JOÃO MANUEL HENRIQUES BASÍLIO

O UNIVERSO À NOSSA ESCALA

ALGUMAS ANALOGIAS PARA MELHOR COMPREENDER GRANDEZAS NO UNIVERSO



Departamento de Matemática Aplicada

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Setembro 2001

JOÃO MANUEL HENRIQUES BASÍLIO

O UNIVERSO À NOSSA ESCALA

ALGUMAS ANALOGIAS PARA MELHOR COMPREENDER GRANDEZAS NO UNIVERSO



Departamento de Matemática Aplicada

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Setembro 2001

JOÃO MANUEL HENRIQUES BASÍLIO

O UNIVERSO À NOSSA ESCALA

ALGUMAS ANALOGIAS PARA MELHOR COMPREENDER GRANDEZAS NO UNIVERSO

Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
para obtenção do grau de Mestre em Ensino da Astronomia

Departamento de Matemática Aplicada
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Setembro / 2001

Aos meus pais

Agradecimentos

Realizar um trabalho desta envergadura parecia-me uma tarefa árdua e temerosa e por isso gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram a concretizar a elaboração deste trabalho, em especial:

Ao Professor Pedro Viana que sempre se disponibilizou quando solicitado, fornecendo sugestões e comentários que permitiram melhorar o trabalho,

À colega Leonor Cabral que, com as observações do céu nocturno efectuadas em conjunto, me permitiu um maior envolvimento na realização deste projecto,

À colega Margarida Carneiro que me ajudou na revisão do trabalho final,

À colega Fátima Afonso que me ajudou na tradução do resumo para francês,

À colega Helena Bernardino que me ajudou na tradução do resumo para inglês,

Ao colega João Nelson Ferreira pela sua participação nas observações nocturnas no âmbito das actividades do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira,

Aos alunos Andreia Nobre (10º ano), Gil Lemos (Ensino Nocturno), José Ricardo(10º ano) e Zélia Gouveia (11º ano) que, fazendo parte do Núcleo, concretizaram pequenos projectos (três deles foram inseridos neste trabalho),

Ao Conselho Executivo da Escola Secundária Domingos Sequeira que sempre facilitou a utilização das instalações e equipamento para concretização das actividades do Núcleo de Investigação em Astronomia,

Aos meu pais que, devido à idade avançada, deveriam ter tido um maior apoio mas que muitas vezes prescindiram dele, permitindo que pudesse dedicar-me mais tempo na elaboração deste projecto,

Muito Obrigado!

Resumo

As dimensões dos objectos celestes é de tal ordem que, muitas vezes, se perde a noção do seu tamanho, das distâncias a que se encontram, a energia que libertam ou o tempo necessário a alcançá-los. Para ajudar a perceber melhor essas dimensões procuraremos apresentar alguns exemplos comparativos do nosso dia-a-dia e, sempre que possível, com ilustrações de forma a tornar as dimensões do Universo mais acessíveis à nossa compreensão.

Começaremos por apresentar alguns dados físicos dos planetas que constituem o Sistema Solar, nomeadamente as distâncias a que se encontram e as suas dimensões, comparando-as com a dimensão do Sol. O Sistema Solar é descrito com algum pormenor relativamente à dimensão de cada planeta e algumas das suas características são apresentadas por comparação e analogia com objectos ou áreas de superfície terrestres conhecidas, mais acessíveis à compreensão humana. Citamos, o Monte *Olympus*, em Marte, que é cerca de 3 vezes mais alto que o monte Evereste ou os anéis de Júpiter, em que a espessura e dimensão do planeta é comparável à altura de uma lata de coca-cola com a altura da *CN Tower*.

Apresentaremos também alguns modelos construídos à escala, cujo objectivo é permitir visualizar a três dimensões os corpos celestes: modelos que relacionam dimensões dos planetas e o satélite natural de maior dimensão que o orbita; modelo tridimensional do Sistema Solar construído com objectos de fácil acesso, mostrando o Sol como um gigante em comparação com os planetas; localização da órbitas dos planetas sobre o mapa de Portugal, supondo que o Sol se situaria em Faro e Plutão em Melgaço comprimindo, deste modo, o Sistema Solar à dimensão de Portugal ou indicando um elefante e um girino como animais que têm a mesma proporção que existe entre a massa do Sol e a da Terra.

Para além do Sistema Solar, as dimensões aumentam brutalmente passando o Sol a ser um anão em comparação com estrelas supergigantes, como *Betelgeuse*. Devido à sua proximidade da Terra, o Sol é visto maior e mais brilhante do que as restantes estrelas; estas, apesar de se situarem a grandes distâncias de nós e entre si, são vistas como se estivessem todas a igual distância, tal como se observam casas numa colina longínqua.

As estrelas aglutinam-se em grupos de grandes dimensões, as galáxias, que, por sua vez se agrupam em enxames de galáxias e estes em superenxames.

Por fim, apresentaremos três réguas cósmicas relativas às dimensões, velocidades e idade do Universo comprimido em um ano. Cada uma delas fornece uma noção da grandeza do Universo.

Résumé

Les dimensions des objets célestes sont tellement gigantesques que l'on perd, assez souvent, la notion de leur grandeur, de la distance où ils se situent, de l'énergie qu'ils libèrent ou du temps nécessaire pour les atteindre. Pour mieux faire comprendre ces dimensions, on essaiera de présenter quelques exemples comparatifs de notre quotidien, enrichis par les images possibles, de façon à rendre les dimensions de l'Univers accessibles à notre compréhension.

On commencera par présenter quelques donnés physiques des planètes qui constituent le Système Solaire, nommément en ce qui concerne leurs distances et leurs dimensions, en les comparant avec la dimension du Soleil. Le Système Solaire sera parcouru, assez minutieusement, relativement à la dimension de chaque planète en question, présentant des analogies avec des objets ou des superficies terrestres connues, parmi d'autres exemples accessibles à la compréhension. Par exemple, le Mont *Olympus*, sur Mars, est environ trois plus haut que le mont Everest ou l'épaisseur des anneaux de Jupiter et la dimension de la planète est comparable à la hauteur d'une boite de coca cola par rapport à la hauteur de la *CN Tower*.

On présentera aussi quelques modèles construits dans le but de faire visualiser, à trois dimensions, les corps célestes comme, par exemple, des modèles à l'échelle qui mettent en rapport les dimensions des planètes et de leur satellite naturel de dimension plus significative; un modèle tridimensionnel du Système Solaire construit par des objets accessibles, visant montrer le Soleil en tant qu'un géant par rapport aux planètes; la localisation de l'orbite des planètes sur la carte du Portugal, situant le Soleil à Faro et faisant passer Pluton à Melgaço, comprimant le Système Solaire jusqu'à la dimension du Portugal ou établissant un rapport entre la masse du Soleil et celle de la Terra - un éléphant et un têtard.

Quand on passe au-delà du Système Solaire, les dimensions augmentent brutalement – le Soleil devient, alors, un nain par rapport aux étoiles supergéants, comme, par exemple, *Betelgeuse*. À cause de la proximité de la Terre, le Soleil est vu avec plus d'intensité que les autres étoiles; celles-ci quoiqu'elles se trouvent à de grandes distances de nous et entre elles-mêmes, sont vues comme si elles se trouvaient toutes à la même distance, tel qu'on observe des maisons sur une colline lointaine. Les étoiles se groupent en galaxies, des ensembles aux dimensions extra-ordinaires qui, à leur tour, se regroupent en amas de galaxies et ceux-ci en superamas de galaxies.

Finalement, on présentera trois règles cosmiques dans le but de mettre en rapport des ordres de grandeur de dimensions, vitesses et âge de l'Univers comprimé en un an. Chaque règle fournit une notion de la grandeur de l'Univers.

Abstract

The dimensions of the celestial bodies are such that we aren't often quite aware of their size, the distance they lie at, the energy they release or the time we would need to reach them. To help us understand those dimensions a little better, we hereby try to give some comparative examples of our everyday life and, whenever possible, illustrations are added in order to make the dimensions of the Universe more accessible to human understanding.

To start with, we introduce some physical data of the planets that make up the Solar System, namely their distance from us and among themselves and their dimensions, compared to the size of the Sun. The size of every planet of the Solar System is given with detail and some of their characteristics are presented by comparison and analogy with objects or well-known surface areas of the earth, more accessible to human understanding. We cite Mount Olympus, in Mars, which is about three times higher than Mount Everest or the thickness of the rings of Jupiter and the size of the planet, which can be compared to the height o coca-cola can as high as CN Tower.

We also present some scale models in order to enable a three-dimensional visualization of the celestial bodies: models that relate the size of planets to their largest natural satellite; a three-dimensional model of the Solar System, built with quite accessible objects, showing the Sun as a giant, compared to planets; location of the planets' orbit on the map of Portugal, assuming that the Sun would lie in Faro and Pluto in Melgaço, this way compressing the Solar System into the size of Portugal or comparing the size proportion between an elephant and a tadpole to the one between the mass of the Sun and of the Earth, respectively.

Beyond the Solar System, dimensions increase enormously and the Sun becomes a dwarf, compared to supergiants stars, like Betelgeuse. Owing to its proximity to the Earth, the Sun looks larger and its light is more intense than the other stars'; these ones, despite being very distant from us and from one another, are seen as if they were all at the same distance, just like a group of houses standing on a faraway hill. Stars bind together in groups of dimensions, the galaxies, which also group together in clusters of galaxies, giving way to superclusters.

Finally, we present three cosmic rules showing dimensions, speed and age of the Universe compressed into one year. Each of them provides a notion of the vastness of the Universe.

Índice geral

Página

Índice de figuras ... x

Índice de quadros ... xli

Índice de tabelas ... xlii

1. Introdução ... **1**

2. Sistema Solar ... **4**

2.1 A caminho do espaço ... 4

2.2 O Sistema Solar ... 6

2.3 Mercúrio ... 8

2.4 Vénus ... 9

2.5 O planeta Terra ... 11

2.6 Lua ... 15

2.7 Marte ... 17

2.8 Júpiter ... 20

2.9 Os satélites Galileanos ... 22

2.10 Saturno ... 25

2.11 Os satélites de Saturno ... 30

2.12 Úrano ... 32

2.13 Satélites de Úrano ... 34

2.14 Neptuno ... 35

2.15 Satélites de Neptuno ... 38

2.16 Plutão e Caronte ... 39

2.17 Algumas comparações entre planetas: volumes e áreas de superfície ... 41

2.18 As órbitas dos planetas ... 49

2.19 Velocidade nas órbitas ... 54

2.20 Pequenos corpos do Sistema Solar ... 56

2.21 Sistema Terra, Lua e *Space Shuttle* à escala de uma bola de praia ... 60

2.22 Sistema Solar à escala da velocidade da luz ... 62

2.23 Sol: a nossa estrela local ... 64

3. Para além do Sistema Solar **79**

3.1 Estrelas na vizinhança do Sol 79

3.2 A Via Láctea e as galáxias vizinhas 91

3.3 Uma viagem pelo Universo 99

4. Réguas Cósmicas **105**

5. Conclusão **109**

Bibliografia **111**

Índice de figuras

Página

Capítulo 1

Figura 1.1 ... ... **1**

Montagem fotográfica da Terra e da Lua à mesma escala. São visíveis parte da América do Sul e do Oceano Pacífico. Na Lua é visível a zona raiada da cratera *Tycho*. As imagens foram registadas pela sonda *Galileo*, em 1992. (Adaptado de http://solarviews.com/r/earth/earthmo3.jpg).

Figura 1.2 ... ... **2**

Galáxia espiral ESO269-57. Registo efectuado a 30 de Abril de 1999. (Adaptado de http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1999/phot-20c-99-preview.jpg).

Figura 1.3 ... ... **3**

Imagem do Nordeste da África e da Península Arábica registada de uma altura de cerca de 500 000 km pela sonda *Galileo*, a 9 de Dezembro de 1992, quando deixou a Terra em direcção a Júpiter. (Adaptado de http://www.solarviews.com/r/earth/arabian.jpg).

Capítulo 2

Figura 2.1 ... ... **4**

Esquema da atmosfera terrestre com a identificação das diversas camadas e a altura aproximada de cada uma. A altura média do vaivém espacial assim como de satélites estão assinaladas por um pequeno símbolo. (Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod).

Figura 2.2 ... ... **5**

Esboço esquemático referente ao lançamento de um objecto de uma determinada altura, com diversas velocidades iniciais de lançamento. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.3 ... ... **5**

Lançamento do Vaivém Espacial. Durante os dois minutos seguintes, os foguetes laterais queimarão todo o combustível separando-se de imediato do tanque principal para serem reutilizados em outras missões. A órbita da nave será atingida 8 a 9 minutos após a descolagem. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/sts/sts02.gif).

Figura 2.4 ... ... **7**

Esquema representativo das dimensões do Sistema Solar utilizando duas escalas distintas: uma referente às distâncias a que se encontram os planetas do Sol e a outra referente às di-

mensões dos planetas e do Sol. Para representar a totalidade do Sol nesta escala, seriam necessárias duas folhas A4.

Figura 2.5 ... ... **8**

Comparação entre o planeta Mercúrio e a Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 82,9 cm de comprimento e o Sol teria 8,08 m de diâmetro - cerca de 27 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.6 ... ... **9**

Comparação entre o planeta Vénus e a Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 35,9 cm de comprimento e o Sol teria 3,5 m de diâmetro - cerca de 12 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.7 ... ... **9**

Continente australiano com uma área de 7 682 300 Km2 e um comprimento de 3 983 km, na parte mais larga.(Adaptado de http://kids.infoplease.lycos.com/ipka/A0748529.html).

Figura 2.8 ... ... **9**

O TGV francês. Pode atingir 513,3 km/h. (Adaptado de http://www.raileurope.com/us/).

Figura 2.9 ... ... **10**

Planisfério terrestre (projecção azimutal de Lambert), com a localização da Escandinávia no interior do rectângulo. (Adaptado de *Grande Atlas do Mundo*, Público/Planeta Agostini).

Figura 2.10 ... ... **10**

Pormenor da região escandinava, assinalada na figura 2.9, cuja área conjunta de Noruega, Suécia e Dinamarca é de 817 092 km^2. (Adaptado de *Folheto Informativo do Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias*, Comissão Europeia, 4º trimestre de 1998).

Figura 2.11 ... ... **11**

Esboço do planeta Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 33,6 cm de comprimento e o Sol teria 3,3 m de diâmetro - cerca de 11 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.12 ... ... **11**

A velocidade de rotação da Terra é cerca de 14 vezes a de um automóvel e 7 vezes maior que a velocidade regular do comboio TGV (246 km/h). O esboço não está à escala. (Adaptado de *O Grande Livro do Espaço*, de Sue Becklake).

Figura 2.13 ... ... **11**

A velocidade de translação da Terra é cerca de 49 vezes superior à velocidade do Concorde

(2179 km/h). O esboço não está à escala. (Adaptado de *O Grande Livro do Espaço*, de Sue Becklake).

Figura 2.14 ... ... **12**

Esquema comparativo em percentagem da superfície de terra firme e da superfície coberta de água, no planeta Terra. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.15 ... ... **12**

Esquema ilustrativo da distribuição da água existente na Terra: oceanos, sob forma de gelo e a água conjunta dos lençóis subterrâneos, lagos, rios e atmosfera. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.16 ... ... **12**

Relação entre toda a água existente no globo e a água conjunta dos lagos, dos rios e da chuva: uma banheira vulgar cheia de água (80 litros) para um quarto de colher de chá (0,625 cm^3).

Figura 2.17 ... ... **13**

A imensidão do Oceano Atlântico, Santa Cruz, Torres Vedras.

Figura 2.18 ... ... **13**

Cubos imaginários com capacidade para armazenar as águas de cada oceano. Seriam necessários cerca de 100 montes Evereste para alcançar a altura do cubo correspondente ao Pacífico, cerca de 77,5 montes para o oceano Atlântico e 73,3 montes para o oceano Índico. Os esboços estão à escala. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.19 ... ... **14**

Comparação entre as alturas dos montes Evereste, Quilimanjaro, Fuji, Vesúvio (em cima) e alguns edifícios mais altos construídos pelo homem (em cima, à esquerda das montanhas e na mesma escala). Em baixo, no esboço ampliado, pode identificar-se, entre outros edifícios altos, a Torre *Eiffel* (321 m), a Grande Pirâmide (147 m) e a Estátua da Liberdade (93 m). (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.20 ... ... **15**

Comparação entre as dimensões da Lua e as da Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro de 90,5 cm de comprimento (cerca de 3 vezes o comprimento de uma folha A4). O Sol teria 8,8 m de diâmetro, equivalente à altura de 3 andares. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.21 ... ... **15**
A distância da Terra à Lua seria percorrida em cerca de 7 dias 4 horas e 40 minutos à velocidade supersónica do Concorde. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.22 ... ... **15**
Terra, Lua e Austrália. O diâmetro da Lua é equiparável à extensão da Austrália. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.23 ... ... **16**
Lua: cratera de Clavius (a) e sua localização perante as restantes no local (b) e na esfera lunar (c). A cratera tem uma área equivalente a 46% da área de Portugal. (Adaptado de http://www.astrosurf.com/cidadao/crater_clavius_01.jpg).

Figura 2.24 ... ... **16**
Mare Imbrium (a) e sua localização na esfera lunar (b). O Mar das Chuvas tem uma área de cerca 10,3 vezes a área de Portugal. (Figura a: adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman; Figura b: adaptado de http://www.astrosurf.com/cidadao/mare_imbrium.jpg).

Figura 2.25 ... ... **17**
Comparação entre o planeta Marte e a Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 53,7 cm de comprimento e o Sol teria 5,23 m de diâmetro - cerca de 18 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.26 ... ... **17**
Solo rochoso de Marte em torno de *Mars Pathfinder* (em primeiro plano). Em segundo plano o veículo explorador *Sojourner* e ao fundo (a cerca de 1 km), um monte. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.27 ... ... **18**
Evereste comparado com o *Olympus*, em Marte. Crê-se que o monte *Olympus* é um vulcão extinto. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.28 ... ... **18**
Comparação esquemática entre *Olympus Mons*, em Marte e o maior vulcão terrestre, *Mauna Loa*, no Havaí. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.29 ... ... **18**
Os satélites naturais de Marte: *Phobos* (a) e *Deimos* (b). As figuras não se encontram à escala. (Figura a, adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/captions/mars/phobos.htm; figura b,

adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/captions/mars/phobos.htm).

Figura 2.30 ... ... **19**

Os grandes desfiladeiros marcianos com cerca de 4 000 km de extensão e 600 km na parte mais larga. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/mar/valmar.gif).

Figura 2.31 ... ... **19**

Imagem a três dimensões do *Olympus Mons*. São visíveis a cratera do cume e as encostas que rodeiam o monte. A cratera tem uma área equiparável à área do distrito de Leiria. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.32 ... ... **19**

Vulcão *Mauna Loa*, na ilha principal do Havaí. A montanha tem cerca de 4,2 km de altura. (Adaptado de http://vulcan.wr.usgs.gov/Photo/Pictograms/shield_strato_volcanoes.html).

Figura 2.33 ... ... **20**

Comparação entre o planeta Júpiter e a Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 29,2 cm de comprimento – aproximadamente o comprimento desta folha A4 que é 29,7 cm. Neste esboço, a Terra tem 2,7 mm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.34 ... ... **20**

Os anéis de Júpiter registados pela *Voyager* por ocasião da sua passagem pelo planeta. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogaller y/gallery_large.asp).

Figura 2.35 ... ... **20**

Comparação entre a *CN Tower* e uma lata de coca-cola. As figuras não se encontram à escala. (Esboço da torre: adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash; lata: adaptado de http://www-cse.ucsd.edu/users/bsy/coke.html).

Figura 2.36 ... ... **21**

Júpiter visto pela *Voyager 1* em 1979, a 30 milhões de quilómetros do planeta (cerca de 3,8% da distância do planeta do Sol). São visíveis as turbulências em torno da Grande Mancha Vermelha. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.37 ... ... **21**

A Grande Mancha Vermelha registada pela *Voyager 2* em 1979, com uma dimensão comparável à da Terra. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.38 ... ... **21**

Grande plano da Grande Mancha Vermelha de Júpiter em cores falsas comparada, em tama-

nho com a Terra. (Adaptado de *O Ponto Azul-Claro*, de Carl Sagan).

Figura 2.39 ... ... **21**

A Grande Mancha comparada com a Terra. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*,de Russell Ash).

Figura 2.40 ... ... **22**

Montagem fotográfica de Júpiter e das suas luas galileanas. Fotografias registadas pela *Voyager 1* em 1979: em primeiro plano, *Callisto*, seguido de *Ganymede* e de *Europa*. *Io* situa-se do lado esquerdo de Júpiter. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Figura 2.41 ... ... **22**

Os satélites Galileanos observados por um pequeno telescópio: dois de cada lado de Júpiter. (Cortesia de Leonor Cabral).

Figura 2.42 ... ... **23**

Esboço das órbitas dos satélites galelianos considerando o raio de Júpiter como a unidade de medida. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.43 ... ... **23**

Imagem da pluma do vulcão *Loki*, (centro esquerda) em *Io*. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Figura 2.44 ... ... **23**

Os quatro satélites Galileanos numa representação com a mesma escala. Da esquerda para a direita: *Io*, *Europa*; *Ganymede* e *Callisto*. O satélite *Io* é comparável, em dimensão, à Lua e *Callisto* ao planeta Mercúrio. O menor dos satélites é *Europa* e o maior, *Ganymede*. *Io*, *Europa* e *Callisto* são menores que Mercúrio e *Europa* é menor que a Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.45 ... ... **24**

Modelo representando a relação existente entre *Ganymede* e Júpiter: a cabeça de um alfinete e uma bola de ténis de mesa.

