimedes tem o seu próprio campo magnético dipolar, de origem interna, muito fraco.

A atmosfera de Ganimedes é muito rarefeita, mas análises espectroscópicas da sonda Galileo mostraram a presença de oxigénio e, mesmo, de ozono. Este ozono é provavelmente produzido pela interacção das partículas carregadas, muito energéticas, da cintura de radiações de Júpiter, com o gelo superficial.

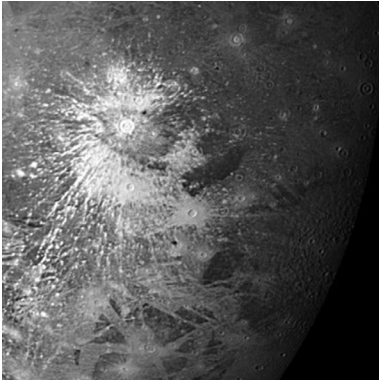
Ao contrário de Calisto, Ganimedes tem uma superfície muito rica morfologicamente. Para além de muitas crateras, cuja distribuição aponta uma idade crustal média da ordem

dos 3500 MA, encontram-se vulcões (aparentemente inactivos), montanhas, vales, cristas e fracturas.

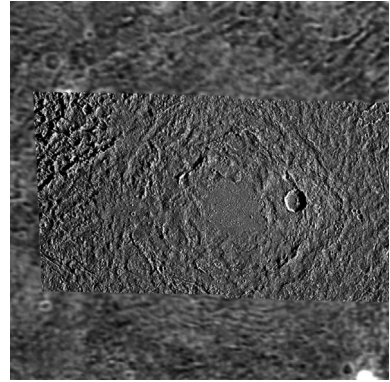
As imagens globais do planeta mostram um padrão dividido em zonas claras e escuras (figura 15.2). As zonas escuras correspondem aos terrenos mais antigos, muito craterizados, e as zonas claras, mais recentes, são estriadas por uma rede complexa de cristas e fossas, por vezes com centenas de metros de altura e estendendo-se por milhares de quilómetros, que



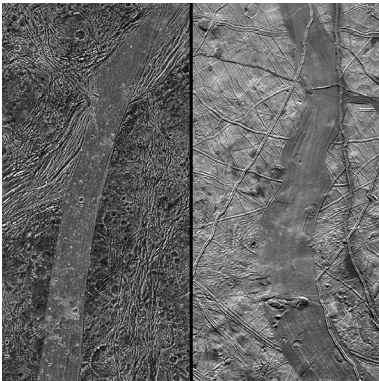
Figura 15.3 – Mosaico global, composição colorida no domínio do infravermelho em cores falsas. Galileo/NASA/JPL.



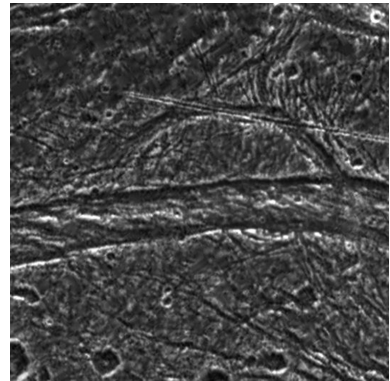
*Figura 15.4 – Cratera. Voyager/
NASA/JPL.*



*Figura 15.5 – Palimpsesto. Galileo/
NASA/JPL.*

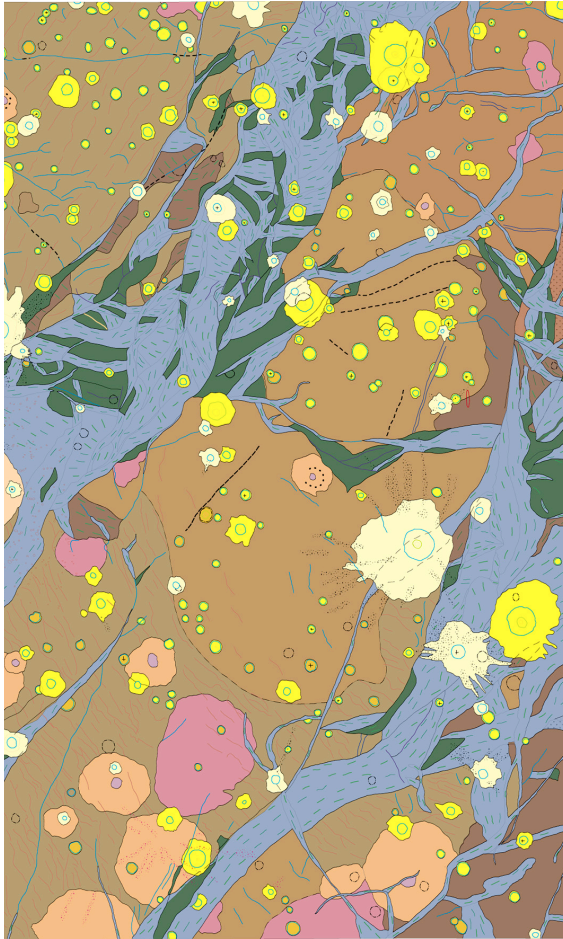


*Figura 15.6 – Comparação entre
zonas análogas em Ganimedes (à
esquerda) e Europa (à direita).
Galileo/NASA/JPL. A base de cada
uma das imagens mede cerca de
120 km.*



*Figura 15.7 – Onde está o resto da
cratera? Galileo/NASA/JPL. A base
da imagem mede cerca de 30 km.*

se vêem melhor no infravermelho (figura 15.3). Estes aspectos morfológicos sugerem que Ganimedes pode ter tido uma tectónica activa (tê-la-á ainda?). O facto de a superfície planetária ser constituída principalmente por gelo tem



CORRELATION OF MAP UNITS

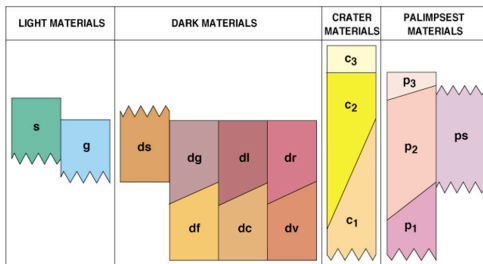


Figura 15.9 – Carta geológica da região de Uruk Sulcus (Latitude entre 21,5 °N e 21,5 °S; Longitude entre 144 e 216 °E). USGS.

várias conseqüências morfológicas: as crateras são baixas e, ao contrário da Lua e de Mercúrio, não têm anéis de montanhas nem depressões centrais, embora por vezes mostrem formações radiais (figura 15.4). Chegam por vezes a ser identificáveis apenas por diferenças na coloração do terreno, chamando-se, então, palimpsestos: o relevo praticamente desaparece, ficando uma “sombra” da cratera (figura 15.5).

Ganimedes tem muitas semelhanças com Europa (figura 15.6). Aparentemente, podem estar em acção processos semelhantes de “tectónica gelada” mas a composição mais lítica da crosta ganimedea preserva objectos como as crateras. Mas nem sempre... A figura 15.7 mostra uma característica única de Ganimedes: uma cratera parcial.

16. CALISTO

Calisto é o quarto satélite galileano de Júpiter e, de todos, o menos bem conhecido (figura 16.1). Embora seja quase do tamanho de Mercúrio, tem apenas cerca de um terço da sua massa.

CALISTO	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Júpiter
Distância média a Júpiter (km)	1 883 000
Excentricidade orbital	0,0074
Período sideral (dias)	16,6890
Inclinação orbital	0,51°
Velocidade orbital média (km/s)	8,21
Período de rotação (dias)	16,6890
Inclinação do eixo de rotação	0°
Magnitude visual máxima	5,65
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	2410,3
Massa (kg)	1,0759 X 10 ²⁵
Volume (km ³)	5,865 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	1,830
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	1,24
Velocidade de escape equatorial (km/s)	2,45
Temperatura à superfície (K)	~100-150
Albedo normal	0,20
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	-
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	<10 ⁻⁸
Composição da atmosfera	?
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	Galileu
Data	1610
Missões espaciais	Pioneer 10,11; Voyager 1,2; Ulysses; Galileo

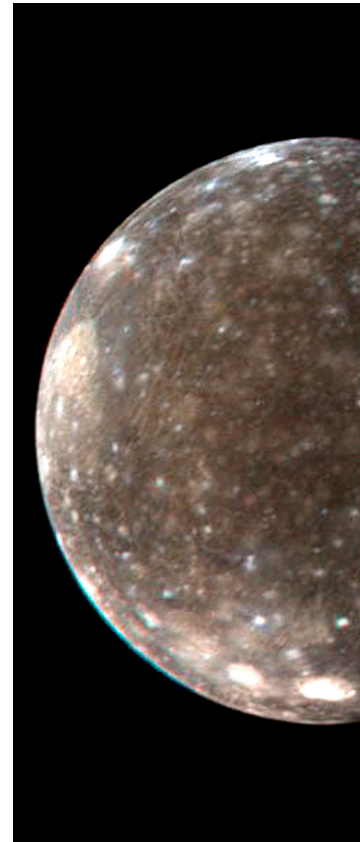


Figura 16.1 Calisto. Voyager/ NASA/JPL. Pós-processamento EIA/IGUC.

A superfície de Calisto é das mais antigas que se conhecem no Sistema Solar: é toda muito craterizada e

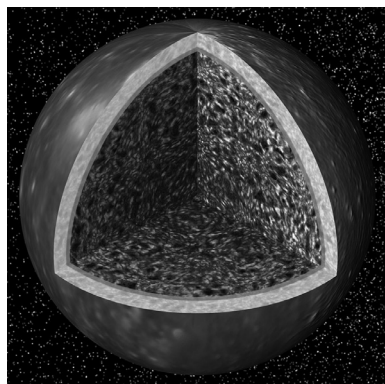


Figura 16.2 – Modelo do interior de Calisto. NASA.

assemelha-se às Terras Altas de Marte e da Lua, o que permite estimar a idade da sua superfície em mais de 4000 Ma.

Até à missão Galileo pensava-se que Calisto não tinha estrutura interna, consistindo numa mistura mais ou menos homogénea de gelo e rochas. Os dados da Galileo, em particular a gravimetria e a magnetometria, permitem-nos pensar hoje de maneira diferente (figura 16.2).

Assim, a crosta do planeta será composta por uma camada de gelo com cerca de 200 km de espessura, possivelmente flutuando sobre um oceano, “salgado”, com cerca de 10 km de profundidade. Abaixo deste oceano seguir-se-á uma mistura de gelo, rocha

silicatada e metais (ferro e níquel), que se diferenciará por gravidade com a profundidade, mas de forma contínua, com aumento do teor de rocha e diminuição do teor de gelo.

A superfície de Calisto também apresenta peculiaridades. Ao contrário de Io ou Ganimedes não tem montanhas. A maior parte do relevo está relacionada com o craterismo; tem algumas enormes crateras como Valhalla (figura 16.3), a maior, com uma região central, de maior albedo, com 600 km de diâmetro, mas cujos anéis

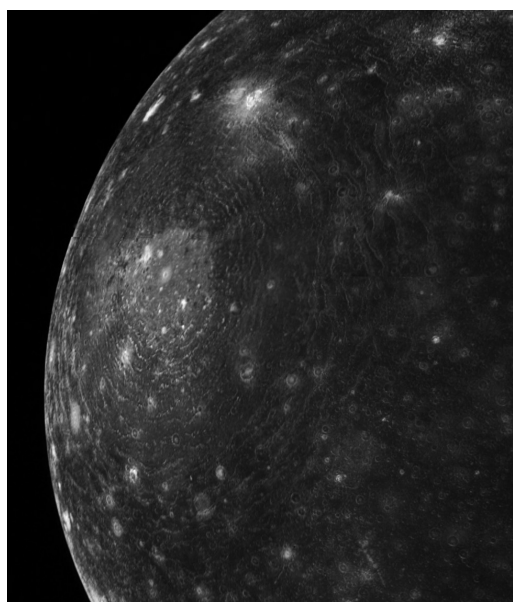


Figura 16.3 – A superfície de Calisto nas vizinhanças de Valhalla. Voyager/NASA/JPL.

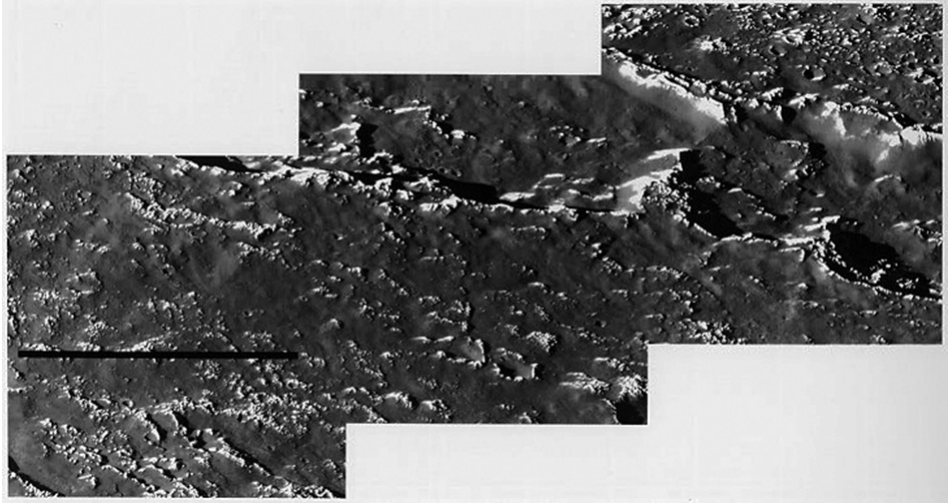


Figura 16.4 – Cadeia anular na área de Valhalla. Voyager/NASA/JPL. Cerca de 45 km de largura.

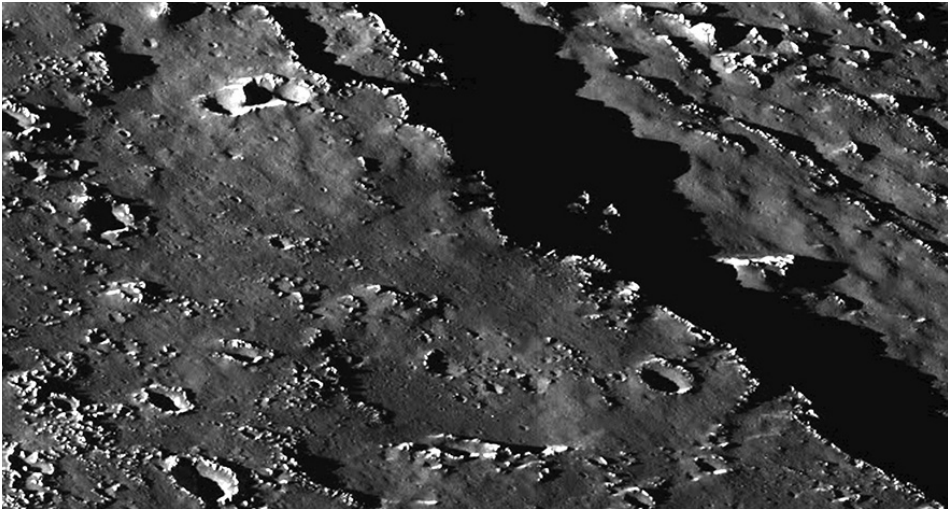


Figura 16.5 – Escarpas na região de Valhalla. Voyager/NASA/JPL. Cerca de 35 km de largura.

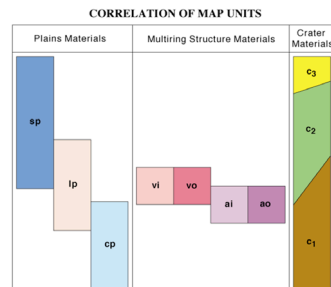
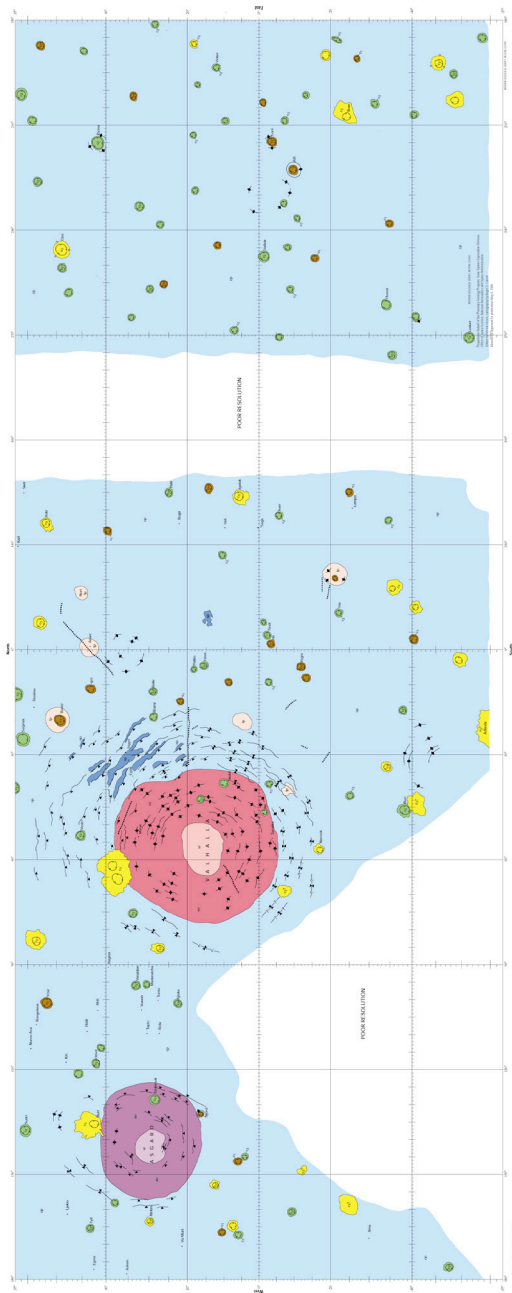


Figura 16.7 – Carta geológica de Calisto entre as latitudes 57°N e 57°S. USGS.

se estendem até um diâmetro total de 3000 km. Estes anéis, profundamente fracturados pela longa história de impactos sobre a superfície planetária, assemelham-se, por vezes, a cadeias de montanhas (Figura 16.4).

Por outro lado, também apresenta escarpas, algumas muito extensas (figura 16.5). Pensa-se que possam ser cadeias de crateras contemporâneas, formadas por um impacto múltiplo “em rosário” como o do cometa Shoemaker-Levy 9 sobre Júpiter.

17. OS SATÉLITES MENORES DE JÚPITER

A grande melhoria dos instrumentos de observação no fim do séc. XIX conduziu a uma explosão do número de descobertas de novos corpos celestes. Entre estes incluíram-se vários novos satélites de Júpiter.

As descobertas começaram em 1892, quando Barnard descobriu Amalteia, o primeiro satélite de órbita mais baixa que os satélites galileanos. Em 1904 e 1905 Perrine descobriu Himália e Elara, respectivamente, em 1908 Melotte descobriu Pasífae e, em 1914, Nicholson descobriu Sínope – todos estes satélites exteriores, de órbita mais alta que Calisto. O mesmo Nicholson continuou ao longo de toda a vida a trabalhar

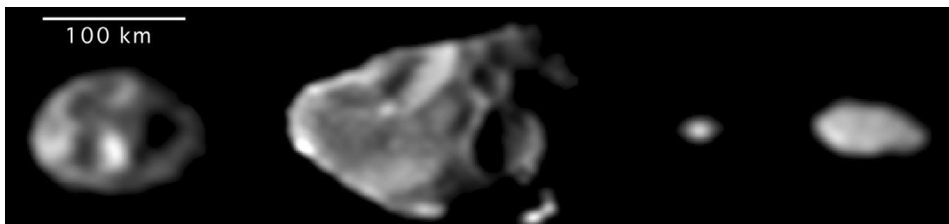


Figura 17.1 – Os satélites interiores de Júpiter. Da esquerda para a direita: Tebe, Amalteia, Adrasteia e Métis. Galileo/NASA/JPL.

sobre os satélites jovianos, tendo descoberto ainda Lisiteia e Carme em 1938, e Ananque em 1951.

Só em 1979 foram descobertos mais satélites interiores: Métis, Adrasteia e Tebe. Estes foram também os últimos satélites jovianos a receber nomes provenientes da mitologia greco-latina, sempre dos mitos associados a Zeus (Júpiter).

Naturalmente, estas luas foram sendo descobertas por ordem decrescente dos seus tamanhos. Enquanto os raios dos satélites galileanos são da

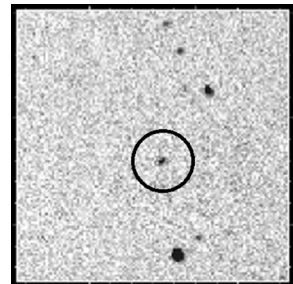


Figura 17.2 – Imagem original da descoberta do satélite S/1999 J1. Spacewatch/JPL.

Tabela 17.1 - Satélites menores de Júpiter:

Ordem	Nome	Raio médio (km)	Eixo Semi-maior (km)	Período (dias)	Ano da descoberta	Descobridor
V	Amalteia	83,45 ± 2,4	181 400	0,498	1892	Barnard
VI	Himália	85	11 461 000	250,56	1904	Perrine
VII	Elara	43	11 741 000	259,64	1905	Perrine
VIII	Pasífae	30	23 624 000	-743,63	1908	Melotte
IX	Sínope	19	23 939 000	-758,9	1914	Nicholson
X	Lisiteia	18	11 717 000	259,2	1938	Nicholson
XI	Carme	23	23 404 000	-734,17	1938	Nicholson
XII	Ananquee	14	21 276 000	-629,77	1951	Nicholson
XIII	Leda	10	11 165 000	240,92	1974	Kowal
XIV	Tebe	49,3 ± 2,0	221 900	0,675	1980	Synnott (Voyager 1)
XV	Adrasteia	8,2 ± 2,0	129 000	0,298	1979	Jewitt, Danielson (Voyager 1)
XVI	Métis	21,5 ± 2,0	128 000	0,295	1979	Synnott (Voyager 1)
XVII	Calíroo	4,3	24 103 000	-758,77	2000	Scotti et al.
XVIII	Temisto	4	7 284 000	130,02	1975	Kowal e Roemer
XIX	Megaclite	2,7	23 493 000	-752,86	2001	Sheppard et al.
XX	Táigete	2,5	23 280 000	-732,41	2001	Sheppard et al.
XXI	Caldene	1,9	23 100 000	-723,72	2001	Sheppard et al.
XXII	Harpalique	2,2	20 858 000	-623,32	2001	Sheppard et al.
XXIII	Calique	2,6	23 483 000	-742,06	2001	Sheppard et al.
XXIV	Jocasta	2,6	21 060 000	-631,6	2001	Sheppard et al.
XXV	Erínome	1,6	23 196 000	-728,46	2001	Sheppard et al.
XXVI	Isónoe	1,9	23 155 000	-726,23	2001	Sheppard et al.
XXVII	Praxídique	3,4	20 908 000	-625,39	2001	Sheppard et al.
XXVIII	Autónoe	2	24 046 000	-760,95	2002	Sheppard et al.
XXIX	Tione	2	20 939 000	-627,21	2002	Sheppard et al.
XXX	Hermipe	2	21 131 000	-633,9	2002	Sheppard et al.
XXXI	Aitne	1,5	23 229 000	-730,18	2002	Sheppard et al.
XXXII	Eurídome	1,5	22 865 000	-717,33	2002	Sheppard et al.
XXXIII	Euante	1,5	20 797 000	-620,49	2002	Sheppard et al.
XXXIV	Euporia	1	19 304 000	-550,74	2002	Sheppard et al.
XXXV	Ortósia	1	20 720 000	-622,56	2002	Sheppard et al.
XXXVI	Esponde	1	23 487 000	-748,34	2002	Sheppard et al.
XXXVII	Cale	1	23 217 000	-729,47	2002	Sheppard et al.
XXXVIII	Pasíteo	1	23 004 000	-719,44	2002	Sheppard et al.
XXXIX	Hegémone	1,5	23 577 000	-739,88	2003	Sheppard et al.
XL	Mneme	1	21 035 000	-620,04	2003	Gladman e Allen
XLI	Aóede	2	23 980 000	-761,5	2003	Sheppard et al.
XLII	Thelxínoe	1	21 164 000	-628,09	2003	Sheppard et al.
XLIII	Arque	1,5	23 355 000	-731,95	2002	Sheppard et al.
XLIV	Calícore	1	23 288 000	-728,73	2003	Sheppard et al.
XLV	Hélique	2	21 069 000	-626,32	2003	Sheppard et al.
XLVI	Carmo	1,5	17 058 000	456,3	2003	Sheppard et al.

XLVII	Euquélade	2	23 328 000	-730,47	2003	Sheppard et al.
XLVIII	Cilene	1	23 809 000	-752	2003	Sheppard et al.
XLIX	Coré	1	24 543 000	-779,17	2003	Sheppard et al.
L	Herse	1	22 983 000	-714,51	2003	Gladman et al.
—	S/2000 J 11	2	12 555 000	287	2000	Sheppard et al.
—	S/2003 J 2	1	28 455 000	-981,55	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 3	1	20 224 000	-583,88	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 4	1	23 933 000	-755,26	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 5	2	23 498 000	-738,74	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 9	0,5	23 388 000	-733,3	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 10	1	23 044 000	-716,25	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 12	0,5	17 833 000	-489,72	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 15	1	22 630 000	-689,77	2003	Sheppard et al.
—	S/2003 J 16	1	20 956 000	-616,33	2003	Gladman et al.
—	S/2003 J 18	1	20 426 000	-596,58	2003	Gladman et al.
—	S/2003 J 19	1	23 535 000	-740,43	2003	Gladman et al.
—	S/2003 J 23	1	23 566 000	-732,45	2004	Sheppard et al.

ordem do milhar de quilómetros, todos os novos satélites têm raios de poucas dezenas ou poucos quilómetros.

Em 1979 tornou-se claro que os novos satélites jovianos estavam distribuídos em três grupos orbitais: um, o dos satélites interiores, que inclui Métis,Adrasteia, Amalteia e Tebe (figura 17.1); outro, que inclui Leda, Himália, Lisiteia e Elara, a cerca de 11 milhões de km de Júpiter; um terceiro, que inclui Ananque, Carme, Pasífae e Sínopé, a cerca de 23 milhões de km. Hoje, estes grupos são ainda subdivididos.

Em 2000 o grupo Spacewatch, ao analisar imagens de 1999 descobriu um novo satélite, S/1999 J1 (figura 17.2), hoje chamado Calírroe. Usando o telescópio VLT, só entre 2000 e 2002 o grupo liderado por Sheppard descobriu mais dezanove pequenos satélites de Júpiter, com dimensões entre 1 e 4 km. Com excepção do satélite S/2000 J1, a 7435 milhões de km de Júpiter, todos os outros caem num dos três grupos previamente definidos. As últimas descobertas foram feitas em 2003, pela equipa de S. S. Sheppard, da Universidade do Hawaii.

Pensa-se que todos estes satélites menores sejam asteróides capturados pelo campo gravitacional de Júpiter, embora o mecanismo dessa captura não esteja ainda bem esclarecido.