Figura 2.46 ... ... **24**

Imagem de Júpiter e dois dos seus satélites, registada pela sonda *Cassini*: em primeiro plano *Callisto*, seguido de *Europa*. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Figura 2.47 ... ... **24**

A maior lua do Sistema Solar, *Ganymede*, junto do maior planeta. Fotografia registada pela sonda *Cassini*, a 3 de Dezembro de 2000. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Figura 2.48 ... ... **24**

Imagem de *Io* e de *Júpiter*, captada pela *Cassini*, a 12 de Dezembro de 2000. O satélite vulcânico, de tamanho semelhante à Lua, projecta a sua sombra sobre as nuvens do planeta gigante. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photo gallery/gallery_list.asp).

Figura 2.49 ... ... **24**

Registo fotográfico de Júpiter, *Io* (à esquerda, sobre a Grande Mancha Vermelha) e de Europa (à direita, sobre uma mancha oval), realizado pela *Voyager 1*, em Fevereiro de 1979, à distância de 20 milhões de quilómetros do planeta gigante. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.50 ... ... **25**

Comparação entre o planeta Saturno e a Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 35,3 cm de comprimento – um pouco maior que o comprimento desta folha A4 (cerca de 5,7 cm a mais). Neste esboço, a Terra tem 3,2 mm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.51 ... ... **25**

Imagem de Saturno captada pela *Voyager 1* onde são visíveis os principais anéis observáveis a partir da Terra, com excepção do anel C, por ser muito pouco luminoso. Sobre a fotografia assinala-se o diâmetro equatorial do planeta assim como os diâmetros internos e externos de cada anel. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.52 ... ... **26**

Pormenor dos anéis de Saturno com especial destaque para a divisão de *Cassini*, a divisão de *Encke* e anel F. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.53 ... ... **26**

La Grande Arche, estrutura cúbica com cerca de 100 m de aresta, Paris. (Adaptado de *Beaux-Arts Magazine et le Toit de la Grande Arche*, brochura, França, 1990).

Figura 2.54 ... ... **27**

Modelo representando a relação existente entre o diâmetro exterior do anel E e o diâmetro equatorial de Saturno: diâmetro exterior de um CD e o diâmetro da abertura interior. Na aber-

tura foi colocado um berlinde para representar o planeta. Figura *a*: vista de perfil; figura *b*: vista de face (a espessura do CD, 1,25 mm, não está á escala).

Figura 2.55 ... ... **27**
Edifício de escritórios mais alto do mundo, *Sears Tower* (443 m) e um cartão de telefone. A altura da torre é cerca de 632 857 vezes a espessura do cartão telefónico (0,7 mm). (Fotografia do prédio: adaptado de http://www.ci.chi.il.us/Tourism/Postcards/big/SearsTower.jpe).

Figura 2.56 ... ... **28**
Júpiter e Saturno na constelação do Touro. Fotografia registada em Santa Cruz, Torres Vedras, a 30 de Dezembro de 2000, com uma exposição de 10 segundos e um filme 800 ASA.

Figura 2.57 ... ... **28**
Saturno observado através de um pequeno telescópio onde se vê o anel mais brilhante. (Adaptado de *Guia do Astrónomo, Guia Prático para as Experiências e Técnicas de Observação do Céu*, de Carole Stott)

Figura 2.58 ... ... **28**
Saturno e os anéis vistos de perfil, por a Terra se encontrar no mesmo plano. Registos efectuados a 6 de Agosto e a 17 de Novembro de 1995 pelo Telescópio Espacial Hubble. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/PR/96/16/A.html).

Figura 2.59 ... ... **29**
Esboço esquemático da posição relativa dos anéis de Saturno nos próximos anos. (Adaptado de Guia do Astrónomo, *Guia Prático para as Experiências e Técnicas de Observação do Céu*, de Carole Stott).

Figura 2.60 ... ... **30**
Esquema mostrando a disposição dos anéis de Saturno e as órbitas dos seus 11 satélites mais interiores. Os restantes localizam-se para além do anel F. *Titan* orbita o planeta a 1 221 850 km de distância, equivalente a cerca de 3,3 vezes a distância entre a Terra e a Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.61 ... ... **31**
Titan, registado pela *Voyager 2*, a 4,5 milhões de quilómetros do satélite, equivalente a 37 planetas, com a dimensão de Saturno, em fila. (Adaptado de http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/titan.html).

Figura 2.62 ... ... **31**
Modelo representando a relação existente entre *Titan* e o planeta Saturno: a cabeça de um alfi-

nete e uma bola de matraquilhos.

Figura 2.63 ... ... **31**

Esquema mostrando as dimensões relativas dos satélites e do planeta Saturno. Este encontra-se representado apenas por uma porção (parte inferior da figura). Os cinco satélites mais pequenos foram ampliados cinco vezes de modo a serem visíveis na gravura. Os restantes encontram-se representados, à escala, para comparação. Os satélites aparecem na figura pela mesma ordem que se encontram em torno de Saturno. (Adaptado de http://ringside.arc.nasa.gov/www/saturn/images/ring_sat.gif).

Figura 2.64 ... ... **32**

Comparação entre as dimensões do planeta Úrano e da Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 79 cm de comprimento (cerca de 2 vezes o comprimento de uma folha A4 e dois terços de outra) e Júpiter 8,1 cm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.65 ... ... **32**

Úrano, observado pela *Voyager 2*, à distância de 81 600 km acima das nuvens do planeta (distância equivalente a 1,6 vezes Úrano). (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/welcome/uranus.htm).

Figura 2.66 ... ... **33**

Grande plano dos anéis de Úrano em cores falsas e exageradas. Os anéis são as nove linhas mais brilhantes dispostas em grupos de uma linha, três, duas e três linhas, contando a partir de cima. As restantes linhas e as cores são consequência do tratamento efectuado à fotografia. O anel Ípsilon é o primeiro de cima. (Adaptado de http://ringside.arc.nasa.gov/www/asturn/ images/ring_sat.gif).

Figura 2.67 ... ... **33**

Modelo mostrando a relação entre o diâmetro dos anéis e o diâmetro equatorial de Úrano.

Figura 2.68 ... ... **34**

Os cinco maiores satélites de Úrano, à escala, e dispostos pela ordem que orbitam o planeta. *Titania*, o maior, orbita Úrano a 435 840 km do seu centro, distância comparável à distância que se encontra a Lua da Terra (cerca de 7/6 da distância). No entanto, a Lua é 2,2 vezes maior que o satélite. (Adaptado de http://cass.jsc.nasa.gov/pub/research/outerp/usat.gif).

Figura 2.69 ... ... **34**

Modelo representando a relação existente entre *Titania* e o planeta Úrano: a cabeça de uma semente de milho alvo e uma esfera de brindes de máquinas distribuidoras.

Figura 2.70 ... ... **34**
Composição de diversas imagens obtidas pelo *Telescópio Espacial Hubble* de 8 satélites de Úrano. Todos estes satélites orbitam o planeta num raio inferior a 86 010 km, pouco mais de 1/5 da distância da Terra à Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.71 ... ... **35**
Comparação entre as dimensões do planeta Neptuno e da Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 81,6 cm de comprimento (cerca de 2 vezes o comprimento de uma folha A4 e 3/4 de outra) e Júpiter 8,4 cm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.72 ... ... **35**
Em Neptuno ocorrem as maiores tempestades registadas no Sistema Solar. Os ventos chegam a atingir os 2 000 km/h: 4,4 vezes mais fortes que os registados na Terra, com 450 km/h. O esboço dos tornados estão representados à escala. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*,de Russell Ash).

Figura 2.73 ... ... **36**
Vista de Neptuno registada pela *Voyager 2* em 1989. São visíveis a Grande Mancha Escura, *Scooter* e a Pequena Mancha Escura. A dimensão da Grande Mancha Escura é comparável à dimensão da Terra. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/nep/scooter.gif).

Figura 2.74 ... ... **36**
Os ventos ciclónicos sopram em sentido contrário ao da rotação do planeta, empurrando as manchas. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.75 ... ... **37**
Os finos anéis de Neptuno registados pela *Voyager 2*. São facilmente visíveis dois deles: *Adams* e *LeVerrier*. A luz emitida pelo planeta foi barrada ao centro de modo a facilitar a observação dos anéis. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/nep/neprings.gif).

Figura 2.76 ... ... **37**
Grande plano da Pequena Mancha Escura. (Adaptado de http://solarviews.com/r/nep/darkspt2gif).

Figura 2.77 ... ... **37**
Pormenor da Grande Mancha Escura. (Adaptado de http://solarviews.com/r/nep/gdspot2.jpg).

Figura 2.78 ... ... **38**
Neptuno e o seu maior satélite, *Triton*. Registo efectuado pelo Telescópio Espacial Hubble.

(Adaptado de http://www.solarviews.com/b/nep/trinep3.jpg).

Figura 2.79 ... ... **38**
Fotografia de Neptuno e da sua lua *Triton*, ambos em fase quarto crescente. Registo efectuado pela *Voyager 2* aquando da sua passagem pelo planeta em direcção às estrelas. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/pla nets/gif/nep/parting.gif).

Figura 2.80 ... ... **38**
Modelo representando a relação existente entre *Triton* e o planeta Neptuno: a cabeça de um alfinete e uma bola de matraquilhos.

Figura 2.81 ... ... **39**
Comparação entre as dimensões do planeta Plutão, da sua lua, Caronte, e as dimensões da Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 17,43 m de comprimento (cerca de 59 vezes o comprimento de uma folha A4) e Júpiter teria 1,79 m de diâmetro – a altura de um homem. A Terra, neste esquema, tem 16 cm de dimensão. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.82 ... ... **39**
Comparação gráfica, à escala, das dimensões de Plutão e de Caronte com a dimensão dos Estados Unidos. (Adaptado de http://www.solarviews.com/b/pluto/plutousa.jpg).

Figura 2.83 ... ... **40**
Esquema do sistema Plutão e Caronte em que a distância do planeta à sua lua se assinala em raios do planeta. O centro de gravidade do sistema encontra-se fora de Plutão, pois Caronte é responsável por cerca de 15% da massa do sistema. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.84 ... ... **40**
Imagem de Plutão e de Caronte registada pelo Telescópio Espacial Hubble. A distância entre eles é comparável ao diâmetro de Terra sendo cerca de uma vez e meia maior. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/PlutoCharon.jpg).

Figura 2.85 ... ... **41**
Se Júpiter fosse uma bola de barro poderíamos moldar com ela os outros planetas e ainda sobraria. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.86 ... ... **41**
Diagrama de barras comparando os volumes dos planetas entre si considerando o volume da Terra como unidade de comparação.

Figura 2.87 ... ... **42**
Modelo representando os planetas. O objecto que tem desenhado os continentes terrestres, não se encontra a representar o planeta Terra mas o planeta Saturno, pois a sua dimensão relativa, nesta escala, aproximava-se da dimensão real do planeta. O lápis foi colocado junto do modelo para fornecer uma ordem de grandeza dos objectos utilizados.

Figura 2.88 ... ... **42**
Se fosse possível colocar Saturno dentro de água, ele flutuaria por ter uma densidade inferior. (Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod).

Figura 2.89 ... ... **43**
Comparação da massa de Júpiter relativamente à massa dos restantes planetas. Seriam necessários cerca de 146 077 planetas como Plutão para se equiparar a massa de Júpiter . Os desenhos apresentados não se encontram à escala. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.90 ... ... **44**
Diagrama de barras indicando as densidades de cada planeta, considerando a densidade da água igual a 1. Os planetas interiores são os mais densos. Saturno é o menos denso e tem a particularidade de ser menos denso que a água.

Figura 2.91 ... ... **44**
Diagrama de barras comparando os massas planetárias entre si considerando a massa da Terra como unidade de comparação.

Figura 2.92 ... ... **45**
Parque de estacionamento de automóveis em Santa Cruz, Torres Vedras. As dimensões de cada lugar são 2,5 m por 4,8 m.

Figura 2.93 ... ... **45**
Esquema comparativo da área de superfície de cada planeta. A superfície do Sol, nesta escala, seria representada por um paralelogramo semelhante aos da figura mas com 7,13 m de lado. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.94 ... ... **46**
Comparação esquemática entre a área de Marte e a área de superfície de terra firme no planeta Terra. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.95 ... ... **46**
O planeta Terra registado pela nave *Galileo*, a em 11 de Dezembro de 1990, a cerca de

2 091 700 km do planeta. (Adaptado de http://solarviews.com/r/earth/earthx. jpg).

Figura 2.96 ... ... **46**

A área de superfície conjunta dos planetas Mercúrio, Marte e Plutão totaliza 65,2% da área de superfície dos oceanos terrestres. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.97 ... ... **47**

Diagrama de barras mostrando o diâmetro de cada planeta em relação ao diâmetro da Terra. Terra e Vénus são quase idênticos em dimensão assim como Úrano e Neptuno. Marte tem pouco mais que metade do diâmetro terrestre.

Figura 2.98 ... ... **47**

Vénus, Terra e Marte, à mesma escala, para comparação das suas dimensões. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.99 ... ... **48**

Terra, Úrano, Neptuno e Plutão representados à escala. Úrano e Neptuno têm dimensões semelhantes e possuem anéis que, nesta montagem, não foram considerados para melhor comparação com os restantes planetas. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.100 ... ... **48**

Montagem fotográfica do planeta Mercúrio com os sete maiores satélites naturais do Sistema Solar: A Lua da Terra, as quatro maiores luas de Júpiter (*Io*, *Europa*, *Callisto* e *Ganymede*), a maior lua de Saturno (*Titan*) e finalmente a maior lua de Neptuno (*Triton*). As imagens encontram-se reproduzidas à escala, para comparação das dimensões. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.101 ... ... **48**

Representando da inclinação do eixo de rotação e do sentido de rotação de cada planeta em relação ao plano da órbita. Da esquerda para a direita: Mercúrio, Vénus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Úrano, Neptuno e Plutão. (Adaptado de http://solarviews.com/r/misc/obliquity.jpg).

Figura 2.102 ... ... **49**

Esboço das órbitas dos planetas, suas posições relativas e sentidos de rotação. Se pudéssemos observar o Sistema Solar fora do seu plano orbital, teríamos que imaginar percursos como o esboço da direita, onde se observa somente as órbitas dos planetas exteriores. Para as órbitas dos planetas interiores, teríamos que nos aproximar mais e observaríamos, imaginando percursos em torno do Sol, parecidos com o esboço da esquerda. Os planetas com satélites são assinalados com outro círculo. (Adaptado de http://dosxx.colorado.edu/Pluto/orbits.jpg).

Figura 2.103 ... ... **50**
Esboço das órbitas dos planetas vistas de perfil, suas posições relativas e respectivos eixos de rotação. Se fosse possível observar o Sistema Solar de um ponto distante mas próximo do plano orbital dos planetas, observaríamos, imaginando percursos em torno do Sol, parecidos com o esquema apresentado em baixo. Para observar as órbitas dos planetas interiores, teríamos que nos situar mais próximos do Sistema Solar ou, eventualmente, no seu interior e observaríamos, imaginando de novo, percursos idênticos aos apresentados no esquema de cima. (Adaptado de http://dosxx.colorado.edu/Pluto/orbits.jpg).

Figura 2.104 ... ... **51**
Se o Sol estivesse em Faro, onde estariam os planetas? Considerou-se a distância média de Plutão ao Sol como sendo a distância entre Faro e Melgaço em linha recta (113 cm) no mapa de Portugal. (Trabalho realizado por alunos, no âmbito das actividade do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria).

Figura 2.105 ... ... **52**
Distância entre a Terra e a Lua em diâmetros terrestres. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Figura 2.106 ... ... **52**
A Terra e a Lua: vizinhos do Sol. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Figura 2.107 ... ... **52**
A Terra somente a 1 u.a. do Sol! Vénus a 0,72 u.a e Mercúrio a 0,39 u.a.! (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Figura 2.108 ... ... **53**
Júpiter a 5,2 u.a. do Sol, isto é, 5,2 vezes a distância entre a Terra e o Sol. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Figura 2.109 ... ... **53**
Plutão se situa apenas 7,6 vezes a distância do Sol a Júpiter. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Figura 2.110 ... ... **53**
A estrela mais próxima de nós, *Proxima Centauri*, a 6 800 vezes a distância entre o Sol e Plutão. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Figura 2.111 ... ... **53**
Constelação de *Orion*. *Betelgeuse* situa-se a cerca de 688 000 vezes a distância entre Plutão

e o Sol, *Bellatrix* a 392 000 distâncias e *Rigel* a 1 232 000 distâncias. (Adaptado de http://if.ufrgs.br/).

Figura 2.112 ... ... **54**
Criança com 10 anos a caminhar. A velocidade média de marcha de uma criança é de 1,4 m/s.

Figura 2.113 ... ... **54**
O golfinho pode atingir a velocidade de 13,3 m/s. (Adaptado de http://www.dolphinsynergy.com/enlarged/dolph3.html).

Figura 2.114 ... ... **54**
Diagrama de barras mostrando as velocidades na órbita de cada planeta. O mais lento é Plutão e o mais rápido é Mercúrio. Os planetas mais próximos do Sol possuem maior velocidade.

Figura 2.115 ... ... **55**
Quadro representando patos bravos. Estes podem atingir a velocidade de 29,2 m/s, em voo nivelado. (Adaptado de http://www.quackin.com/art/stamps/mt/mt1996.asp).

Figura 2.116 ... ... **55**
Andorinhão em pleno voo. Pode atingir a velocidade de 47,5 m/s. (Adaptado de http://www3.vantek.net/pmh/interest.htm).

Figura 2.117 ... ... **55**
Família de pinguins-papua. Estes animais chegam a atingir a velocidade de 9,7 m/s dentro de água. (Adaptado de http://users.capu.net/~kwelch/pp/pics/gentoos-family.jpg).

Figura 2.118 ... ... **55**
O peixe espadim pode atingir a velocidade de 22,2 m/s. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.119 ... ... **55**
A chita e o gato doméstico possuem a mesma relação de velocidade que os planetas Terra e Júpiter. A chita pode atingir a velocidade de 27,8 m/s e o gato doméstico, a velocidade de 13,3 m/s. As imagens não estão à escala. (Chita: adaptado de http://www.cheetahspot.com/speedf.html; gato: adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.120 ... ... **56**
Esquema mostrado a disposição da cintura principal de asteróides, na região entre Marte e Júpiter, a 22 minutos-luz, cerca de trezentos e noventa e seis milhões de quilómetros do Sol. (Adaptado de http://www.solarviews.com/span/asteroid.htm).

Figura 2.121 ... ... **56**

A dimensão do asteróide Ceres é comparável à largura de França, cerca de 950 km de extensão. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.122 ... ... **56**

Representação da Lua e Ceres, à escala. O diâmetro da Lua é 3,8 vezes superior ao de Ceres. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.123 ... ... **57**

A área de superfície de Ceres é comparável à superfície de treze dos quinze países que constituem a União Europeia (os países excluídos são a Grécia e a Suécia), com 2 621 000 km^2. (Adaptado de http://europa.eu.int).

Figura 2.124 ... ... **57**

Sudão, o maior país africano em superfície (cerca de 27,2 vezes superior à superfície de Portugal). A sua área de superfície é comparável à área de superfície de Ceres. (Adaptado de http://kids.infoplease.lycos.com/ipka/A0748963.html).

Figura 2.125 ... ... **58**

Crater Meteoro Barringer localizada no Arizona, Estados Unidos, provocada pela queda do maior meteorito. O seu diâmetro é aproximado ao comprimento da Rua de Cedofeita no Porto (Adaptado de http://www.solarviews.com/cap/earth/meteor.htm).

Figura 2.126 ... ... **58**

O peso da poeira cósmica que atinge a atmosfera terrestre é comparável ao peso de 308 baleias azuis. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.127 ... ... **58**

Esquema mostrando a estrutura de um cometa e suas dimensões: núcleo, coma, envelope de hidrogénio, cauda de iões e cauda de poeiras. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.128 ... ... **59**

Comparação da cauda do cometa *Halley* com a soma dos diâmetros dos planetas Júpiter, Saturno, Úrano, Terra e Plutão. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.129 ... ... **59**

Cometa *Hyakutake*, que em Março de 1996 passou próximo da Terra, mostrando uma cauda de cerca 30 vezes a distância da Terra à Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R.

Freedman).

Figura 2.130 ... ... **59**

Cometa *Hale-Bopp* em 1997 apresentando uma cauda de 129 vezes a distância da Terra à Lua. (Adaptado de http://www.solarviews.com/b/comet/halebop2.jpg).

Figura 2.131 ... ... **60**

Modelo representando a Terra e Lua, à escala. A bola maior representa a Terra e tem 40 cm de diâmetro; a bola menor representa a Lua e têm 11 cm de diâmetro. Neste modelo, o *Space Shuttle* teria 0,00116 mm. Imagem inserida: *Space Shuttle* a aterrar no Centro Espacial Kennedy. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/sts/sts04.gif).

Figura 2.132 ... ... **60**

Space Shuttle transportado por um *Boeing* 747 do local de aterragem, Califórnia do Sul, para o Centro Espacial Kennedy. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/sts/sts05.gif).

Figura 2.133 ... ... **61**

Modelo da Terra e da Lua: as dimensões das bolas (40 cm e 11 cm) e a distância a que se encontram (11,8 m) estão à escala.

Figura 2.134 ... ... **61**

Atmosfera terrestre vista de perfil. Para além da faixa azul, situa-se a escuridão do espaço. (Adaptado de *O Ponto Azul-Claro*, de Carl Sagan).

Figura 2.135 ... ... **61**

Terra e Lua registadas pela sonda *Galileo* a 6 200 000 km de distância. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.136 ... ... **62**

Um fotão daria sete voltas e meia à Terra num segundo. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 2.137 ... ... **63**

Modelo das sondas *Voyager* cujo destino era visitar os planetas mais afastados do Sistema Solar. (Adaptado de http://www.solarviews.com/b/craft/voyager3.jpg).

Figura 2.138 ... ... **63**

Trajectórias das naves *Voyager 1* e *2*. (Adaptado de *O Ponto Azul-Claro*, de Carl Sagan).

Figura 2.139 ... ... **64**

Pôr-do-sol em S. Pedro de Moel, Marinha Grande, Abril de 2001.

Figura 2.140 ... ... **64**

Esquema representando as dimensões do Sol e da Terra, à escala. No diâmetro do Sol poderíamos colocar cerca de 109 planetas como a Terra alinhados.

Figura 2.141 ... ... **65**

Elefante africano macho com 1 500 kg de massa média. (Adaptado de http://www.africaelephants.com/gallery/african_elephant_bull6.htm).

Figura 2.142 ... ... **65**

Girinos com duas semanas de vida e uma massa média de 5 gramas cada. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/tadpoles.jpg).

Figura 1.143 ... ... **65**

Caracol passeando por um prato (massa média: 7 gramas).

Figura 2.144 ... ... **66**

Se a dimensão do Sol fosse a altura de um astronauta, a Terra teria a dimensão de um olho do astronauta. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash)

Figura 2.145 ... ... **66**

Os planetas, em dimensão, são pequeníssimos em comparação com o Sol. No diâmetro solar caberiam cerca de 600 planetas, com a dimensão de Plutão, alinhados lado a lado.

Figura 2.146 ... ... **67**

Modelo espacial, à escala, relativo às dimensões dos planetas e do Sol. Foram utilizados materiais de fácil acesso: sementes, bolas de plástico e de borracha, e um balão gigante. Neste modelo, Mercúrio, Vénus, Terra, Marte e Plutão estão representados por diferentes tipos de semente, respectivamente, cânhamo (3,6 mm), estrelícia (6,8 mm), ervilha (7,5 mm), sorgo (4,1 mm) e milho painço (1,6 mm). Os valores entre parentes indicam o diâmetro médio.

Figura 2.147 ... ... **67**

O Sol em comparação com a estrela supergigante vermelha, *Betelgeuse*. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.148 ... ... **68**

Fotomontagem, à escala, para comparação das dimensões dos planetas com a dimensão do Sol. Os planetas mais pequenos encontram-se dentro de um rectângulo. A altura da proeminência (canto inferior esquerdo da imagem), é comparável a 46 planetas como a Terra empilhados. (Adaptado de http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/gif/soletal.gif).

Figura 2.149 ... ... **69**
Diagrama esquemático das três camadas da atmosfera solar: fotosfera, cromosfera e corona. (Adaptado de Atlas do Universo, de Hearther Couper e Nigel Henbest).

Figura 2.150 ... ... **69**
Se o diâmetro do Sol fosse a altura da *CN Tower*, a espessura da fotosfera seria a altura de uma garrafa de água. (*CN Tower*: adaptado de *The Postcard Factory*, Canadá).

Figura 2.151 ... ... **69**
Granulação solar. Cada mancha mais clara é um grânulo, mais propriamente, uma célula convectiva das camadas mais exteriores do Sol. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/granule_med.jpg).

Figura 2.152 ... ... **70**
Um grânulo solar tem uma área de superfície equivalente a cinco países da Europa Central: Alemanha, Bélgica, França, Holanda, Luxemburgo e Suíça que totalizam 1 016 109 km^2. (Adaptado de *Viajar na Europa*, brochura da Comissão Europeia).

Figura 2.153 ... ... **70**
Movimento de convecção: comportamento do gás quente que vem do interior do Sol e que produz os grânulos na fotosfera. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.154 ... ... **70**
Hoover, a maior central hidroeléctrica dos Estados Unidos, com uma potência de 2 074 megawatts. (Adaptado de http://www.hooverdam.usbr.gov/Gallery/Picindex.htm).

Figura 2.155 ... ... **71**
Modelo teórico do Sol relativo à temperatura, que decresce desde o seu centro até à superfície. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.156 ... ... **71**
Mancha solar de tamanho moderado. Na imagem são visíveis a *umbra* envolvida pela *penumbra* e granulação. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/spotregion_med.jpg).

Figura 2.157 ... ... **71**
Comparação de uma mancha solar de tamanho moderado com a dimensão da Terra. (Adaptado de http://solar-center.stanfordedu/images/spotregion_earth.jpg).

Figura 2.158 ... ... **72**
Fotografia do Sol quando se encontra num pico máximo de manchas. Nessa altura, o disco solar apresenta muitas manchas e grandes grupos de manchas. (Adaptado de *Universe*, de W.

Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.159 ... ... **72**
Fotografia do Sol quando se encontra num pico mínimo de manchas. Nessa altura, o disco solar apresenta poucas manchas ou nenhumas. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.160 ... ... **72**
Registo fotográfico do grande grupo de manchas solares correspondentes ao pico máximo de 27 de Março de 2001. (Adaptado de *Astronomy,* Julho de 2001).

Figura 2.161 ... ... **73**
Imagem da explosão solar ocorrida a 2 de Abril de 2001, captada pela sonda SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) utilizando o coronógrafo, que esconde parte do disco solar. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Figura 2.162 ... ... **73**
Imagem do disco solar em que são visíveis grupos de manchas. Em cima e à esquerda, observa-se a grande mancha da figura 2.160. Registo fotográfico efectuado a 27 de Março de 2001. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Figura 2.163 ... ... **74**
Imagem do rebordo do disco do Sol mostrando numerosas espículas no interior da cromosfera oriundas da fotosfera. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.164 ... ... **74**
Diagrama esquemático mostrando a espessura das três camadas da atmosfera solar, região de transição e espículas. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/sunatmos.jpg).

Figura 2.165 ... ... **74**
Diagrama esquemático indicando a espessura conjunta da fotosfera, cromosfera, região de transição, espícula, um pouco do interior do Sol e da corona solar. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/solatmosarrows.jpg).

Figura 2.166 ... ... **74**
Diagrama esquemático comparando a dimensão da Terra com a espessura da região indicada na figura 2.165 (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/solatmos_earth.jpg).

Figura 2.167 ... ... **75**
Fotografia da Corona solar aquando do eclipse total de 11 de Julho de 1991. Acima da superfície do Sol observa-se imensas torrentes de energia em diferentes direcções mostrando, desta

forma, que a corona não é esférica. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.168 ... ... **75**
Outras manifestações solares que se encontram associadas às manchas: as *plages* e os filamentos. Na imagem, as *plages* são as zonas claras e os filamentos as linhas escuras. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 2.169 ... ... **76**
Proeminências solares. Algumas têm uma duração de horas enquanto que outras podem permanecer activas durante meses. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallarey/gallery_list.asp).

Figura 2.170 ... ... **76**
Uma proeminência típica pode atingir a altura equivalente a 8 Terras. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.171 ... ... **76**
Imagem registada pelo satélite TRACE, *Transition Region and Coronal Explorer* mostrando que o gás nas ejecções coronais se movimenta em arcos parabólicos. A Terra encontra-se representada para comparação de dimensões. (Adaptado de http://www.skytelescope.com).

Figura 2.172 ... ... **77**
Explosão de gás ocorrida a 14 de Setembro de 1999 e registada pela SOHO. Actividade em que mil milhões de toneladas de gás proveniente da corona é projectado no espaço a alta velocidade. A Terra inserida na imagem encontra-se à escala, para comparação das dimensões da massa coronal ejectada (Adaptado de http://pcgo.if.ufrgs.br/esol/esol.htm#).

Figura 2.173 ... ... **77**
Esquema mostrando o Sol e as 103,5 pirâmides necessárias para igualar a massa de hidrogénio convertida em hélio, por segundo, no centro do Sol. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Figura 2.174 ... ... **78**
Grande Pirâmide, em Gizé, com uma massa de 5 216 400 toneladas, construída há 4 500 anos. Tem 147 metros de altura. (Adaptado de http://thierryailleret.citeglobe.com/cgi-bin/egypt/frame.pl).

Capítulo 3

Figura 3.1. ... ... **79**
Avião de combate russo, MiG-25. O mais veloz do mundo, com velocidade cerca de 2,8 vezes a velocidade do som. (Adaptado de http://www.geocities.com/luissemiao2/Image285. jpg).

Figura 3.2. ... ... **79**
Noção de ano-luz. (Trabalho realizado por alunos, no âmbito das actividades do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria. Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod).

Figura 3.3 ... ... **81**
Identificação dos padrões formados pelas estrelas, dos seus nomes e distâncias a que se encontram. (Trabalho realizado por alunos, no âmbito das actividades do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria).

Figura 3.4 ... ... **81**
As casas parecem situar-se no mesmo plano, quando observadas de uma colina distante. Encosta do Cabo Girão ao anoitecer (fotografia *a*)e ao amanhecer (fotografia *b*), Câmara de Lobos, Madeira; Encosta Norte da mesma ilha (fotografia *c*).

Figura 3.5 ... ... **82**
Esquema, à escala, comparando a dimensão da estrela *Betelgeuse* com a dimensão da órbita do planeta Júpiter e dos planetas interiores a esta órbita. *Betelgeuse* é tão grande que englobaria a órbita do Marte, se a centrássemos no Sol.

Figura 3.6 ... ... **83**
Esquema, à escala, comparando a dimensão da estrela *Antares* com a dimensão da órbita do planeta Marte e dos planetas interiores a esta órbita. *Antares* é menor que *Betelgeuse* mas se a centrássemos no Sol, englobaria a órbita da Terra.

Figura 3.7 ... ... **84**
As dimensões de algumas estrelas gigantes e supergigantes são comparáveis às órbitas dos planetas Mercúrio, Marte e Júpiter. *Arcturus*, *Rigel*, *Deneb* e *Aldebaran* não chegam a atingir a órbita de Mercúrio; *Antares* ultrapassa a órbita da Terra, enquanto que a dimensão de *Betelgeuse* é comparável à órbita de Marte e de Júpiter.

Figura 3.8 ... ... **85**
Dimensão actual do Sol e as dimensões previstas como gigante vermelha. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.9 ... ... **85**

Nebulosa planetária da Hélice a 450 a.l. da Terra cujo centro contém uma anã branca (*a*) e a anã depois da concha de gás desaparecer (*b*). (Adaptado de *Pour la Science*, volume temático *Vie et mœurs des étoiles*, de Janeiro de 2001).

Figura 3.10 ... ... **86**

Nebulosa planetária *Abell 39*, a 7 000 anos-luz e com um diâmetro de 5 anos-luz. Localiza-se na constelação *Hercules*. (Adaptado de *Astronomy,* de Julho de 2001).

Figura 3.11 ... ... **86**

Comparação das dimensões entre anãs brancas (cerca de 10 000 km de diâmetro), estrelas de neutrões (cerca de 20 km) e buracos negros. (Adaptado de Pour la Science, volume temático *Vie et mœurs des étoiles*, de Janeiro de 2001).

Figura 3.12 ... ... **87**

Sirius e a sua companheira anã branca, *Sirius B*. *Sirius* é a estrela mais brilhante no céu nocturno. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman)

Figura 3.13 ... ... **87**

Criança com dois anos de idade e 12 kg de massa.

Figura 3.14 ... ... **88**

Baleia azul, o maior animal vivo conhecido. Pode atingir 33,5 metros de comprimento (cerca de 18 mergulhadores alinhados, incluindo as barbatanas) e 130 toneladas de massa (cerca de 26 elefantes machos africanos adultos com 5 toneladas cada). A altura normalizada de uma porta é de 2 m. (Adaptado de http://whales.magna.com.au/DISCOVER/BLUE/blueg.html).

Figura 3.15 ... ... **88**

Esquema representando três edifícios *Empire State Building* (com cerca de 330 mil toneladas de massa) e um alfinete, cuja cabeça teria de massa o equivalente ao conjunto dos três edifícios, se o material de que é feito fosse o existente nas estrelas de neutrões. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 3.16 ... ... **89**

Representação esquemática, à escala, das dimensões de algumas estrelas gigantes e supergigantes. O Sol, quando comparado com as estrelas supergigantes *Betelgeuse* e *Antares*, é pequeníssimo. As duas supergigantes são, respectivamente, 800 e 500 vezes maiores que o Sol. *Sirius* e *Altair* possuem quase a mesma dimensão: 1,8 e 1,6 vezes a dimensão do Sol. As cores

utilizadas são indicadoras da temperatura de cada estrela com excepção da *Betelgeuse*, que não foi possível colori-la.

Figura 3.17 ... ... **90**

Pormenor do esquema apresentado na figura 3.16 em que a representação do Sol deixou de ser um ponto para se tornar num pequeno círculo. Todas as estrelas representadas são maiores que o Sol. Para apresentar este esboço na sua totalidade e mantendo esta escala, seriam necessárias 6 folhas de papel de tamanho A4.

Figura 3.18 ... ... **91**

Representação esquemática das três principais componentes da Via Láctea: o disco, a zona central e o halo, em vista de perfil. As dimensões referenciadas não estão à escala. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.19 ... ... **91**

Representação esquemática dos quatro braços principais da Galáxia e de outros secundários (vista de um ponto afastado e fora do plano do disco). O Sol situa-se num braço secundário, *Orion*, entre dois braços principais (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.20 ... ... **92**

Vista de perfil da galáxia NGC4565, na constelação *Coma Berenices*. Vista idêntica à da Via Láctea, caso fosse possível observá-la de perfil. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.21 ... ... **92**

Em cima: Esquema, à escala, das três principais componentes da Galáxia. A dimensão do Sol não está à escala. Em baixo: Fotografia do disco da Via Láctea, no visível. (Adaptado de http://nvo.gsfc.nasa.gov/mw/milkyway.html).

Figura 3.22 ... ... **93**

Levo 14 estrelas de tamanho normal, 10 gigantes, 6 supergigantes e 3 anãs, por favor. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 3.23 ... ... **93**

Grande Nuvem de Magalhães, à distância de 50 kpc da Via Láctea. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.24 ... ... **93**

Pequena Nuvem de Magalhães, à distância de 63 kpc da Via Láctea. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.25 ... ... **94**
Andrómeda (M 31 ou NGC 224), galáxia do Grupo Local, comparável à Via Láctea. A distância a esta galáxia é de 900 kpc. As duas manchas claras são duas galáxias satélite. (Adaptado de http://pcgo.if.ufrgs.br/galax/index.htm).

Figura 3.26 ... ... **94**
Fotografia de fundo: modelo construído, à escala, das galáxias Via Láctea, Nuvens de Magalhães (à direita) e Andrómeda (à esquerda). A distância entre os pratos é de 4,9 m. Fotografia inserida: pormenor do modelo relativamente ao conjunto Via Láctea e Nuvens de Magalhães. O diâmetro do prato é de 16,3 cm. Dimensões das Nuvens de Magalhães: 10,3 cm e 4,3 cm.

Figura 3.27 ... ... **95**
Distribuição de algumas galáxias no interior do Grupo Local. No esquema, as galáxias foram desenhadas no plano de modo a assinalar as suas distâncias à Galáxia. Ao Grupo Local pertencem cerca de 30 galáxias mas na figura estão representadas apenas 21. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Figura 3.28 ... ... **95**
Enxame de *Coma*: as manchas luminosas desta imagem são galáxias individuais. A este conjunto pertencem, pelo menos, 10 000 galáxias. A mancha brilhante no topo da figura é uma estrela da Via Láctea, milhões de vezes mais próxima de nós que qualquer galáxia do exame. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/images/d2/02345a.jpg).

Figura 3.29 ... ... **96**
Enxame da Virgem: contém mais de 2 000 galáxias a cerca de 15 Mpc da Terra. As duas grandes manchas da direita fazem parte do centro do enxame e são as galáxias M 84 (à direita) e M 86 (à esquerda). (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/images/d2/02346a.jpg).

Figura 3.30 ... ... **96**
Enxame de *Hercules*, irregular, a 150 Mpc de distância de nós. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/images/d5/03496a.jpg).

Figura 3.31 ... ... **97**
Simulação computacional da estrutura filamentosa do universo. O volume do Universo correspondente a esta imagem é o de um cubo de 300 milhões de anos-luz de aresta. As cores azul escuro, azul, rosa, vermelho e laranja representam diferentes densidades, da mais baixa para a mais alta, respectivamente. (Adaptado de http://www-hpcc.astro.washington.edu/picture /images/runs06.01461.gif).

Figura 3.32 ... ... **98**

Imagem obtid pelo Telescópio Espacial Hubble mostrando galáxias a cerca de 2 mil milhões de anos após o *Big Bang*. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/HDFWF3.jpg).

Figura 3.33 ... ... **98**

"*Levo 8 espirais, 6 elípticas e 2 irregulares, por favor*". (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Figura 3.34 ... ... **99**

Aresta do cubo: 20 000 km;

Volume do cubo: 8 biliões de quilómetros cúbicos (8 000 000 000 000 km^3 = 8×10^{12} km^3);

Volume da Terra: $1{,}09\times10^{12}$ km^3 (1,09 biliões de quilómetros cúbicos);

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 0,07 s;

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.35 ... ... **99**

Aresta do cubo: 2 000 000 km;

Volume do cubo: 8 triliões de quilómetros cúbicos

(8 000 000 000 000 000 000 km^3 = 8×10^{18} km^3;

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 6,7 s;

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.36 ... ... **100**

Aresta do cubo: 200 000 000 km (1,337 u.a.);

Volume do cubo: 2,389 u.a. cúbicas (8×10^{24} km^3)

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 11,1 m

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.37 ... ... **100**

Aresta do cubo: 20 000 000 000 km (133,7 u.a.);

Volume do cubo: 2 390 000 u.a. cúbicas (8×10^{30} km^3);

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 18,5 h;

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.38 ... ... **101**

Aresta do cubo: 13 370 u.a (0,21 a. l.);

Volume do cubo: 2,390 biliões de u.a. cúbicas

(2 390 000 000 000 $u.a.^3$ =$2{,}39\times10^{12}$ u.a. cúbicas);

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 77,22 dias;

Número estimado de cometas no interior do cubo: um bilião (1×10^{12} cometas);
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.39 ... ... **101**
Aresta do cubo: 1 337 000 u.a (21 a. l.);
Volume do cubo: 9 261 a.l. cúbicos ($2,39\times10^{18}$ u.a.^{3});
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 21 anos;
Distância do Sol a: *Sirius*, 23; *Proxima Centauri*, 8,6 a.l.; *Epsilon Eridani*, 10,5 a.l..
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.40 ... ... **102**
Aresta do cubo: 2 100 a. l.;
Volume do cubo: 9 261 milhões de a.l. cúbicos ($9,261\times10^{9}$ a.l.^{3});
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 2 100 anos;
Distância do Sol a: *Aldebaran*, 65 a.l.; *Spica*, 260 a.l.; *Pleiades*, 370 a.l.; enxame M7, 800 a.l.;
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.41 ... ... **102**
Aresta do cubo: 210 000 a. l.;
Volume do cubo: 9 261 biliões de a.l. cúbicos ($9,261\times10^{15}$ a.l.^{3});
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 210 000 anos;
Diâmetro da Via Láctea: 100 000 a.l.;
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.42 ... ... **103**
Aresta do cubo: 21 000 000 a. l. (6,44 Mpc);
Volume do cubo: 9 261 triliões de a.l. cúbicos ($9,261\times10^{21}$ a.l.^{3});
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 21 milhões de anos ($2,1\times10^{7}$ anos);
Distância à galáxia M31 (Andrómedra): $2,9\times10^{6}$ a.l.;
Distância às galáxias M81 e M82: $1,1\times10^{7}$ a.l.;
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.43 ... ... **103**
Aresta do cubo: 2 100 000 000 a. l. (644 Mpc);
Volume do cubo: 9 261 quatriliões de a.l. cúbicos ($9,261\times10^{27}$ a.l.^{3});
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 2,1 mil milhões de anos ($2,1\times10^{9}$ anos);
Distância estimada entre superenxames: 300 milhões de anos-luz (3×10^{8} a.l.)
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson).

Figura 3.44 ... ... **104**

Esquema mostrando a dimensão aproximada do Universo em cubos sucessivos, cujas arestas foram incrementadas com os valores indicados. (Adaptado de http://www.astronomynotes.com/).

Capítulo 4

Figura 4.1 ... ... **106**

Esquema mostrando ordens de grandeza de algumas dimensões existentes no Universo.

Imagem *a*: Distância ao enxame de galáxias *Fornax*, $2{,}8\times10^{24}$ metros ou seja 3×10^{8} a.l.. (Adaptado de http://www.damtp.cam.ac.uk/user/gr/public/gal_lss.html).

Imagem *b*: Diâmetro da galáxia Andrómeda, $1{,}42\times10^{21}$ metros ou seja, $1{,}5\times10^{5}$ a.l.. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0424.html).

Imagem *c*: Distância ao quasar PHL909, $1{,}42\times10^{25}$ metros, ou seja, $1{,}5\times10^{9}$ a.l. e encontra-se no núcleo de uma galáxia. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/qsohosts.jpg).

Imagem *d*: Distância às galáxias observadas durante a realização do projecto *Hubble Deep Field*, $1{,}14\times10^{26}$ metros, ou seja, $1{,}20\times10^{10}$ (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/HDFWF3.jpg).

Imagem *e*: Diâmetro do enxame de estrelas M80, $6{,}86\times10^{17}$ metros, ou seja, 72,5 a.l.. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0599.html).

Imagem *f*: Comprimento da Grande Nuvem de Magalhães, $5{,}87\times10^{20}$ metros, ou seja, $6{,}20\times10^{4}$ a.l.. (Adaptado de http://www.noao. edu/image_gallery/html/im0562.html).