(Página deixada propositadamente em branco)

18. SATURNO

Saturno é conhecido desde a mais remota antiguidade: era o Cronos dos gregos (pai de Zeus – Júpiter). Mas só depois de Galileu, incrédulo, ter observado pela primeira vez os seus anéis em 1610, ficou conhecido como a “jóia do Sistema Solar”. (Galileu chegou a referir-se a Saturno, numa carta em código - não fosse o diabo tecê-las - como “planeta com orelhas”...). Contudo, só Christiaan Huygens, em 1659, identificou correctamente a geometria dos anéis.

SATURNO	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	9,57888
Excentricidade orbital	0,0565
Período sideral (anos)	29,45666
Inclinação orbital	2,485°
Velocidade orbital média (km/s)	9,69
Período de rotação (horas)	10,656
Inclinação do eixo de rotação	26,73°
Magnitude visual máxima	0,43
Número de Satélites	62
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	60 268
Massa (kg)	568,46 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	82 713 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	0,687
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	8,96
Velocidade de escape equatorial (km/s)	35,49
Temperatura média à superfície (K)	134
Albedo normal	0,47
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0,210
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	1000 (por convenção)
Composição da atmosfera (%)	H ₂ (96.3), He(3.25)
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	-
Data	-
Missões espaciais	Pioneer 11; Voyager 1,2; Ulysses; Galileo Cassini/ Huygens

Só em 1977 foi descoberto outro sistema de anéis, em torno de Úrano. Hoje sabe-se que todos os planetas gigantes possuem tais sistemas, embora não se saiba por que motivo os anéis de Saturno são tão notáveis, em comparação com os dos outros planetas, nomeadamente pela sua complexidade. Essa complexidade começou a ser notada por outro astrónomo que deixou o seu nome ligado a Saturno, Giovanni Cassini, o primeiro a notar que o planeta não possuía só um anel, havendo uma divisão nítida, aparentemente vazia – hoje chamada divisão de Cassini. A estrutura dos anéis de Saturno é fractal pelo que, à medida que temos imagens com maior resolução dos anéis, vamos encontrando novas divisões e novos anéis.

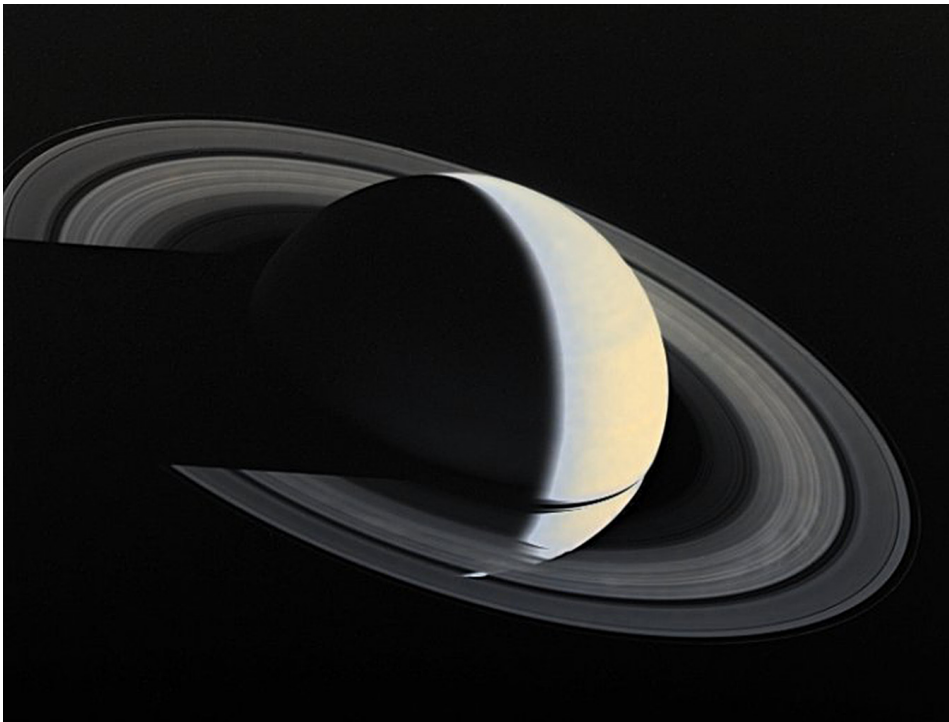


Figura 18.1 – Saturno. Voyager/NASA/JPL.

Em todo o caso, a divisão principal que hoje se aceita é a da tabela 18.1, parcialmente visível na figura 18.1.

NOME	RAIO INTERIOR (km)	LARGURA (km)	MASSA (kg)
Anel D	67 000	7500	?
Divisão de Guérin	?	?	
Anel C	74 500	17 500	1.10x10 ¹⁸
Divisão de Maxwell	87 500	500	
Anel B	92 000	25 500	2.80x10 ¹⁹
Divisão de Cassini	115 800	4800	
Anel A	122 200	14 600	6.20x10 ¹⁸
Divisão de Encke	133 580	325	
Anel F	140 210	30-500	?
Anel G	165 800	8 000	1x10 ^{7?}
Anel E	180 000	300 000	?

Tabela 18.1 – Estrutura dos anéis de Saturno.

Os anéis de Saturno são tão visíveis devido ao seu albedo muito alto, ao contrário do dos outros planetas gasosos, e isto apesar de a sua espessura ser, em média, inferior a 1 km. Este alto albedo deve-se à sua composição, essencialmente partículas de gelos. Uma característica ainda não esclarecida são os raios nos anéis, primeiro observados por astrónomos amadores e mais tarde confirmados pela missão Voyager e, recentemente, pela Cassini (Figura 18.2).

Diáfanos, os anéis de Saturno só aparentemente são simples. O anel F, por exemplo, é uma trança de três anéis: dois deles muito mais retorcidos – e dobrados, mesmo – que o terceiro (figura 18.3).

Para além dos anéis, Saturno tem outras características que o tornam especial. Por exemplo, pela sua densidade: é o único planeta com densidade inferior à da água (0,7 g/cm³). Esse facto, associado à sua alta velocidade de rotação (um dia de Saturno dura 10 horas terrestres) faz com que

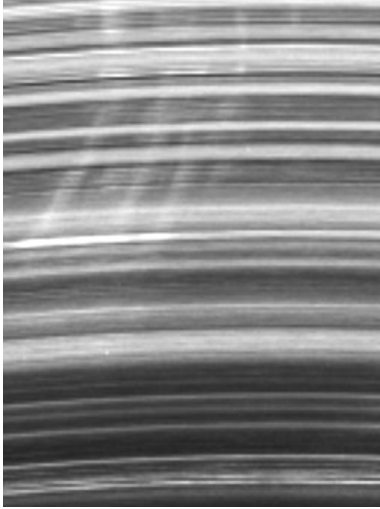


Figura 18.2 – Os raios nos anéis de Saturno. Cassini/NASA/JPL.



Figura 18.3 – O anel F. Voyager/NASA/JPL.

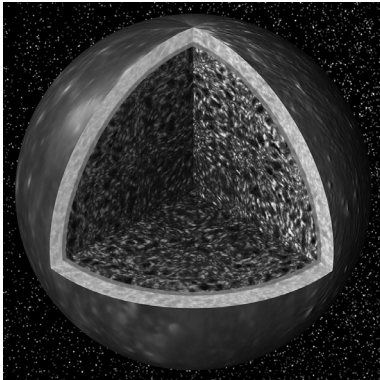


Figura 18.4 – Modelo do interior de Saturno. NASA.

seja o planeta com maior achatamento polar (quase 10%).

A composição de Saturno não é muito diferente da de Júpiter, sendo muito semelhante à da nebulosa solar primordial: cerca de 97% de hidrogênio e 3% de hélio, com vestígios de gelo, metano, amoníaco e materiais líticos.

A estrutura interna de Saturno também é análoga à de Júpiter (figura 18.4). A um núcleo interno lítico, muito pequeno (menos de 10% do raio) a cerca de 12000 K, seguir-se-á uma camada composta de uma mistura de gelos de água, metano e amoníaco, à qual se seguirá uma camada de hidrogênio metálico, líquido, a uma pressão da ordem de 1 Mbar, responsável pelo campo magnético do planeta,

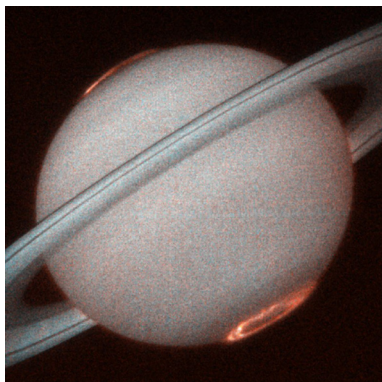


Figura 18.5 – A primeira vez que se fotografaram auroras fora da Terra. J. T. Trauger/JPL/HST/NASA.

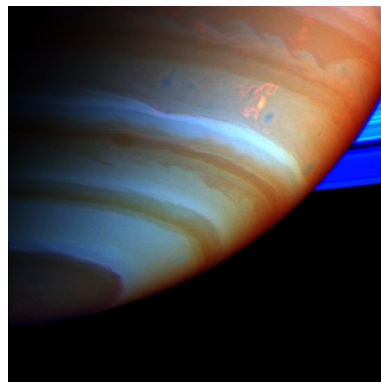


Figura 18.6 – Uma tempestade eléctrica. Cassini/NASA/JPL.

cujo raio externo atingirá cerca de metade do raio planetário. É à interacção desse campo magnético com o vento solar que se devem as auroras (figura 18.5).

A camada exterior do planeta, a sua atmosfera, é composta essencialmente de uma mistura de hélio e hidrogénio molecular, nas proporções assinaladas, com uma transição gradual do estado líquido para o gasoso, à medida que as pressões e temperaturas diminuem.

A atmosfera de Saturno também é bandeada como a de Júpiter, embora menos nitidamente. Também aqui se encontram tempestades eléctricas (figura 18.6) e grandes tempestades ovais, com alguns milhares de km de diâmetro (figura 18.7).

A característica mais estranha deste estranho e belíssimo planeta também se encontra na atmosfera: um inexplicado anel hexagonal que rodeia o pólo Norte, primeiro observado pela missão Voyager, em 1980 e 1981, e que lá

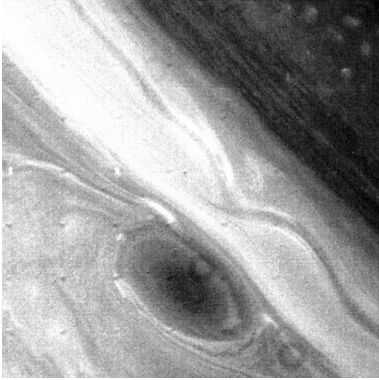


Figura 18.7 – Uma “pequena” mancha, também em Saturno. Voyager/NASA/JPL.

permanecia quando foi fotografado pela sonda Cassini, em 2006 (figura 18.8).

Vamos encontrar muitos mais motivos de interesse e espanto nos satélites de Saturno, principalmente no maior de todos: Titã.

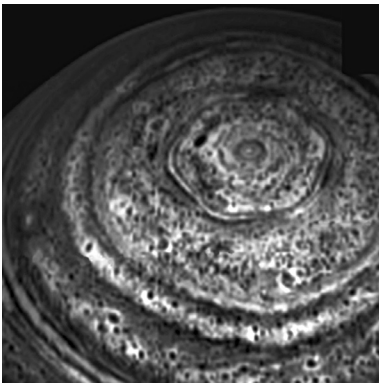


Figura 18.8 – O anel hexagonal em torno do pólo Norte. Cassini/NASA/JPL.

19. TITÃ

Titã foi o primeiro satélite de Saturno a ser descoberto, por Christiaan Huygens, em 1655.

A muitos títulos, Titã é um planeta notável. Até recentemente, pensava-se que seria o maior satélite do Sistema Solar – aliás, apesar da sua distância à Terra, é visível em instrumentos amadores. Só depois das imagens do telescópio espacial Hubble se descobriu que a superfície exterior de Titã é, na verdade, uma densa atmosfera, com

TITÃ	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Saturno
Distância média a Saturno (km)	1 221 830
Excentricidade orbital	0,0292
Período sideral (dias)	15,94542
Inclinação orbital	0,33°
Velocidade orbital média (km/s)	5,58
Período de rotação (dias)	15,94542
Inclinação do eixo de rotação	0°
Magnitude visual máxima	8,28
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	2575
Massa (kg)	$1,3455 \times 10^{23}$
Volume (km ³)	$7,15 \times 10^{10}$
Densidade média (g/cm ³)	1,881
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	1,35
Velocidade de escape equatorial (km/s)	2,65
Temperatura média à superfície (K)	93
Albedo normal	0,22
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	-
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	1500
Composição da atmosfera (%)	N ₂ (90), Ar(6), CH ₄ (3)
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	C. Huygens
Data	1655
Missões espaciais	Voyager 2, Galileo, Cassini/ Huygens

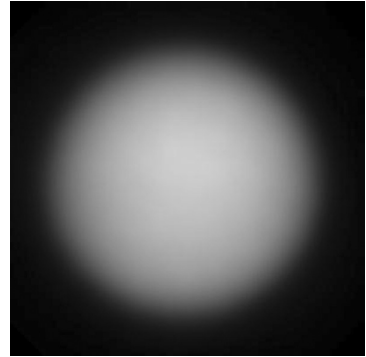


Figura 19.1 – Titã visto da Terra. HST/ NASA / JPL.

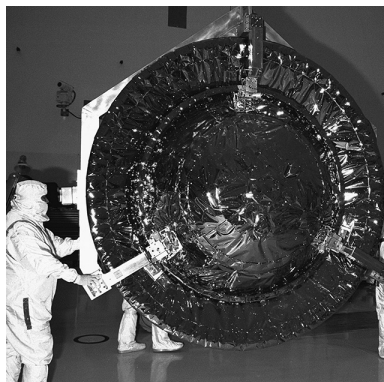


Figura 19.2 – Montagem da sonda Huygens/NASA/JPL/ESA.

uma pressão à superfície uma vez e meia mais alta que a da Terra (1,5 bar). Mesmo assim, Titã é maior que Plutão e Mercúrio e só um pouco menor que Ganimedes.

A atmosfera de Titã deve ser semelhante à da Terra primordial: composta essencialmente de azoto molecular (mais de 90%), com cerca de 6% de árgon, 3% de metano e traços de pelo menos uma dúzia de compostos orgânicos como o etano, o ácido cianídrico e o dióxido de carbono. Dada a temperatura média à superfície da ordem dos 93 K (-180 °C) a água só pode existir no estado sólido.

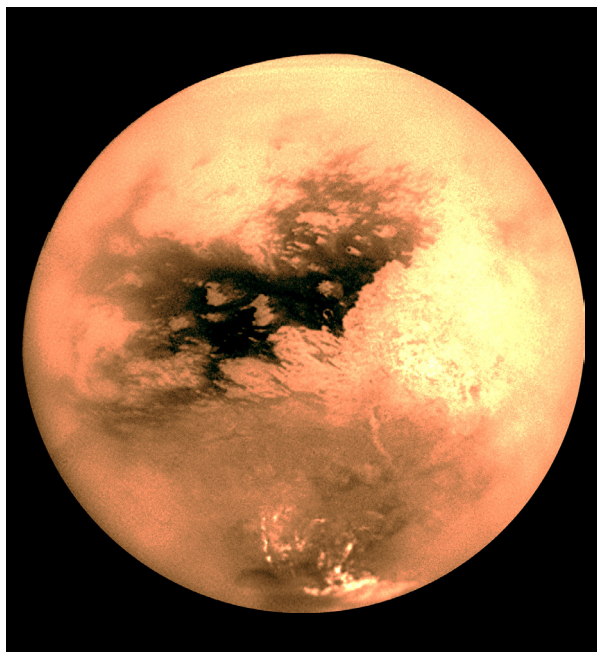


Figura 19.3 – Fotomosaico global de Titã. Cassini/NASA/JPL/SSI. Pós processamento ELA/IGUC.

Além disso, o planeta encontra-se coberto de nuvens que o ocultam da observação no espectro visível, um pouco como em Vénus. Essas nuvens são compostas principalmente de metano, etano e outros compostos orgânicos ainda não identificados, que serão responsáveis pela sua coloração alaranjada (figura 19.1).

As imagens obtidas pelo Hubble no domínio do infravermelho já sugeriam que Titã tivesse um

grande “continente” (zona de maior albedo, mais elevada). Esse continente, hoje chamado Xanadu (veja-se o mapa da figura 19.9), situa-se no hemisfério de Titã que está sempre mais afastado de Saturno, dado que o satélite tem uma rotação síncrona. O continente estaria rodeado por “mares” (zonas baixas, mais escuras).

O grande interesse de Titã, nomeadamente o facto de poder servir de modelo para a Terra primordial, quando começou a aparecer a vida, levou a que se planeasse a missão Cassini/Huygens, em que o módulo Huygens (figura 19.2), projectado e construído pela ESA, pousou na superfície de Titã em Janeiro de 2005.

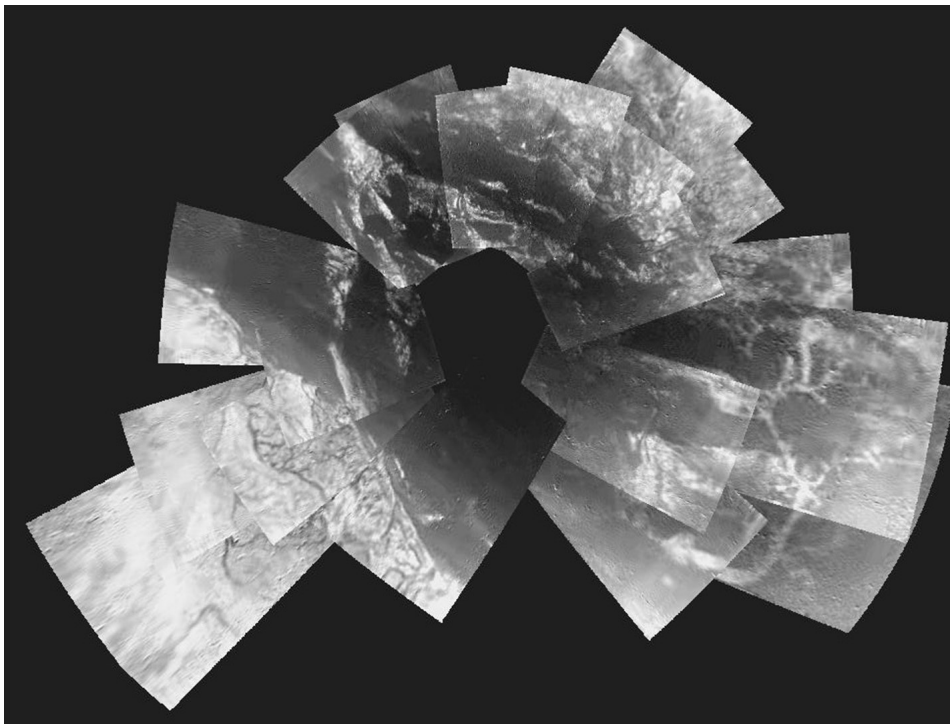


Figura 19.4 – Fotomosaico da vista a 360° a partir da sonda Huygens, durante a descida, entre 13 e 8 km de altitude.

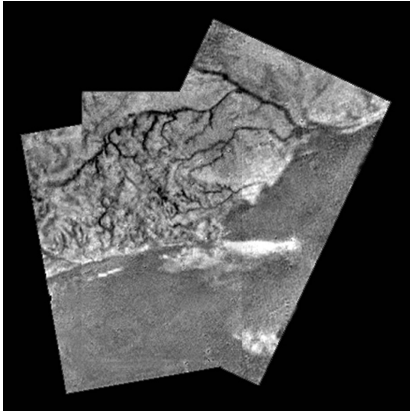


Figura 19.5 – Rede de drenagem. Fotomosaico Cassini / Huygens / NASA / JPL / ESA. A maior largura é de cerca de 30 km.

A missão Cassini/Huygens confirmou as inferências que tinham sido feitas a partir das imagens Hubble e Voyager (figura 19.3). Se não fossem as condições ambientais, Titã seria o corpo do sistema solar com uma geomorfologia mais semelhante à da Terra, com continentes, montanhas, planícies, dunas, mares rios e lagos (figuras 19.3 e 19.4).

Alguns autores pensam que os mares de Titã podem efectivamente ser líquidos – compostos de uma mistura de metano e etano que chovem constantemente das

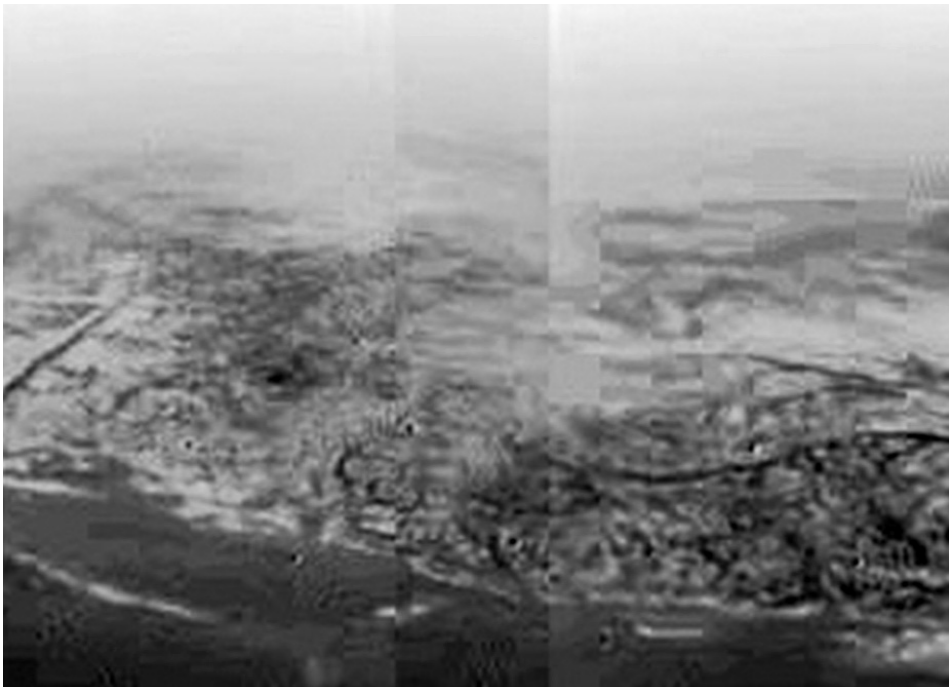


Figura 19.6 – Linha costeira. Fotomosaico Cassini/Huygens/NASA/JPL/ESA.

nuvens e são conduzidos por redes de drenagem, muito semelhantes às redes fluviais terrestres (figuras 19.5 e 19.6).

A semelhança com algumas paisagens terrestres é tal que o solo do local de pouso da sonda Huygens se encontra coberto de blocos e calhaus rolados, bem visíveis na única imagem captada da superfície (figura 19.7).

Os dados de gravimetria e de magnetometria adquiridos pela sonda Cassini levam a crer que a estrutura interior de Titã consista num grande núcleo metálico/silicatado (de composição análoga à dos siderólitos), rodeado por um manto superior de gelos de água e metano de alta pressão e um manto superior líquido, pelo menos parcialmente, rico em água e metano (figura 19.8).

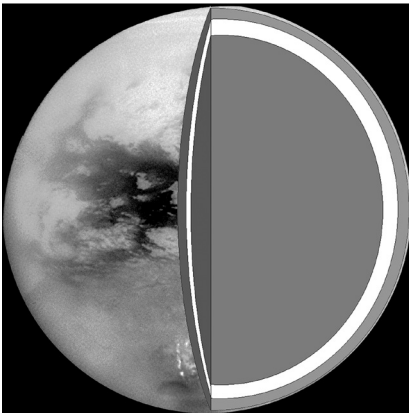


Figura 19.8 Estrutura interna de Titã. EIA/IGUC.

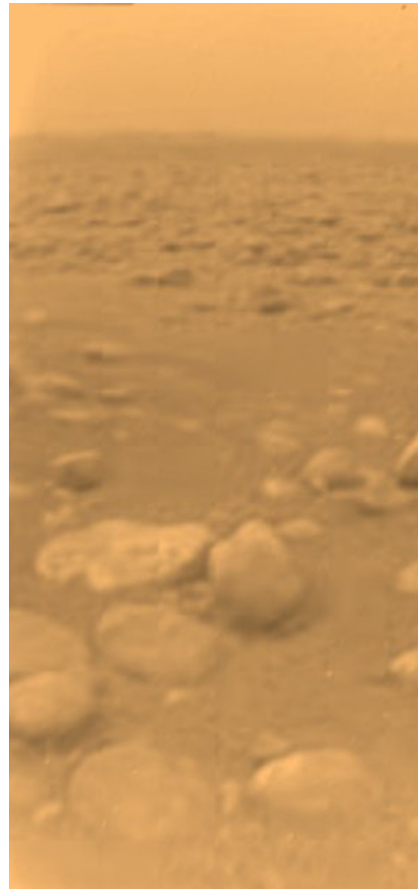


Figura 19.7 – O solo de Titã em cores reais. Cassini/Huygens/ NASA/JPL/ESA. O bloco mais claro, achatado, tem cerca de 15 cm de largura e encontra-se a cerca de 85 cm da câmara.

20. AS OUTRAS LUAS DE SATURNO

O sistema de Saturno é dominado pelos anéis e por Titã (figura 20.1), mas hoje conhecemos um total de 62 luas com órbitas confirmadas.

Depois de Huygens descobrir Titã, e até ao fim do séc. XVII, Cassini descobriu mais quatro satélites de Saturno: Jápeto, Reia, Dione e Tétis.

Jápeto (figuras 20.2 a 20.5) é um satélite estranho. Primeiro, pela sua densidade, 1.1; deve ser quase inteiramente composto de gelo. Depois pela

sua órbita, inclinada quase 15° em relação ao plano equatorial de Saturno (só um outro satélite, Febe, tem uma órbita tão inclinada). Mas o mais estranho é a assimetria entre o hemisfério “de ataque” e o hemisfério “de fuga” (respectivamente, voltados no sentido do movimento orbital e no sentido oposto). O primeiro é muito escuro, com um albedo entre 0,03 e 0,05, enquanto o segundo é dez vezes mais brilhante (0,50), quase tanto como Europa, sendo a separação entre os hemisférios perfeitamente nítida. Esta assimetria é tão grande que Cassini notou que só conseguia ver Jápeto de um lado de Saturno.

Sabemos mais, hoje, depois da missão Cassini/Huygens. Para além de se terem descoberto outras características topográficas, como a misteriosa crista equatorial que abran-

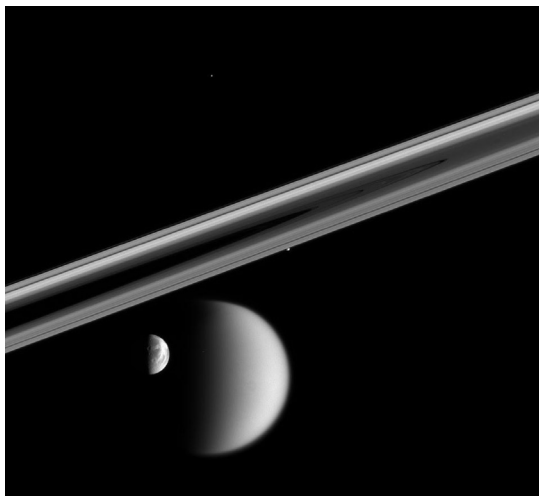


Figura 20.1 – Quatro luas de Saturno: o grande Titã e Dione, Prometeu, logo abaixo dos anéis, e Telesto, o pontinho acima. Cassini/NASA/JPL.