Imagem *g*: Diâmetro da estrela *Betelgeuse*, $1{,}11\times10^{12}$ metros, ou seja, 800 vezes a dimensão do Sol. (Adaptado de http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap990605.html).

Imagem *h*: Afélio do Cometa *Hale-Bopp*, $6{,}79\times10^{13}$ metros, ou seja , 454 u.a.. (Adaptado de http://www.jpl.nasa.gov/comet/gif/pach17.jpg).

Imagem *i*: Distância média da terra ao Sol, $1{,}50\times10^{11}$ metros, ou seja, 1 u.a.. (Adaptado de *Starry Night Pro*, Sienna Software Incorporated).

Imagem *j*: Diâmetro do Sol, $1{,}39\times10^{9}$ metros. (Adaptado de http://www.solarviews.com/r/sun/xsun.jpg).

Imagem *k*: Extensão de Portugal, $5{,}81\times10^{5}$ metros. (Adaptado de http://kids.infoplease.lycos.com/ipka/A0748918.html).

Imagem *l*: Diâmetro da Terra, $1{,}28\times10^{7}$ metros. (Adaptado de http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/earth_1_apollo17_big.jpg).

Imagem *m*: Extensão da cidade de Lisboa, $1{,}25\times10^{4}$ metros, ou seja, 12,5 km. (Adaptado de http://lisboa.kpnqwest.pt/p/ver/ar/ar01.html).

Imagem *n*: Dimensão de uma janela, 1 metro, unidade básica de comprimento.

Imagem *o*: Comprimento de uma pulga vulgar, $1{,}5\times10^{-3}$ metros, ou seja, 1,5 mm. (Adaptado de *Insectos Fantásticos*, de Miranda Macquitty).

Imagem *p*: Diâmetro de um CD, $1{,}2\times10^{-1}$ metros, ou seja, 12 cm. (Adaptado de *Ciências Físico-Químicas*, 8º ano de escolaridade, de Lucinda Santos Mendonça e Marta Duarte Ramalho).

Imagem *q*: Comprimento da bactéria *Haemophilus*, que vive no revestimento da boca e do nariz do ser humano, 1×10^{-6} metros, ou seja, 0,001 mm. (Adaptado de *Vida Microscópica*, de David Burnie).

Imagem *r*: Dimensão de um vírus típico, $2{,}25\times10^{-7}$ metros, ou seja, 0,000 225 mm. (Adaptado de *Vida Microscópica*, de David Burnie).

Imagem *s*: Diâmetro de uma molécula de Butano, 1×10^{-9} metros, ou seja, na ordem de alguns nanómetros (1 nm = 0,000 000 001 m) de comprimento. (Adaptado de *Química*, 8º ano de escolaridade, de Carlos Fiolhais, Jorge Valadares, Luís Silva e Vítor Duarte Teodoro).

Imagem *t*: Diâmetro de um átomo. Diâmetro do átomo de hidrogénio $2{,}4\times10^{-10}$ metros, isto é, 2,4 angströms (Ä) de comprimento (1 Ä = 10^{-10} m). (Adaptado de *Química*, 8º ano de escolaridade, de Carlos Fiolhais, Jorge Valadares, Luís Silva e Vítor Duarte Teodoro).

Imagem u: Diâmetro de um núcleo atómico, cerca de 10^{-15} metros. (Adaptado de *Vida Microscópica*, de David Burnie).

Figura 4.2 ... ... **107**

Esquema mostrando ordens de grandeza de algumas velocidades existentes no Universo.

Imagem *a*: O Sol em torno do centro galáctico com uma velocidade de $2{,}2\times10^{5}$ m/s. (Adaptado de *Guia de Aprendizagem de Ciências do Ambiente,* Unidade 6, de Elisabete Jacinto e Maria Eduarda Pina).

Imagem *b*: Velocidade da luz. (Adaptado de *Energias* de Maria Leonor Ferrão e Marília Silva).

Imagem *c*: Velocidade da Terra em torno do Sol: $2{,}98\times10^{4}$ m/s. (Adaptado de *No Mundo da Física,* 8º ano, de Neli Cavaleiro e Domingas Beleza).

Imagem *d*: Velocidade da Lua em torno da Terra: $1{,}02\times10^{3}$ m/s. (Adaptado de *No Mundo da Física,* 8º ano, de Neli Cavaleiro e Domingas Beleza).

Imagem *e*: Velocidade do comboio TGV: $1{,}43\times10^{2}$ m/s. (Adaptado de http://mercurio.iet.unipi.it/tgv/images/korea/koreatrainset.jpg).

Imagem *f*: Velocidade do som no ar. (Adaptado de *No Mundo da Física,* 8º ano, de Neli Cavaleiro e Domingas Beleza).

Imagem *g*: Velocidade de corrida em curta distância: 10 m/s. (Adaptado de *Atletismo de Pista*, da colecção Os Livros Olímpicos do Ziggy).

Imagem *h*: Velocidade do insecto mais rápido do mundo: 8,1 m/s. (Adaptado de *Biologia , Ciência da Vida*, de Amparo Silva).

Imagem *i*: Velocidade da formiga: 10^{-2} m/s. (Adaptado de *Biologia, Ciência da Vida*, de Amparo Silva).

Imagem *j*: Velocidade do caracol: $1{,}39\times10^{-2}$ m/s. (Adaptado de *Biologia , Ciência da Vida*, de Amparo Silva).

Imagem *k*: Movimento dos espermatezóides: cerca de 5×10^{-4} m/s. (Adaptado de revista Super Interessante).

Imagem *l*: Imagem do glaciar nas montanhas *Saint Elias*, no Alaska. Velocidade de deslizamento dos glaciares: $2{,}85\times10^{-7}$ m/s. (Adaptado de http://nsidc.org/glaciers/gallery/Variegated_large.html).

Imagem *m*: Vista aérea do Estreito de Gibraltar (esquerda) e norte de África (direita). Velocidade do movimento das placas tectónicas: cerca de 10^{-9} m/s. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/captions/earth/strait.htm).

Imagem *n*: Bactérias na ponta de um alfinete que se movimentam com uma velocidade aproximada de 10^{-8} m/s. (Adaptado de *Técnicas Laboratoriais de Biologia,* de Júlia Leal).

Figura 4.3 ... ... **108**

Esquema com a idade do Universo reduzida a um ano e alguns acontecimentos nessa escala. A divisão da régua não se encontra proporcional à divisão do tempo indicado.

Imagem *a*: Nascimento das primeiras estrelas 100 milhões de anos após o *Big Bang*. Imagem da região de formação de estrelas *30 Doradus,* na Grande Nuvem de Magalhães. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/PR/2001/21/content/0121w.jpg).

Imagem *b*: Nascimento das primeiras galáxias, há cerca de 13 mil milhões de anos. Ima-

gem da galáxia NGC1365. (Adaptado de http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1999/phot-08b-99-preview.jpg).

Imagem *c*: Assim como as estrelas se atraíram entre si para formar galáxias, estas, há cerca de 11,5 mil milhões de anos também começaram a aglutinar-se para formarem os enxames de galáxias. Imagem do enxame de galáxias Abell98. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0465.html).

Imagem *d*: Há cerca de 10 mil milhões de anos ocorreu a formação da Via Láctea, 5 mil milhões de anos depois do *Big Bang*. Imagem da região central da Galáxia, na constelação *Sagittarius*. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0301.html).

Imagem *e*: Início da formação dos primeiros sistemas planetários na Galáxia, há 6,7 mil milhões de anos. A imagem é uma vista hipotética do sistema planetário *Epsilon Eridani*. (Adaptado da revista *Sky & Telescope,* de Junho de 2001).

Imagem *f*: 1,7 mil milhões de anos após o aparecimento dos sistemas planetários, ocorreu a formação do nosso Sistema Solar, há cerca de 5 mil milhões de anos. Imagem representa o sistema Solar à escala. (Adaptado de http://www.hawastsoc.org/).

Imagem *g*: Há 2 mil milhões de anos nascia o que se julga ser o *quasar* mais próximo. Imagem do *quasar* 3C273, na constelação Virgem. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/html/im0127.html).

Imagem *h*: Extinção dos dinossauros provocada pela queda de um cometa, há 65 milhões de anos. (Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod).

Imagem *i*: Nascimento do enxame de estrelas *Pleiades*, há 20 milhões de anos. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Imagem *j*: Nascimento de Jesus Cristo. (Adaptado de *Mensageiro do Coração de Jesus*, de Janeiro de 1999).

Imagem *k*: Descobrimento do Brasil, há 500 anos. Imagem da bandeira do Brasil. (Adaptado de http://www.zenite.nu/).

Imagem *l*: Criação do reino de Portugal, há 859 anos. (Adaptado de *História de Portugal*, de José Mattoso).

Índice de quadros

Capítulo 2 Página

Quadro 2.1 ... ... **8**

Algumas características físicas do planeta Vénus

Quadro 2.2 ... ... **10**

Algumas características físicas do planeta Vénus

Quadro 2.3 ... ... **14**

Algumas características físicas do planeta Terra

Quadro 2.4 ... ... **16**

Algumas características físicas da Lua

Quadro 2.5 ... ... **19**

Algumas características físicas de Marte

Quadro 2.6 ... ... **21**

Algumas características físicas de Júpiter

Quadro 2.7 ... ... **29**

Algumas características físicas de Saturno

Quadro 2.8 ... ... **33**

Algumas características físicas de Úrano

Quadro 2.9 ... ... **37**

Algumas características físicas de Neptuno

Quadro 2.10 ... ... **40**

Algumas características físicas de Plutão e de Caronte

Quadro 2.11 ... ... **78**

Algumas características físicas do Sol

Índice de tabelas

Capítulo 2 Página

Tabela 2.1 ... ... **6**

Os planetas do Sistema Solar.

Tabela 2.2 ... ... **22**

Algumas características físicas dos Satélites Galileanos.

Tabela 2.3 ... ... **61**

Dimensões do modelo, à escala, da Terra, Lua, órbita do *Space Shuttle*.

Tabela 2.4 ... ... **62**

Tempo que se leva atingir as órbitas dos planetas, a partir do Sol, a diversas velocidades.

Capítulo 3

Tabela 3.1 ... ... **80**

Dados sobre algumas estrelas visíveis a olho nu, no hemisfério norte.

1. Introdução

No passado os homens observaram que se podia medir o tempo através do movimento dos corpos celestes, aproveitando esta regularidade para marcar a sucessão das estações do ano, facto de grande importância para a agricultura. Desde o princípio, as observações astronómicas tiveram uma finalidade prática. Com o propósito de se protegerem dos perigos que os ameaçavam, tanto os Babilónios como os Maias se dedicaram à astronomia/astrologia. No Egipto, a arte de interpretar os astros era de extrema importância para prever as inundações do Nilo. Durante muito tempo, o conhecimento sobre os astros e a arte de os interpretar era considerado como sendo um único assunto. Kepler (1571 – 1630), por exemplo, escreveu sobre astrologia. Galileu (1564 – 1642), em 1610, descobriu que os planetas, tal como a Terra, eram corpos celestes e podiam estar acompanhados de luas. Iniciou-se uma nova etapa na astronomia, pois as observações astronómicas passaram a ser dirigidas no sentido de determinar a posição e dimensões dos corpos celestes. Com o auxílio de telescópios foi possível pesquisar o espaço, descobrindo-se estrelas menos brilhantes do que aquelas que observamos a olho nu.

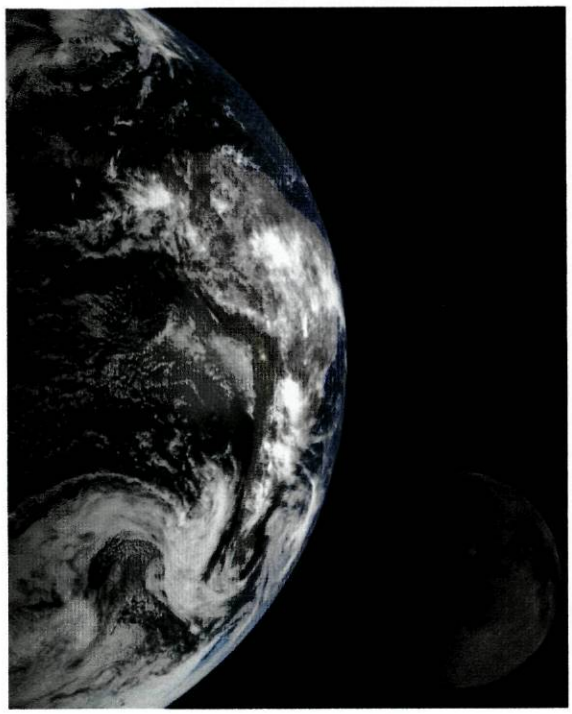


Figura 1.1
Montagem fotográfica da Terra e da Lua à mesma escala. São visíveis parte da América do Sul e do Oceano Pacífico. Na Lua é visível a zona raiada da cratera *Tycho*. As imagens foram registadas pela sonda *Galileo*, em 1992. (Adaptado de http://solarviews.com/r/earth/earthmo3.jpg)

Newton (1642-1727), ao formalizar a lei de gravitação universal demonstrando que a força que faz com que a maçã caia no chão é a mesma que mantém a Lua na sua órbita em redor da Terra e a dos demais planetas do nosso sistema em redor do Sol, modificou todo o processo de investigação. A teoria da relatividade de Einstein (1879-1955) também foi revolucionária para as pesquisas astronómicas. O estudo das galáxias exteriores à Via Láctea progrediu extraordinariamente quando em 1949 foi concluído o telescópio de *Hale* e, recentemente, a colocação em órbita do *Hubble Space Telescope* (1990). Com o envio de sondas, por exemplo, as *Voyager 1*, *Voyager 2* (1977) e *Galileo* (1986) e, posteriormente, a recepção das imagens dos planetas enviadas por estas máquinas, ficámos a conhecer melhor o nosso siste-

ma planetário. Muitas das imagens deste trabalho devem-se aos registos efectuados por estas maravilhas inventadas pela inteligência do homem.



Figura 1.2
Galáxia espiral ESO269-57. Registo efectuado a 30 de Abril de 1990. (Adaptado de http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1999/phot-20c-99-preview.jpg)

Apesar dos astronautas terem alcançado o corpo celeste mais próximo de nós, a Lua (figura 1.1), que se encontra a 376 280 km de distância (uma viagem regular de comboio TGV de cerca de 63 dias e 18 horas, a 246 km/h) ainda continua a ser difícil compreender as dimensões do nosso sistema planetário: a distância entre a Terra e o Sol é de 149,6 milhões de quilómetros, e Plutão está a 5,9 mil milhões de quilómetros de distância. No mesmo comboio TGV, demoraríamos 69 anos e 5 meses a chegar ao Sol e, para percorrer a distância a Plutão precisaríamos de 27 séculos, 42 anos e 3 meses! Para descrever as distâncias no Sistema Solar, os astrónomos criaram uma unidade de medida, a unidade astronómica (u.a.) equivalente a 149 600 000 km. Para descrever as dimensões dos sistemas de estrelas, as galáxias que constituem o Universo (figura 1.2), foram adoptadas novas unidades de medida mais apropriadas: o ano-luz (946 728 000 000 km ou 63 284 u.a.) e o parsec (206 265 u.a.). A nossa galáxia tem cem mil anos-luz de comprimento, e as mais afastadas estão a milhões de anos-luz, tendo o seu número sido estimado em cerca de cem mil milhões de galáxias, cada uma delas contendo, talvez, cem mil milhões de estrelas. Todas juntas não chegam a ser tantas quanto os átomos que cabem numa gota de água.

Ao mesmo tempo que se investigava o macrocosmos, o homem também fazia investigação no microcosmos. Neste mundo, os cientistas adaptam para unidade de medida de comprimento o *angström* (Å) que é a décima milionésima parte do metro, 0,000 000 000 1 m. O electrão somente a centésima milionésima parte do *angström* (0,000 000 001 Å) e o átomo mede apenas algumas unidades de *angström*. Se pudéssemos diminuir até ficar do tamanho de um electrão, veríamos o átomo como um enorme sistema solar, sendo vazio na sua maior parte. A estrutura do nosso Sistema Solar faz lembrar a estrutura do átomo em que o núcleo seria o Sol e os electrões seriam os planetas nas suas órbitas.

Neste trabalho, utilizando analogias entre objectos e apoiando-nos em fotografias, esboços, esquemas ou em modelos aproximadamente à escala, procuraremos mostrar quão grande

é o Universo do qual fazemos parte e como raramente tomamos consciência disso.

No capítulo 2, dedicado ao Sistema Solar, as características dos planetas serão comparadas entre si e, sempre que possível, serão utilizadas comparações com características do planeta Terra. Procuraremos apresentar analogias relacionando dimensões entre planetas e as suas principais luas. Por exemplo, a Terra considerada à dimensão de uma bola de ténis e a Lua com o tamanho de um berlinde. Parte deste capítulo será reservado à apresentação de características do Sol, nomeadamente, as dimensões das diversas zonas que constituem a sua atmosfera e energia produzida.

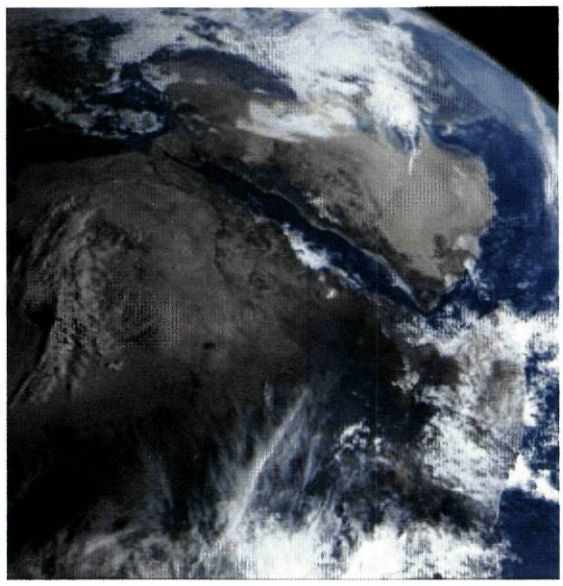


Figura 1.3

Imagem do Nordeste da África e da Península Arábica registada de uma altura de cerca de 500 000 km pela sonda *Galileo*, a 9 de Dezembro de 1992, quando deixou a Terra em direcção a Júpiter. (Adaptado de http://www.solarviews.com/r/earth/arabian.jpg).

No capítulo 3, dedicado às estrelas e galáxias, descreveremos algumas características de estrelas visíveis a olho nu, nomeadamente as suas dimensões e luminosidades, comparando-as entre si e também com estrelas medianas e anãs. Relativamente às galáxias, referiremos as suas dimensões e as distâncias a que se encontram e como se distribuem no Universo. Ainda neste capítulo, apresentaremos uma visão do Universo descrevendo a sua dimensão através de uma sequência de cubos centrados na Terra, em que o primeiro terá uma aresta pouco maior que o diâmetro de Terra e a aresta dos seguintes será incrementada do factor 100, dando assim um incremento volumétrico de um milhão a cada cubo da sequência.

Finalmente, o capítulo 4 será dedicado a três réguas cósmicas referentes a dimensões espaciais, velocidades e à idade do Universo. A primeira régua, que mostra ordens de grandeza de algumas dimensões, possui uma magnitude de 41 ordens de grandeza e nela serão inseridas alguns exemplos. Esta régua varia de 10^{-15} m (diâmetro de um núcleo atómico) a 10^{16} m (distâncias às galáxias observadas pelo *Hubble Space Telescope* durante a realização do projecto *Hubble Deep Field*). A segunda régua mostrará ordens de grandeza de algumas velocidades existentes no Universo ou de objectos criados pelos homens. Tem uma amplitude de 17 ordens de grandeza, variando de 10^{-9} m/s (velocidade do movimento das placas tectónicas - figura 1.3) a 10^{8} m/s (velocidade da luz). A terceira, mostrará a idade do Universo reduzida a um ano e alguns acontecimentos nessa escala. Por exemplo, o *Big Bang* terá ocorrido a 1 de Janeiro e o nascimento de Jesus Cristo terá ocorrido a cerca de 4 segundos do fim desse ano.

2. Sistema Solar

2.1 A caminho do espaço

O nosso planeta é apenas uma pequena parte de um conjunto muito maior: o Sistema Solar. Apesar deste parecer distante e parecer começar onde a atmosfera da Terra se rarefaz, somos parte integrante dele.

A atmosfera terrestre, de facto, é uma fina camada junto ao planeta (figura 2.1), quando comparada com as distâncias que se encontram os restantes planetas: para a travessar seria necessário apenas uma viagem de cerca de duas horas se os automóveis pudessem deslocar-se na vertical. Viagem difícil, no entanto, devido à tremenda atracção da gravidade que puxa para o centro da Terra. Independentemente da altura a que nos encontrarmos, a força da gravidade exercida pela massa terrestre tenta puxar-nos sempre de volta. Mas se conseguirmos viajar a 11 km/s, ou seja, cerca de 40 000 km/h (velocidade de escape da Terra) conseguiremos contrariar essa força.