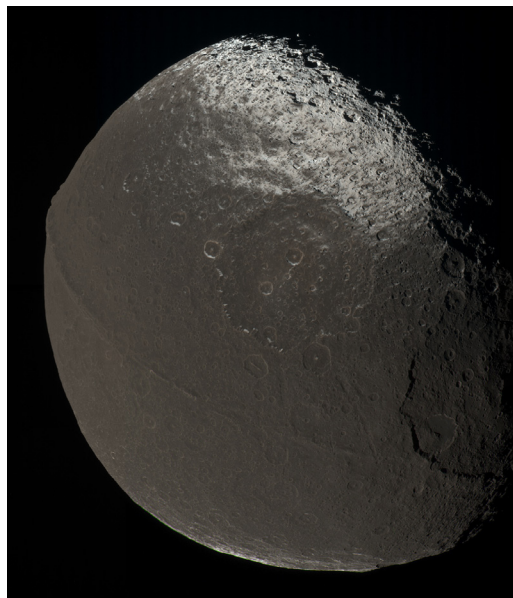


Figura 20.2 – Jápeto. Fotomosaico Cassini/NASA/JPL. Vêem-se nitidamente a cratera Turgis e a crista equatorial.

ge quase metade do satélite, temos algum conhecimento da composição dos materiais. A região escura, Cassini Regio, deve ter uma composição análoga à dos condritos carbonáceos sendo rica em compostos orgânicos, incluindo polímeros de cianeto de hidrogênio. Será na região mais brilhante que se acumulará material mais claro e gelado.

Reia (figura 20.6) é o maior dos satélites de Saturno sem atmosfera e também deve ser quase inteiramente composto de gelo. A sua densidade um pouco maior que a de Jápeto, 1,33 g/cm³,



Figura 20.3 – Crista equatorial de Jápeto. Cassini/NASA/JPL.

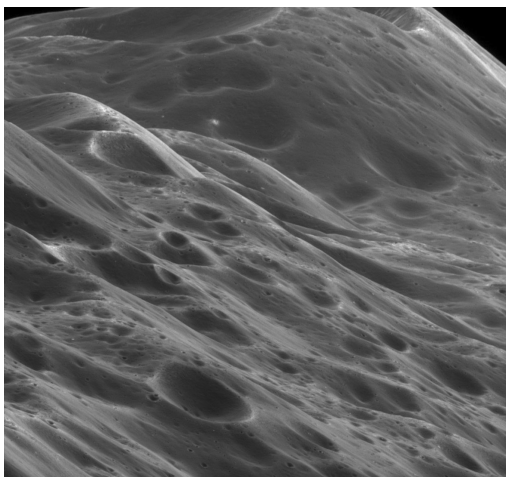


Figura 20.4 – As montanhas da crista equatorial de Jápeto. Cassini/NASA/JPL. Esta é a imagem de mais alta resolução obtida de Jápeto (23 m por pixel).

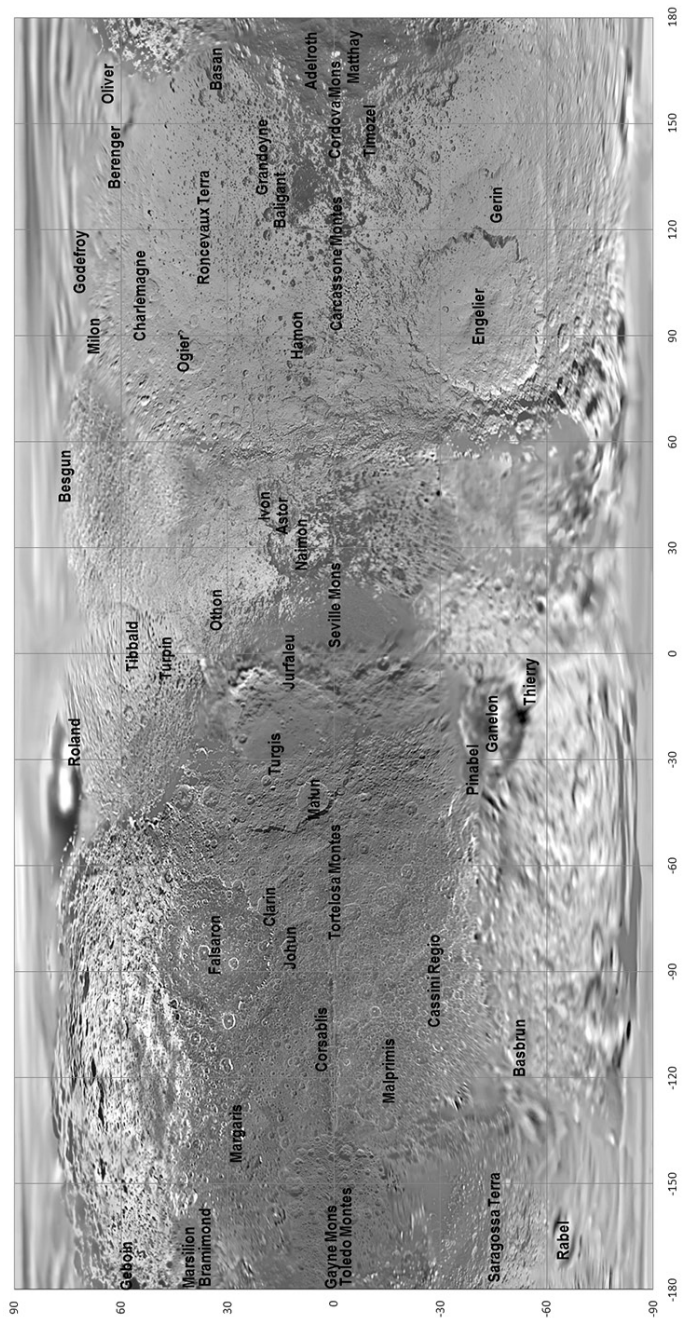


Figura 20.5 – Toponímia de Júpiter. EIA/IGUC, base Cassini/NASA/JPL.

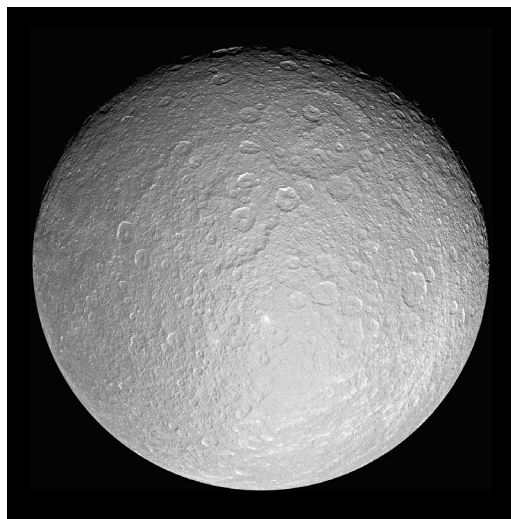


Figura 20.6– Rhea. Cassini/NASA/JPL.

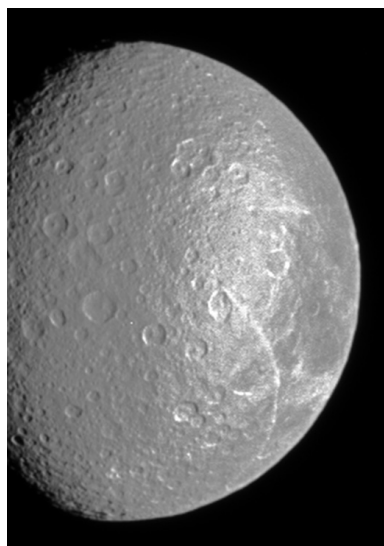


Figura 20.7 – As estrias de Rhea. Imagem Cassini/NASA/JPL. Pós-processamento EIA/IGUC para evidenciar as estrias.

permite supor, contudo, que tenha um pequeno núcleo rochoso. O facto de a superfície ser composta de gelo faz com que, tal como em Calisto, os relevos das crateras sejam muito suaves. Também Rhea tem uma assimetria entre os hemisférios de ataque e de fuga: neste último quase não se observam crateras mas, por outro lado, as poucas imagens disponíveis mostram uma rede de estrias de origem não esclarecida (Figura 20.7).

Dione (figura 20.9) é o satélite irmão de Rhea. Pouco mais pequeno, tem uma densidade pouco maior ($1,43 \text{ g/cm}^3$) e a mesma assimetria entre hemisférios. Mas, numa coisa, é muito diferente dos seus irmãos: a superfície do hemisfério de fuga é cruzada por uma extensa rede de falhas (figura 20.10).

Tétis (figura 20.12) foi o último satélite de Saturno a ser descoberto por Cassini, em 1684. É o satélite com a topografia mais notável. Destacam-se, pela sua imensidão, a cratera Odysseus (Ulisses) e o canhão Ithaca Chasma (Figuras 20.13 e 20.14). Também Tétis deve ser composto quase totalmente de gelo, até pela sua densidade, estimada em $0,97 \text{ g/cm}^3$.

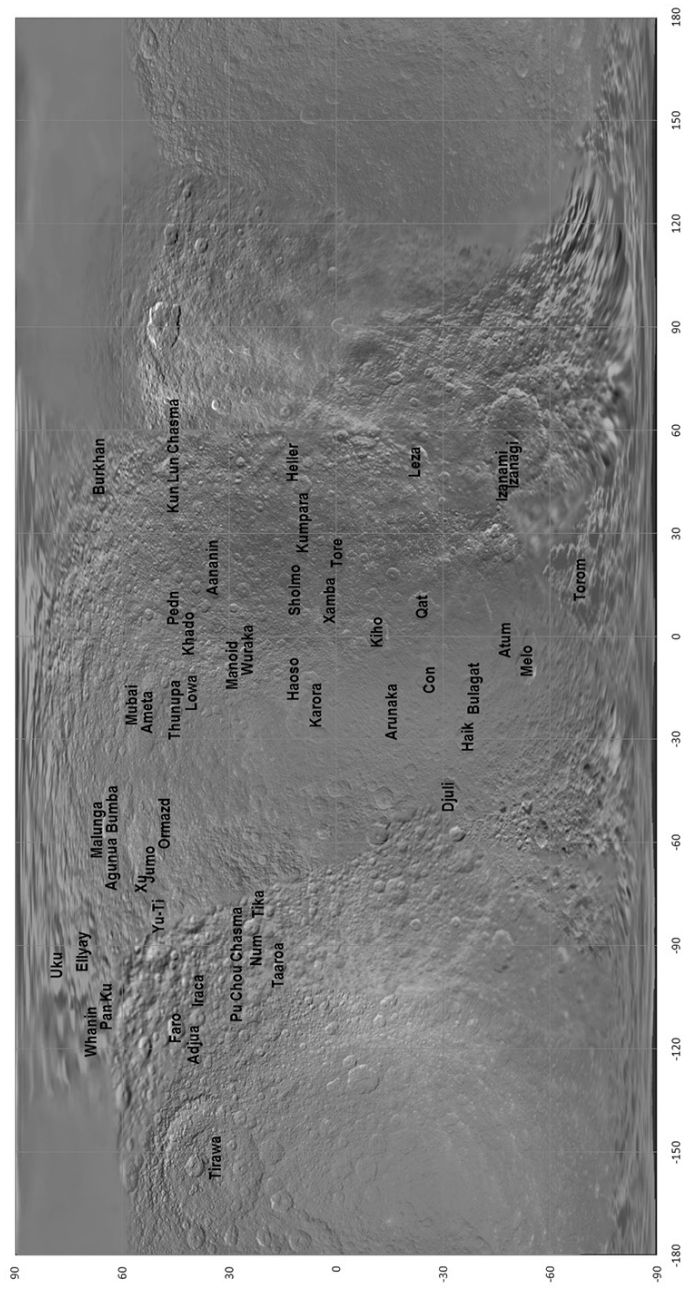


Figura 20.8 – Toponímia de Reia. EIA/IGUC, base Cassini/NASA/JPL.



Figura 20.9 - Dione em falsa cor. Cassini/NASA/JPL.

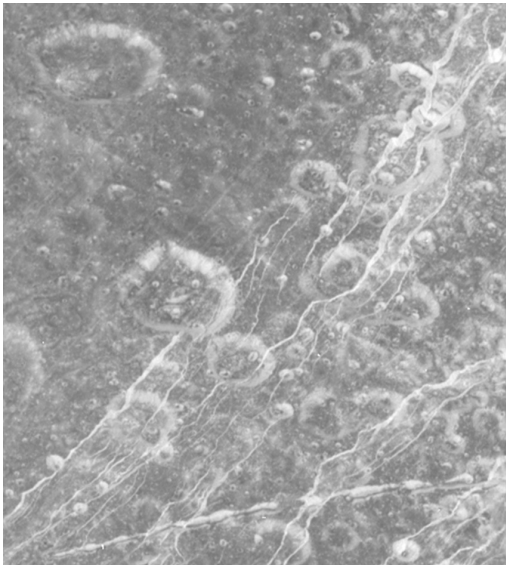


Figura 20.10 – Falbas em Dione. Cassini/NASA/JPL.

Tétis é acompanhado na sua órbita por dois satélites menores de Saturno, Telesto e Calipso (figuras 20.16 e 20.17), nos dois pontos de Lagrange, mas só descobertos em 1980.

No séc. XVIII Herschel descobriu ainda Mimas (figura 20.18) e Encélado (figura 20.19).

As imagens de Encélado, adquiridas pela missão Voyager na década de 1980, mostraram-nos um mundo estranho, gelado, pouco craterizado (o que indica uma superfície geologicamente jovem), embebido no anel E de Saturno. A missão Cassini fez o que é usual: respondeu a algumas perguntas e levantou muitas mais. As crateras de Encélado estão distribuídas assimetricamente: poucas à volta do equador e muitas nas latitudes mais altas. Mas o mais interessante foi a descoberta de vulcanismo activo. Encélado, a Terra, Io e Tritão, que veremos mais tarde, são os únicos corpos do Sistema Solar onde se viu vulcanismo em actividade (figura 20.21). O vulcanismo de Encélado expela principalmente vapor de água, mas

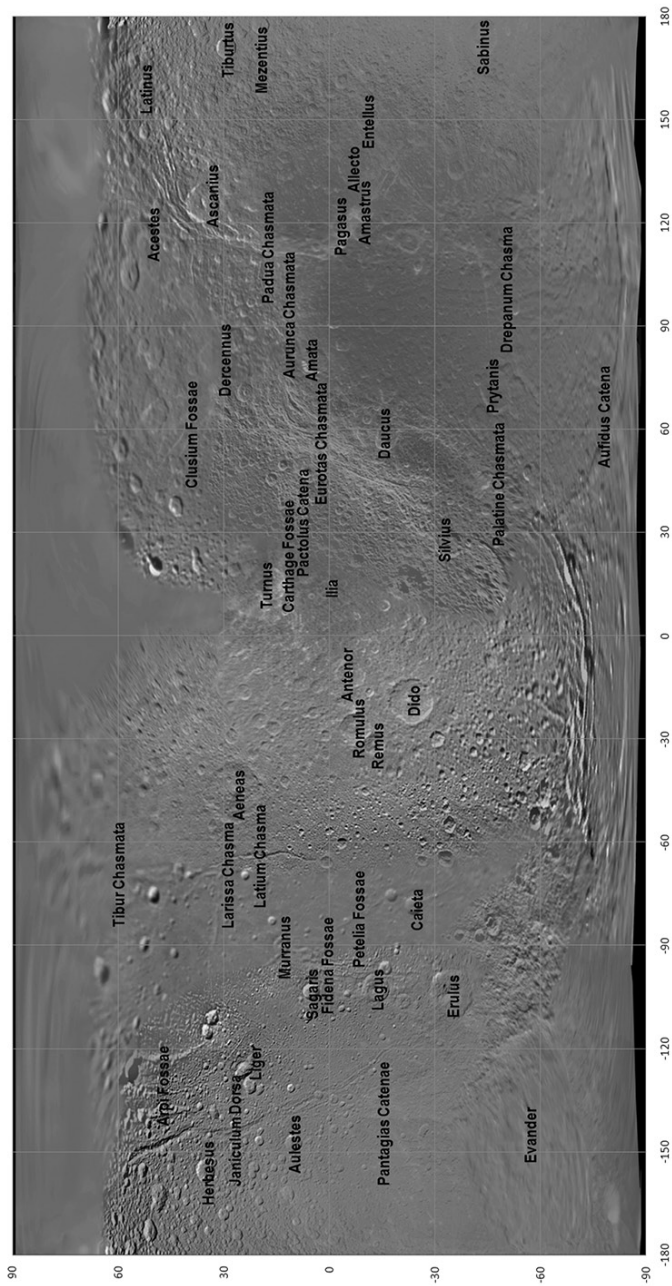


Figura 20.11 - Toponímia de Dione. ELA/IGUC, base Cassini/NASA/JPL.

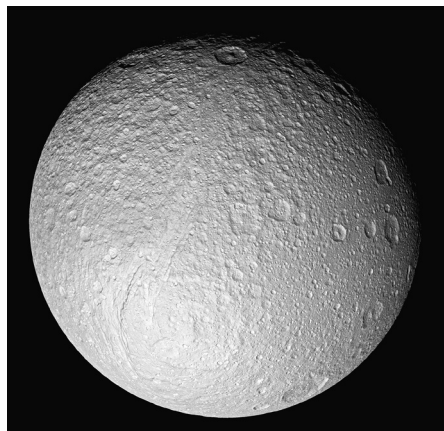


Figura 20.12 – Fotomosaico de Tétis, visto do pólo Sul. Cassini/NASA/JPL.

identificaram-se nele traços de compostos orgânicos. Também as “listas de tigre”, visíveis a verde na metade inferior da figura 20.20 não estão bem explicadas, embora recordem as falhas activas de Europa (figura 14.6).

No séc. XIX foram descobertos os últimos satélites com mais de 100 km de diâmetro: Hiperião, um estranho mundo esponjoso (figura 20.23), e Febe (figura 20.24).

Graças à missão Cassini/Huygens pudemos ver que, mais que uma jóia perdida no firmamento, Saturno é um verdadeiro sistema planetário, como Júpiter.

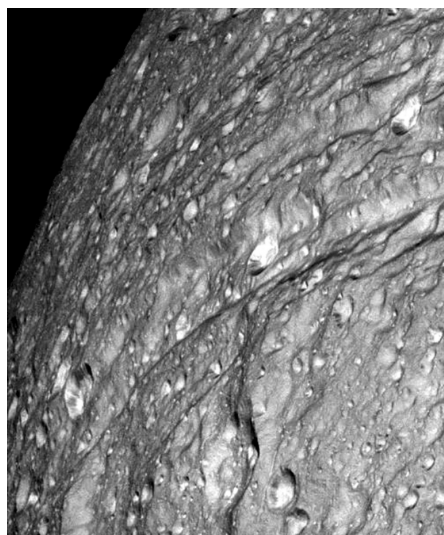


Figura 20.13 – Ithaca Chasma. Cassini / NASA / JPL, pós-processamento ELA/IGUC.

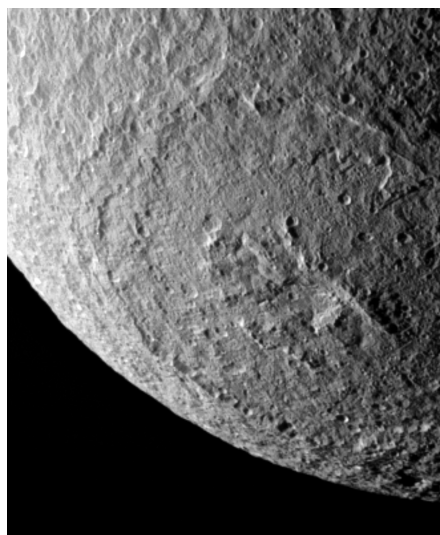


Figura 20.14 - A cratera Odysseus. Cassini / NASA / JPL, pós-processamento ELA/IGUC.

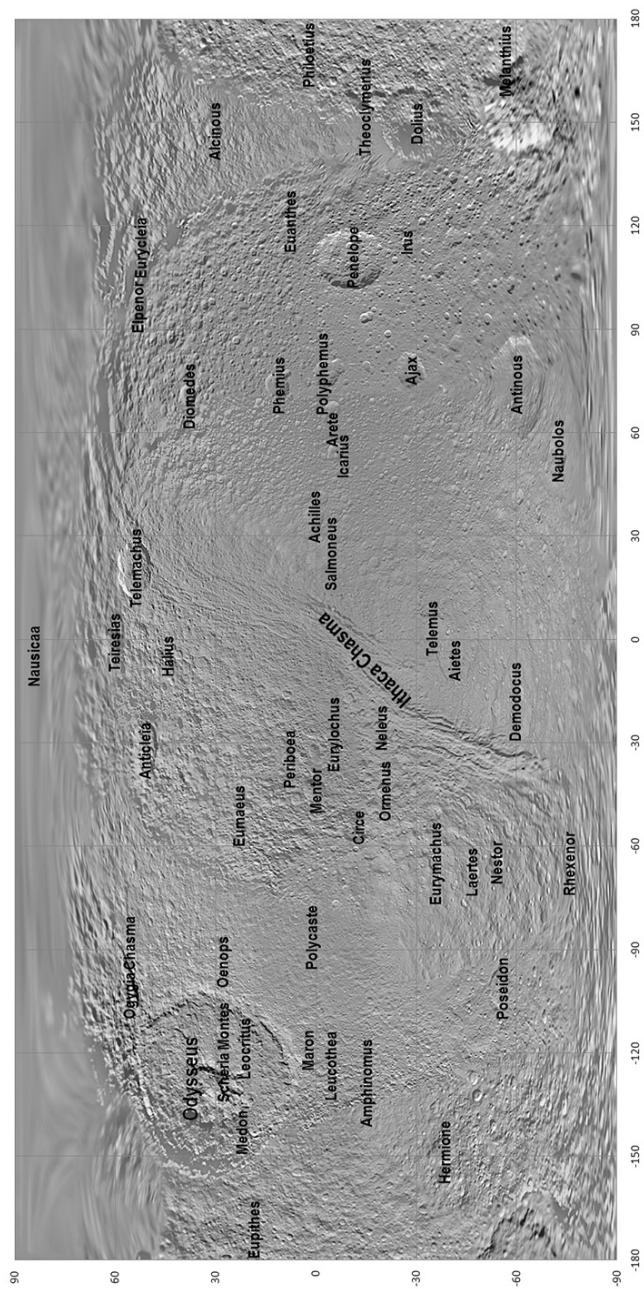


Figura 20.15 - Toponímia de Tétis. ELA/IGUC, base Cassini/NASA/JPL.

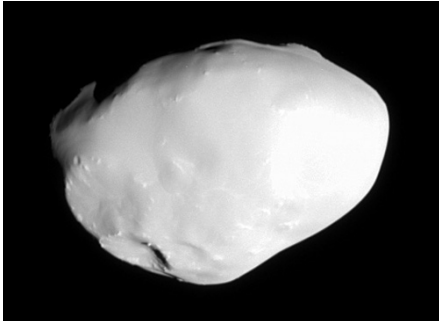


Figura 20.16 – Teleso. Cassini/NASA/JPL.



Figura 20.17 – Calipso. Cassini/NASA/JPL.

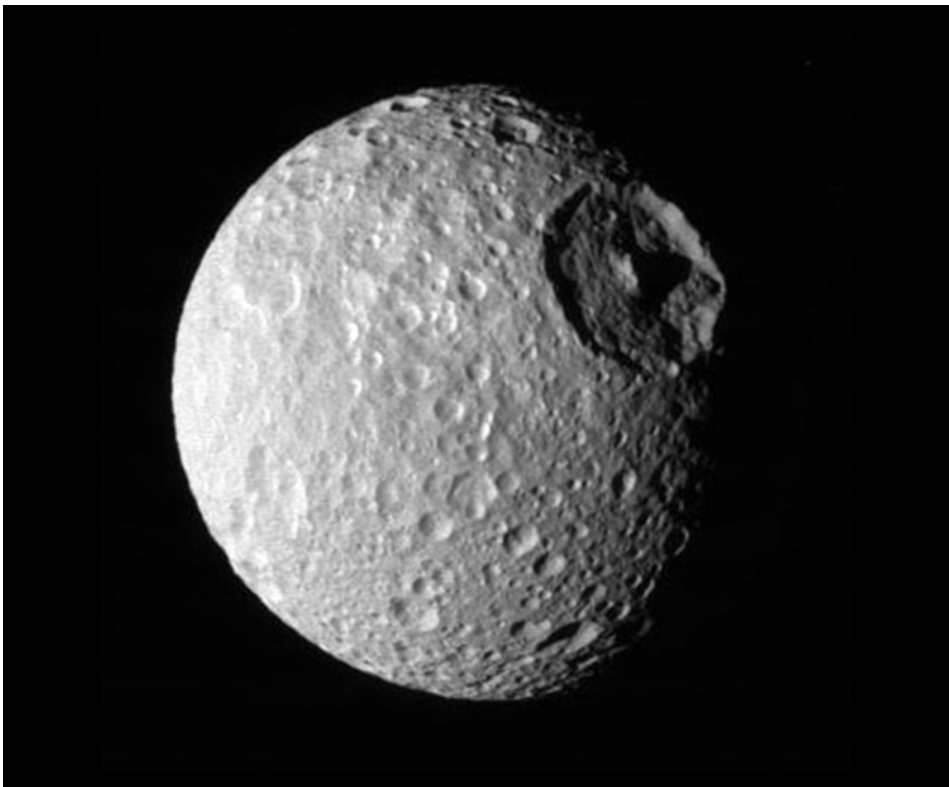


Figura 20.18 – Mimas. Cassini/NASA/JPL. Pode ver-se a grande cratera Herschel.

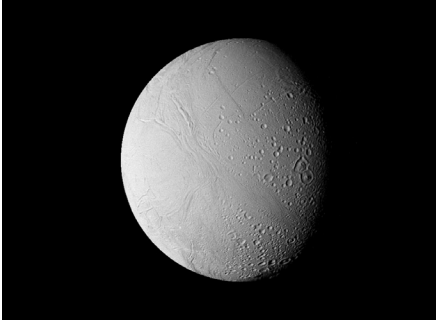


Figura 20.19 – Encélado. Fotomosaico Voyager/NASA/JPL.

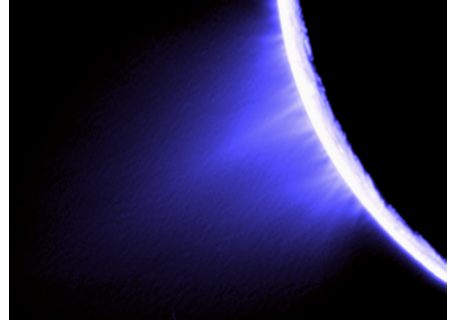


Figura 20.21 – Jactos de vapor em Encélado, em cores falsas. Cassini /NASA/ JPL.