Para se entender melhor o que é a velocidade de escape, imagine-se a atirar bolas de uma torre elevada (figura 2.2). Deixando cair a bola, esta cairá na vertical em direcção ao centro da Terra mas se a lançarmos suavemente na horizontal, ela deslocar-se-á um pouco antes de atingir a superfície da Terra (posição 1). Atirando a bola com mais força, ela executará um percurso curvilíneo antes de bater no solo (posição 2). Se a lançarmos ainda com mais força, a bola atingirá a posição 3. Esta distância está relacionada com a força utilizada para o seu lança-

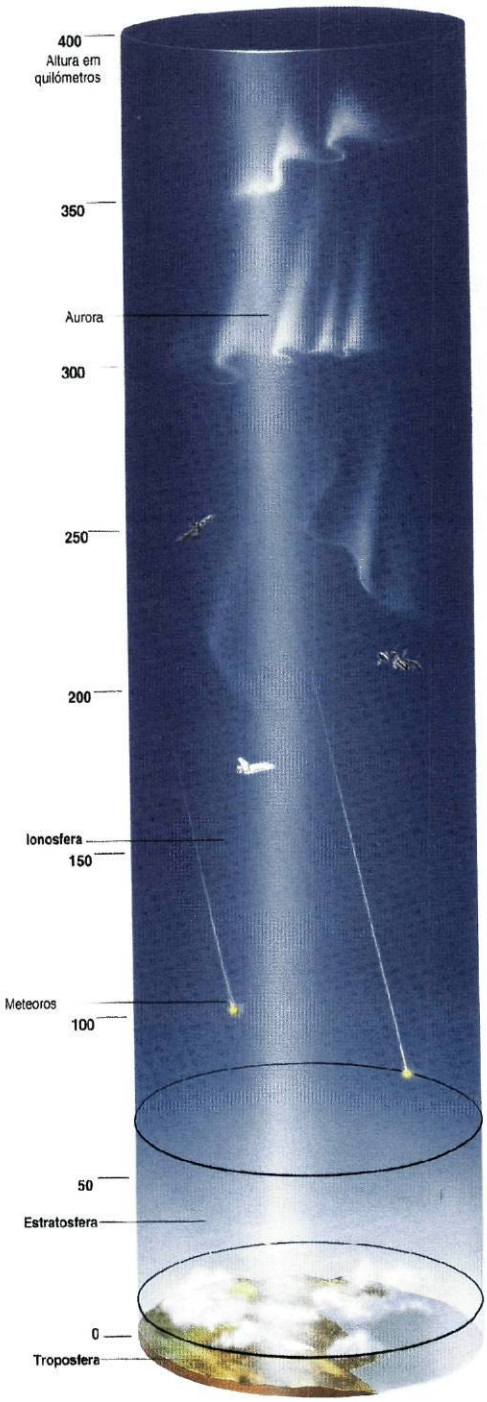


Figura 2.1
Esquema da atmosfera terrestre com a identificação das diversas camadas e a altitude aproximada de cada uma. A altitude média do vaivém espacial assim como de satélites estão assinaladas por um pequeno símbolo. (Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod)

mento. Se conseguirmos atirar a bola com uma determinada velocidade, cerca de 28 000 km/h, o percurso curvilíneo efectuado por ela será idêntico à curvatura da Terra (posição 4), fazendo com que não atinja a superfície, apesar da gravidade a puxar para o centro do planeta. A bola está, de facto caindo mas devido à velocidade, a superfície terrestre abaixo da bola também *cai* com o mesmo *ratio* que a bola. Deste modo a bola entra em órbita circular. Se a bola for lançada com velocidade acima do valor referido, passa a possuir uma órbita elíptica.

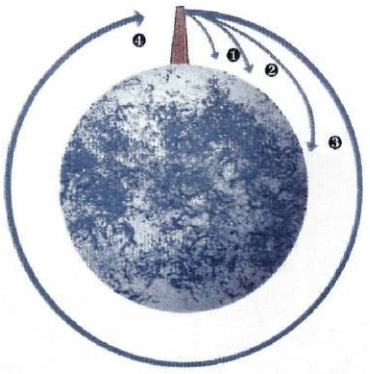


Figura 2.2

Esboço esquemático referente ao lançamento de um objecto de uma determinada altura, com diversas velocidades iniciais de lançamento. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest)

Uma nave espacial é lançada na sua órbita por este processo sendo necessário que atinja a velocidade de 11 km/s (figura 2.3); a esta velocidade o *Space Shuttle* percorreria o perímetro da Terra no equador numa hora e um carro levaria cerca de 14 dias a percorrer a mesma distância, à velocidade máxima permitida nas auto-estradas portuguesas.



Figura 2.3

Lançamento do Vaivém Espacial. Durante os dois minutos seguintes, os foguetes laterais queimarão todo o combustível separando-se de imediato do tanque principal para serem reutilizados em outras missões. A órbita da nave será atingida 8 a 9 minutos após a descolagem. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/sts/sts02.gif)

2.2 O Sistema Solar

Os objectos celestes nossos vizinhos são: a nossa estrela local a que chamamos Sol, a sua família constituída por nove planetas, cerca de 70 luas, muitos cometas e inúmeros asteróides. Plutão, devido à sua excentricidade orbital excessiva, é quase sempre o planeta mais afastado do Sol, cerca de 5,9 mil milhões de quilómetros de distância. No entanto, a estrela mais próxima situa-se a uma distância 6 750 vezes maior – o que mostra muito bem como é pequena a nossa vizinhança. O Sistema Solar, é inteiramente dominado pelo Sol, a qual tem cerca de 1 000 vezes mais a massa de todos os planetas juntos. A energia que gera, por fusão nuclear, torna-o muito luminoso fornecendo-a todo o Sistema Sola. A sua força gravitacional atrai os planetas, fazendo-os girar à sua volta em órbitas quase circulares.

Na tabela 2.1 estão indicadas as distâncias, em quilómetros e em unidades astronómicas, a que se encontram os planetas que formam o Sistema Solar e a respectiva grandeza visual. Saliente-se que os três últimos planetas já não se podem observar a olho nu pois a sua magnitude visual é superior à magnitude 6, que é a máxima visível a olho nu. Na figura 2.4 está representado, à escala, a distância média a que os planetas se encontram do Sol na sua órbita em torno da estrela. Cada rectângulo é equivalente a uma unidade astronómica, isto é, 149,6 milhões de quilómetros, a distância média a que se encontra a Terra do Sol; esta unidade é muito útil a nível do Sistema Solar permitindo, por exemplo, perceber melhor quão longe se encontra o planeta Plutão. Se imaginarmos o Sol posicionado na nossa cabeça e a Terra na ponta do nosso dedo indicador, isto é, equiparando o nosso braço à unidade astronómica (u. a.), seria necessário medir aproximadamente trinta e nove braços e meio alinhados para colocarmos Plutão na distância correcta. Logo, precisaríamos de trinta e nove pessoas em fila e com o braço estendido e mais um *pedaço* de outro braço.

Tabela 2.1 Os planetas do Sistema Solar

NOME	Distância ao Sol (km)	Diâmetro (km)	Distância ao Sol (u.a.)	Número de luas
Mercúrio	57.910.000	4.878	0,39	0
Vénus	108.200.000	12.104	0,72	0
Terra	149.600.000	12.756	1,00	1
Marte	227.940.000	6.796	1,52	2
Júpiter	778.000.000	142.984	5,20	16
Saturno	1.429.000.000	120.536	9,55	18
Úrano	2.870.990.000	51.118	19,19	20
Neptuno	4.504.300.000	49.528	30,11	8
Plutão	5.913.520.000	2.300	39,53	1

(Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman)

Ainda relativamente a Plutão, está assinalada uma distância mínima e uma distância máxima ao Sol devido ao facto de a sua órbita ser acentuadamente elíptica, levando-o a um afastamento do Sol, cerca de 49,39 u.a. (afélio), e uma aproximação ao Sol de cerca 29,7 u. a. (periélio). As restantes distâncias dos outros planetas ao Sol estão assinaladas considerando as órbitas circulares apesar de serem, na realidade, elípticas mas com uma excentricidade muito pequena. Nesta figura existe uma outra representação: as dimensões relativas dos planetas, à escala, comparadas com uma parte do Sol.

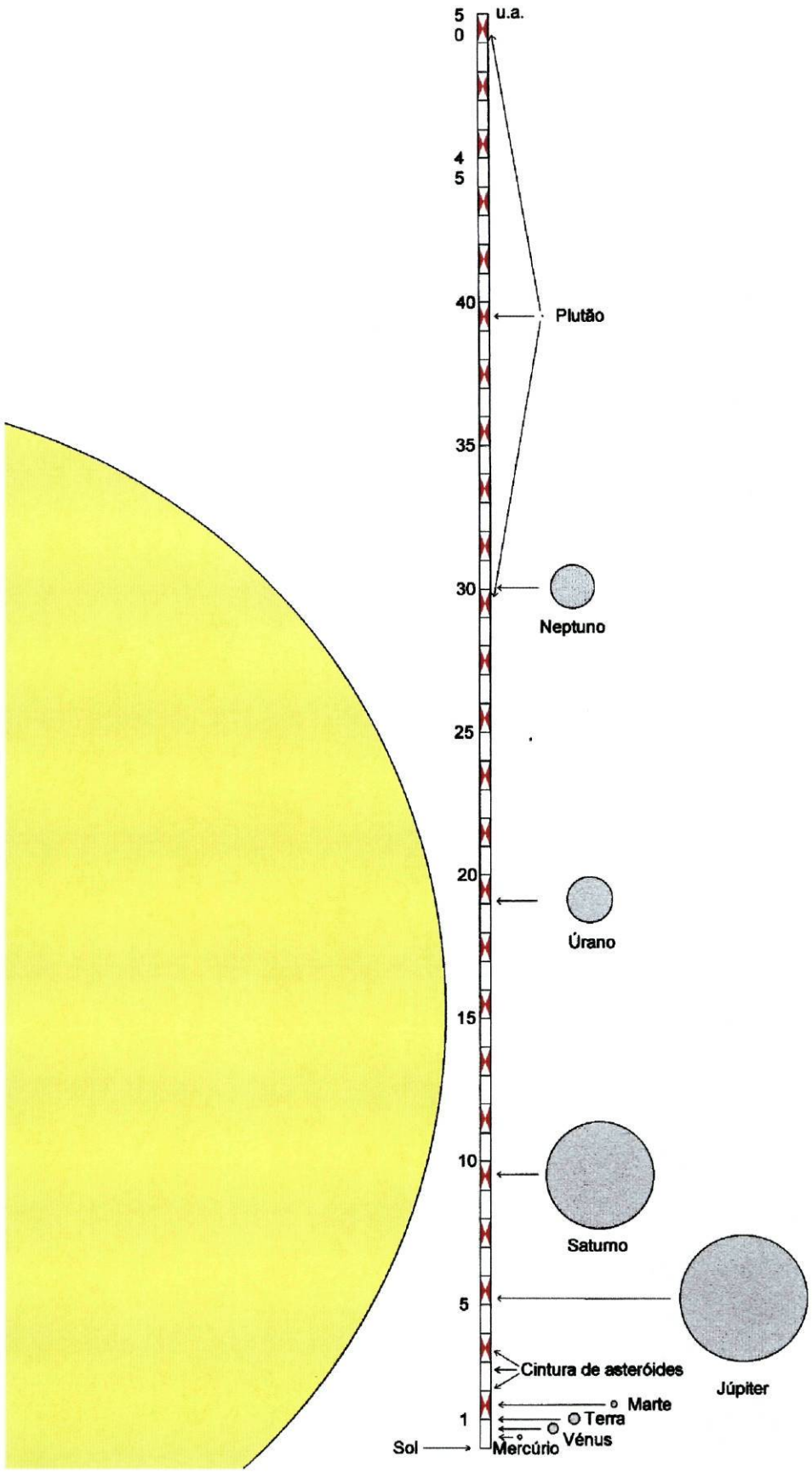


Figura 2.4

Esquema representativo das dimensões do Sistema Solar utilizando duas escalas distintas: uma referente às distâncias a que se encontram os planetas do Sol e a outra referente às dimensões dos planetas e do Sol. Para representar a totalidade do Sol nesta escala, seriam necessárias duas folhas A4.

2.3 Mercúrio

Mercúrio teve o seu nome atribuído pelos romanos baseado no mensageiro dos deuses, de asas nos pés, porque parecia mover-se mais depressa do que qualquer outro planeta. É o planeta mais próximo do Sol, e o segundo mais pequeno do Sistema Solar. O seu diâmetro é 38,2% mais pequeno do que o da Terra (figura 2.5) e 40,3% maior do que o da Lua. É até mais pequeno do que *Ganymede*, uma das luas de Júpiter e *Titan* uma lua de Saturno. Devido ao facto de se encontrar muito próximo do Sol, a sua localização torna-se bastante difícil. Apenas se consegue ver ao crepúsculo, quer seja logo depois do ocaso ou imediatamente antes do nascer do Sol. Ao mesmo tempo que se desloca a grande velocidade em volta do Sol, gira sobre o seu eixo tão lentamente que demora 58 dias e 16 horas a completar uma rotação (quadro 2.1). No entanto, trata-se do planeta mais vertical de todos, pois o seu eixo de rotação tem uma inclinação de apenas 2° em relação ao plano da sua órbita.

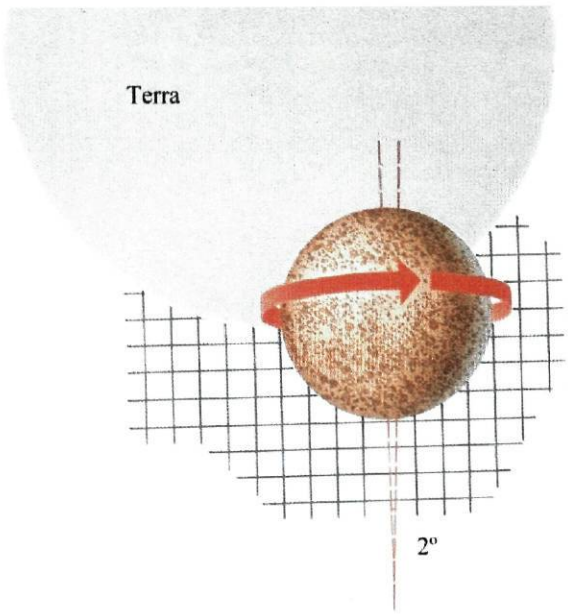


Figura 2.5
Comparação entre o planeta Mercúrio e a Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 82,9 cm de comprimento e o Sol teria 8,08 m de diâmetro - cerca de 27 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Quadro 2.1 Algumas características físicas do planeta Mercúrio

FACTOS E NÚMEROS - Mercúrio	
Diâmetro:	4 878 km (38,2% do diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	57 910 000 km = 0,387 u.a.
Velocidade orbital em volta do Sol:	172 440 km/h
Uma volta em torno do Sol (um "ano"):	87 dias e 23 horas
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo:	58 dias e 16 horas
De um nascer do Sol a outro:	176 dias

2.4 Vénus

Segundo planeta a contar do Sol em dimensão, é quase idêntico à Terra (figura 2.6). Encontra-se permanentemente coberto de nuvens que não permitem a passagem da luz solar até à superfície. As sondas espaciais revelaram um mundo vulcânico e uma atmosfera ácida. Em relação aos outros planetas, Vénus gira em sentido contrário. O seu eixo de rotação tem uma inclinação de 2,7° e demora 243 dias terrestres a dar uma volta completa em torno do seu eixo de rotação, fazendo com que os seus "dias" sejam maiores que os "anos" (quadro 2.2). A sua atmosfera roda também, demorando quatro dias a dar uma volta ao planeta. As suas nuvens reflectem fortemente a luz solar, fazendo-o parecer muito brilhante, sendo por isso o planeta mais fácil de detectar. Quando se encontra a oeste, as pessoas chamam-lhe a "estrela da noite", logo após o ocaso do Sol e "estrela da manhã", quando se encontra a Este, antes do nascer do Sol.

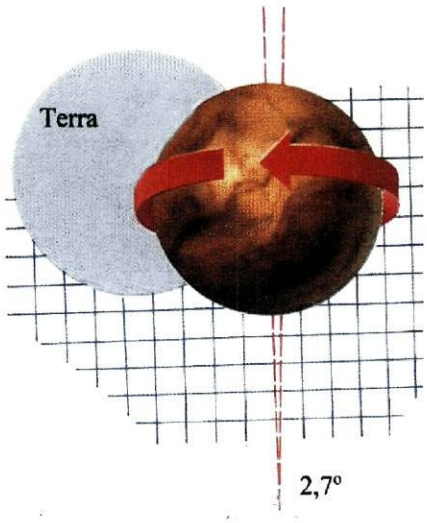


Figura 2.6

Comparação entre o planeta Vénus e a Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 35,9 cm de comprimento e o Sol teria 3,5 m de diâmetro - cerca de 12 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).



Figura 2.7

Continente australiano com uma área de 7 682 300 Km^2 e um comprimento de 3 983 km, na parte mais larga. (Adaptado de http://kids.infoplease.lycos.com/ipka/A0748529.html).

As sondas revelaram que Vénus é menos montanhas que a Terra: as planícies vulcânicas estendem-se por toda a superfície, embora existam grandes regiões montanhosas. Por exemplo, a região chamada *Ishtar Terra* ocupa uma área do tamanho da Austrália (figura 2.7) e o seu ponto mais elevado, os *Maxwell Montes*, é pouco mais alto do que o nosso Monte Evereste (8 848 metros de altura, cerca 28 Torres *Eiffel* empilhadas). A Austrália tem 7 682 300 Km^2 de área de superfície e a sua parte mais larga tem cerca de 4 000 km, de costa a costa, equivalente a uma viagem de TGV de 7 horas e 44 minutos, considerando a velocidade máxima atingida pelo Comboio de Grande Velocidade de 515 km/h, a 18 de Maio de 1990

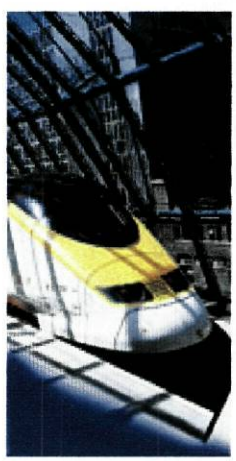


Figura 2.8

O TGV francês pode atingir 515 km/h. (Adaptado de http://www.raileurope.com/us/)

(figura 2.8). Considerando a velocidade regular do TGV, 246 km/h, a travessia da Austrália demoraria cerca de 16 horas e 15 minutos. Para entendermos melhor a dimensão do continente, podemos considerar a velocidade de um carro nas auto-estradas portuguesas, 120 km/h: levaríamos cerca de 1 dia 9 horas. Outra região montanhosa de Vénus que merece referência, devido ao seu tamanho, é a *Aphrodite Terra* por ser a maior região montanhosa do planeta. É aproximadamente do tamanho do continente africano (30 244 050 km^2) e é atravessada por um gigantesco vale com 280 km na zona mais larga, chamado *Diana Chasma* (quase a distância entre Lisboa e Porto de auto-estrada). Outra região mas vulcânica, a *Alpha Regio*, tem uma área aproximada da Escandinávia (figuras 2.9 e 2.10), com 817 092 km^2 de área (Suécia: 449 783 km^2; Noruega: 324 219 km^2; Dinamarca: 43 080 km^2). A maior cratera provocada por meteoritos, a *Mead*, possui 275 km de largura (distância, por estrada, de Porto a Castelo Branco - poderíamos imaginar um círculo com esta dimensão...).

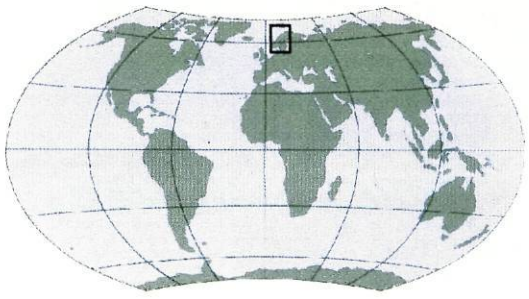


Figura 2.9

Planisfério terrestre (projecção azimutal de Lambert), com a localização da Escandinávia no interior do rectângulo. (Adaptado de *Grande Atlas do Mundo*, Público/Planeta Agostini).



Figura 2.10

Pormenor da região escandinava, assinalada na figura 2.9, cuja área conjunta de Noruega, Suécia e Dinamarca é de 817 092 km^2. (Adaptado de *Folheto Informativo do Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias*, Comissão Europeia, 4º trimestre de 1998).

Quadro 2.2 Algumas características físicas do planeta Vénus

FACTOS E NÚMEROS – Vénus	
Diâmetro:	12 104 km (94,9% do diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	108 200 000 km = 0,723 u.a.
Velocidade orbital em volta do Sol:	126 000 km/h
Uma volta em torno do Sol (um "ano"):	224 dias e 17 horas
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo:	243 dias (movimento retrógrado)
De um nascer do Sol a outro:	117 dias

2.5 O planeta Terra

O terceiro planeta a partir do Sol é a nossa casa, a Terra (figura 2.11). Em muitos aspectos é como os restantes planetas - gira em torno de um eixo e por sua vez em torno do Sol, tal como os seus vizinhos do Sistema Solar. Também é feito de rochas e, tal como a maioria dos planetas, é rodeado por uma camada de gás chamada atmosfera. No entanto, o planeta Terra é diferente dos restantes, pois é o único que possui água em estado líquido, cerca de três quartos da superfície do planeta está coberta com água enquanto que em Mercúrio, Vénus, Marte ou na Lua não existe água na forma líquida. A atmosfera também difere bastante da de qualquer outro planeta: esta é rica em nitrogénio e oxigénio, a dos seus vizinhos mais próximos é fortemente constituída por dióxido de carbono. A atmosfera terrestre, apesar de pouco espessa, pois cerca de 75% encontra-se no espaço de 15 km da superfície, filtra as radiações mais nocivas emitidas pela nossa estrela, assim como evita que os meteoritos colidam com a superfície do planeta. A combinação de uma superfície em permanente mudança, a existência de oceanos e a protectora atmosfera, proporcionaram o desenvolvimento da vida, apenas existente no nosso planeta, pelo menos tal como a conhecemos.

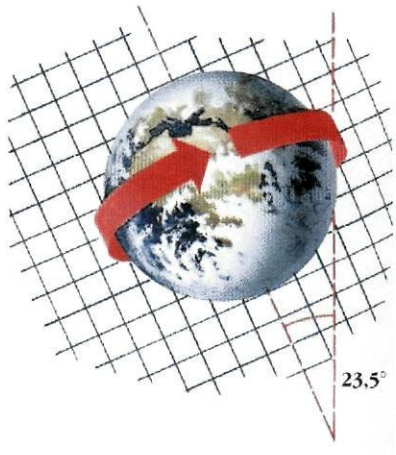


Figura 2.11

Esboço do planeta Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 33,6 cm de comprimento e o Sol teria 3,3 m de diâmetro - cerca de 11 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

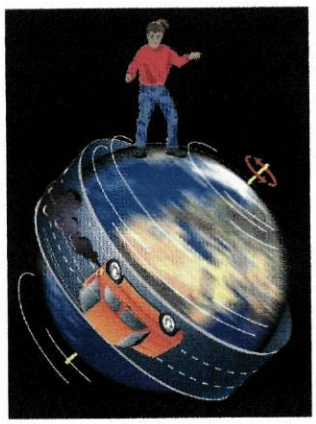


Figura 2.12

A velocidade de rotação da Terra é cerca de 14 vezes a de um automóvel e 7 vezes maior que a velocidade regular do comboio TGV (246 km/h). O esboço não está à escala. (Adaptado de *O Grande Livro do Espaço*, de Sue Becklake).

Em cada 23 horas e 56 minutos a Terra dá uma volta completa sobre o seu eixo, com uma inclinação de 23,5° em relação à vertical. É esta inclinação que, conjugada com o movimento de translação, é responsável pelas diferentes estações do ano. A velocidade de rotação da Terra (figura 2.12) é cerca de 14 vezes superior à velocidade máxima de um automóvel em Portugal. Apesar de ser imperceptível, a velocidade de translação é de 107 280 km/h (quadro 2.3), isto é, 109 vezes superior à velocidade de cruzeiro de um *Boeing* 747 que é de 1 000 km/h, equivalente a 278 m/s - quase a velocidade do som (figura 2.13).



Figura 2.13

A velocidade de translação da Terra é cerca de 49 vezes superior à velocidade do Concorde (2179 km/h). O esboço não está à escala. (Adaptado de *O Grande Livro do Espaço*, de Sue Becklake).

A área de superfície do planeta é cerca de 511 200 000 km^2; dessa, apenas 148 244 000 km^2 são terra firme: isto é, 29% da superfície do planeta Terra. Os restantes 71% são cobertos por água (figura 2.14).

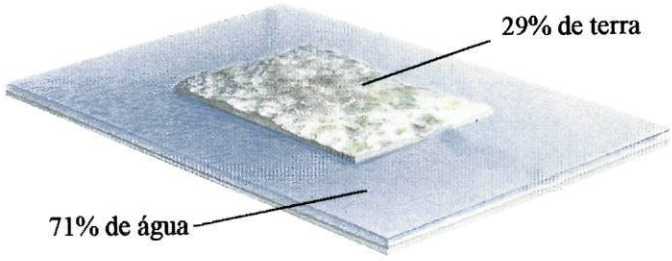


Figura 2.14

Esquema comparativo em percentagem da superfície de terra firme e da superfície coberta de água, no planeta Terra. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

O maior oceano, o Pacífico, cobre perto de um terço do globo terrestre, mais precisamente 32,4% da superfície do globo ou seja, 165 384 000 km^2 - uma área superior à soma das áreas de todos os continentes - e contém cerca de metade da água existente em todo o globo. De facto, 97,2% de toda a água do mundo

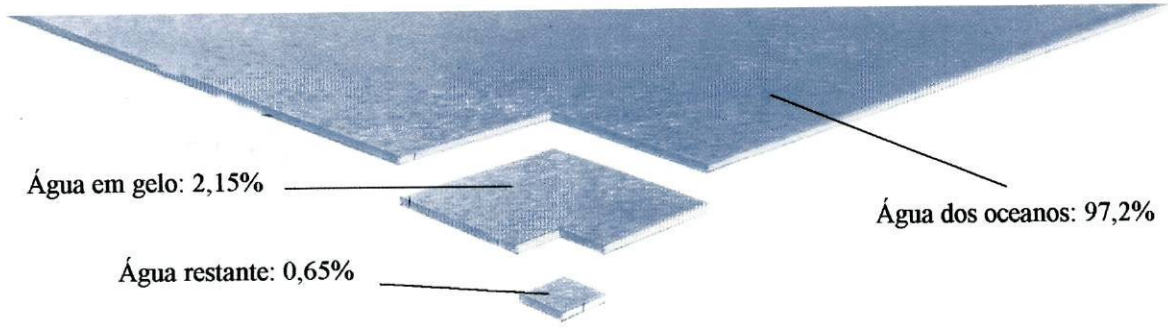


Figura 2.15

Esquema ilustrativo da distribuição da água existente na Terra: oceanos, sob forma de gelo e a água conjunta dos lençóis subterrâneos, lagos, rios e atmosfera. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).



Figura 2.16

Relação entre toda a água existente no globo e a água conjunta dos lagos, dos rios e da chuva: uma banheira vulgar cheia de água (80 litros) para um quarto de colher de chá (0,625 cm^3).

pertence aos oceanos e 2,15% encontra-se na forma de gelo. A restante percentagem, 0,65%, pertence aos lençóis de água armazenados em rochas (figura 2.15). Os lagos, os rios e a água da atmosfera totalizam apenas 0,001% da água existente na Terra, isto é, um quarto de uma colher de chá (0,625 cm^3) para cada banheira cheia de água, os oceanos (figura 2.16).

Ainda sobre a quantidade de água existente no planeta Terra, se conseguíssemos construir um tanque de forma cúbica suficientemente grande para armazenar toda a água contida no Oceano Pacífico (cerca de 696 000 000 km^3), este teria de possuir 890 km de aresta - pouco mais que os 832 km de extensão de toda a costa portuguesa. Seriam necessários cerca de 100 montes idênticos ao Evereste (8 848 metros de altura) empilhados para atingir a superfície desse tanque. O Oceano Atlântico (figura 2.17) precisaria de um cubo com 690 km de

aresta para os seus cerca de 323 000 000 km^3 de água - a distância que um carro percorre entre Castro Marim, no Algarve e Braga, tendo por base os melhores percursos. Para o Oceano Índico, o tanque teria que possuir uma aresta pouco mais que a distância entre Faro e Vila Real, 649 km, de modo que o seu volume de água pudesse ser armazenado no tanque: 284 000 000 km^3 de volume e uma aresta de 657 km (figura 2.18).

Muito pouco dos 29% da superfície terrestre, que são terra firme, correspondem a montanhas. A área referente às cidades ainda é menor. O maior deserto, o Sara (9 065 000 km^2), cobre uma área que tem praticamente o mesmo tamanho que os Estados Unidos (9 372 614 km^2). Os acidentes naturais mais altos existentes no planeta Terra reduzem à insignificância os mais altos edifícios construídos pelo ho-

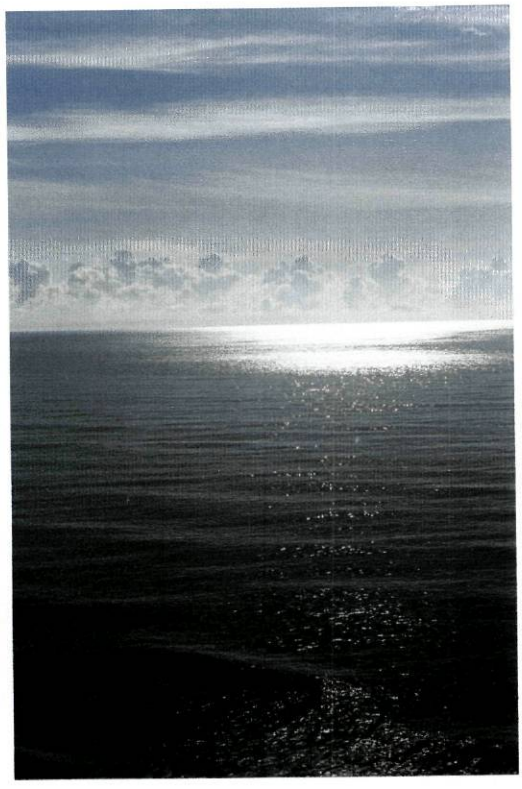


Figura 2.17

A imensidão do Oceano Atlântico, Santa Cruz, Torres Vedras.

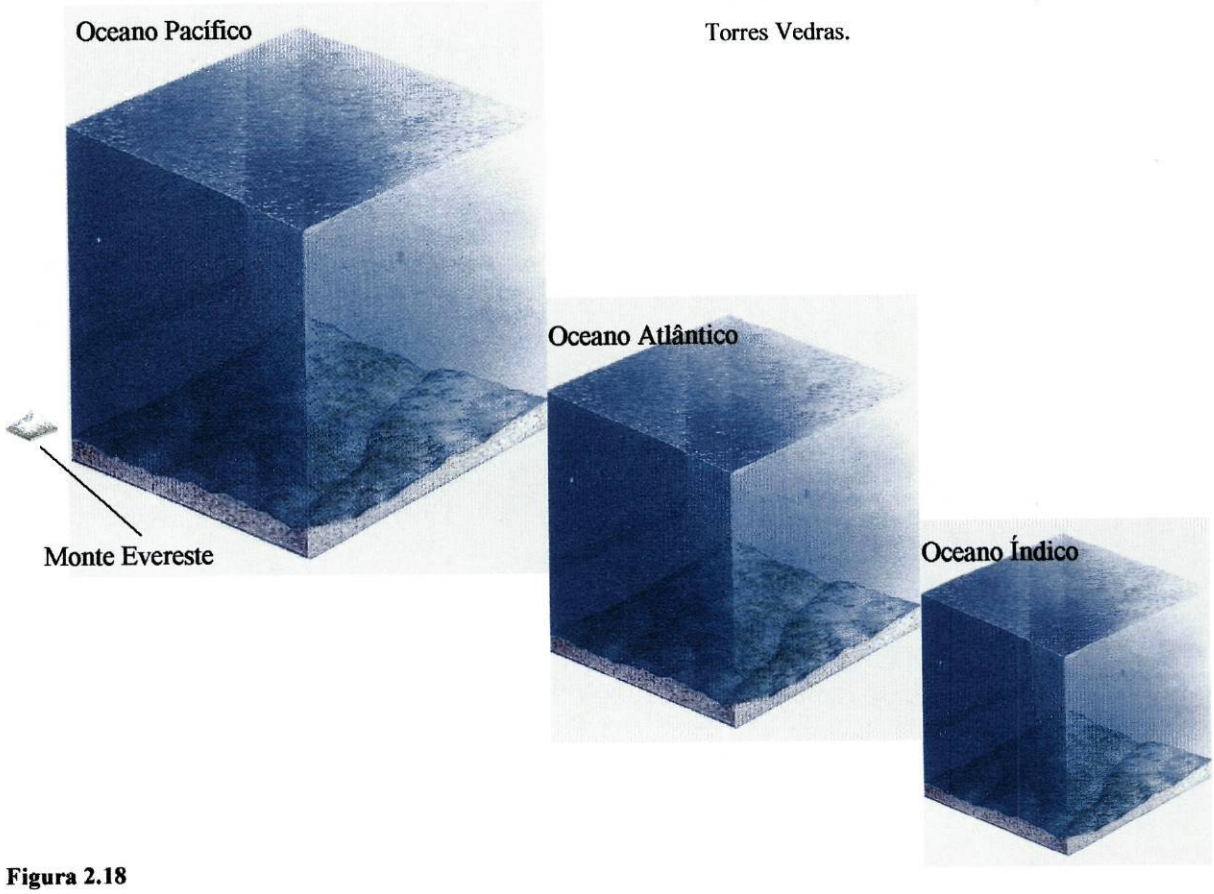


Figura 2.18

Cubos imaginários com capacidade para armazenar as águas de cada oceano. Seriam necessários cerca de 100 montes Everest para alcançar a altura do cubo correspondente ao Pacífico, cerca de 77,5 montes para o cubo do Atlântico e 73,3 montes para o oceano Índico. Os esboços estão à escala. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

mem. O monte Evereste, com os seus 8 848 metros de altura, é uma vez e meia mais alto que o monte Quilimanjaro, na Tanzânia, mais do dobro da altura do monte Fuji e cerca de 7 vezes mais alto que o monte Vesúvio, na Itália (figura 2.19). A estrutura mais alta construída é a do poste da televisão KTHI com 629 m, na Dacota do Norte, Estados Unidos e a segunda maior é da torre de telecomunicações, *CN Tower* em Toronto, Canadá, com 553 m de altura.

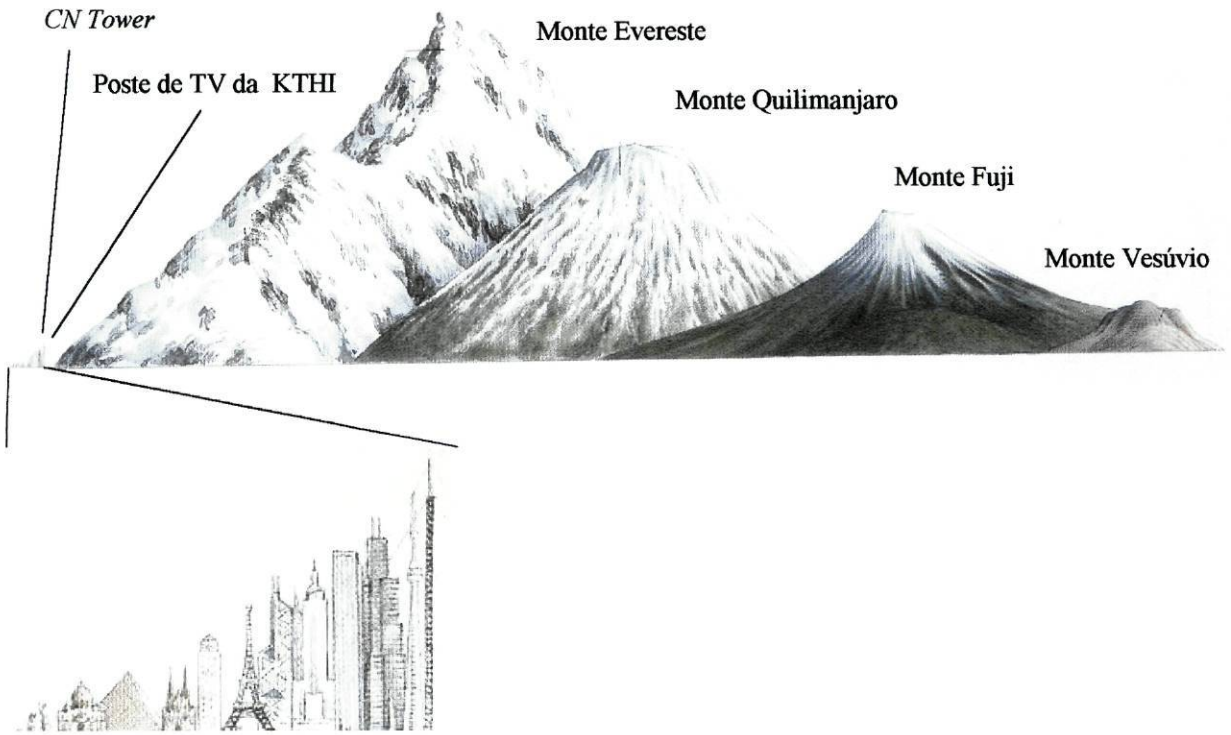


Figura 2.19

Em cima, comparação entre as alturas dos montes Evereste, Quilimanjaro (5 896 m), Fuji (3 776 m), Vesúvio (1 226 m) e alguns edifícios mais altos construídos pelo homem (à esquerda das montanhas e na mesma escala). Em baixo, no esboço ampliado, pode identificar-se, entre outros edifícios altos, a Torre *Eiffel* (321 m), a Grande Pirâmide (147 m) e a Estátua da Liberdade (93 m). (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Quadro 2.3 Algumas características físicas do planeta Terra

FACTOS E NÚMEROS - Terra

Diâmetro:	12 756 km
Distância média ao Sol:	149 600 000 km = 1 u.a.
Velocidade orbital em volta do Sol:	107 280 km/h
Uma volta em torno do Sol (um ano):	365 dias e 6 horas
Um dia	
Uma volta em torno do seu eixo:	23 horas e 56 minutos
De um nascer do Sol a outro:	24 horas

2.6 A Lua

O objecto celeste vizinho mais próximo da Terra, a Lua, é o único mundo visitado pelos humanos, com 3 476 km de diâmetro (figura 2.20). Situa-se a uma distância média da Terra de 376 280 km, cerca de 110 vezes mais perto de nós do que o planeta mais próximo, Vénus. A distância a que se encontra não é muito superior ao comprimento total estimado de todas as linhas de costa da terra firme existente no planeta Terra, cujo valor estimado é de 356 000 km. À velocidade do Concorde, 2 179 km/h, levaria 7 dias 4 horas e 41 minutos (figura 2.21).

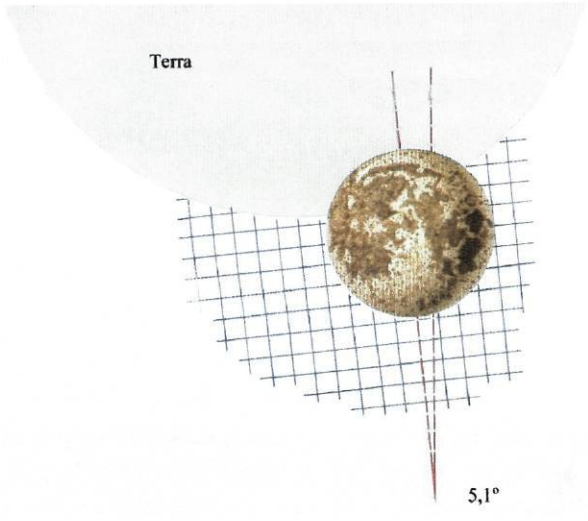


Figura 2.20

Comparação entre as dimensões da Lua e as da Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro de 90,5 cm de comprimento (cerca de 3 vezes o comprimento de uma folha A4). O Sol teria 8,8 m de diâmetro, equivalente à altura de 3 andares. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Alguns planetas têm grandes famílias de luas, mas todas elas são pequenas, comparadas com o respectivo planeta em redor do qual orbitam: apenas Caronte, a lua de Plutão, é maior em comparação com o planeta que orbita. A Lua é uma das sete luas maiores no nosso Sistema Solar e é o único satélite natural do nosso planeta Terra. O equador da Lua possui uma inclinação de 5,1° relativamente ao plano da órbita da Terra e executa uma volta completa em redor da Terra em 27 dias 7 horas e 12 minutos - o mesmo tempo para descrever uma rotação (quadro 2.4). O seu diâmetro é aproximadamente a distância entre Lisboa e Moscovo, aproximadamente um quarto de diâmetro da Terra ou quase a mesma extensão que a Austrália que tem 3983 km, na parte mais larga (figura 2.22). Se pensarmos na distância percorrida por um automóvel, tendo por base os melhores percursos, o automóvel deveria partir do Porto com destino a Estocolmo, Suécia, pois a distância entre estas cidades é equiparável ao diâmetro da Lua. Nos primórdios do Sistema Solar, milhares

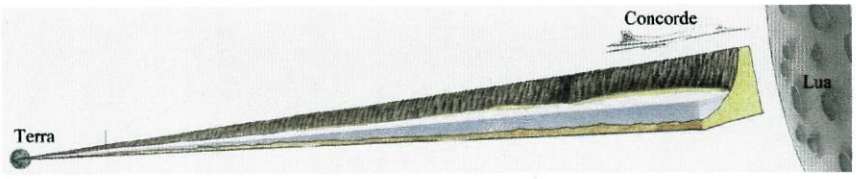


Figura 2.21

A distância da Terra à Lua seria percorrida em cerca de 7 dias 4 horas e 40 minutos à velocidade supersónica do Concorde. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

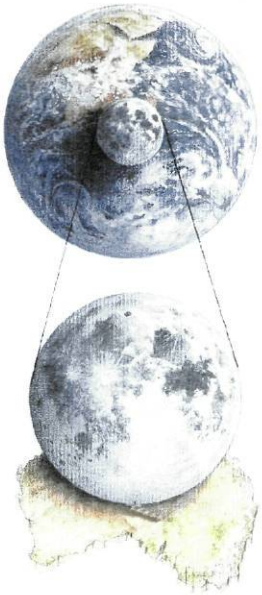


Figura 2.22

Terra, Lua e Austrália. O diâmetro da Lua é equiparável à extensão da Austrália. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

de meteoritos embateram na Lua; como não possui atmosfera, vulcões ou tremores de terra, a maioria das crateras mantêm-se ainda hoje intactas.

A sua maior cratera é a *Clavius* (figura 2.23): tem um diâmetro de 232 Km e uma profundidade de 4,9 km. A área da cratera (42 273 km^2) equivale duas vezes a área do Alentejo (26 158 km^2) ou ainda, 45,9% da superfície de Portugal - quase metade do território português (92 082 km^2). Poderíamos também encontrar países europeus cuja área se aproxima da área da *Clavius*. É o caso da Holanda com 41 028,9 km^2 e da Dinamarca. Mas a superfície lunar possui também grandes extensões planas, os *maria* ou mares. O maior deles, Mar das Chuvas - *Mare Imbrium*, em latim - é uma das 14 grandes regiões escuras e planas existentes na face voltada para a Terra. Aproximadamente circular, com cerca de 1 100 km de diâmetro e 950 000 km^2 de área, nele caberiam perfeitamente quatro países da Europa Central (figura 2.24): França, com 544 000 km^2; Alemanha com 357 000 km^2; Bélgica, com 30 500,1 km^2 e Luxemburgo, com 2 600 km^2. O comprimento do seu diâmetro equivaleria a efectuar uma viagem de 1 112 km, de automóvel, entre Porto e Toulouse, França.