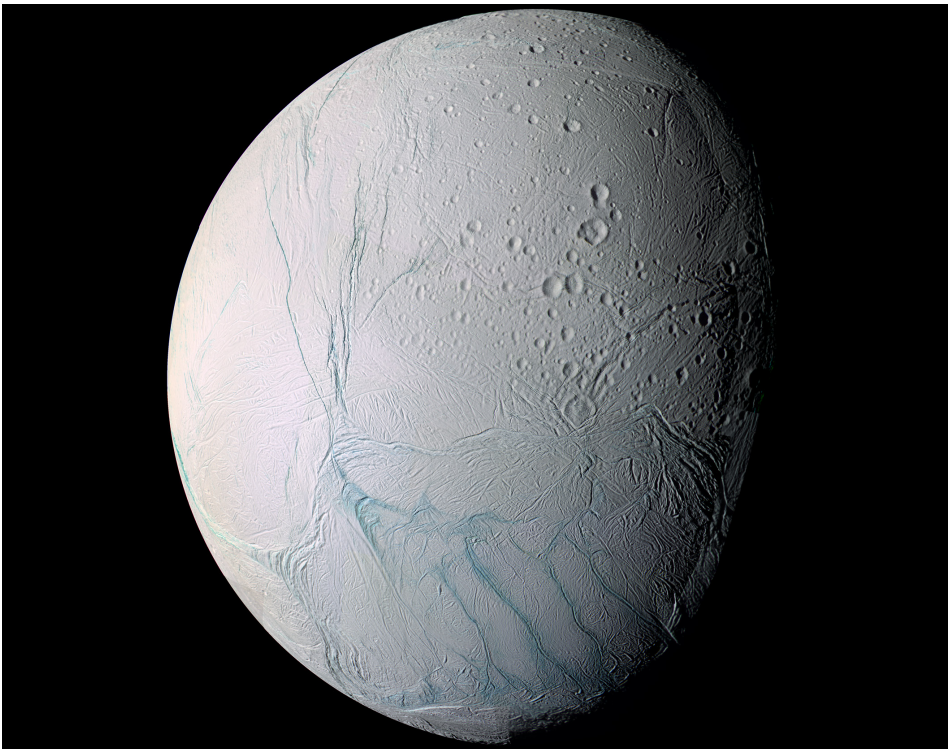


Figura 20.20 – Encélado em falsa cor. Fotomosaico Cassini /NASA/JPL.

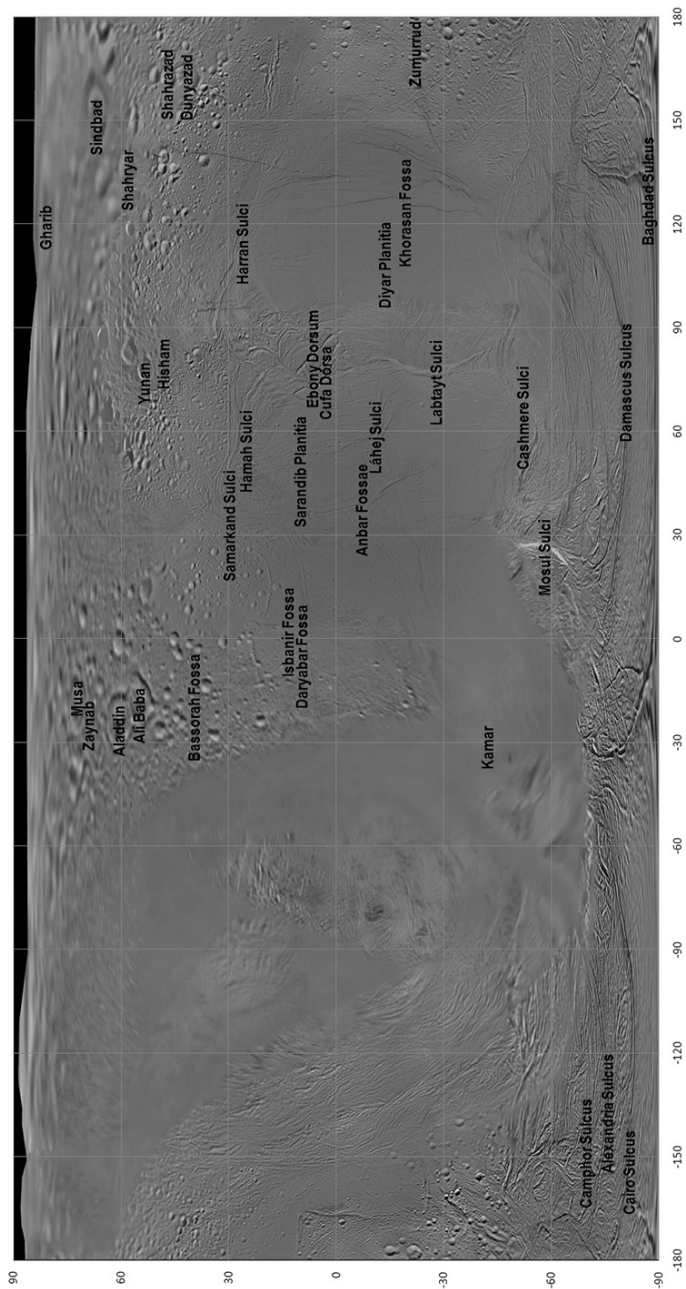


Figura 20.22 – Toponímia de Encélado. EIA/IGUC, base Cassini/NASA/JPL.

Tabela 20.1 - Os satélites de Saturno.

Ordem	Nome	Raio médio (km)	Eixo semi-maior (km)	Período (dias)	Ano	Descobridor
I	Mimas	198,8±1,5	185 540	0,942	1789	Herschel
II	Encélado	252,3±0,6	238 040	1,37	1789	Herschel
III	Tétis	536,3±1,5	294 670	1,888	1684	Cassini
IV	Dione	562,5±1,5	377 420	2,737	1684	Cassini
V	Reia	764,5±2,0	527 070	4,518	1672	Cassini
VI	Titã	2 575,5±2,0	1 221 870	15,95	1655	Huygens
VII	Hipérion	133,0±8,0	1 500 880	21,28	1848	W.Bond et al.
VIII	Jápeto	734,5±4,0	3 560 840	79,33	1671	Cassini
IX	Febe	106,6±1,1	12 947 780	-550,31	1899	Pickering
X	Jano	90,4±3,0	151 460	0,695	1966	Dollfus; Voyager 1
XI	Epimeteu	58,3±3,1	151 410	0,694	1980	Walker; Voyager 1
XII	Helena	16±4	377 420	2,737	1980	Laques, Lecacheux
XIII	Telesto	12±3	294 710	1,888	1980	Smith et al. (Voyager 1)
XIV	Calipso	9,5±1,5	294 710	1,888	1980	Pascu et al.
XV	Atlas	15,3±1,2	137 670	0,602	1980	Terrile (Voyager 1)
XVI	Prometeu	46,8±5,6	139 380	0,613	1980	Collins (Voyager 1)
XVII	Pandora	40,6±4,5	141 720	0,629	1980	Collins (Voyager 1)
XVIII	Pã	12,8	133 580	0,575	1990	Showalter (Voyager 2)
XIX	Imir	9	23 040 000	-1 315,14	2000	Gladman
XX	Paaliaq	11	15 200 000	686,95	2000	Gladman
XXI	Tarvos	7,5	17 983 000	926,23	2000	Gladman, Kavelaars
XXII	Ijiraq	6	11 124 000	451,42	2000	Gladman, Kavelaars
XXIII	Suttungr	3,5	19 459 000	-1 016,67	2000	Gladman, Kavelaars
XXIV	Kiviuq	8	11 110 000	449,22	2000	Gladman
XXV	Mundilfari	3,5	18 628 000	-952,77	2000	Gladman, Kavelaars
XXVI	Albiorix	16	16 182 000	783,45	2000	Holman, Spahr
XXVII	Skathi	4	15 540 000	-728,20	2000	Gladman, Kavelaars
XXVIII	Erriapus	5	17 343 000	871,19	2000	Gladman, Kavelaars
XXIX	Siarnaq	20	17 531 000	895,53	2000	Gladman, Kavelaars
XXX	Thrymr	3,5	20 314 000	-1 094,11	2000	Gladman, Kavelaars
XXXI	Narvi	3,5	19 007 000	-1 003,86	2003	Sheppard, Jewitt, Kleyna
XXXII	Metone	1,5	194 440	1,01	2004	Porco et al. (Cassini-Huygens)
XXXIII	Palene	2	212 280	1,154	2004	Gordon et al. (Cassini-Huygens)
XXXIV	Polideuces	1,25	377 200	2,737	2004	Porco et al. (Cassini-Huygens)
XXXV	Dafne	3,5	136 500	0,594	2005	Porco et al. (Cassini-Huygens)
XXXVI	Aegir	3	20 751 000	-1 117,52	2004	Sheppard et al.
XXXVII	Bebhionn	3	17 119 000	834,84	2004	Sheppard et al.
XXXVIII	Bergelmir	3	19 336 000	-1 005,74	2004	Sheppard et al.
XXXIX	Bestla	3,5	20 192 000	-1 088,72	2004	Sheppard et al.
XL	Farbauti	2,5	20 377 000	-1 085,55	2004	Sheppard et al.
XLI	Fenrir	2	22 454 000	-1 260,35	2004	Sheppard et al.
XLII	Fornjot	3	25 146 000	-1 494,2	2004	Sheppard et al.
XLIII	Hati	3	19 846 000	-1 038,61	2004	Sheppard et al.

XLIV	Hyrrokkin	4	18 437 000	-931,86	2006	Sheppard et al.
XLV	Kari	3,5	22 089 000	-1 230,97	2006	Sheppard et al.
XLVI	Loge	3	23 058 000	-1 311,36	2006	Sheppard et al.
XLVII	Skoll	3	17 665 000	-878,29	2006	Sheppard et al.
XLVIII	Surtur	3	22 704 000	-1 297,36	2006	Sheppard et al.
XLIX	Anthe	1	197 700	1,0365	2007	Porco et al. (Cassini-Huygens)
L	Jarnsaxa	3	18 811 000	-964,74	2006	Sheppard, Jewitt, Kleyna
LI	Greip	3	18 206 000	-921,19	2006	Sheppard, Jewitt, Kleyna
LII	Tarqeq	3,5	18 009 000	887,48	2007	Sheppard, Jewitt, Kleyna
LIII	Aegaeon	0,25	167 500	0,808	2008	Cassini Imaging Science Team
—	S/2004 S 7	3	20 999 000	-1 140,24	2004	Sheppard et al.
—	S/2004 S 12	2,5	19 878 000	-1 046,19	2004	Sheppard et al.
—	S/2004 S 13	3	18 404 000	-933,48	2004	Sheppard et al.
—	S/2004 S 17	2	19 447 000	-1 014,70	2004	Sheppard et al.
—	S/2006 S 1	3	18 790 000	-963,37	2006	Sheppard et al.
—	S/2006 S 3	3	22 096 000	-1 227,21	2006	Sheppard et al.
—	S/2007 S 2	3	16 725 000	-808,08	2007	Sheppard et al.
—	S/2007 S 3	3	18 975 000	-977,8	2007	Sheppard et al.
—	S/2009 S 1	0,3	117 000	?	2009	Cassini Imaging Science Team

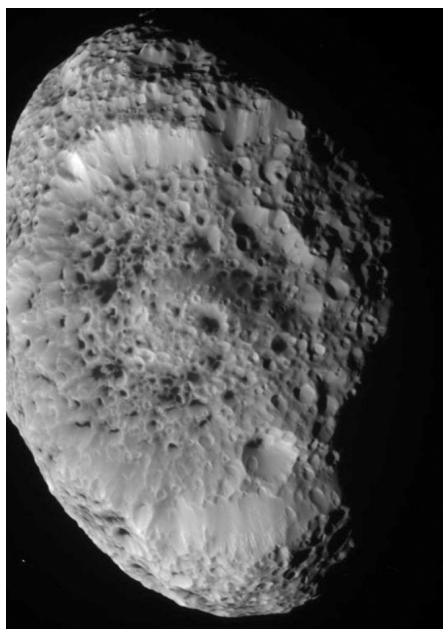


Figura 20.23 – Hiperião. Cassini/NASA/JPL/SSI.

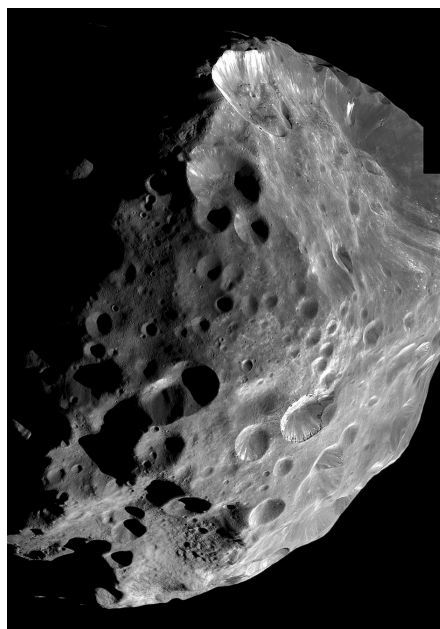


Figura 20.24 – Febe. Cassini/NASA/JPL.

21. ÚRANO

Úrano foi o primeiro planeta a ser descoberto que não era conhecido desde a antiguidade. O descobridor foi Herschel, em 13 de Março de 1781 mas é claro que o planeta já havia sido visto e confundido com uma estrela. O catálogo de Flamsteed, de 1690, identifica-o como a estrela 34 da constelação do Touro. O nome Úrano só entrou em uso comum em 1850, sob sugestão de Bode, depois de muitos lhe chamarem Herschel e de o próprio Herschel lhe ter chamado “Georgium Sidus” (o planeta de Jorge), em homenagem ao seu protector, o monarca inglês Jorge III.

Como todos os planetas trans-saturnianos, Úrano é ainda mal conhecido. Foi aproximado (não orbitado) por uma única sonda, a Voyager 2, em 24 de Janeiro de 1986 (figura 21.1). Mesmo assim, esta curta visita permitiu avançar muito o nosso conhecimento do planeta, nomeadamente por ter revelado as estranhas características da rotação de Úrano e a existência de um sistema de anéis (figura 21.2).

A rotação de Úrano é invulgar em todo o Sistema Solar, primeiro por o eixo de rotação se encontrar praticamente contido no plano orbital, com o pólo Sul voltado para o Sol, e depois por se fazer no sentido retrógrado. Pensa-se que estes factos se devem a um choque violento com outro planeta gigante, que Úrano terá sofrido na sua história. Apesar disso, a região equatorial de Úrano é a mais quen-

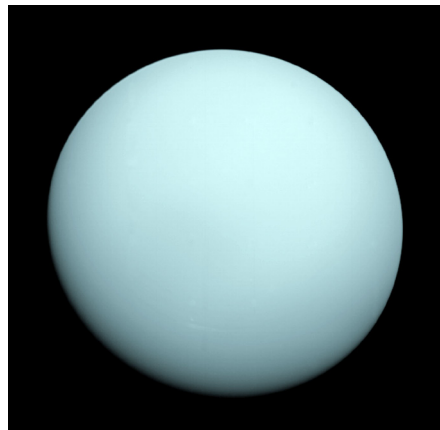


Figura 21.1 – Úrano em cores reais. Voyager/NASA/JPL.

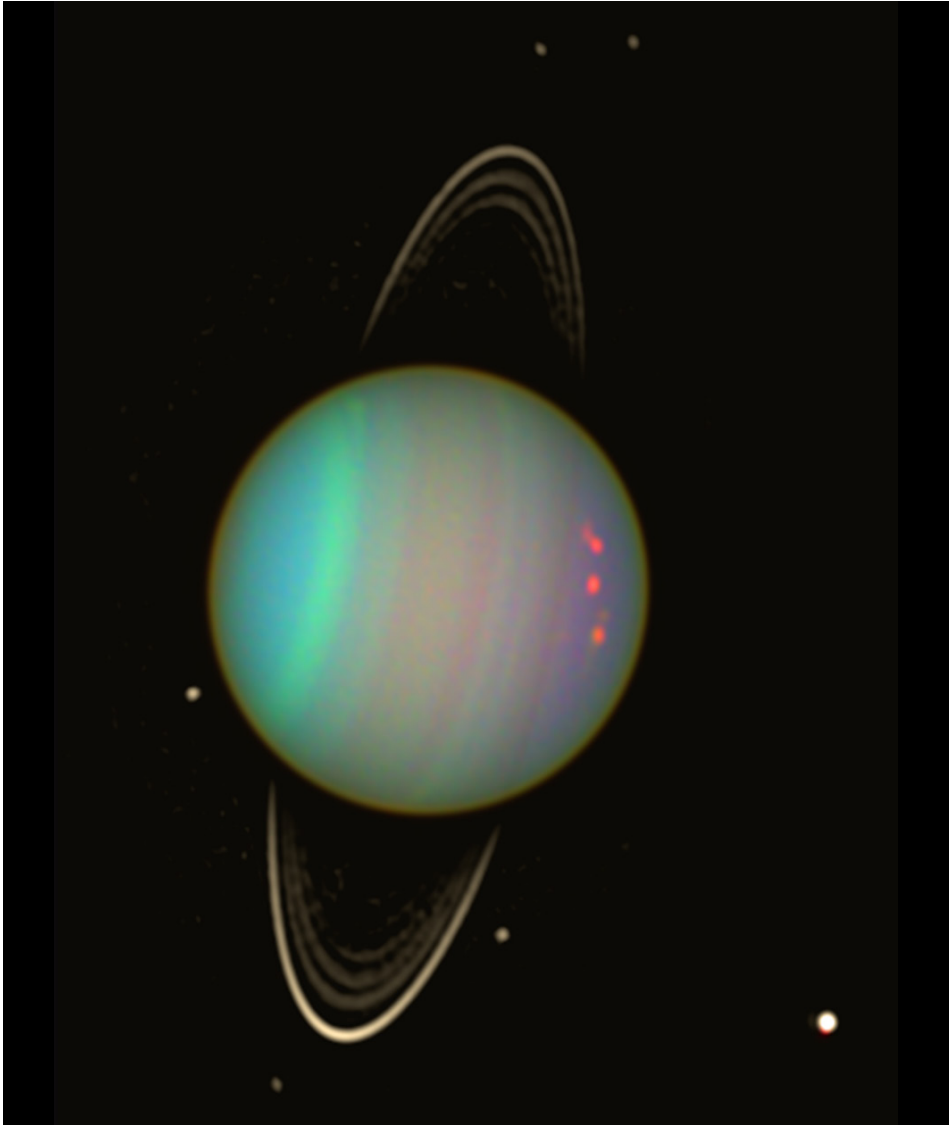


Figura 21.2 – O sistema de Úrano em falsa cor. HST/NASA/JPL e Erich Karkoschka, Universidade do Arizona. Nesta imagem, sem dúvida uma das mais belas deste atlas, podem ver-se as bandas atmosféricas, comuns a todos os gigantes; três grandes tempestades elétricas; os anéis; seis satélites: Ariel, no canto inferior direito e, em torno dos anéis, a partir do centro superior, no sentido dos ponteiros do relógio: Desdémona, Belinda, Pórcia, Créssida e Puck.

te, tal como em todos os outros planetas o que, junto com o facto de Úrano radiar mais energia do que a que recebe do Sol, leva a crer que o planeta possui um núcleo “quente” possivelmente enriquecido em isótopos radioactivos leves (silício? carbono?), sendo a condução térmica para a superfície feita por correntes de convecção.

O sistema de anéis de Úrano é muito fino e difuso (figura 21.2 e 4 e tabela 21.1). Os anéis têm um albedo baixo, como os de Júpiter, mas são compostos por corpos com até 10 metros de diâmetro, tal como os de Saturno. De facto, os anéis de Úrano foram descobertos mesmo antes dos de Júpiter, o que levou a que se procurassem – e encontrassem – anéis em todos os planetas gigantes. Pensa-se que possam existir anéis incompletos (arcos de anel) com cerca de 50 m de extensão.

A estrutura de Úrano só se conhece por inferência a partir de dados da sua geofísica externa (figura 21.3).

O núcleo de Úrano deve ser composto de uma mistura de rocha e gelo, de massa provavelmente não superior à da Terra. A este núcleo seguir-se-á um “manto” composto por uma mistura de gelos de água, metano e amoníaco, possivelmente em estado sólido mas plástico. Daí até à superfície encontra-se uma atmosfera de hidrogénio, hélio e metano moleculares, que absorvem a

Tabela 21.1 - Os anéis de Úrano.

ANEL	DISTÂNCIA (km)	LARGURA (km)
1986U2R	38 000	2500
6	41 840	1-3
5	42 230	2-3
4	42 580	2-3
Alfa	44 720	7-12
Beta	45 670	7-12
Eta	47 190	0-2
Gamma	47 630	1-4
Delta	48 290	3-9
1986U1R	50 020	1-2
Epsilon	51 140	20-100

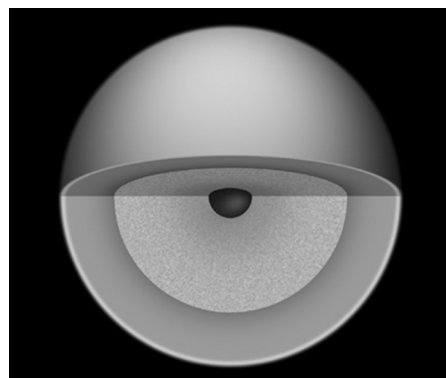


Figura 21.3 – Modelo da estrutura interna de Úrano. NASA.

DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	19,20094
Excentricidade orbital	0,0457
Período sideral (anos)	84,01067
Inclinação orbital	0,772°
Velocidade orbital média (km/s)	6,81
Período de rotação (horas)	-17,24
Inclinação do eixo de rotação	97,77°
Magnitude visual máxima	5,32
Número de Satélites	21
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	25 559
Massa (kg)	86,832 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	6,833 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	1,270
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	8,69
Velocidade de escape equatorial (km/s)	21,3
Temperatura média à superfície (K)	76
Albedo normal	0,51
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0,228
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	1000 (por convenção)
Composição da atmosfera (%)	H ₂ (82.5), He(15.2), CH ₄ (2.3)
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	W. Herschel
Data	1781
Missões espaciais	Voyager 2

luz no domínio do vermelho, o que confere ao planeta a sua característica cor turquesa.

Esta atmosfera é bandeada, como nos outros gigantes (figura 21.2) e atravessada por ventos fortíssimos, entre 40 e 160 m/s (entre 140 e 560 km/h), que sopram na direcção da rotação do planeta. Encontraram-se ventos da ordem dos 100 m/s que sopram na direcção oposta, nas zonas equatoriais, por análise de imagens recentes do Telescópio Espacial Hubble.

Outro argumento a favor da existência de correntes de convecção no interior de Úrano é o facto de ter um campo magnético dipolar forte. Este campo está descentrado em relação ao planeta e o eixo magnético faz um ângulo de cerca de 60 ° com o eixo de rotação, o que é invulgar, dado que os eixos gravitacional e magnético são habitualmente próximos.

22. OS SATÉLITES DE ÚRANO

Devido à sua grande distância da Terra, às suas pequenas dimensões, e a só terem sido visitados uma vez, de passagem, pela Voyager 2, os satélites de Úrano são ainda muito mal conhecidos.

Tabela 22.1 – Os satélites de Úrano.

Ordem	Nome	Raio médio (km)	Eixo semi-maior (km)	Período	Ano	Descobridor
I	Ariel	578,9 ± 0,6	190 900	2,52	1851	Lassell
II	Umbriel	584,7 ± 2,8	266 000	4,144	1851	Lassell
III	Titânia	788,9 ± 1,8	436 300	8,706	1787	Herschel
IV	Oberon	761,4 ± 2,6	583 500	13,46	1787	Herschel
V	Miranda	235,8 ± 0,7	129 900	1,413	1948	Kuiper
VI	Cordélia	20,1 ± 3	49 800	0,335	1986	Terrile (Voyager 2)
VII	Ofélia	21,4 ± 4	53 800	0,376	1986	Terrile (Voyager 2)
VIII	Bianca	25,7 ± 2	59 200	0,435	1986	Smith (Voyager 2)
IX	Créssida	39,8 ± 2	61 800	0,464	1986	Synnott (Voyager 2)
X	Desdémona	32,0 ± 4	62 700	0,474	1986	Synnott (Voyager 2)
XI	Julieta	46,8 ± 4	64 400	0,493	1986	Synnott (Voyager 2)
XII	Pórcia	67,6 ± 4	66 100	0,513	1986	Synnott (Voyager 2)
XIII	Rosalinda	36 ± 6	69 900	0,558	1986	Synnott (Voyager 2)
XIV	Belinda	40,3 ± 8	75 300	0,624	1986	Synnott (Voyager 2)
XV	Puck	81 ± 2	86 000	0,762	1985	Synnott (Voyager 2)
XVI	Calibã	49	7 231 000	-579,73	1997	Gladman et al.
XVII	Sicorax	95	12 179 000	-1288,3	1997	Gladman et al.
XVIII	Próspero	15	16 256 000	-1 978,29	1999	Gladman et al.
XIX	Setebos	15	17 418 000	-2 225,21	1999	Gladman et al.
XX	Estéfano	10	8 004 000	-677,36	1999	Gladman et al.
XXI	Trínculo	5	8 504 000	-749,24	2001	Holman et al.
XXII	Francisco	6	4 276 000	-266,56	2001	Holman et al.
XXIII	Margarida	5,5	14 345 000	1 687,01	2003	Sheppard e Jewitt
XXIV	Ferdinando	6	20 901 000	-2 887,21	2001	Holman et al.
XXV	Perdita	10	76 417	0,638	1986	Karkoschka(Voyager 2)
XXVI	Mab	5	97 736	0,923	2003	Showalter e Lissauer
XXVII	Cupido	5	74 392	0,613	2003	Showalter e Lissauer

As suas órbitas desenvolvem-se próximo do plano equatorial do planeta-mãe e, por isso, fazem grandes ângulos com a Eclíptica. Na sua maioria as órbitas são quase circulares: só as quatro pequenas luas mais distantes têm órbitas marcadamente elípticas.

Podem dividir-se em três grandes grupos (um pouco como os satélites de Júpiter): as onze pequenas luas interiores, de muito baixo albedo ($< 0,1$), os cinco satélites maiores (figuras 22.1 a 22.6) e as cinco luas exteriores.

É possível que as luas menores sejam objectos capturados por Úrano da Cintura de Kuiper e, portanto, tenham composições semelhantes aos núcleos cometários.

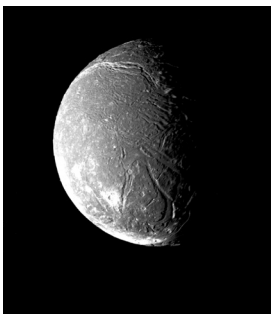


Figura 22.1 Ariel. Base Voyager/NASA/JPL, pós processamento EIA/IGUC.

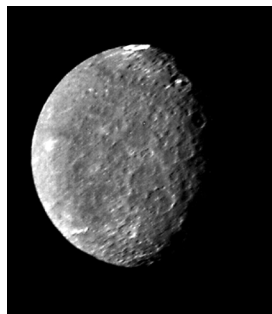


Figura 22.2 – Umbriel. Base Voyager/NASA/JPL, pós processamento EIA/IGUC.



Figura 22.3 – Titânia. Base Voyager / NASA / JPL, pós processamento EIA/IGUC.

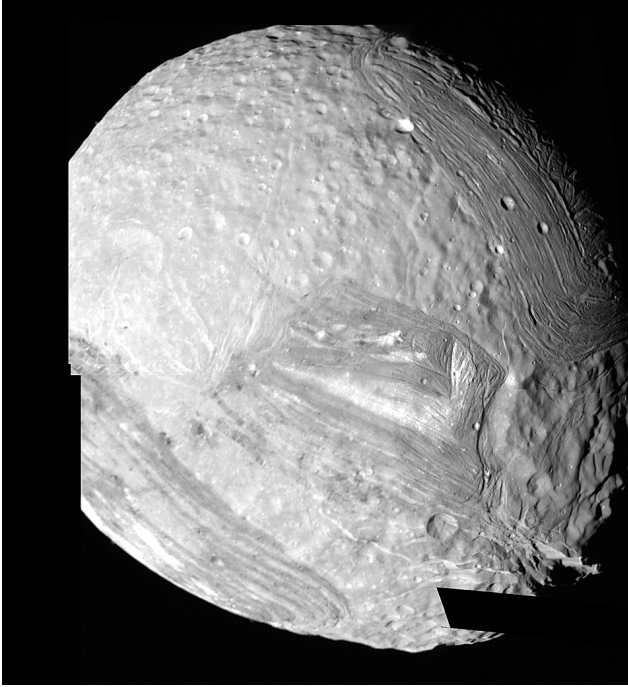


Figura 22.5 – Fotomosaico de Miranda. Base Voyager/ NASA/JPL, pós processamento EIA/IGUC. Miranda é o mais estranho dos satélites conhecidos de Úrano: parece dividido em províncias tectônicas, umas de regime predominantemente compressivo, produzindo dobras, e outras de regime predominantemente distensivo, produzindo riftes.



Figura 22.4 Oberon. Base Voyager / NASA /J PL, pós processamento EIA/IGUC.



Figura 22.6 – Retrato de família: as cinco maiores luas de Úrano em proporções reais. NASA/JPL.

(Página deixada propositadamente em branco)

23. NEPTUNO

Tal como Úrano, Neptuno é ainda hoje mal conhecido, tendo sido visitado somente uma vez, de passagem, em 25 de Agosto de 1989, pela nave Voyager 2 (figura 23.1).

A história da descoberta de Neptuno é curiosa.

Galileu observou-o, em 1613 (três anos depois dos satélites de Júpiter), tendo constatado, em duas noites consecutivas, que se movia ligeiramente em relação a uma estrela próxima. Nos dias seguintes, Neptuno já estava fora do seu campo de visão e, nos dias anteriores, os céus de Pisa tinham estado enevoados. Assim, Galileu classificou-o como uma estrela. Muito mais tarde, em meados do séc. XIX, verificou-se que a órbita de Úrano não parecia estar inteiramente de acordo com as leis de Newton e Kepler. Adams e Le Verrier predisseram, independentemente, que deveria haver um outro planeta, mais distante do Sol, a perturbar a órbita de Úrano. Com base nos seus cálculos, Galle e d'Arrest localizaram Neptuno, na noite de 23 de Setembro de 1846. Mas hoje sabe-se que as órbitas calculadas por Adams e Le Verrier divergiam rapidamente, ou seja: se as observações de Galle e d'Arrest tivessem sido feitas alguns anos antes ou depois de 1846, não teriam encontrado o planeta.

A cor azul forte de Neptuno resulta do metano existente na atmosfera, mas é provável que a tonalidade final,

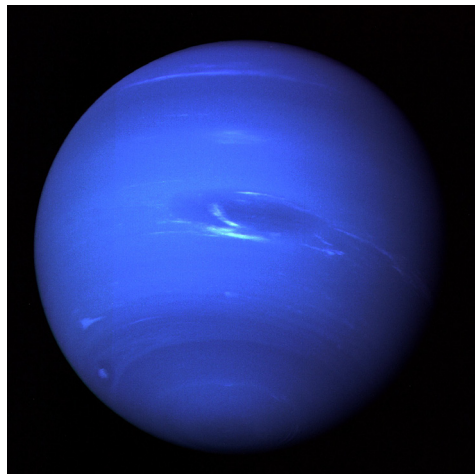


Figura 23.1 Neptuno. Voyager/NASA/JPL.

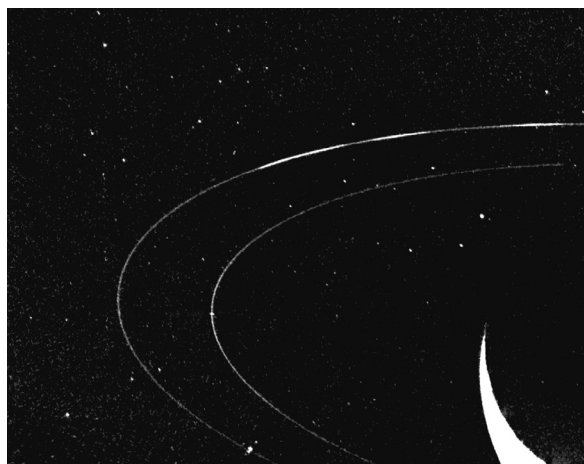


Figura 23.2 – Os anéis de Neptuno. Voyager/NASA/JPL.

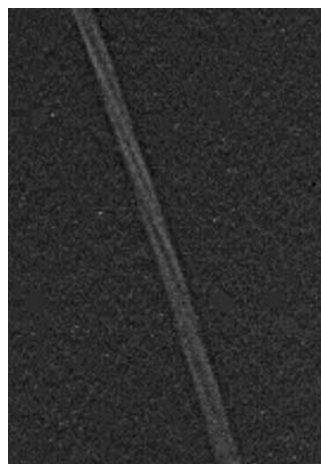


Figura 23.3 Pormenor do anel Adams. Voyager/NASA/JPL.

Tabela 23.1 – Os anéis de Neptuno.

ANEL	DISTÂNCIA (km)	LARGURA (km)	OUTRO NOME
1989N3R	41 900	15	Galle
1989N2R	53 200	15	Le Verrier
1989N4R	53 200	5800	Arago
1989N1R	62 930	<50	Adams

bastante diferente da de Úrano, seja resultado de mais alguns compostos ainda não identificados.

Tal como os outros gigantes do Sistema Solar, Neptuno também tem anéis, muito escuros e finos (tabela 23.1 e figura 23.2). O anel mais externo, Adams, apresenta uma curiosa estrutura torcida, semelhante à do anel F de Saturno (figura 23.3). Além disso, o material do mesmo anel não parece estar distribuído uniformemente, agrupando-se em arcos preferenciais, três dos quais se podem ver na figura 23.2.

A estrutura interna de Neptuno (Figura 23.4) não deve diferir muito da de Úrano.

Neptuno terá um núcleo sólido, de massa análoga à da Terra, composto de uma mistura de silicatos e vários gelos, envolvido por um manto rico em água metano e amoníaco ao qual se sobrepõe uma atmosfera composta de hidrogénio, hélio e metano.

Esta atmosfera é açoitada pelos ventos mais fortes que se conhecem, podendo atingir os 2000 km/h. Como nos outros gigantes gasosos, os ventos estão confinados geralmente a bandas entre latitudes bem definidas. Também se encontram gigantescas tempestades (vórtices) localizadas, análogas à grande mancha vermelha de Júpiter. Esta foi uma das surpresas das imagens da Voyager 2 – a grande mancha escura (figura 23.1); mas a surpresa foi ainda maior quando se descobriu, em imagens do telescópio Hubble, de 1994, que a grande mancha escura tinha desaparecido. Também se descobriu, entretanto, o aparecimento de novas manchas escuras e nuvens brancas de cristais de metano, de movimento muito rápido, o que mostra como a atmosfera de Neptuno é muito dinâmica.

Neptuno também tem um campo magnético dipolar, presumivelmente originado, de forma semelhante aos dos outros gigantes, por correntes de convecção num manto electricamente condutor. Mas a geometria do campo magnético de Neptuno é ainda mais invulgar que a de Úrano:

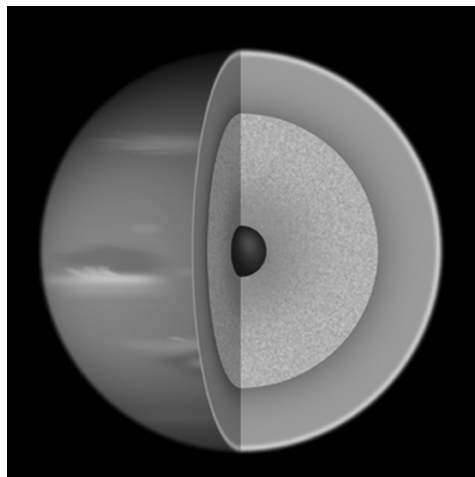


Figura 23.4 – Modelo da estrutura interna de Neptuno. NASA.

não só o eixo magnético faz um ângulo de 47° com o eixo de rotação, como está descentrado cerca de 13 500 km.

NEPTUNO	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Sol
Distância média ao Sol (UA)	30,04719
Excentricidade orbital	0,0113
Período sideral (anos)	164,78579
Inclinação orbital	1,769°
Velocidade orbital média (km/s)	5,43
Período de rotação (horas)	16,11
Inclinação do eixo de rotação	28,32°
Magnitude visual máxima	7,78
Número de Satélites	8
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	24 764
Massa (kg)	102,43 X 10 ²⁴
Volume (km ³)	6,254 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	1,638
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	11,00
Velocidade de escape equatorial (km/s)	23,5
Temperatura média à superfície (K)	72
Albedo normal	0,41
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	0,142
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	1000 (por convenção)
Composição da atmosfera (%)	H ₂ (80.0), He(19.0), CH ₄ (1.5)
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	Galle
Data	1846
Missões espaciais	Voyager 2

24. TRITÃO E OS SATÉLITES DE NEPTUNO

O maior satélite de Neptuno, Tritão, foi descoberto ainda no séc. XIX (em 1846) por Lassell, poucas semanas depois da descoberta de Neptuno. Em muitos aspectos, Tritão (figura 24.1) é um planeta único.

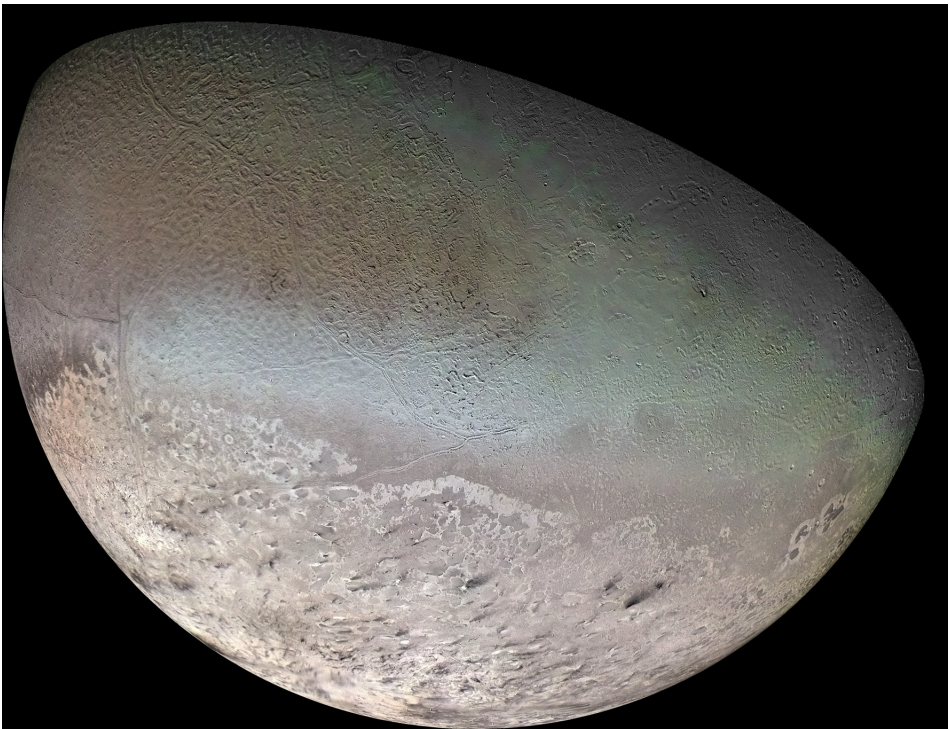


Figura 24.1 – Fotomosaico de Tritão em cores reais. Voyager/NASA/JPL.

Primeiro, pela sua órbita: é o único satélite maior do Sistema Solar que orbita o planeta-mãe em sentido retrógrado, o que implica que não deve ter sido formado por condensação a partir da mesma nebulosa primordial. Esta órbita tem como consequência que as interações gravitacionais com

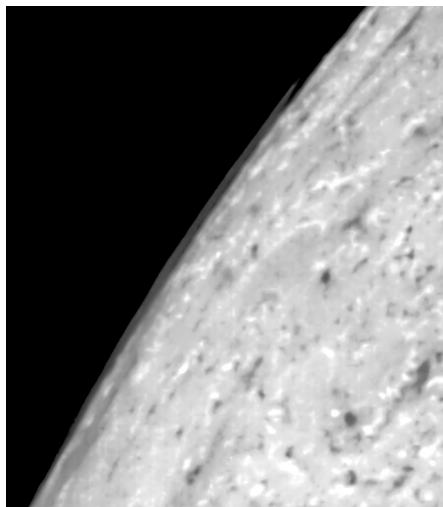


Figura 24.2 – Uma nuvem no limbo da atmosfera do pólo Sul de Tritão. Voyager/NASA/JPL, pós processamento ELA/IGUC.

Neptuno remove energia de Tritão, aproximando-o a pouco e pouco. Num futuro distante, uma de duas coisas poderá acontecer: ou Tritão cairá sobre Neptuno ou, antes de isso acontecer, as forças gravitacionais destruí-lo-ão, transformando-o em mais uma série de satélites e anéis neptunianos.

Depois, pela temperatura: Tritão é o corpo mais frio do Sistema Solar (mesmo mais que Plutão e Caronte) – com -235 °C está apenas 38 °C acima do zero absoluto. Isto deve-se ao seu alto albedo (0,7), que faz com que a maior parte da pouca energia que recebe do Sol seja reflectida, ao contrário

de Plutão, que é muito escuro. A inclinação do eixo de rotação, de 157° em relação ao eixo de Neptuno, faz com que a orientação de Tritão em relação ao Sol seja de modo a virar alternadamente as regiões polares e as equatoriais para o Sol.

A densidade de Tritão também é invulgar para esta zona do espaço: com $2,05\text{ g/cm}^3$ é o corpo importante mais denso para lá da órbita de Júpiter (depois de Marte, apenas Io e Europa são mais densos). Esta densidade comparativamente alta implica que Tritão deverá ser composto por cerca de 75% de rocha.

A Voyager 2 verificou que Tritão possui uma ténue atmosfera, da ordem de 0,02 mbar, composta essencialmente de azoto e algum metano, sublimados dos gelos superficiais (figura 24.2).

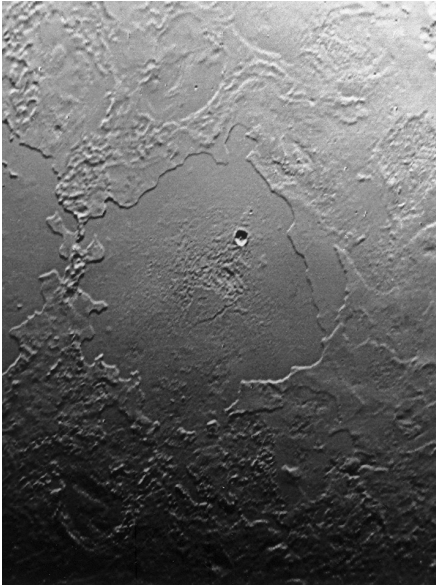


Figura 24.3 – Superfície de Tritão. Voyager/NASA/JPL. A imagem abrange cerca de 500 km de largura.

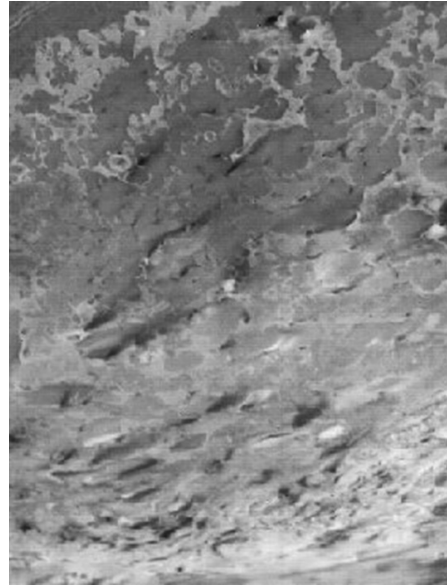


Figura 24.4 – Plumas vulcânicas em Tritão. Voyager/NASA/JPL.

A superfície de Tritão é pouco craterizada, observando-se algumas bacias baixas e pequenas crateras (figura 24.3). Os ciclos de gelo e degelo apagam os vestígios de impactos.

Mas a característica mais interessante de Tritão é o vulcanismo. Como já vimos, só existe vulcanismo activo, confirmado, em quatro planetas do Sistema Solar: a Terra, Io, Encélado e Tritão, mas o vulcanismo de Tritão dificilmente poderá ser comparável com os outros, dado que aqui a “crosta” de gelo sólido é atravessada por “lavas” de uma mistura de gelos pastosos, azoto e metano líquidos e poeiras líticas, mistura que se vaporiza à baixa pressão superficial produzindo plumas por vezes com mais de 100 km de altura (figura 24.4).

TRITÃO	
DADOS ASTRONÓMICOS	
Orbita	Neptuno
Distância média a Neptuno (km)	354 760
Excentricidade orbital	0,000016
Período sideral (dias)	-5,87685
Inclinação orbital	157,345°
Velocidade orbital média (km/s)	4,39
Período de rotação (dias)	-5,87685
Inclinação do eixo de rotação	0
Magnitude visual máxima	13,47
Número de Satélites	0
DADOS FÍSICOS	
Raio equatorial (km)	1353,4
Massa (kg)	0,214 X 10 ²³
Volume (km ³)	1,04 X 10 ¹⁰
Densidade média (g/cm ³)	2,050
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	0,78
Velocidade de escape equatorial (km/s)	1,45
Temperatura média à superfície (K)	38
Albedo normal	0,7
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	-
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	0.015
Composição da atmosfera	N ₂ , CH ₄
DADOS HISTÓRICOS	
Descobridor	W. Lassell
Data	1846
Missões espaciais	Voyager 2

Mas Tritão não é o único satélite de Neptuno (Tabela 24.1).

Pensa-se que as outras pequenas luas (figuras 24.5 a 24.11) poderão ser na sua maioria objectos capturados à Cintura de Kuiper pelo campo gravitacional de Neptuno. Isto é mais evidente para Nereide, cuja órbita é a mais excêntrica de qualquer planeta ou satélite do Sistema Solar: a sua distância a Neptuno varia entre os 1 353 600 e os 9 623 700 km.

Tabela 24.1 – Satélites de Neptuno

Ordem	Nome	Raio médio (km)	Eixo semi-maior (km)	Período (dias)	Ano	Descobridor
I	Tritão	1353.4 ± 0.9	354 800	-5.877	1846	Lassell
II	Nereide	170 ± 25	5 513 400	360.14	1949	Kuiper
III	Náíade	33 ± 3	48 227	0.294	1989	Terrile (Voyager 2)
IV	Talassa	41 ± 3	50 075	0.311	1989	Terrile (Voyager 2)
V	Despina	75 ± 3	52 526	0.335	1989	Synnott (Voyager 2)
VI	Galateia	88 ± 4	61 953	0.429	1989	Synnott (Voyager 2)
VII	Larissa	97 ± 3	73 548	0.555	1989	Reitsema et al. (Voyager 2)
VIII	Proteu	210 ± 7	117 647	1.122	1989	Synnott (Voyager 2)
IX	Halimede	31	15 728 000	-1 879.71	2003	Holman et al.
X	Psamate	20	46 695 000	-9 115.91	2003	Jewitt et al.
XI	Sao	22	22 422 000	2 914.07	2003	Holman et al.
XII	Laomedeia	21	23 571 000	3 167.85	2003	Holman et al.
XIII	Neso	30	48 387 000	-9 373.99	2003	Holman et al.

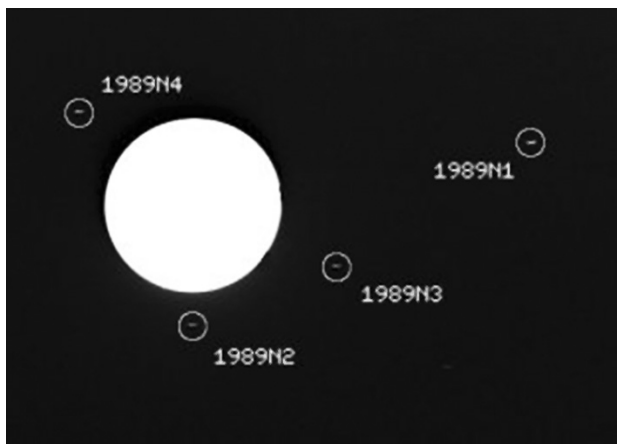


Figura 24.5 – Imagem original Voyager 2 onde se identificou Náíade pela primeira vez (1989N4). Também se vêem Talassa, Despina e Galateia (N2, N3 e N1, respectivamente). Voyager/NASA/JPL.



Figura 24.6 – Nereide. Voyager / NASA / JPL.

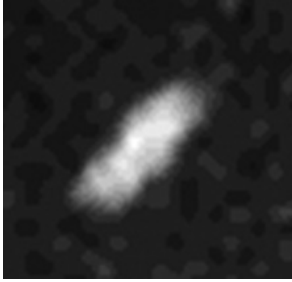


Figura 24.7 – Náíade ou Talassa. Voyager/NASA/JPL. O alongamento é um artefacto técnico.

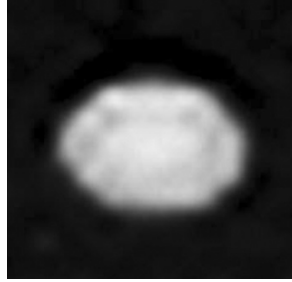


Figura 24.8 – Despina. Voyager/NASA/JPL. O alongamento é um artefacto técnico.



Figura 24.9 – Galateia. Voyager/NASA/JPL. O alongamento é um artefacto técnico.

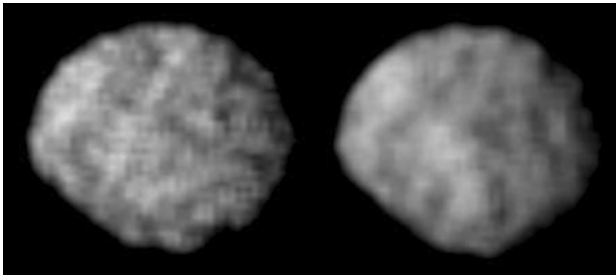


Figura 24.10 – Larissa. Voyager/NASA/JPL.

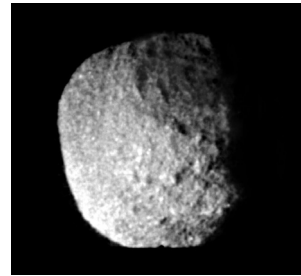


Figura 24.11 – Proteu. Voyager / NASA / JPL.

25. PLUTÃO E MAIS ALÉM...

Para lá da órbita de Neptuno começa o desconhecido.

Estas regiões nunca foram visitadas por uma sonda espacial, por isso toda a informação de que dispomos foi obtida a partir da Terra. Dada a distância a que Plutão se encontra do Sol (5 913 520 000 km em média), isto é insuficiente.

A NASA projectou uma ambiciosa missão – Pluto/Kuiper Express – para encontrar Plutão e os objectos da Cintura de Kuiper, que deveria ter partido em 2001, mas restrições orçamentais impediram que ela se concretizasse. Foi substituída pela missão New Horizons (Novos Horizontes), lançada em 19 de Janeiro de 2006, que deverá aproximar-se de Plutão em 2015.

Um pouco como Neptuno, Plutão foi descoberto quase por acidente, pelo americano Clyde Tombaugh, em 18 de Fevereiro de 1930, a partir do observatório criado por Percival Lowell perto de Flagstaff, Arizona, para observar Marte. Tombaugh baseou-se nas perturbações dos movimentos de Úrano e Neptuno e calculou a órbita de um planeta que causaria essas perturbações, vindo a encontrar Plutão. Mais tarde verificou-se que os cálculos originais estavam errados e que, de qualquer maneira, a órbita e a massa de Plutão não eram suficientes para perturbar as órbitas dos dois gigantes gasosos. De facto, Plutão é muito pequeno, sendo mesmo menor que sete luas do Sistema Solar: a Lua, os quatro satélites galileanos de Júpiter, Titã e Tritão.

A órbita de Plutão é estranha: não se encontra no plano da Eclíptica, fazendo com ela um ângulo de cerca de 17°, e é a mais excêntrica de todos os planetas, cerca de 0,25.

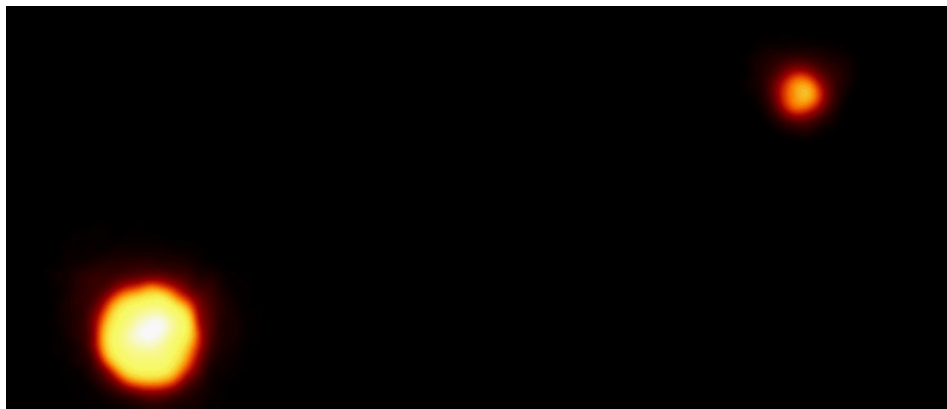
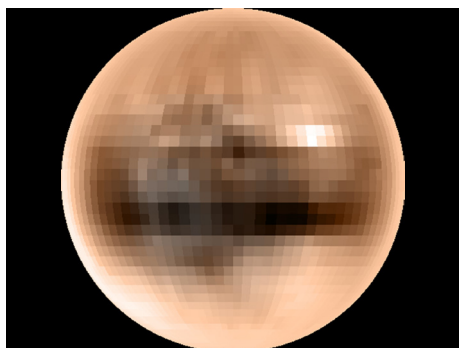
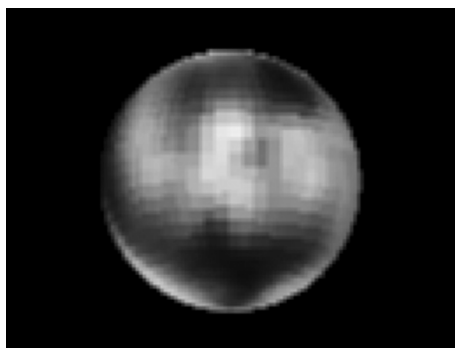


Figura 25.1 – Plutão e Caronte em verdadeiras proporções. HST/NASA/JPL.