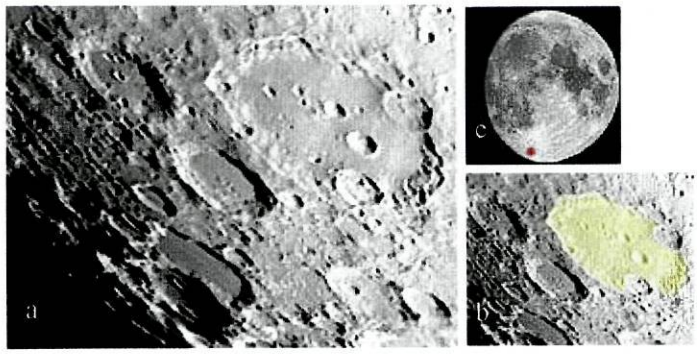


Figura 2.23

Lua: cratera de *Clavius* (a) e sua localização perante as restantes no local (b) e na esfera lunar (c). A cratera tem uma área equivalente a 46% da área de Portugal. (Adaptado de http://www.astrosurf.com/cidadao/crater_clavius_01.jpg).

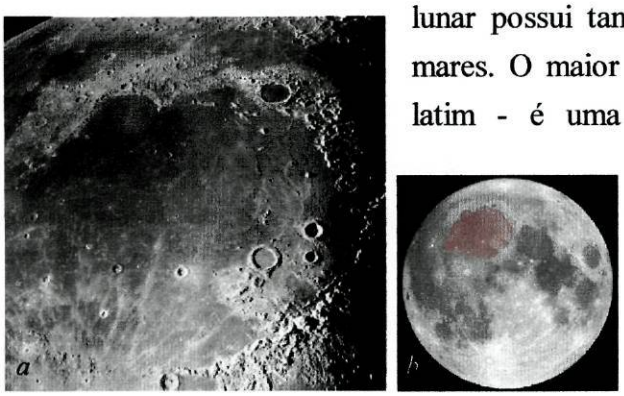


Figura 2.24

Mare Imbrium (a) e sua localização na esfera lunar (b). O Mar das Chuvas tem uma área de cerca 10,3 vezes a área de Portugal. (Figura *a*: adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman; figura *b*: adaptado de http://www.astrosurf.com/cidadao/mare_imbrium.jpg).

Quadro 2.4 Algumas características físicas da Lua

FACTOS E NÚMEROS – Lua	
Diâmetro:	3 476 km (27,3% do diâmetro da Terra)
Distância média à Terra:	376 280 km
Velocidade orbital em volta da Terra:	3 680 km/h
Uma volta em torno da Terra (um mês):	27 dias 7 horas 12 minutos
Um dia	
Uma volta em torno do seu eixo:	27 dias 7 horas 12 minutos
De lua nova a lua nova :	29 dias e 12 horas

2.7 Marte

Depois de Vénus, Marte é o planeta mais próxima da Terra. Tem pouco mais de metade do tamanho da Terra (figura 2.25) e o seu "dia" tem aproximadamente 37 minutos a mais que o nosso (quadro 2.5). O seu eixo de rotação possui uma inclinação de 25,2° relativamente ao plano da sua órbita: apenas 1,7° a mais que a inclinação do eixo de rotação da Terra. Por isso possui também estações do ano algo semelhantes às da Terra. A maior parte da superfície do planeta é coberta por planícies de poeira e rochas (figura 2.26). Quando o vento marciano sopra, varre o solo causando enormes tempestades de poeira. Possui montanhas, desertos, calotas polares brancas, vulcões e desfiladeiros.

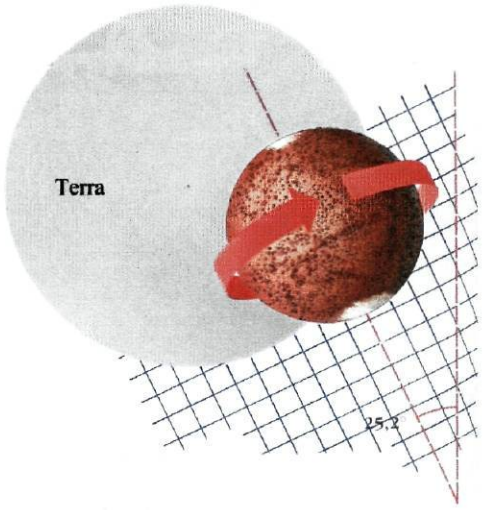


Figura 2.25

Comparação entre o planeta Marte e a Terra. Nesta escala, Júpiter teria um diâmetro com 53,7 cm de comprimento e o Sol teria 5,23 m de diâmetro - cerca de 18 vezes o comprimento de uma folha A4. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

O maior vulcão do sistema solar encontra-se em Marte: tem 26,4 km de altura acima das terras baixas, cerca de 3 vezes a altura do Monte Evereste (figura 2.27). A sua base, com 600 km de diâmetro, está envolta em escarpas de 6 km de altura e a sua caldeira tem cerca de 70 km de largura no seu topo. Comparando com superfícies terrestres, a base do vulcão ocupa uma área equivalente ao Reino Unido (241 751 km^2) e Países Baixos (41 029 km^2) juntos, enquanto que a cratera que o encobre (figura 2.31) poderia engolir Londres e seus arredores – cerca de 3 900 km^2 ou a área de superfície do distrito de Leiria, 3 516 km^2.

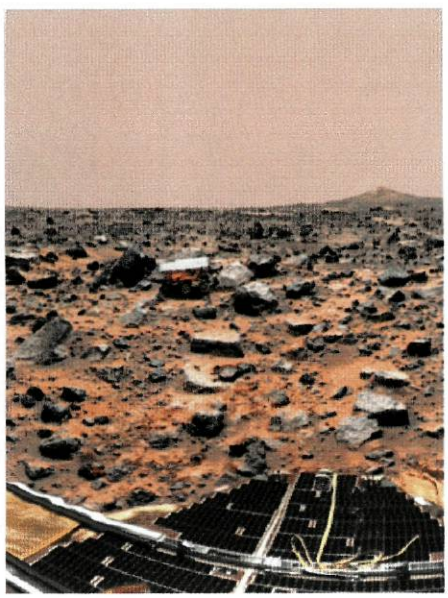


Figura 2.26

Solo rochoso de Marte em torno de *Mars Pathfinder* (em primeiro plano). Em segundo plano o veículo explorador *Sojourner* e ao fundo (a cerca de 1 km), um monte. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

A altura das escarpas é equivalente a 400 prédios empilhados de 4 pisos (considerando cada piso com aproximadamente 15 m de altura) ou então cerca de 19 torres *Eiffel* empilhadas (18,7 torres). Também podemos comparar o *Olympus Mons* (Monte Olimpo) com o maior vulcão existente na Terra, o *Mauna Loa*, nas ilhas do Havaí, que tem 10 203 m acima do fundo oceânico: *Olympus Mons* é cerca de 2,5 vezes mais alto que o maior vulcão terrestre (figuras 2.28 e 2.32).

Outro traço espectacular de Marte é o grande sistema de desfiladeiros, *Valles Marineris* (figura 2.30), que se

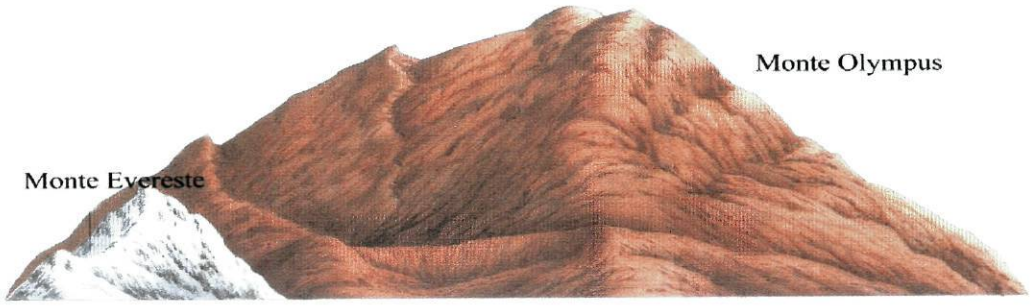


Figura 2.27

Evereste comparado com o *Olympus*, em Marte. Crê-se que o monte *Olympus* é um vulcão extinto. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

estende por mais de 4 000 km - quase tão comprido quanto a largura mínima do Oceano Atlântico entre África a América do Sul ou o percurso efectuado de automóvel do Porto a *St. Petersburg* (4 190 km de distância) optando pelo melhor percurso, mas não necessariamente o mais curto. No centro, pode atingir 600 km de largura, mais do que a extensão de Portugal de Norte a Sul, que é de 581 km, e a sua profundidade varia de 5 km a 8 km, isto é, varia de 9 a 14,5 torres *CN Tower*, Toronto, Canadá, com 553 metros de altura. O *Valles Marineris* é tão profundo quanto o Oceano Índico, que tem 8 047 metros de profundidade máxima.

Marte tem duas pequenas luas, *Deimos* e *Phobos*, que são pedaços de rocha irregulares



Figura 2.28

Comparação esquemática entre *Olympus Mons*, em Marte e o maior vulcão terrestre, *Mauna Loa*, no Havaí. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

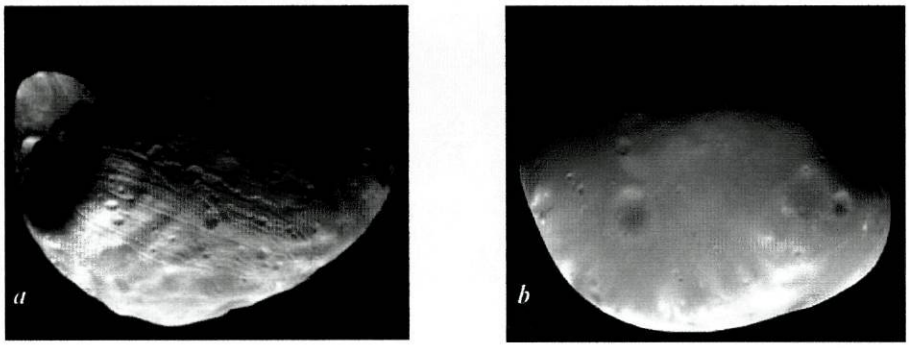


Figura 2.29

Os satélites naturais de Marte: *Phobos* (a) e *Deimos* (b). As figuras não se encontram à escala. (Figura *a*: adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/captions/mars/phobos.htm; figura *b*: adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/captions/mars/deimos.htm).

cobertos de crateras com, respectivamente, 12 km e 22 km de comprimento - cerca de 0,18% e 0,32%, respectivamente, da dimensão de Marte (figura 2.29).

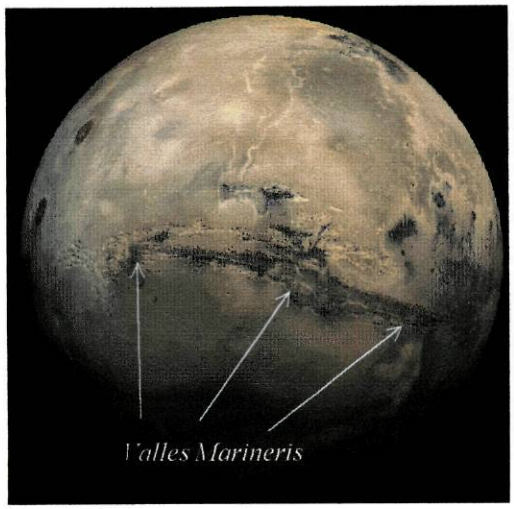


Figura 2.30

Os grandes desfiladeiros marcianos com cerca de 4 000 km de extensão e 600 km na parte mais larga. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/mar/valmar.gif).

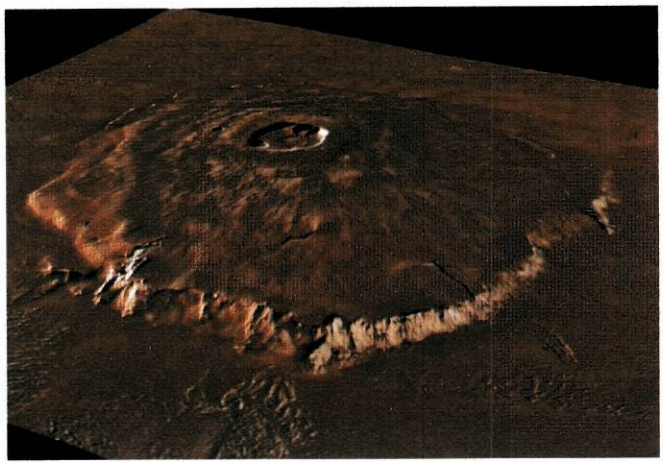


Figura 2.31

Imagem a três dimensões do *Olympus Mons*. São visíveis a cratera do cume e as encostas que rodeiam o monte. A cratera tem uma área equiparável à área do distrito de Leiria. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).



Figura 2.32

Vulcão *Mauna Loa*, na ilha principal do Havaí. A montanha tem cerca de 4,2 km de altura. (Adaptado de http://vulcan.wr.usgs.gov/Photo/Pictograms/shield_strato_volcanoes.html).

Quadro 2.5 Algumas características físicas de Marte

FACTOS E NÚMEROS - Marte	
Diâmetro:	6 794 km (53,3% do diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	227 940 000 km = 1,524 u.a.
Velocidade orbital em volta do Sol:	86 760 km/h
Uma volta em torno do Sol (um "ano"):	1 ano 10 meses 21 dias 18 horas 51 minutos
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo:	24 horas 37 minutos 22 segundos
De um nascer do Sol a outro:	24 horas 38 minutos

2.8 Júpiter

Júpiter é, de longe, o maior dos planetas do Sistema Solar. No seu diâmetro caberiam 11,2 Terras em fila, tem uma massa de cerca 318 massas terrestres e ocupa um volume equivalente a cerca de 1 400 Terras, considerando as dimensões no equador. A massa de todos os restantes planetas juntos é somente 40,45% da massa de Júpiter. É o quinto planeta do Sistema Solar e encontra-se a uma distância média de 778 milhões de quilómetros do Sol (quadro 2.6). Se alinhássemos o Sol, a Terra e o planeta Júpiter, este estaria a 628,4 milhões de quilómetros de distância da Terra, isto é, 4,2 vezes mais distante que a Terra do Sol. Trata-se também do planeta com o movimento de rotação mais rápido, pois completa uma volta inteira em somente 9 horas, 50 minutos e 28 segundos (rotação da atmosfera no equador), sendo mais lenta nos pólos 5 minutos e 13 segundos. Devido a este diferencial de rotação, o planeta é ligeiramente achatado nos pólos: o diâmetro de Júpiter no equador é 6,7% maior que o seu diâmetro tomado entre os pólos; diz-se então que Júpiter tem um achatamento nos pólos de 6,7%. Comparativamente, o achatamento da Terra é somente de 0,34%.

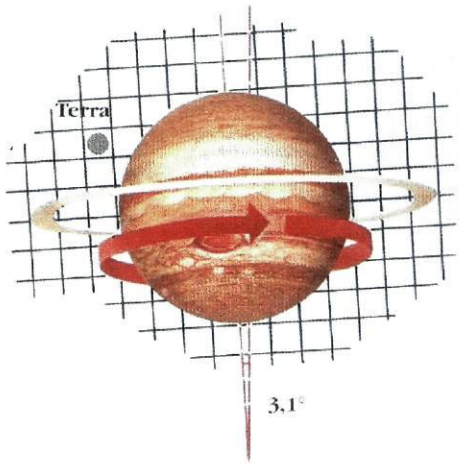


Figura 2.33

Comparação entre o planeta Júpiter e a Terra. Nesta escala, o Sol teria 29,2 cm de diâmetro – aproximadamente o comprimento desta folha A4 que é 29,7 cm. Neste esboço, a Terra tem 2,7 mm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

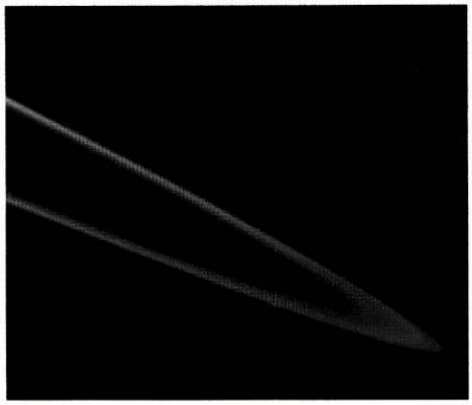


Figura 2.34

Os anéis de Júpiter registados pela *Voyager*, por ocasião da sua passagem pelo planeta. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_large.asp).

Júpiter possui um fino anel (figura 2.34) de aproximadamente 30 km de espessura – 0,02% do diâmetro equatorial do planeta (a mesma relação existente entre a altura de uma lata de Coca-Cola e a altura da torre de telecomunicações canadiana *CN Tower* , figura 2.35). O anel, com um diâmetro de cerca do dobro do diâmetro equatorial do planeta, é

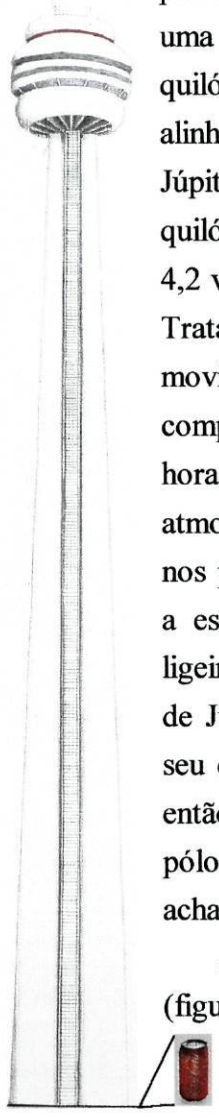


Figura 2.35

Comparação entre a *CN Tower* e uma lata de coca-cola. As figuras não se encontram à escala. (Esboço da torre: adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash; lata: adaptado de http://www-cse.ucsd.edu/users/bsy/coke.html).

constituído por partículas rochosas com uma dimensão média de 1 micrómetro (1 μm) reflectindo, por isso, muito pouca luz e dificultando assim a sua detecção.

Uma característica deste planeta é a permanência de uma mancha localizada no hemisfério sul: a Grande Mancha Vermelha (figuras 2.36 e 2.37). Trata-se de uma tempestade gigante que dura pelo menos há trezentos anos, com diversas variações de tamanho e de cor ao longo desses anos. No seu apogeu, atingiu 40 000 km por 14 000 km: tão grande que nela caberia três Terras juntas (figura 2.38). Em 1976 e 1977, a mancha quase que desapareceu mas em 1979 era comparável ao tamanho da Terra (figuras 2.37 e 2.38), cerca de 20 000 km por 10 000 km (o diâmetro da Terra é de 12 756 km).

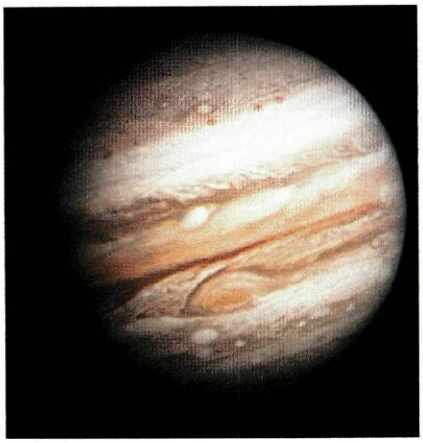


Figura 2.36

Júpiter visto pela *Voyager 1* em 1979, a 30 milhões de quilómetros do planeta (cerca de 3,8% da distância de Júpiter ao Sol). São visíveis as turbulências em torno da Grande Mancha Vermelha. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

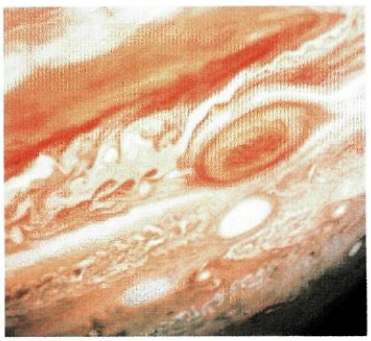


Figura 2.37

A Grande Mancha Vermelha registada pela *Voyager 2* em 1979, com uma dimensão comparável à da Terra. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

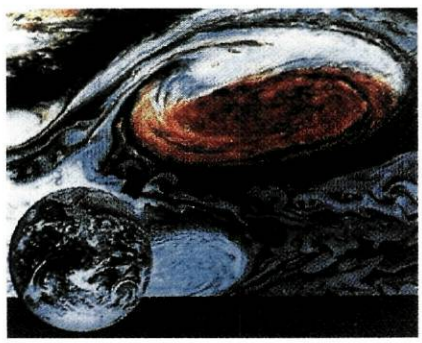


Figura 2.38

Grande plano da Grande Mancha Vermelha de Júpiter em cores falsas comparada, em tamanho, com a Terra. (Adaptado de *O Ponto Azul-Claro*, de Carl Sagan).