*Figura 25.2 – Plutão. HST/NASA/JPL/SwRI/
Eliot Young et al. Esta imagem e a seguinte
são as de melhor resolução obtidas até
hoje.*



*Figura 25.3 Caronte. HST/NASA/JPL.
Cortesia de Marc W. Buie/ SwRI.*

Isto faz com que Plutão não seja sempre o planeta mais distante do Sol. Na verdade, entre 21 de Janeiro de 1979 e 11 de Fevereiro de 1999, Plutão esteve mais perto do Sol que Neptuno. Isto só voltará a acontecer em 2226. Note-se que, apesar das órbitas de Plutão e Neptuno se cruzarem, o risco de choque entre os dois planetas é praticamente nulo por as órbitas não estarem no mesmo plano.

A órbita de Plutão está em ressonância de 3:2 com a de Neptuno, ou seja, o período orbital do primeiro é exactamente 1,5 vezes o do segundo.

Supõe-se que Plutão tem uma atmosfera muito ténue, da ordem dos microbar, e só quando o planeta está próximo do periélio. Durante a maior parte do longo ano plutoniano (cerca de 248 anos terrestres) os gases que compõem a atmosfera (azoto?, monóxido de carbono?, metano?) estarão congelados.

Até 1978, havia alguns dados dificilmente explicáveis das características físicas, incluindo as astronómicas, de Plutão. Foi então que outro americano, Jim Christy, descobriu que Plutão possuía um satélite: Caronte (figuras 25.1 a 25.3).

Em alguns aspectos, Plutão e Caronte podem ser encarados mais como um planeta duplo (da mesma maneira que se fala de estrelas duplas) que como um planeta e o seu satélite. Primeiro pela razão das suas massas. Até 1978 supunha-se que a Lua era o maior satélite do Sistema Solar, comparativamente com o planeta-mãe. Essa honra passou a pertencer a Caronte, que tem cerca de 15% da massa de Plutão (os valores não são conhecidos ainda com suficiente exactidão). Além disso, não só a rotação de Caronte é síncrona com a de Plutão, virando sempre a mesma face para o planeta-mãe, o que é comum, mas também a rotação de Plutão é síncrona com a de Caronte, o que é, aparentemente, único.

No período entre 1985 e 1990 a Terra esteve alinhada com a órbita de Caronte e, assim, pudemos ver um eclipse parcial de Plutão a cada dia plutoniano (cerca de 6 dias terrestres). Isto permitiu que se fizessem as observações mais pormenorizadas até hoje dos dois corpos, nomeada-

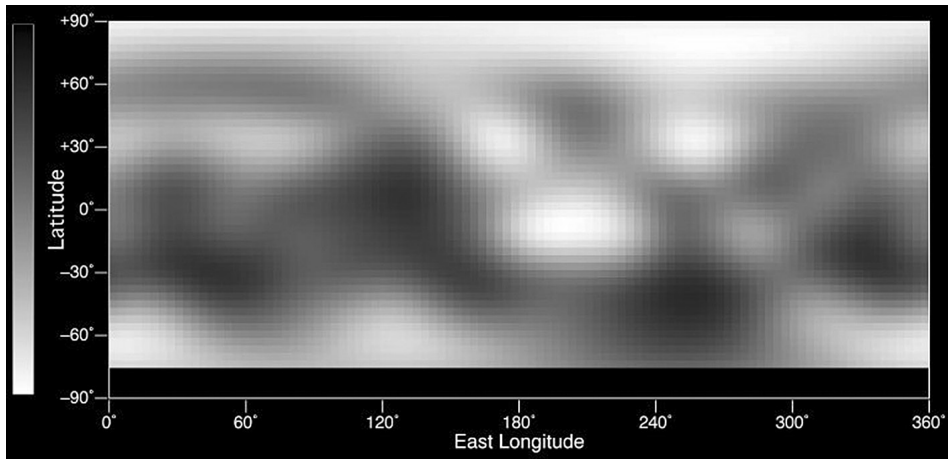


Figura 25.4 – Mapa de albedo de Plutão. HST/NASA/JPL.

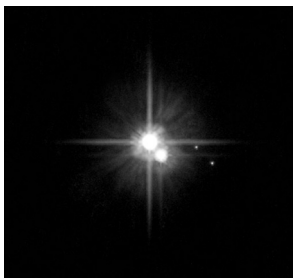


Figura 25.5 – O sistema plutoniano, como o conhecemos hoje. HST/NASA/JPL.

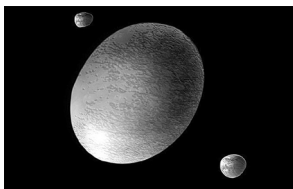


Figura 25.6 – Haumea e as suas luas. Concepção artística. NASA.

mente uma avaliação mais rigorosa das suas dimensões e densidades e mesmo a construção de mapas de albedo de Plutão (figura 25.4).

Os dados disponíveis actualmente indicam que Plutão e Caronte se terão formado independentemente, sendo possível que ambos sejam oriundos da cintura de Kuiper. Na verdade, enquanto a composição global de Plutão se assemelha à de Tritão, a de Caronte parece assemelhar-se mais à dos cometas.

Mas o misterioso Plutão reservava-nos mais surpresas. Em 15 de Maio de 2005, o telescópio espacial Hubble revelou dois satélites novos: Nix e Hydra (figura 25.5).

Entretanto, no dia 29 de Março do mesmo ano, duas equipas, uma do Observatório do Monte Palomar, EUA, e a outra do Observatório da Sierra Nevada, Espanha, anunciaram, quase simultaneamente, a descoberta de um novo planeta anão para lá de

Plutão, Haumea, com duas luas: Hi'iaka e Namaka (figura 25.6). A disputa científica entre as duas equipas ainda não está decidida, pelo que não há imagens reais livremente disponíveis da descoberta.

Dois dias depois, a equipa Observatório do Monte Palomar anunciou a descoberta de dois novos planetas anões: Makemake (figura 25.7) e Eris, este também com a sua própria lua: Disnomia (figura 25.8).

O Sistema Solar acaba aqui? Certamente que não! Em Dezembro de 2009 estavam catalogados 1130 objectos trans-neptunianos, incluindo os dez descritos acima, até aos limites da atracção gravitacional do Sol. Mais notáveis, potenciais planetas anões, são Orcus, Quaoar (ambos com uma lua) e Sedna, todos com dimensões comparáveis a Plutão (tabela 25.1).

Todos estes planetas, tão distantes, despertam a nossa curiosidade mas não influenciam a nossa vida. Mas há objectos do Sistema Solar de que ainda não falámos e que, ao longo da História, têm excitado as emoções humanas: os cometas.

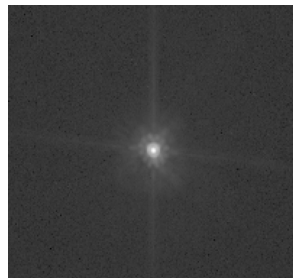


Figura 25.7 – Makemake. HST/NASA/JPL.



Figura 25.8 – Eris e Disnomia. HST/NASA/JPL.

Tabela 25.1 – Comparação de Plutão e Caronte com os maiores objectos trans neptunianos. Os valores são estimados com grandes incertezas.

Nome	Diâmetro (km)	Massa (X10 ²⁰ kg)	Raio orbital médio (UA)	Descoberto em	por
Orcus	1500	6.3	39.2	2004	M. Brown et al.
Plutão	2306	131	39.2	1930	C. Tombaugh
Caronte	1186	19	39.2	1978	J. Christy
Haumea	1436	40	43.1	2005	(em disputa)
Quaoar	1200	25	43.6	2002	C. Trujillo e M. Brown
Makemake	1500	40	45.8	2005	M. Brown et al.
Eris	2600	167	67.7	2005	M. Brown et al.
Sedna	1500	8-70	526.0	2003	M. Brown et al.

	PLUTÃO	CARONTE	NIX	HIDRA
DADOS ASTRONÓMICOS				
Orbita	Sol	Plutão	Plutão/Caronte	Plutão/Caronte
Distância média ao primário	39,23570 UA	19 600 km	48 708 km	64 749 km
Excentricidade orbital	0,2444	0	0,003	0,0051
Período sideral (anos)	247,6756 anos	6,38725 dias	24,856 dias	38,206 dias
Inclinação orbital	17,16°	0°	0,195°	0,212°
Período de rotação	-153,2928 horas	6,38725 dias	?	?
Inclinação do eixo de rotação	122,53°	0	?	?
Magnitude visual máxima	13,65	16,8	23,38 - 23,70	22,9 - 23,3
Número de Satélites	3	0	0	0
DADOS FÍSICOS				
Raio equatorial (km)	1153	593	44	36
Massa (kg)	0,0131 X 10 ²⁴	1,9 X 10 ²¹	1 X 10 ¹⁸	0,391 X 10 ¹⁸
Volume (km ³)	0,715 X 10 ¹⁰	0.1 X 10 ¹⁰	3,568 X 10 ⁵	1,954 X 10 ⁵
Densidade média (g/cm ³)	1,750	2	?	?
Gravidade à superfície no equador (m/s ²)	0,58	0,30	?	?
Velocidade de escape equatorial (km/s)	1,1	0,58	?	?
Temperatura média à superfície (K)	50	?	33 - 55 K	33 - 55 K
Albedo normal	0,3	0,5	0,04 - 0,35	0,04 - 0,35
Momento magnético dipolar (Gauss R ³)	-	?	?	?
Pressão atmosférica à superfície (mbar)	~0.003	?	?	?
Composição da atmosfera	CH ₄ , CO, N ₂	?	?	?
DADOS HISTÓRICOS				
Descobridor	C. Tombaugh	J. Christy	HST/Weaver <i>et al.</i>	HST/Weaver <i>et al.</i>
Data	1930	1978	2005	2005
Missões espaciais	New Horizons (2015)			

26. OS COMETAS, A CINTURA DE KUIPER E A NUVEM DE OORT

Os cometas são os únicos pequenos objectos do Sistema Solar que se conhecem desde a mais remota Antiguidade. A civilização chinesa, sempre empenhada em manter registos, tem referências ao cometa Halley (figura 26.1) desde pelo menos o ano 240 AC. Encontram-se registos gráficos do mesmo cometa na tapeçaria de Bayeux, normanda, do séc. XI, e nos frescos de Giotto na Basílica Superior de Assis, em Itália, do séc. XIV.

Actualmente estão catalogados mais de mil cometas, dos quais 232 têm períodos orbitais bem identificados, da ordem de 200 anos ou menos (tabela 29.1). Estes cometas têm a maior parte das suas órbitas no interior da órbita de Plutão. Os outros, a maioria, embora também sejam seguramente periódicos, têm órbitas de tal maneira longas e excêntricas que só são vistos e identificados uma vez à escala das civilizações humanas.

Na maior parte dos seus percursos orbitais, os cometas são aquilo a que alguém já chamou “bolas de neve sujas”. O principal componente dos cometas é o gelo (de água), contendo também outros gelos e poeiras.

Ao aproximarem-se do Sol os cometas tornam-se activos quando parte dos seus componentes se vaporiza. É quando se tornam visíveis, sem instrumentos, a partir da Terra.



Figura 26.1 – O Cometa Halley. Fotografia do Observatório Yerkes publicada originalmente no jornal New York Times de 3 de Julho de 1910.



Figura 26.2 – O Cometa Hale-Bopp. NASA/JPL/Jim Young. Observam-se nitidamente as duas caudas: a de poeiras, mais clara e nítida, e a iónica, azulada e mais fina.

Podem-se referir, assim, as seguintes partes de um cometa activo:

- a) O núcleo, relativamente sólido e estável, uma mistura de gelos e poeiras líticas;
- b) A coma ou cabeleira, uma nuvem densa de água, dióxido de carbono e outros gases, sublimados a partir do núcleo pelo calor solar;
- c) A nuvem de hidrogénio, invisível, com milhões de quilómetros de diâmetro e que se estende por dezenas de milhões de quilómetros;
- d) A cauda de poeiras, a mais evidente a olho nu, constituída por poeiras arrastadas pela libertação de gases;
- e) A cauda iónica, com até algumas centenas de milhões de quilómetros de extensão, composta de plasma por interacção com o vento solar.

Como os gases e as partículas sólidas têm densidades muito diferentes são defletidos de maneira diferente pelo vento solar, o que faz com que a cauda de poeiras e a cauda iônica nem sempre coincidam (figura 26.2).

A produção da cabeleira e das caudas tem como consequência que, a cada passagem pelo Sol, o cometa vai perdendo matéria até que, por último, o que resta é só o núcleo. Alguns pensam, por isso, que pelo menos metade dos asteróides possam ser cometas “mortos”.

A actividade cometária tem outras consequências para nós: as “chuvas de estrelas”. Estas grandes concentrações de pequenas estrelas cadentes que parecem irradiar todas do mesmo ponto no céu dão-se quando a Terra atravessa a órbita de um cometa. Assim, as Oriónidas, em Outubro, correspondem a fragmentos do cometa Halley e as Perseides, em Agosto, são restos do Swift-Tuttle.

É frequente os cometas despedaçarem-se ao encontrar planetas na sua órbita. Vemos vestígios desse processo em algumas superfícies planetárias como, por exemplo, em Ganimedes (figura 26.3). Mas o efeito mais espectacular de um cometa foi quando se viu, ao vivo e quase em tempo real, a desagregação e o impacto dos fragmentos resultantes do cometa Shoemaker-Levy 9 sobre Júpiter, no Verão de 1994 (figura 26.4).

Mas, afinal, de onde provêm os cometas? Por que razão é que a matéria que os constitui não se incorporou de forma “ordenada” nos planetas do Sistema Solar ou nos seus satélites?

Ao tentar responder a estas perguntas, o astrónomo Jan Oort notou que, não só nenhum cometa aparentava ter

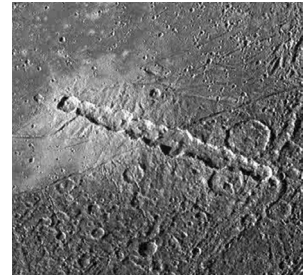


Figura 26.3 – Rosário de crateras de impacto atribuídas a um cometa em Ganimedes. Galileo/NASA/JPL.

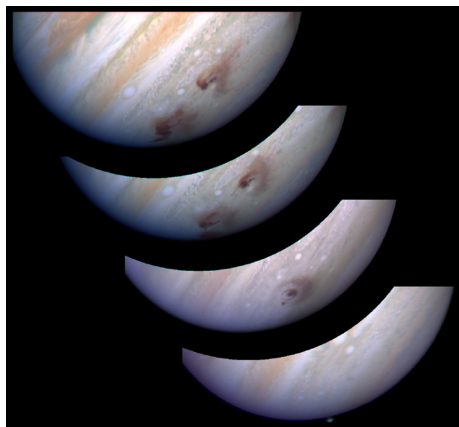


Figura 26.4 – Impacto de fragmentos do cometa Shoemaker-Levy 9 sobre Júpiter. HST/NASA. As imagens mostram, de baixo para cima: (1) a pluma de impacto do fragmento G, no limbo de Júpiter; (2) o local do impacto, menos de duas horas depois; (3) três dias mais tarde, a evolução atmosférica do local do impacto G (à esquerda) e o local do impacto do fragmento L (à direita); (4) dois dias mais tarde, a evolução dos dois locais de impacto.

como órbita uma cônica aberta (parábola ou hipérbole – que indicariam que provinha do espaço exterior), mas também que havia uma forte tendência para que os afélios das órbita elípticas dos cometas de período longo se agrupassem a distâncias da ordem das 50 000 UA.

Com base nesta observação, Oort sugeriu que os cometas de período longo provinham de uma região do espaço, que envolve o Sistema Solar a partir dessa distância. Os seus cálculos indicavam que essa região conteria cerca de 10^{12} (mil bilhões) de cometas, o que implica que conteria cerca de metade da massa do sistema solar. Essa região teórica é hoje conhecida como Nuvem de Oort.

Note-se que, a menos que haja missões espaciais especificamente destinadas a investigar a nuvem de Oort, nunca será possível observar a partir da Terra corpos tão pequenos a uma tão grande distância.

Os cometas de período curto provêm de uma região mais próxima, situada para lá da órbita de Neptuno (a partir de cerca de 30 UA): a Cintura de Kuiper, onde orbitam os pequenos planetas que vimos no capítulo anterior.

Estima-se actualmente que a Cintura de Kuiper possa conter cerca de 35 000 objectos maiores que 100 km – um



Figura 26.5 – A sonda Giotto. ESA.



Figura 26.6 – O núcleo do cometa Halley. Giotto/ESA.

número muito maior (e uma massa muito maior) que a cintura de asteróides.

O estudo dos cometas é do maior interesse para compreender a origem do Sistema Solar e mesmo, possivelmente, a origem da vida na Terra. Por esse motivo, as grandes agências espaciais têm projectado e realizado missões para o seu estudo.

A ESA levou a cabo com sucesso a missão Giotto (figura 26.5), que aproximou o núcleo do cometa Halley em 2001 e obteve as primeiras fotografias de alta resolução de um núcleo cometário (figura 26.6). Esta missão produziu várias surpresas: o núcleo do cometa Halley era o objecto mais escuro do Sistema Solar (albedo 0,03 – mais escuro que carvão), a sua densidade é muito baixa (cerca de 0.1 – o que implica ser poroso) e contém grandes quantidades de compostos orgânicos.

Em 1999 a NASA lançou a sonda Stardust com a missão principal de trazer para a Terra poeiras da cauda do cometa Wild 2. Depois de viajar cin-

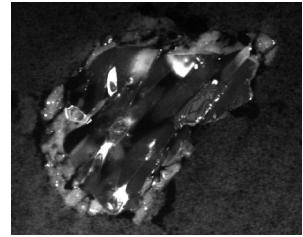


Figura 26.7 – Grão de olivina (forsterite) recolhido pela sonda Stardust. Stardust/NASA/JPL. A partícula tem cerca de $2\ \mu\text{m}$ (dois milésimos de milímetro) de extensão.

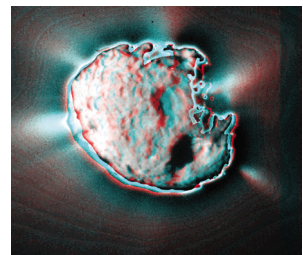


Figura 26.8 – Anaglifo do núcleo do cometa Wild 2. Stardust/NASA/JPL.

co mil milhões de quilómetros regressou, em 2006, e largou, no deserto do Utah, uma cápsula que continha as “poeiras de estrelas”: não só do cometa mas também do espaço interplanetário. Depois de analisadas, as poeiras revelaram conter silicatos cristalinos (olivinas e piroxenas), silicatos amorfos, hidrocarbonetos complexos e uma grande variedade de compostos orgânicos, incluindo o aminoácido glicina. Enfim: quase tudo o que é necessário para “semeiar” a vida num planeta.

A missão Stardust também nos mostrou imagens de excelente resolução do núcleo do cometa Wild 2 (figura 26.8).



Figura 26.9 – O núcleo do cometa Tempel filmado pelo módulo de sobrevoo, cinco minutos antes do impacto. Deep Impact/NASA/JPL.

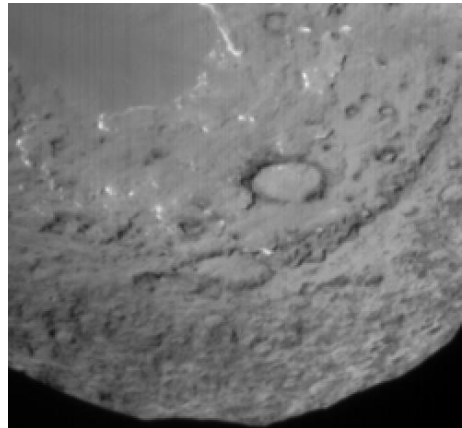


Figura 26.10 – O núcleo do cometa Tempel filmado pelo módulo de impacto, 90 segundos antes do impacto. Deep Impact/NASA/JPL.

Mas as imagens mais detalhadas que temos de um núcleo cometário foram obtidas pela missão Deep Impact. Lançada em 12 de Janeiro de 2005, esta missão destinava-se a largar – deixar cair – uma sonda com 370 kg na superfície

do núcleo do cometa 9P/Tempel de modo a observar e analisar a cratera produzida e a nuvem de poeiras levantadas. Em 4 de Julho do mesmo ano a missão foi levada a cabo com total sucesso. As figuras 26.9 a 26.12 mostram a sequência do impacto.

Apesar de todos os meios técnicos que vimos até aqui, a Astronomia é hoje a última ciência em que os amadores têm um papel importante. Na verdade, a maioria dos cometas são descobertos por astrónomos amadores, muitas vezes com instrumentos modestos.

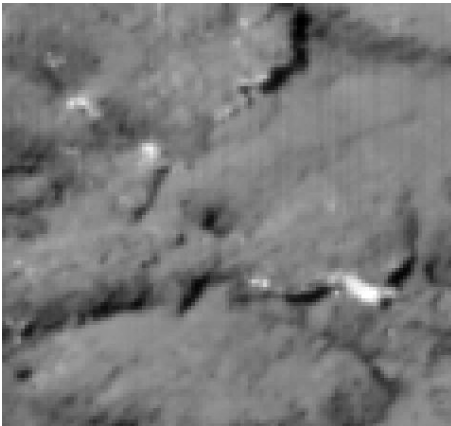


Figura 26.11 – O solo do núcleo do cometa Tempel filmado pelo módulo de impacto, 30 segundos antes do impacto. Deep Impact/NASA/JPL.

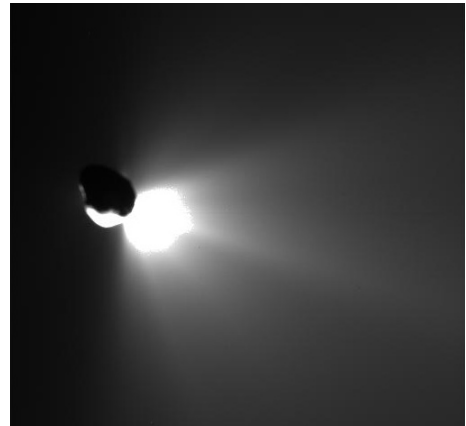


Figura 26.12 – O momento do impacto filmado pelo módulo de sobrevoo. Deep Impact/NASA/JPL.

Tabela 26.1 – Nomes dos cometas periódicos.

1P/Halley	43P/Wolf-Harrington	85P/Boethin
2P/Encke	44P/Reinmuth	86P/Wild
3D/Biela	45P/Honda-Mrkos-Pajdušáková	87P/Bus
4P/Faye	46P/Wirtanen	88P/Howell
5D/Brorsen	47P/Ashbrook-Jackson	89P/Russell
6P/d'Arrest	48P/Johnson	90P/Gehrels
7P/Pons-Winnecke	49P/Arend-Rigaux	91P/Russell
8P/Tuttle	50P/Arend	92P/Sanguin
9P/Tempel	51P/Harrington	93P/Lovas
10P/Tempel	52P/Harrington-Abell	94P/Russell
11P/Tempel-Swift-LINEAR	53P/Van Biesbroeck	95P/Chiron
12P/Pons-Brooks	54P/de Vico-Swift-NEAT	96P/Machholz
13P/Olbers	55P/Tempel-Tuttle	97P/Metcalf-Brewington
14P/Wolf	56P/Slaughter-Burnham	98P/Takamizawa
15P/Finlay	57P/du Toit-Neujmin-Delporte	99P/Kowal
16P/Brooks	58P/Jackson-Neujmin	100P/Hartley
17P/Holmes	59P/Kearns-Kwee	101P/Chernykh
18D/Perrine-Mrkos	60P/Tsuchinshan	102P/Shoemaker
19P/Borrelly	61P/Shajn-Schaldach	103P/Hartley
20D/Westphal	62P/Tsuchinshan	104P/Kowal
21P/Giacobini-Zinner	63P/Wild	105P/Singer
22P/Kopff	64P/Swift-Gehrels	106P/Schuster
23P/Brorsen-Metcalf	65P/Gunn	107P/Wilson-Harrington
24P/Schaumasse	66P/du Toit	108P/Ciffréo
25D/Neujmin	67P/Churyumov-Gerasimenko	109P/Swift-Tuttle
26P/Grigg-Skjellerup	68P/Klemola	110P/Hartley
27P/Crommelin	69P/Taylor	111P/Helin-Roman-Crockett
28P/Neujmin	70P/Kojima	112P/Urata-Nijjima
29P/Schwassmann-Wachmann	71P/Clark	113P/Spitaler
30P/Reinmuth	72D/Denning-Fujikawa	114P/Wiseman-Skiff
31P/Schwassmann-Wachmann	73P/Schwassmann-Wachmann	115P/Maury
32P/Comas Solá	74P/Smirnova-Chernykh	116P/Wild
33P/Daniel	75D/Kohoutek	117P/Helin-Roman-Alu
34D/Gale	76P/West-Kohoutek-Ikemura	118P/Shoemaker-Levy
35P/Herschel-Rigollet	77P/Longmore	119P/Parker-Hartley
36P/Whipple	78P/Gehrels	120P/Mueller
37P/Forbes	79P/du Toit-Hartley	121P/Shoemaker-Holt
38P/Stephan-Oterma	80P/Peters-Hartley	122P/de Vico
39P/Oterma	81P/Wild	123P/West-Hartley
40P/Väisälä	82P/Gehrels	124P/Mrkos
41P/Tuttle-Giacobini-Kresák	83D/Russell	125P/Spacewatch
42P/Neujmin	84P/Giclas	126P/IRAS

127P/Holt-Olmstead	163P/NEAT	199P/Shoemaker
128P/Shoemaker-Holt	164P/Christensen	200P/Larsen
129P/Shoemaker-Levy	165P/LINEAR	201P/LONEOS
130P/McNaught-Hughes	166P/NEAT	202P/Scotti
131P/Mueller	167P/CINEOS	203P/Korlević
132P/Helin-Roman-Alu	168P/Hergenrother	204P/LINEAR-NEAT
133P/Elst-Pizarro	169P/NEAT	205P/Giacobini
134P/Kowal-Vávrová	170P/Christensen	206P/Barnard-Boattini
135P/Shoemaker-Levy	171P/Spahr	207P/NEAT
136P/Mueller	172P/Yeung	208P/McMillan
137P/Shoemaker-Levy	173P/Mueller	209P/LINEAR
138P/Shoemaker-Levy	174P/Echeclus	210P/Christensen
139P/Väisälä-Oterma	175P/Hergenrother	211P/Hill
140P/Bowell-Skiff	176P/LINEAR	212P/NEAT
141P/Machholz	177P/Barnard	213P/Van Ness
142P/Ge-Wang	178P/Hug-Bell	214P/LINEAR
143P/Kowal-Mrkos	179P/Jedicke	215P/NEAT
144P/Kushida	180P/NEAT	216P/LINEAR
145P/Shoemaker-Levy	181P/Shoemaker-Levy	217P/LINEAR
146P/Shoemaker-LINEAR	182P/LONEOS	218P/LINEAR
147P/Kushida-Muramatsu	183P/Korlević-Juric	219P/LINEAR
148P/Anderson-LINEAR	184P/Lovas	220P/McNaught
149P/Mueller	185P/Petrew	221P/LINEAR
150P/LONEOS	186P/Garradd	222P/LINEAR
151P/Helin	187P/LINEAR	223P/Skiff
152P/Helin-Lawrence	188P/LINEAR-Mueller	224P/LINEAR-NEAT
153P/Ikeya-Zhang	189P/NEAT	225P/LINEAR
154P/Brewington	190P/Mueller	226P/Pigott-LINEAR-Kowalski
155P/Shoemaker	191P/McNaught	227P/Catalina-LINEAR
156P/Russell-LINEAR	192P/Shoemaker-Levy	228P/LINEAR
157P/Tritton	193P/LINEAR-NEAT	229P/Gibbs
158P/Kowal-LINEAR	194P/LINEAR	230P/LINEAR
159P/LONEOS	195P/Hill	231P/LINEAR-NEAT
160P/LINEAR	196P/Tichý	232P/Hill
161P/Hartley-IRAS	197P/LINEAR	
162P/Siding	198P/ODAS	

(Página deixada propositadamente em branco)

27. GLOSSÁRIO

Achatamento polar. Razão entre os raios polar e equatorial de um planeta, sempre <1 pelo efeito centrífugo da rotação.

Acicular. Em forma de agulha.

Acondritos. Meteoritos líticos cuja textura não apresenta **côndrulos**.

Acreção. Junção de corpos por atracção gravitacional, tendo como consequência a formação de corpos maiores.

Afélio. É a distância maior a que um planeta se encontra do Sol, na sua órbita.

Albedo. É a relação entre a luz reflectida por um corpo e a luz que nele incidiu. Varia entre zero (completamente negro – nenhuma luz é reflectida) e um (toda a luz é reflectida).

Alóctone. Material que se formou num sítio diferente daquele onde se encontra.

Altimetria. Distribuição das altitudes numa superfície.

Alvo. Rochas onde cai um meteorito, designado então por **impactor**.

Andesítica (composição). Semelhante à composição química dos andesitos e dioritos, rochas constituídas essencialmente por silicatos de cálcio e sódio; geoquimicamente intermédia a básica.

Anular. Em forma de anel.

Apoapse. Ponto na órbita de um satélite mais longe do planeta mãe.

Apogeu. É a distância maior a que um satélite se encontra da Terra, na sua órbita.

Ascensão recta. É uma das coordenadas astronómicas. A **A. R.** de um astro é o ângulo medido sobre o equador celeste, no sentido directo, entre o ponto vernal e a intersecção do meridiano celeste do astro com o equador celeste. Geralmente refere-se em horas ($1h = 15^\circ$).

Astenosfera. Zona subjacente à **litosfera** num planeta. Encontra-se num estado pastoso, o que permite que se dêem correntes de convecção, se o calor interno do planeta o permitir. É definida pelas velocidades de propagação das ondas sísmicas.

Asteróide. Rocha errante, de pequena dimensão (só se conhecem 25 A. com mais de 200 km de diâmetro).

Atmosfera. 1. Camada de gases que envolve um planeta. Enquanto nos planetas telúricos a atmosfera é fina, a maior parte do volume dos planetas gigantes é a sua A. Divide-se geralmente em duas grandes camadas: troposfera e estratosfera. 2. Unidade de pressão atmosférica. Corresponde a 100 000 N/m². A pressão atmosférica média ao nível do mar, na Terra, é de 1atm.

Aurora. Brilho colorido na **ionosfera** de um planeta, causado pela interacção entre o próprio campo magnético e o vento solar. Ocorrem sempre em torno dos pólos magnéticos planetários, podendo ser **A. boreais**, a Norte, e **A. austrais**, a Sul.

Bacia. Grande cratera de impacto, frequentemente sem bordos definidos.

Bar. Unidade de pressão atmosférica, desactualizada. 1bar \cong 1atm.

Basáltica (composição). Semelhante à composição química dos basaltos e gabros, rochas constituídas essencialmente por silicatos de cálcio; geoquimicamente básica.

Bólide. Um meteorito que explode. É feminino: uma **B.**

Cabeleira. Nuvem de gases e poeiras que rodeiam o núcleo activo de um cometa. **O m. q. coma.**

Caldeira. Depressão circular ou sub-circular originada pelo abatimento das paredes de uma chaminé vulcânica.

Calote polar. Revestimento, de gelo, das regiões polares de alguns planetas (Terra e Marte, p. ex.).

Campo magnético dipolar. É o campo magnético de um corpo que pode ser representado como se esse corpo tivesse no seu centro um íman com dois pólos, N e S. Para um planeta ter um **C. M. D.**, tem que ter no seu interior fluidos condutores em movimento por correntes de convecção, que provocam o efeito de um dínamo.

Caótico. Processo ou fenómeno que, embora siga leis bem conhecidas e determinadas, aparenta ser aleatório, ou seja, não pode ser previsto com rigor a longo prazo.

Carbonatos. Minerais compostos quimicamente por carbono e oxigénio, associados a outros elementos, como o cálcio ou o magnésio.

Os calcários são misturas de carbonatos.

Catena. Cadeia de crateras.

Cauda. Um cometa pode ter duas C.: a C. de poeiras e a C. iónica.

Cavus. Depressão irregular.

Chaos. Terreno irregular, muito fracturado ou com muitos blocos soltos de rocha.

Chasma. Canhão. Vale longo e profundo, de bordos abruptos.

Ciclo solar. Variação quase periódica (11 anos) da actividade do Sol.

Cintura de Kuiper. Zona do espaço, envolvente do Sistema Solar, para lá da órbita de Neptuno (cerca das 30 UA), de onde provêm a maioria dos cometas de período curto.

Cinturas de radiações. São zonas toroidais do espaço envolvente dos planetas com campo magnético dipolar, onde o campo captura iões provenientes do vento solar. A Terra tem duas: as cinturas de Van Allen.

Clasto. Fragmento de rocha que foi transportado, por processos magmáticos ou sedimentares.

Colles. Pequeno monte.

Coma. O m. q. cabeleira.

Cometa. Corpo de órbita muito excêntrica, composto de uma mistura de gelos e partículas sólidas. Ao aproximar-se do Sol torna-se activo, individualizando-se então o núcleo, a cabeleira, a nuvem de hidrogénio, a cauda de poeiras e a cauda iónica. Classificam-se arbitrariamente como de período curto (<200 anos), provenientes da cintura de Kuiper, longo (>200 anos) ou não-periódicos (período desconhecido), provenientes da **nuvem de Oort**.

Condritos. Meteoritos líticos, cuja textura apresenta **côndrulos**.

Côndrulo. Pequena esfera (da ordem do mm) de minerais fundidos, característica de textura dos **condritos**.

- Cone de estilhaçamento.** Fractura cónica, estriada, produzida pelo impacto de um meteorito sobre uma rocha frágil, homogénea, de grão fino.
- Conjunção.** Dois astros estão em C. quando estão próximos sobre a esfera celeste (para um observador na Terra), ou seja, quando os seus valores de **ascensão recta** e **declinação** são próximos.
- Convecção.** Movimento de materiais fluidos por acção da temperatura: os materiais mais quentes (menos densos) sobem e os mais frios (mais densos) descem.
- Convectiva (zona).** Camada solar, acima da zona radiativa e abaixo da fotosfera, onde a energia é transportada por convecção.
- Coordenadas astronómicas equatoriais.** Vd. **ascensão recta** e **declinação**.
- Cores falsas.** A maioria das imagens recolhidas por detecção remota apresentam-se em gradações de cinzento mas, como foram obtidas através de filtros, indicam-nos as intensidades da radiação na banda de comprimentos de onda do filtro. Por exemplo, uma zona negra numa imagem obtida através de um filtro azul indica que, nessa zona, o planeta não reflecte nem emite a cor azul. Assim, para termos imagens com um aspecto real, somam-se várias imagens, em que os cinzentos foram substituídos por cores: cores reais no caso de as imagens terem sido obtidas através de filtros na gama de comprimentos de onda da luz visível, cores falsas se alguma das imagens tiver sido obtida em comprimentos de onda invisíveis, como o ultravioleta, o infravermelho ou os raios X.
- Coroa.** Camada solar mais exterior, acima da cromosfera, constituída por um plasma muito difuso (cerca de 0.1 microbar) e muito quente – 2 000 000 K.
- Corona.** Elemento ovóide numa superfície planetária. Característico de Vénus.
- Coronógrafo.** Telescópio especial que permite ocultar a maioria da luz solar e observar apenas a sua atmosfera, provocando artificialmente quase o mesmo efeito de um eclipse total.

Correlação. Definição das relações de idades entre unidades geológicas distantes.

Cratera. Depressão circular ou sub-circular numa superfície planetária. São de dois tipos: C. de impacto, causadas pela queda de meteoros, e C. vulcânicas, causadas por vulcões.

Craterismo. Conjunto de processos que conduzem à formação de crateras de impacto, e suas consequências.

Cristalino. Material totalmente composto de cristais, em que os átomos, moléculas ou iões se encontram geometricamente ordenados.

Cromosfera. Camada solar acima da **fotosfera** e abaixo da **coroa**, só detectável por **espectroscopia**.

Crosta. É a parte mais exterior dos planetas telúricos. Define-se pela composição das rochas. Na Terra, e nos planetas onde tenha havido tectónica, há dois grandes tipos de C.: C. continental, com 25 a 50 km de espessura e de composição média granítica; C. oceânica, com 6 a 11 km de espessura e de composição média basáltica. Adj.: crustal.

Datação radiométrica. Vd. **Geocronologia**.

Declinação. É uma das coordenadas astronómicas. A **D.** de um astro é o ângulo, medido sobre o meridiano celeste do astro, entre este e o equador celeste.

Densidade. de uma substância, definia-se classicamente como a relação entre um dado volume dessa substância e o mesmo volume de água pura a 4 °C e 1 atm, pelo que não tinha unidades. É hoje mais habitual referir a **D.** em g/cm^3 , que, contudo, não é uma unidade **SI** de medidas, ou kg/m^3 que, sendo-o, nunca entrou no uso corrente por ser pouco prática.

Detecção remota. Estudo de uma superfície planetária através da análise de imagens dessa superfície, recolhidas a várias altitudes, a várias horas, com várias resoluções e em vários comprimentos de onda.

Diagénesse. Conjunto de processos que transformam um sedimento solto, desagregado, numa rocha sedimentar consolidada.

Diferenciação. É o processo de separação de materiais pela sua composição. D. gravítica se os materiais se separam pelas suas densidades; D. química se os materiais se separam pelas suas composições químicas.

Dinamometamorfismo. Metamorfismo causado pela força do impacto de meteoritos ou por explosões.

Directo (sentido). Sentido de **rotação** ou **translação** que, quando visto do pólo Norte celestial, descreve um movimento no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

Disco proto-planetário. Fase da origem de um sistema planetário, em que a proto-estrela já está bem definida e condensada, sendo orbitada por um disco de matéria que irá dar origem aos planetas.

Dorsum. Crista.

Dunítica (composição). Semelhante à composição química dos dunitos, rochas constituídas essencialmente por silicatos de magnésio e ferro; geoquimicamente ultrabásica, extrema.

Eclipse. Ocultação de um astro pela sombra, ou pelo corpo, de outro. Pode ser total ou parcial.

Eclíptica. Plano da órbita da Terra.

Efeito de estufa. Alguns gases, o mais importante dos quais o dióxido de carbono, têm nos planetas o mesmo efeito que os vidros que tapam uma estufa: deixam entrar a maior parte da radiação solar mas não deixam sair os raios infravermelhos (caloríficos). Isto tem como consequência um aumento da temperatura da superfície planetária. Vénus é, assim, mais quente que Mercúrio, embora esteja mais distante do Sol, e a Terra é cerca de 35° C mais quente do que seria sem este efeito, permitindo assim a existência de vida.

Efeito Joule. Aquecimento de um condutor percorrido por uma corrente eléctrica.

Efusivo (vulcanismo). Erupção vulcânica calma e lenta, sem episódios explosivos.

Ejecta. Material projectado de uma cratera de impacto aquando da sua formação.

Elongação. Distância angular entre dois astros; em particular, entre um planeta e o Sol.

Eólico. Relacionado com o vento.

Erupção. Ascensão de **magma** à superfície, onde toma o nome de lava, por um vulcão.

Escarpa. Alinhamento, ou **lineação**, de estruturas topográficas de desenvolvimento vertical. Normalmente corresponde a fenómenos geológicos, como **falhas**.

ESA. Agência Espacial Europeia, *European Space Agency*.

Espectroscopia. Técnica que permite determinar a composição de uma substância pela discriminação dos vários comprimentos de onda (espectro) em que emite radiação. Quando distinguimos um rubi de uma safira, pela cor, estamos a fazer uma análise espectroscópica intuitiva. O rubi e a safira têm quase a mesma composição química global (óxido de titânio), mas o rubi transmite a luz que o atravessa num comprimento de onda que corresponde à cor vermelha, por ter impurezas de ferro, e a safira transmite no azul, por ter impurezas de crómio.

Estratigrafia. Ramo da Geologia que estuda a datação relativa dos corpos de rochas. Os seus dois princípios mais gerais são muito simples e, por isso, apresentam inúmeras excepções: uma rocha (ou uma estrutura, como uma cratera) é mais antiga que a rocha que a cobre; uma rocha é mais antiga que a rocha que a corta.

Estratosfera. Região superior, mais fria, de uma atmosfera planetária, acima da troposfera. Na **E.** geralmente não há grandes movimentos verticais dos gases mas pode haver muito fortes correntes horizontais (**correntes de jacto**).

Estrela. Corpo com massa suficiente para que, no seu interior, se dêem reacções de **fusão nuclear**.

Estrutura. Arranjo geométrico das relações entre rochas ou unidades das mesmas.

Excentricidade (orbital). Relação entre os comprimentos do eixo menor e do eixo maior de uma órbita; é uma medida do afastamento da órbita em relação à circunferência.

Exobiologia. Ramo da Biologia que estuda a possibilidade da existência de vida fora da Terra.

Explosivo (vulcanismo). Erupção vulcânica violenta, com grande libertação de gases e emissão de partículas sólidas a grandes alturas e distâncias. Grandes e continuados episódios de V. E. podem acentuar muito o efeito de estufa à escala planetária.

Extremófilo. Organismo que vive em condições ambientais extremas, muito diferentes das normais à superfície da Terra: temperaturas muito altas ou muito baixas, ausência de luz, quimismo do meio muito ácido ou muito alcalino, ausência de oxigénio livre. A existência, na Terra, de organismos extremófilos, leva os exobiólogos a crer que possam ocorrer noutros planetas, como no subsolo de Marte, ou no oceano subsuperficial de Europa.

Fácula. Região pequena, muito brilhante, da **fotosfera**.

Falcadas. Vd. **fases**.

Falha. Fractura na crosta de um planeta, em que há, ou houve, movimento relativo entre os dois bordos. As falhas numa superfície planetária indicam uma de duas coisas (geralmente muito difíceis de distinguir): ou a existência de uma **tectónica** ou movimentos por contracção do volume do planeta.

Falhas de Kirkwood. Zonas sem **asteróides** na cintura principal, causadas pelo campo gravitacional de Júpiter.

Fases. As mais conhecidas são as **F.** da Lua, por ordem: nova (totalmente escura), primeira falcada (menos de metade iluminada), quarto crescente (metade iluminada), primeira gibba (mais de metade iluminada), cheia (totalmente iluminada), segunda gibba, segunda falcada e quarto minguante. Mercúrio e Vénus também apresentam todas estas fases; os outros planetas apresentam só as fases gibosa e cheia.

Flexus. Lineação curva.

Fluctus. Terreno onde se evidencia ter havido fluxos (de água ou lava).

Foliação. Estrutura planar.

Fossa. Depressão longa e estreita.

Fotomontagem. Imagem onde se associaram várias outras, muitas vezes sem a preocupação de manter a coerência nas distâncias, dimensões, iluminação, perspectivas.

Fotomosaico. Imagem global obtida a partir da junção, como num quebra-cabeças, de várias imagens parciais.

Fotosfera. É a superfície visível do Sol, relativamente fria, 5800K, acima da zona convectiva e abaixo da cromosfera.

Frente de choque. Limite exterior da magnetosfera planetária, onde o vento solar, supersônico, é desacelerado para velocidades subsônicas.

Fusão nuclear. Reações típicas das elevadíssimas pressões e temperaturas dos núcleos estelares, onde se criam elementos mais pesados, como o hélio, a partir de elementos mais leves, como o hidrogênio, com grande libertação de energia.

Galileanos (satélites). Diz-se dos satélites de Júpiter que foram descobertos por Galileu: Io, Europa, Ganimedes e Calisto.

Gelo. Designa geralmente a fase sólida da água, mas também de outros compostos que ocorrem normalmente na Terra como gases ou líquidos, como o metano, o dióxido de carbono ou o amoníaco.

Geocronologia. Ramo da Geologia que estuda a datação absoluta (idade em anos) de rochas e minerais a partir das concentrações de alguns elementos químicos e seus isótopos.

Geofísica. Ciência que aplica ao estudo da Terra e dos planetas os métodos da Física. A Geofísica inclui a Meteorologia, a Hidrologia, a Sismologia e o estudo da gravidade e do magnetismo planetários.

Geoquímica. Ramo da Geologia que estuda a composição química das rochas e minerais.

Gibas. Vd. fases.

Gradiente térmico. É a variação da temperatura com a profundidade no interior de um planeta. Na Terra, o gradiente geotérmico é de cerca de 0,03 °C/m, em média.

Granítica (composição). Semelhante à composição química dos granitos, rochas constituídas essencialmente por silicatos de potássio e sodico-cálcicos, com sílica livre; **geoquimicamente** ácida.

Gravidade. Força que atrai entre si todos os corpos com massa, na razão directa das suas massas e na razão inversa dos quadrados das distâncias entre os corpos.

HED. Tipo de **acondritos** que se supõe, com base em fortes evidências, provirem do **asteróide** 4 Vesta. Iniciais dos **meteoritos** padrão deste tipo: Howarditos, Eucritos, Diogenitos.

Heliocêntrico. Com centro no Sol.

Heliopausa. Superfície onde o **vento solar** encontra o meio interestelar ou o vento solar de outras estrelas.

Heliosfera. Espaço no interior da **heliopausa**. Contém todo o Sistema Solar.

Hemisfério de ataque. O H. que está voltado no sentido do movimento de translação.

Hemisfério de fuga. O H. que está voltado no sentido contrário ao do movimento de translação.

Hemisfério. Meio planeta.

Hidrosfera. Conjunto dos materiais líquidos da superfície planetária.

Ígnea (rocha). Vd. **magmática**.

Impactor. Designação dada a um **meteorito** no momento do impacto.

Inclinação. 1. **I. orbital**, é o ângulo entre o plano da órbita de um planeta e a **Eclíptica**. Por definição, a **I. O.** da Terra é 0°. A **I. O.** de um satélite é o ângulo entre o plano da sua órbita e o plano equatorial do seu planeta-mãe. 2. **I. axial**, é o ângulo entre o eixo de rotação de um planeta e o plano da sua órbita.

Infravermelho. Radiação electromagnética de comprimentos de onda mais longos que o vermelho.

Ionosfera. Região rica em iões da **estratosfera** superior de um planeta

Isóbara. Linha que une pontos com a mesma pressão atmosférica.

JAXA. Agência espacial japonesa.

Joviano. Relativo a Júpiter.

JPL. Laboratório de propulsão a jacto (*Jet Propulsion Laboratory*), é o principal “empreiteiro” do espaço.

K. O kelvin é uma unidade de temperatura absoluta, de amplitude igual ao mais comum grau celsius; $0\text{ K} = -273\text{ °C}$.

Labes. Deslizamento de terreno.

Labirintbus. Complexo de vales que se intersectam.

Lacus. “Lago”.

Lagrangiano (ponto). Pontos numa órbita planetária, localizados 60° à frente e 60° atrás do planeta.

Lamelar. Em forma de lâmina.

Lava. Magma que ascendeu à superfície.

Libração. Movimentos do eixo da Lua que permitem que, ao longo do ano, vejamos um pouco mais de 50% da superfície do nosso satélite.

Limbo. Limite observável de um corpo.

Limite de Roche. Distância mínima a que um satélite pode chegar de um planeta sem ser destruído pelas forças de maré. Se o planeta e o satélite tiverem densidades iguais, o **L. R.** é de 2446 vezes o raio do planeta.

Linea. Linha, lineação.

Lineação. Estrutura linear.

Lítico. Relativo a rochas.

Litosfera. É a camada exterior, nos planetas telúricos, composta por rochas no estado sólido. É definida pelas velocidades de propagação das ondas sísmicas.

lua. Com minúscula, o m. q. satélite natural.

Luz cendrada. O m. q. luz cinzenta.

Luz cinzenta. Luz (solar) reflectida pela Terra de tal modo que permite ver a zona escura da Lua. O m. q. luz cendrada.

MA. Milhões de anos.

Magma. Material pastoso, a alta temperatura, constituído por uma mistura de silicatos e voláteis.

Magmática (rocha). Rocha que se originou a partir da solidificação, por arrefecimento, de um magma. O m. q. ígnea.

Magnetocauda. Porção da magnetosfera que é empurrada e deformada pelo vento solar, “para trás” do planeta.

Magnetopausa. Superfície da magnetosfera planetária onde os campos magnéticos do planeta e do vento solar se anulam.

Magnetosfera. Zona de influência do campo magnético de um planeta, onde este domina o campo produzido pelo vento solar. Nunca tem a forma esférica: as M. dos planetas são toros muito deformados pelo vento solar.

Magnitude estelar aparente. Medida do brilho aparente de uma estrela (ou planeta). É uma escala logarítmica inversa, aberta, em que uma descida de um grau de magnitude corresponde a um aumento de aproximadamente 2.5 vezes no brilho. Para o Sistema Solar varia entre -26.8 (Sol) e 14.7 (Plutão em oposição). À vista desarmada conseguimos ver astros com brilho até cerca da magnitude 6.

Mancha solar. Área vista como escura na fotosfera, por ser mais fria que esta.

Manto. É a parte de um planeta telúrico que está limitada exteriormente pela crosta e interiormente pelo núcleo.

Maré (forças de). Atracção gravitacional exercida sobre um planeta pelos outros corpos vizinhos: satélites, planetas, ou o próprio Sol. Estas forças provocam o efeito das marés, na Terra, muito nítido na hidrosfera (da ordem dos poucos metros), mas também existente na terra sólida (da ordem das dezenas de centímetros).

Mare. Palavra latina que significa “mar”. Usa-se, na Geologia planetária, para designar grandes bacias de impacto preenchidas por lavas basálticas.

Massa de Jeans. Limite para a massa de uma nebulosa acima do qual a força gravitacional que tende a contraí-la é maior que a agitação térmica, que tende a expandi-la.

Massa. É uma medida da quantidade de matéria de um corpo.

Mensa. Monte isolado, de superfície plana e flancos abruptos.

Metamórfica (rocha). Rocha que se originou por processos de metamorfismo.

Metamorfismo de impacto. Vd. **dinamometamorfismo**.

Metamorfismo. Conjunto de alterações **estruturais**, **texturais**, mineralógicas e químicas, processadas no estado sólido, que transformam uma rocha preexistente numa rocha diferente (**rocha metamórfica**) por acção de pressão, temperatura e/ou fluidos.

Meteorito. Parte de um **meteoróide** que sobrevive à passagem pela **atmosfera**.

Meteorização. Conjunto de processos que alteram as rochas pela sua exposição à atmosfera.

Meteoro. Fenómeno luminoso que se observa quando um **meteoróide** atravessa a **atmosfera** terrestre. Comumente chamado estrela cadente.

Meteoróide. Pequena rocha no espaço, geralmente proveniente das cinturas de **asteróides** ou das partículas sólidas largadas pelos **cometas** na sua órbita.

Mistura de impacto. Rochas fundidas no momento do impacto de um **meteorito**, compostas predominantemente por materiais das rochas alvo e, em menores proporções, por materiais do **impactor**.

Mons. Montanha.

Nadir. Ponto na esfera celeste que se encontra na vertical, abaixo do observador.

NASA. Agência espacial norte-americana (*North American Space Administration*).

NEA. Iniciais de *Near-Earth Asteroids*: **asteróides** próximos da Terra.

Nebulosa Solar. Nebulosa a partir da qual o Sistema Solar condensou há cerca de 4650 **MA**.

Nebulosa. Massa interestelar difusa de gases e poeiras.

NEO. Iniciais de *Near-Earth Objects*: objectos próximos da Terra, um conceito mais lato que **NEA**, incluindo alguns **cometas**.

Núcleo. É a parte mais central, mais quente e mais densa de um astro. Nos planetas, na maioria dos casos, é composto de metais (Fe, Ni) no estado sólido. Em alguns planetas (p. ex. a Terra) o N. subdivide-se

em N. interno (sólido) e N. externo (líquido). No Sol, é onde se processam as reacções de fusão nuclear, a 16 000 000 K e 250 000 000 000 atm.

Nuvem de hidrogénio. Envolvente, com milhões de km de diâmetro, de um cometa.

Nuvem de Oort. Zona do espaço, envolvente do Sistema Solar, a partir de cerca das 50 000 UA, de onde se pensa que provêm a maioria dos cometas de período longo e não-periódicos.

Obliquidade. Ângulo entre o plano equatorial e o plano orbital de um corpo. É o complementar da **inclinação axial**.

Oceanus. Oceano. Corresponde geralmente a grandes bacias deprimidas, de bordos indefinidos.

Oposição. Diz-se que um planeta está em O. (em relação à Terra) quando esta se encontra aproximadamente entre o planeta e o Sol.

Órbita. Percurso livre de um objecto no espaço em torno de outro objecto, ou de um ponto, sob acção da gravidade.

Palimpsesto. Genericamente, é um elemento (mineralógico, textural ou estrutural) herdado de processos anteriores. Especificamente, na descrição das superfícies de Ganimedes e Calisto, são estruturas circulares, ténues, que parecem marcar crateras de impacto que foram recobertas pelo reajustamento dos gelos superficiais.

Palus. Pântano. Como todos os outros termos relacionados com água, é um remanescente de uma época em que se imaginavam os planetas à semelhança da Terra.

Patera. Cratera pouco profunda, de bordos irregulares e complexos.

Penacho. Coluna de vapores e cinzas, de grande altura (em Io atingem 500 km), que marca uma erupção vulcânica. O m. q. **pluma**.

Periapse. Ponto na **órbita** de um **satélite** mais perto do **planeta-mãe**.

Peridotítica (composição). Semelhante à composição química dos peridotitos, rochas constituídas essencialmente por silicatos de cálcio, ferro e magnésio; **geoquimicamente** ultrabásica.

Periélio. É a distância menor a que um planeta se encontra do Sol, na sua órbita.

Perigeu. É a distância menor a que um satélite se encontra da Terra, na sua órbita.

Período sideral. Intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas de um planeta por um mesmo ponto da esfera celeste, como se fosse visto do Sol.

Período sinódico. Intervalo de tempo entre duas passagens de um planeta pela mesma fase (visto da Terra).

Peso. É uma medida das forças gravitacionais (da **gravidade**) que se exercem sobre um corpo.

Piroclastos. Material fragmentado emitido por uma **erupção** explosiva.

Placas (tectónicas ou litosféricas). Blocos tabulares em que se divide a **litosfera** de um planeta com **tectónica** activa.

Planeta. Corpo com massa suficiente para ter tomado forma aproximadamente esférica sob acção da gravidade, mas insuficiente para que no seu interior se dêem reacções de **fusão nuclear** (tornar-se-ia numa **estrela**).

Planeta-mãe. Corpo que é orbitado pelos seus **satélites**.

Planetas exteriores. Planetas que estão mais longe do Sol que a cintura de asteróides principal: Júpiter, Saturno, Úrano e Neptuno.

Planetas gigantes. Júpiter, Saturno, Úrano e Neptuno.

Planetas inferiores. Planetas que estão mais perto do Sol que a Terra: Mercúrio e Vénus.

Planetas interiores. Planetas que estão mais perto do Sol que a cintura de asteróides principal: Mercúrio, Vénus, Terra e Marte.

Planetas superiores. Planetas que estão mais longe do Sol que a Terra: Marte, Júpiter, Saturno, Úrano e Neptuno.

Planetas telúricos. São os planetas mais densos, de composição semelhante à Terra. Incluem-se aqui Mercúrio, Vénus e Marte mas também a Lua, os satélites **galileanos** de Júpiter, Titã e Tritão, por exemplo.

Planetesimal. Corpo hipotético, com entre 100 m e 10 km de diâmetro, for-

mado por acreção de poeiras no disco da Nebulosa Solar. A acreção de P. terá dado origem aos planetas.

Planitia. Planície.

Planum. Planalto.

Plasma. Fluido totalmente ionizado. O vento solar é um plasma.

Pluma. 1. Massa de magma em ascensão. 2. O m. q. penacho.

Poder resolvente. Vd. resolução.

Poder separador. Vd. resolução.

Polarização. Capacidades das ondas electromagnéticas vibrarem em planos determinados.

Ponto quente. Ponto sob a crosta onde o gradiente térmico é muito mais acentuado, numa zona onde se supõe não haver criação da crosta. Causado pela ascensão de plumas magmáticas.

Ponto vernal. Ponto em que o equador celeste e a Eclíptica se intersectam, no início da Primavera, no hemisfério Norte. O m. q. ponto equinoctial de Março.

Pressão atmosférica. É o peso da coluna de gases no ponto de medida. A P. A. normal ao nível do mar, na Terra, é de 1 atm (atmosfera), que equivale à pressão exercida na base de uma coluna de mercúrio com 760 mm.

Proeminência. Erupção de gases quentes acima da fotosfera solar.

Projecção cartográfica. Forma de representação de corpos com volume, aproximadamente esféricos, num mapa plano. Vd. projecção estereográfica e projecção de Mercator.

Projecção de Mercator. Projecção cartográfica em que se projecta a esfera sobre um cilindro que a envolve, tocando-a apenas no equador. Por esse motivo, as áreas sofrem deformações cada vez maiores no sentido dos pólos.

Projecção estereográfica. Projecção cartográfica em que se representa uma parte apenas da esfera como um círculo, com ponto de vista exterior. Usa-se para representar as regiões polares dos planetas.

Promontorium. Cabo ou promontório.

Proto-estrela. Fragmento condensado, frio (2000 a 3000 K), de uma **nebulosa**, que virá a dar origem a uma **estrela**.

Pseudocratera. Cratera formada por uma **erupção freática** e não de origem meteorítica ou vulcânica.

Radiativa (zona). Camada solar, acima do **núcleo** e abaixo da **zona convectiva**, onde a energia é transportada por irradiação.

Raios cósmicos. Radiação electromagnética de muito alta energia. Podem provir do Sol ou do espaço extra-solar.

Raios X. Radiação electromagnética de comprimentos de onda mais curtos que o **ultravioleta**, mas mais longos que os **raios cósmicos**.

Regio. Região.

Regolito. Camada de rochas fracturadas e poeiras, originadas pelo impacto de **meteoritos** e pelos agentes de **meteorização**, que constitui a parte mais exterior das **litosferas** planetárias.

Resolução. É, para um instrumento, a distância angular mínima entre dois pontos à qual eles se conseguem distinguir. O m. q. **poder resolvente** ou **poder separador**.

Ressonância orbital. Relação simples (1/2, 2/3, 3/5, ...) entre os períodos orbitais de dois corpos.

Retracção. Diminuição de volume, por arrefecimento ou por perda de voláteis.

Retrógrado (sentido). Sentido de **rotação** ou **translação** que, quando visto do pólo Norte celestial, descreve um movimento no sentido dos ponteiros do relógio.

Rifte. Fractura na **litosfera** planetária causada por movimentos de extensão crustal.

Rima. Fissura.

Robóticas (sondas, naves, missões). O m. q. automáticas, não tripuladas.

Rotação síncrona. Dá-se quando um **satélite** tem o período de rotação igual ao de translação, voltando sempre a mesma face para o **planeta-mãe**. Só se conhece um caso em que o planeta-mãe também tem **R. S.** com o seu satélite: Plutão e Caronte.

Rotação. Movimento de um corpo em torno de um eixo que lhe é interior.

Satélite pastor. Satélite cujas forças gravitacionais limitam a extensão de um anel planetário.

Satélite. Corpo que orbita em torno de um corpo maior: o **planeta-mãe**.

Scopulus. Escarpa lobada ou irregular.

Sedimentação. Conjunto de processos que são fruto da interação da **litosfera**, da **hidrosfera** e da **atmosfera**. O ciclo sedimentar inclui a **meteorização**, o transporte a deposição e a **diagênese**.

Sedimentar (rocha). Rocha que se originou próximo da superfície planetária, por processos de **sedimentação**.

Sedimento. Conjunto de partículas, desagregadas, provenientes da **meteorização** de rochas pré-existentes.

SI. Sistema Internacional de medidas. É um conjunto convencional de unidades de medida, universalmente aceite. As suas unidades fundamentais são o metro (m), o quilograma (kg) e o segundo (s).

Sideral. Relativo às estrelas.

Siderito. Tipo de **meteorito** composto por ligas de ferro e níquel.

Siderófilos (elementos). Elementos químicos que acompanham o ferro nos processos de diferenciação. Encontram-se, por isso, nos meteoritos de tipo **siderito** e nos núcleos planetários. P. ex. irídio, ósmio, platina e paládio.

Siderólito. Tipo de meteorito composto por uma mistura de ligas de ferro e níquel e silicatos.

Silicatos. Minerais compostos quimicamente por silício e oxigénio, associados a outros elementos, como o alumínio, o sódio, o potássio, o cálcio ou o magnésio. O quartzo e os feldspatos são silicatos.

Sinus. Baía.

Sismo. Libertação brusca de energia mecânica nas rochas. Em termos planetários, o tipo de sismo claramente dominante é o causado pelo impacto de **meteoritos**. Na Terra, caso excepcional, dominam os sismos de origem **tectónica**.

Sismologia. Ramo da Geofísica que estuda a origem e a propagação das ondas sísmicas e a distribuição, no tempo e no espaço, dos sismos.

SNC. Tipo de **acondritos** que se supõe, com base em fortes evidências, provirem de Marte. Iniciais dos meteoritos padrão deste tipo: Shergotty, Nakhla, Chassigny.

sol. Com minúscula, designa o dia de um planeta, ou a sua duração, em dias e horas terrestres.

Subducção. Processo de mergulho de uma placa litosférica mais densa sob outra menos densa.

Sulcus. Pequenas **lineações** numa superfície planetária, de origem indistinta.

Tabular. Em forma de placa.

Tectónica. Conjunto de movimentos, principalmente horizontais, de grandes massas rochosas (placas) da **litosfera** de um planeta. Para haver uma **T.** têm que se verificar, cumulativamente, as seguintes condições: haver um forte gradiente térmico no planeta; haver uma diferenciação entre **litosfera** e **astenosfera**; haver correntes de convecção na astenosfera; haver água.

Temperatura. É uma medida da agitação molecular numa substância. Mede-se habitualmente em °C (graus celsius), embora a unidade SI seja o K (kelvin). 0 K (zero kelvin) é a temperatura teórica, inexistente no Universo, à qual as moléculas deixam de ter qualquer movimento; corresponde aproximadamente a -273° C.

Terminador. Linha que separa a zona iluminada pelo Sol da zona escura de um corpo.

Terra. Extensa massa de terra.

Tessera. Solo com estrutura poligonal, em mosaico, resultado do cruzamento de **lineações**.

Textura. Arranjo geométrico dos minerais na rocha.

Tholus. Pequeno monte.

Toroidal. Em forma de toro (*donut*).

Translação. Movimento de um corpo na sua **órbita**.

Troianos (satélites). Satélites que precedem e seguem a órbita de um corpo nos seus **pontos lagrangianos**.

Troposfera. A camada mais baixa da **atmosfera** planetária, onde se dá a convecção.

T-Tauri. Tipo de **estrela** jovem, pequena (cerca de 2 massas solares), produzindo fortíssimos jactos de partículas: o **vento T-Tauri**.

UA. Unidade Astronómica. Corresponde à distância média entre a Terra e o Sol: 149 597 870 km.

Ultramicrografia. Fotografia obtida por um microscópio electrónico.

Ultravioleta. Radiação electromagnética de comprimentos de onda mais curtos que o violeta.

Undae. Dunas

Vallis. Vale.

Van Allen (cinturas de). Vd. **Cinturas de radiações**.

Vastitas. Terras baixas de grande extensão.

Velocidade de escape. É a velocidade que é necessário conferir a um corpo para que este escape do campo gravitacional de um planeta, entrando em órbita.

Vento solar. Fluxo de plasma, muito pouco denso, proveniente do Sol a velocidades entre os 300 e os 500 km/s.

Vento T-Tauri. **Vento solar** de uma estrela tipo **T-Tauri**, muito mais energético que o normal.

Vidro diaplético. Vidro natural fruto de dinamometamorfismo.

Vidro. Material não cristalino, em que os átomos ou moléculas se encontram desordenados. Adj.: vítreo ou hialino.

Voláteis. Compostos componentes de um **magma** que se evaporam nas condições de pressão e temperatura vigentes nas superfícies planetárias. O exemplo mais comum é a água.

Vulcanismo. Processo de ascensão de materiais profundos à superfície, de controlo essencialmente térmico. É, a seguir ao **craterismo**, o prin-

cipal processo de modelação das superfícies planetárias. Na Terra (e em Io), os materiais que ascendem são magmas, sendo expelidos por vulcões como misturas de lavas, voláteis, fragmentos líticos e poeiras. Em Tritão, contudo, os vulcões expelem uma mistura de **gelos** pastosos, azoto e metano líquidos e poeiras líticas.

Vulcão-escudo. Vulcão em forma de cúpula achatada, larga e baixa, que corresponde à emissão de lavas fluidas (básicas).

Vulcão-panqueca. Tipo de pequeno **vulcão-escudo**, que só se encontrou em Vénus.

Widmanstätten (estruturas de). Na verdade são **texturas**, típicas dos **meteoritos** de tipo **siderito** em que os cristais das ligas metálicas se orientam em bandas, em mosaico.

Zénite. Ponto na esfera celeste que se encontra na vertical, acima do observador.

(Página deixada propositadamente em branco)

28. PARA CONHECER MAIS...

Como se disse na introdução, o melhor local para encontrar informação sobre o Sistema Solar é a Internet. Estes são alguns sítios úteis:

Astronomy Picture of the Day (cada dia, uma nova imagem, comentada por um astrónomo – faz uma excelente home-page!):

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa: <http://www.oal.ul.pt/caaul/>

Centro de Astrofísica da Universidade do Porto: <http://astro.up.pt>

Departamento de Ciências da Terra – Universidade de Coimbra: <http://www.uc.pt/cienterra>

ESA (Agência Espacial Europeia): <http://sci.esa.int>

Gazetteer of Planetary Nomenclature (toda a nomenclatura planetária): <http://planetarynames.wr.usgs.gov/>

Homeplanet (um planetário para Windows, de domínio público): <http://www.fourmilab.ch/homeplanet/homeplanet.html>

Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra: <http://www.uc.pt/iguc>

International Astronomical Union (União Astronómica Internacional): <http://www.iau.org/>

ISAS (Agência Espacial Japonesa): <http://www.isas.ac.jp/e/index.html>

JPL (o Jet Propulsion Laboratory - Laboratório de Propulsão a Jacto - Cal Tech/ NASA): <http://www.jpl.nasa.gov/index.cfm>

JPL/Solar System Exploration (o site da exploração do Sistema Solar do JPL): <http://sse.jpl.nasa.gov/index.html>

Maps of the Solar System (uma colecção de mapas das superfícies planetárias): <http://maps.jpl.nasa.gov/>

Planetary Geologic Mapping Program (Geologia planetária): <http://astrogeology.usgs.gov/Projects/PlanetaryMapping/>

NASA (Administração Espacial Norte-Americana): <http://www.nasa.gov>

National Space Science Data Center Lunar and Planetary Maps (mapas de alta resolução da Lua, Marte e Mercúrio): <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MapQuery.jsp>

Nineplanets – Planetary Picture List (uma enorme coleção de imagens e factos sobre o Sistema Solar): <http://www.seds.org/nineplanets/nineplanets/picturelist.html>

Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra (o Sol): <http://www.mat.uc.pt/~obsv/>

Observatório Astronómico da Universidade de Lisboa: <http://www.oal.ul.pt>

Russian Space Research Institute (a investigação espacial na Rússia hoje): <http://www.iki.rssi.ru/eng/index.htm>

Small Bodies Data Archives (dados sobre os pequenos corpos do Sistema Solar (asteróides, cometas e poeiras): <http://pdssbn.astro.umd.edu/sbnhtml/>

Space Telescope Science Institute (a melhor fonte de dados e imagens do Telescópio Espacial Hubble): <http://www.stsci.edu/resources/>

Spaceflight Now (astronáutica): <http://spaceflightnow.com/index.html>

The Extrasolar Planets Encyclopaedia (para saber mais sobre outros sistemas solares): <http://www.obspm.fr/encycl/encycl.html>

The Meteorite Market (um site de venda de meteoritos, com muita informação): <http://www.meteoritemarket.com>

The Nine Planets (uma enciclopédia): <http://www.seds.org/nineplanets/nineplanets/nineplanets.html>

The Planetary Society (Sociedade Planetária, fundada por Carl Sagan): <http://planetary.org/>

Views of the Solar System (a Enciclopédia do Sistema Solar, de Calvin Hamilton): <http://www.solarviews.com/solar/eng/homepage.htm>

Welcome to the Planets (do JPL, com muitas imagens): <http://pds.jpl.nasa.gov/planets/>

Zarya (a melhor fonte de informação sobre os programas espaciais soviético e russo): <http://www.zarya.info/>

29. CRONOLOGIA DA EXPLORAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

Listam-se, na tabela seguinte, todas as missões que tiveram algum sucesso, mesmo que não tenham cumprido integralmente o plano de missão (o que é mais frequente do que se pensa). Um exemplo extremo é a missão Mars Express / Beagle 2, em que o módulo de pouso Beagle 2 se despenhou em Marte sem nunca comunicar com a Terra. Mas chegou lá...

ANO	NOME	OBJECTIVO	PAIS
1957	Sputnik 1	Terra	URSS
	Sputnik 2	Terra	URSS
1958	Explorer 1	Terra	EUA
	Vanguard 1	Terra	EUA
1959	Luna 1	Lua	URSS
	Pioneer 4	Lua	EUA
	Luna 2	Lua	URSS
	Luna 3	Lua	URSS
1960	Pioneer 5	Espaço	EUA
1961	Venera 1	Vénus	URSS
	Vostok 1	Terra	URSS
	Ranger 1	Lua	EUA
	Ranger 2	Lua	EUA
	Ranger 3	Lua	EUA
1962	Ranger 4	Lua	EUA
	Mariner 2	Vénus	EUA
	Zond 1	Vénus	URSS
1964	Ranger 7	Lua	EUA
	Mariner 4	Marte	EUA
1965	Ranger 8	Lua	EUA
	Ranger 9	Lua	EUA
	Luna 5	Lua	URSS
	Luna 6	Lua	URSS
	Zond 3	Lua	URSS
	Luna 7	Lua	URSS
	Venera 2	Vénus	URSS
	Venera 3	Vénus	URSS
	Cosmos 96	Vénus	URSS

ANO	NOME	OBJECTIVO	PAÍS
	Luna 8	Lua	URSS
	Pioneer 6	Espaço	EUA
1966	Luna 9	Lua	URSS
	Luna 10	Lua	URSS
	Surveyor 1	Lua	EUA
	Lunar Orbiter 1	Lua	EUA
	Pioneer 7	Espaço	EUA
	Luna 11	Lua	URSS
	Surveyor 2	Lua	EUA
	Luna 12	Lua	URSS
	Lunar Orbiter 2	Lua	EUA
	Luna 13	Lua	URSS
1967	Lunar Orbiter 3	Lua	EUA
	Surveyor 3	Lua	EUA
	Lunar Orbiter 4	Lua	EUA
	Venera 4	Vénus	URSS
	Mariner 5	Vénus	EUA
	Surveyor 4	Lua	EUA
	Explorer 35 (IMP-E)	Lua	EUA
	Lunar Orbiter 5	Lua	EUA
	Surveyor 5	Lua	EUA
	Surveyor 6	Lua	EUA
	Pioneer 8	Espaço	EUA
1968	Surveyor 7	Lua	EUA
	Zond 4	Lua	URSS
	Luna 14	Lua	URSS
	Zond 5	Lua	URSS
	Pioneer 9	Espaço	EUA
	Zond 6	Lua	URSS
1969	Venera 5	Vénus	URSS
	Venera 6	Vénus	URSS
	Mariner 6	Marte	EUA
	Apollo 9	Lua	EUA
	Mariner 7	Marte	EUA
	Apollo 10	Lua	EUA
	Luna 15	Lua	URSS
	Apollo 11	Lua	EUA
	Zond 7	Lua	URSS
	Apollo 12	Lua	EUA
1970	Apollo 13	Lua	EUA
	Venera 7	Vénus	EUA
	Luna 16	Vénus	URSS
	Zond 8	Lua	URSS

ANO	NOME	OBJECTIVO	País
	Luna 17/Lunokhod 1	Lua	URSS
1971	Apollo 14	Lua	EUA
	Mariner 9	Marte	EUA
	Mars 2	Marte	URSS
	Mars 3	Marte	URSS
	Apollo 15	Lua	EUA
	Luna 18	Lua	URSS
	Luna 19	Lua	URSS
1972	Luna 20	Lua	URSS
	Pioneer 10	Júpiter	EUA
	Venera 8	Vénus	URSS
	Apollo 16	Lua	EUA
	Apollo 17	Lua	EUA
1973	Luna 21/Lunokhod 2	Lua	URSS
	Pioneer 11	Júpiter, Saturno	EUA
	Skylab	Terra	EUA
	Explorer 49 (ERA-B)	Lua	EUA
	Mars 4	Marte	URSS
	Mars 5	Marte	URSS
	Mars 6	Marte	URSS
	Mariner 10	Vénus	EUA
1974	Luna 22	Lua	URSS
	Luna 23	Lua	URSS
	Helios-A	Sol	EUA
1975	Venera 9	Vénus	URSS
	Venera 10	Vénus	URSS
	Viking 1	Marte	EUA
	Viking 2	Marte	EUA
1976	Helios-B	Sol	EUA
	Luna 24	Lua	URSS
1977	Voyager 2	Júpiter, Saturno, Úrano, Neptuno	EUA
	Voyager 1	Júpiter, Saturno	EUA
1978	Pioneer Venus 1	Vénus	EUA
	Pioneer Venus 2	Vénus	EUA
	ISEE-3	Sol	EUA/UE
	Venera 11	Vénus	URSS
	Venera 12	Vénus	URSS
1981	Venera 13	Vénus	URSS
	Venera 14	Vénus	URSS
1983	Venera 15	Vénus	URSS
	Venera 16	Vénus	URSS
1984	Vega 1	Vénus	URSS

ANO	NOME	OBJECTIVO	País
	Luna 8	Lua	URSS
	Pioneer 6	Espaço	EUA
1966	Luna 9	Lua	URSS
	Luna 10	Lua	URSS
	Surveyor 1	Lua	EUA
	Lunar Orbiter 1	Lua	EUA
	Pioneer 7	Espaço	EUA
	Luna 11	Lua	URSS
	Surveyor 2	Lua	EUA
	Luna 12	Lua	URSS
	Lunar Orbiter 2	Lua	EUA
	Luna 13	Lua	URSS
1967	Lunar Orbiter 3	Lua	EUA
	Surveyor 3	Lua	EUA
	Lunar Orbiter 4	Lua	EUA
	Venera 4	Vénus	URSS
	Mariner 5	Vénus	EUA
	Surveyor 4	Lua	EUA
	Explorer 35 (IMP-E)	Lua	EUA
	Lunar Orbiter 5	Lua	EUA
	Surveyor 5	Lua	EUA
	Surveyor 6	Lua	EUA
	Pioneer 8	Espaço	EUA
1968	Surveyor 7	Lua	EUA
	Zond 4	Lua	URSS
	Luna 14	Lua	URSS
	Zond 5	Lua	URSS
	Pioneer 9	Espaço	EUA
	Zond 6	Lua	URSS
1969	Venera 5	Vénus	URSS
	Venera 6	Vénus	URSS
	Mariner 6	Marte	EUA
	Apollo 9	Lua	EUA
	Mariner 7	Marte	EUA
	Apollo 10	Lua	EUA
	Luna 15	Lua	URSS
	Apollo 11	Lua	EUA
	Zond 7	Lua	URSS
	Apollo 12	Lua	EUA
1970	Apollo 13	Lua	EUA
	Venera 7	Vénus	EUA
	Luna 16	Vénus	URSS
	Zond 8	Lua	URSS
	Luna 17/Lunokhod 1	Lua	URSS

ANO	NOME	OBJECTIVO	País
1971	Apollo 14	Lua	EUA
	Mariner 9	Marte	EUA
	Mars 2	Marte	URSS
	Mars 3	Marte	URSS
	Apollo 15	Lua	EUA
	Luna 18	Lua	URSS
	Luna 19	Lua	URSS
1972	Luna 20	Lua	URSS
	Pioneer 10	Júpiter	EUA
	Venera 8	Vénus	URSS
	Apollo 16	Lua	EUA
	Apollo 17	Lua	EUA
1973	Luna 21/Lunokhod 2	Lua	URSS
	Pioneer 11	Júpiter, Saturno	EUA
	Skylab	Terra	EUA
	Explorer 49 (ERA-B)	Lua	EUA
	Mars 4	Marte	URSS
	Mars 5	Marte	URSS
	Mars 6	Marte	URSS
	Mariner 10	Vénus	EUA
1974	Luna 22	Lua	URSS
	Luna 23	Lua	URSS
	Helios-A	Sol	EUA
1975	Venera 9	Vénus	URSS
	Venera 10	Vénus	URSS
	Viking 1	Marte	EUA
	Viking 2	Marte	EUA
1976	Helios-B	Sol	EUA
	Luna 24	Lua	URSS
1977	Voyager 2	Júpiter, Saturno, Úrano, Neptuno	EUA
	Voyager 1	Júpiter, Saturno	EUA
1978	Pioneer Venus 1	Vénus	EUA
	Pioneer Venus 2	Vénus	EUA
	ISEE-3	Sol	EUA/UE
	Venera 11	Vénus	URSS
	Venera 12	Vénus	URSS
1981	Venera 13	Vénus	URSS
	Venera 14	Vénus	URSS
1983	Venera 15	Vénus	URSS
	Venera 16	Vénus	URSS
1984	Vega 1	Vénus	URSS
	Vega 2	Vénus	URSS
1985	Sakigake	1 Halley	Japão
	Giotto	1 Halley	UE

ANO	NOME	OBJECTIVO	PAÍS
	Suisei (Planet-A)	Halley	Japão
1988	Phobos 1	Marte	URSS
	Phobos 2	Marte	URSS
1989	Magellan	Vénus	EUA
	Galileo	Júpiter	EUA
1990	Hiten	Lua	Japão
	Hubble Space Telescope		EUA/UE
	Ulysses	Júpiter	EUA/UE
1994	Clementine	Lua	EUA
	WIND	Sol	EUA
1995	SOHO	Sol	EUA/UE
1996	NEAR	Eros	EUA
	Mars Global Surveyor	Marte	EUA
	Mars Pathfinder	Marte	EUA
1997	ACE	Sol	EUA
	Cassini/Huygens	Saturno, Titã	EUA/UE
	AsiaSat 3/HGS-1	Lua	China
1998	Lunar Prospector	Lua	EUA
	Deep Space 1 (DS1)	Cometas, Asteróides	EUA
	Mars Climate Orbiter	Marte	EUA
1999	Mars Polar Lander	Marte	EUA
	Stardust	Wild 2, Tempel 1	EUA
2001	2001 Mars Odyssey	Marte	EUA
	Genesis	Sol	EUA
2003	Hayabusa (Muses-C)	25143 Itokawa	Japão
	MER - Opportunity	Marte	EUA
	MER - Spirit	Marte	EUA
	Mars Express/Beagle 2	Marte	UE
	SMART 1	Lua	UE
2004	Rosetta	67P/Churyumov-Gerasimenko	UE
	MESSENGER	Mercúrio	EUA
2005	Deep Impact	9P/Tempel	EUA
	Mars Reconnaissance Orbiter	Marte	EUA
	Venus Express	Vénus	UE
2006	New Horizons	Plutão/Cintura de Kuiper	EUA
	Hinode	Sol	Japão/EUA
	STEREO	Sol	EUA
2007	Phoenix	Marte	EUA
	Kaguya	Lua	Japão
	Dawn	Ceres, Vesta	EUA
	Chang'e 1	Lua	China
2008	Chandrayaan 1	Lua	Índia
2009	Lunar Reconnaissance Orbiter	Lua	EUA

ANO	NOME	OBJECTIVO	País
2010	PICARD	Sol	UE
	Solar Dynamics Observatory	Sol	EUA
	PLANET-C	Vénus	Japão
	Chang'e 2	Lua	China
2011	Phobos-Grunt	Fobos, Marte	Rússia
	Yinghuo	Marte	China
	Juno	Júpiter	EUA
	GRAIL	Lua	EUA
	Mars Science Laboratory	Marte	EUA
2012	Luna-Glob	Lua	Rússia
2013	MAVEN	Marte	EUA
	Chang'e 3 Rover	Lua	China
	Chandrayaan 2	Lua	Índia/Rússia
	Selene-2	Lua	Japão
2014	BepiColombo	Mercúrio	UE/Japão
	Luna-Grunt	Lua	Rússia
	MoonLITE	Lua	GB
2015	Solar Orbiter	Sol	UE
	Solar Probe	Sol	EUA
	Chandrayaan 3	Lua	Índia
	Luna-Grunt 2	Lua	Rússia
2016	Venera-D	Vénus	Rússia
2017	Chang'e 4	Lua	China
	ILN Node	Lua	EUA
2018	ExoMars	Marte	UE
	Mars Sample Return Mission	Marte	EUA/UE
2019	US Moonwalk	Lua	EUA
2020	Europa Jupiter System Mission	Júpiter	EUA/UE
	Titan Saturn System Mission	Titã	EUA/UE
	Luniy-Polygon	Lua	Rússia
	Moon Orbiter	Lua	Coreia S
2025?	Missão Lunar tripulada	Lua	China
	Missão Lunar não tripulada	Lua	Coreia S
	Missão Lunar tripulada	Lua	Rússia
	Aurora - Missão Lunar tripulada	Lua	UE
2030?	Missão tripulada a Marte	Marte	EUA
	Aurora - Missão tripulada a Marte	Marte	UE
	Base lunar habitada	Lua	Japão

Imprensa da Universidade de Coimbra
Coimbra University Press

2010