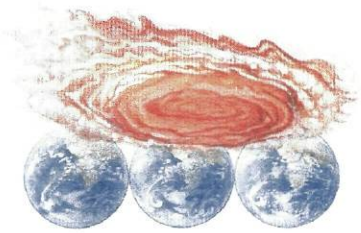


Figura 2.39

A Grande Mancha comparada com a Terra. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*,de Russell Ash)

Quadro 2.6 Algumas características físicas de Júpiter

FACTOS E NÚMEROS - Júpiter

Diâmetro (equatorial):	142 984 km (11,2 vezes o diâmetro da Terra)
Diâmetro (polar):	133 708 km (10,5 vezes o diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	778 300 000 km = 5,203 u.a.
Velocidade orbital em volta do Sol:	47 160 km/h
Uma volta em torno do Sol (um "ano"):	11 anos 314 dias 2 horas 46 minutos
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo (equatorial):	9 horas 50 minutos
De um nascer do Sol a outro:	9 horas 50 minutos

2.9 Os satélites Galileanos

Quando observados através de um telescópio terrestre, os satélites Galileanos (figura 2.40) - *Io*, *Europa*, *Ganymede* e *Callisto* - parecem-se com pontos de luz bem definidos (figura 2.41). Todos estes satélites orbitam Júpiter aproximadamente no plano do equador do planeta, sendo os seus períodos orbitais pequenos, variando de 1,8 dias para *Io* a 16,7 dias para *Callisto* (tabela 2.2). Devido a tal facto, as variações de posição dos satélites são visíveis de uma noite para outra. Há uma relação entre os períodos orbitais dos três satélites interiores, *Io*, *Europa* e *Ganymede*: durante 7,155 dias, *Ganymede* dá uma volta completa em torno de Júpiter, enquanto que *Europa* faz duas voltas e *Io* quatro; existe, portanto, uma relação do tipo 1:2:4. Esta relação especial é mantida pela força de atracção gravitacional que cada um deles exerce sobre o outro e é extremamente forte, pois passam perto uns dos outros; a distância mais curta entre *Io* e *Europa* é cerca de dois terços da distância entre a Terra e a Lua e *Io* aproxima-se de *Europa* em cada duas das suas órbitas. Em contrapartida, a órbita de *Callisto* é relativamente afastada dos restantes três satélites, donde a sua influência sobre eles é menor, não existindo portanto, uma relação simples deste tipo. Considerando uma esca-

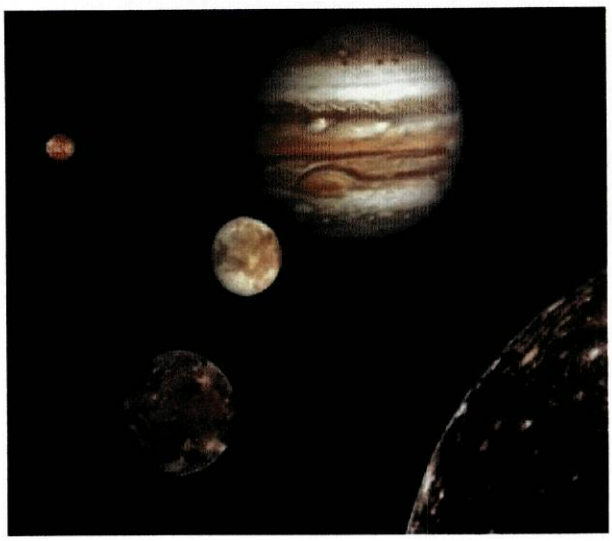


Figura 2.40

Montagem fotográfica de Júpiter e das suas luas galileanas. Fotografias registadas pela *Voyager 1* em 1979: em primeiro plano, *Callisto*, seguido de *Ganymede* e de *Europa*. *Io* situa-se do lado esquerdo de Júpiter. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

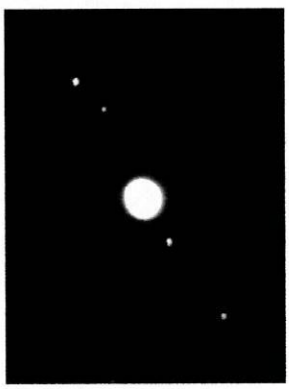


Figura 2.41

Os satélites Galileanos observados por um pequeno telescópio: dois de cada lado de Júpiter. (Cortesia de Leonor Cabral).

Tabela 2.2 Algumas características físicas dos Satélites Galileanos

Nome do satélite	Distância média a Júpiter (Km)	Diâmetro	Massa		Raios de Júpiter	Período orbital (dias)	Distância da órbita (raios de Júpiter)
			(Kg)	Lua=1			
Io	421.600	3630	8,94E+22	1,216	0,025	1,769	5,897
Europa	670.900	3138	4,92E+22	0,669	0,022	3,551	9,384
Ganymede	1.070.000	5262	1,48E+23	2,014	0,037	7,155	14,967
Callisto	1.883.000	4800	1,08E+23	1,469	0,034	16,689	26,339

(Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman)

la em raios de Júpiter, os satélites *Io*, *Europa*, *Ganymede*, e *Callisto* encontram-se a uma distância de Júpiter de 5,9 , 9,4, 15 e 26,3 raios de Júpiter, respectivamente (figura 2.42).

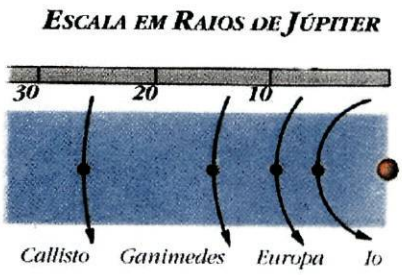


Figura 2.42

Esboço das órbitas dos satélites galelianos considerando o raio de Júpiter como a unidade de medida. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Dos quatro satélites, *Io* é o único com vulcanismo activo (figura 2.43). As plumas e o material lançado pelos vulcões atingem alturas espantosas acima da superfície do satélite: de 70 km a 280 km de altura (de cerca 8 vezes a altura do Monte Evereste a cerca de 32 vezes a altura do mesmo ou, de 7 vezes a altura da rota de voo de um avião de passageiros a cerca de metade da distância a que se encontra o Telescópio Espacial Hubble – 500 km acima da superfície terrestre). Para atingir tais alturas, o material expelido emerge do interior com velocidades compreendidas entre 1 000 km/h e 3 600 km/h; comparando com os vulcões terrestres mais violentos, como Vesúvio, *Krakatoa* ou Monte Santa Helena, as referidas velocidades são muito menores, cerca de 360 km/h, o que leva os cientistas a supor que a actividade vulcânica em *Io* processa-se de forma diferente da da Terra. Com a primeira velocidade, percorrer-se-ia Portugal de Norte a Sul (581 km de extensão) em apenas meia hora, enquanto que com a velocidade referida em segundo lugar, demorar-se-ia apenas 10 minutos.

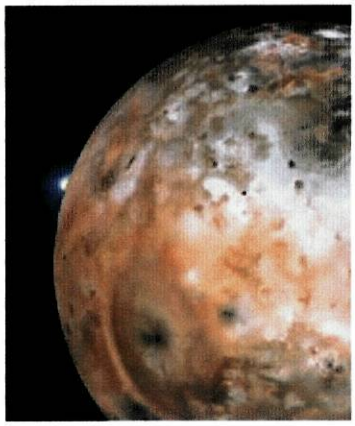


Figura 2.43

Imagem da pluma do vulcão *Loki*, (centro esquerda) em *Io*. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Para se ter uma ideia das dimensões dos satélites entre si (figura 2.44) e relativamente ao planeta (figura 2.45), peguemos no maior deles, *Ganymede*. Supondo que ele seria a cabeça de um alfinete (cerca de 0,14 cm), Júpiter seria uma bola de ténis de mesa (cerca de 3,72 cm de diâmetro). O exemplo dado fornece também uma relação aproximada de grandeza para *Callisto* e Júpiter, já que *Callisto* possui 91,2% do diâmetro de *Ganymede*. Como os restantes Galileanos são mais pequenos que este – *Io* tem somente 69% do diâmetro de *Ganymede*, enquanto que *Europa* tem 59,6% -

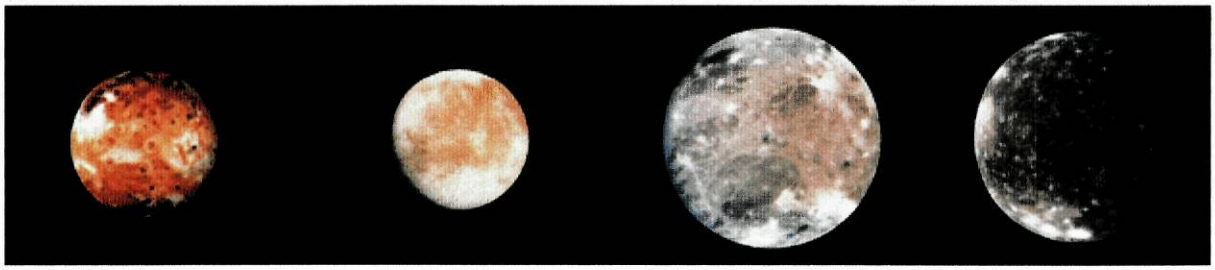


Figura 2.44

Os quatro satélites Galileanos numa representação com a mesma escala. Da esquerda para a direita: *Io*, *Europa*, *Ganymede* e *Callisto*. O satélite *Io* é comparável, em dimensão, à Lua e *Callisto* ao planeta Mercúrio. O menor dos satélites é *Europa* e o maior, *Ganymede*. *Io*, *Europa* e *Callisto* são menores que Mercúrio e *Europa* é menor que a Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

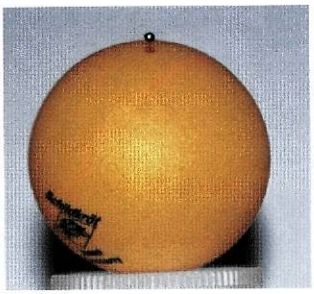


Figura 2.45

Modelo representando a relação existente entre *Ganymede* e Júpiter: a cabeça de um alfinete e uma bola de ténis de mesa.

o que representaria o satélite no modelo teria que ser ainda menor que o apresentado.

As figuras 2.46 , 2.47 , 2.48 e 2.49 fornecem uma boa imagem das dimensões relativas entre os satélites Galileanos e o planeta que orbitam, apesar delas não se encontrarem à mesma escala.

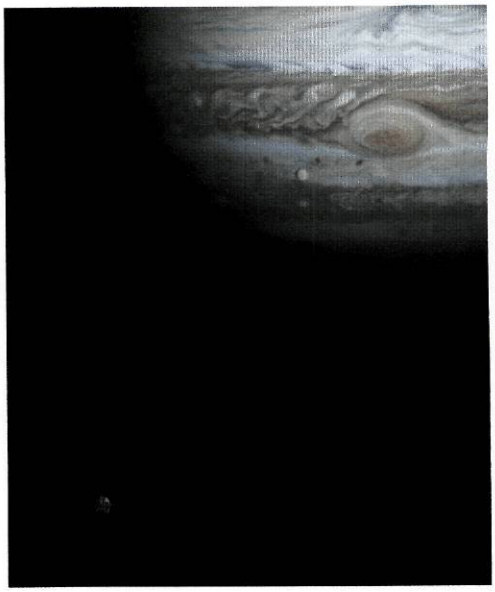


Figura 2.46

Imagem de Júpiter e dois dos seus satélites, registada pela sonda *Cassini*: em primeiro plano *Callisto*, seguido de *Europa*. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list .asp).

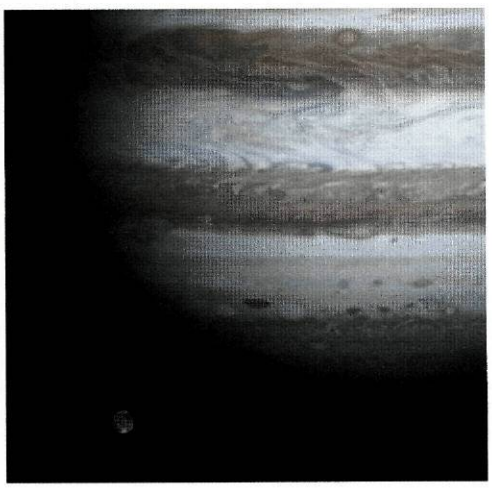


Figura 2.47

A maior lua do Sistema Solar, *Ganymede*, junto do maior planeta. Fotografia registada pela sonda *Cassini*, a 3 de Dezembro de 2000. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

Para além dos Galileanos, Júpiter possui mais doze pequenos satélites. Quatro são interiores à órbita de *Io*, enquanto os restantes oito, viajam em torno de Júpiter em grandes órbitas. As suas dimensões são estimadas e variam de 15 km e 185 km. Ao contrário da maioria dos satélites, os quatro mais exteriores possuem movimento retrógrado.

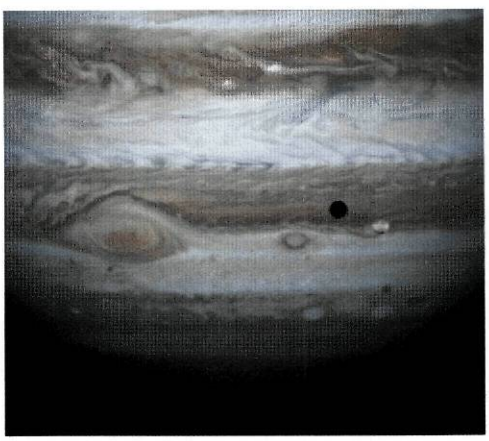


Figura 2.48

Imagem de *Io* e de *Júpiter*, captada pela *Cassini*, a 12 de Dezembro de 2000. O satélite vulcânico, de tamanho semelhante à Lua, projecta a sua sombra sobre as nuvens do planeta gigante. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

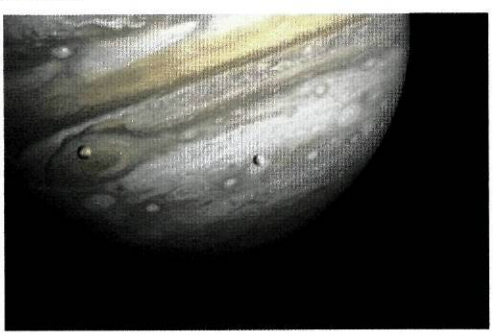


Figura 2.49

Registo fotográfico de Júpiter, *Io* (à esquerda, sobre a Grande Mancha Vermelha) e de Europa (à direita, sobre uma mancha oval), realizado pela *Voyager 1*, em Fevereiro de 1979, a 20 milhões de quilómetros do planeta gigante. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

2.10 Saturno

Saturno é o sexto planeta a contar do Sol, o segundo maior do Sistema Solar e, tal como Júpiter, é um gigante de gás. Se colocássemos os planetas alinhados e por ordem a partir do Sol, Saturno estaria a uma distância da Terra duas vezes superior à distância a que se encontra Júpiter. O planeta tem cerca de 9,5 vezes o diâmetro da Terra (figura 2.50) e 95 massas terrestres. Tal como Júpiter e devido à sua grande velocidade de rotação, é achatado nos pólos. O seu eixo de rotação possui uma inclinação de 26,7°, ligeiramente superior ao da Terra. Tem um período orbital de 29,42 anos (quadro 2.7), donde em cada 14,71 anos, o pólo sul ou o pólo norte pode ser bem observado (figura 2.61).

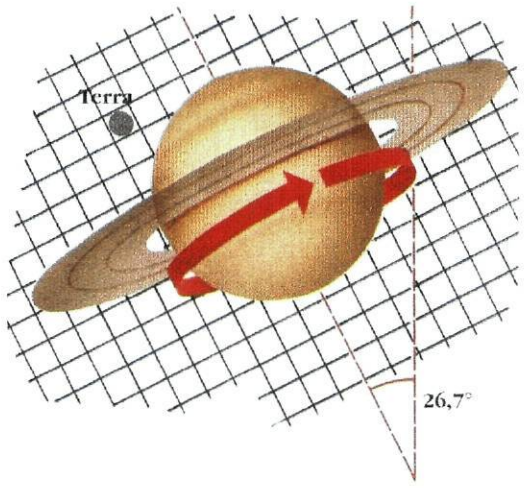


Figura 2.50

Comparação entre o planeta Saturno e a Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 35,3 cm de comprimento – um pouco maior que o comprimento desta folha A4 (cerca de 5,7 cm a mais). Neste esboço, a Terra tem 3,2 mm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Saturno tem um colorido e impressionante sistema de anéis (figura 2.51), grandes e pequenos, com satélites a orbitar no interior. Os três anéis principais são visíveis da Terra com um telescópio: dois deles estão separados pela divisão de *Cassini* que tem cerca de 4 800 km de extensão – mais de um terço do diâmetro da Terra, isto é, a distância percorrida por um automóvel do Porto a *Tomsø*, na Noruega, próximo do Cabo Norte ou equivalente à extensão do

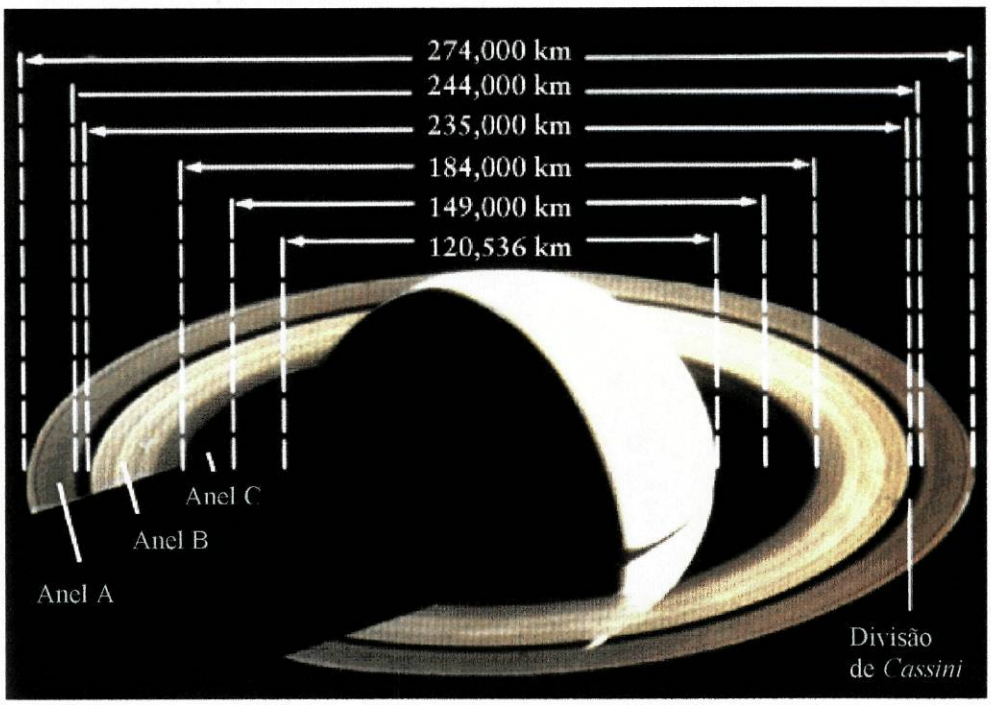


Figura 2.51

Imagem de Saturno captada pela *Voyager 1* onde são visíveis os principais anéis observáveis a partir da Terra, com excepção do anel C, por ser muito pouco luminoso. Sobre a fotografia assinala-se o diâmetro equatorial do planeta assim como os diâmetros internos e externos de cada anel. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

continente Europeu. O anel C é o mais próximo do planeta e tem 17 500 km de largura - equivalente a um diâmetro terrestre e pouco mais de um terço do mesmo; o anel B, o mais brilhante, possui uma largura equivalente a duas Terras e é constituído por centenas de finos anéis apenas observáveis pelas sondas. Observado da Terra, o anel parece ser bastante uniforme. O anel mais exterior que se vê da Terra é o A, com cerca de 15 000 km de largura – pouco mais que a dimensão da Terra. Este anel já não é tão dividido em outros anéis mais finos como o B mas possui uma falha, a divisão de *Encke*, (figura 2.52) próxima do seu bordo exterior com cerca de 270 km de largura – praticamente a distância entre Lisboa e Porto. A divisão de *Cassini* situa-se entre os anéis A e B e não é uma região vazia como se pensava, mas contém algumas pequenas partículas dispostas em finíssimos anéis que foram detectadas do mesmo modo que se detectam as partículas de poeira existentes no ar de um quarto, que brilham quando é atravessado por um raio de luz.

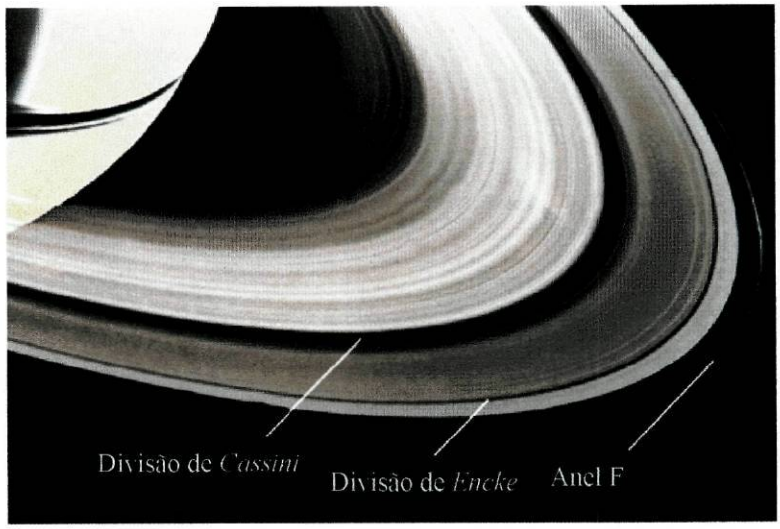


Figura 2.52

Pormenor dos anéis de Saturno com especial destaque para a divisão de *Cassini*, a divisão de *Encke* e anel F. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Em 1979 foi descoberto a existência do anel F (figura 2.52) que se situa para além do bordo do anel A, a cerca de 4 000 km de distância – quase um terço do diâmetro da Terra, ou a distância percorrida em automóvel do Porto a St. Petersburg, Rússia – e possui uma largura de somente 100 km, isto é, 100 vezes a altura de *La Grande Arche* (figura 2.53), Paris, sendo constituído por numerosas partículas com cerca de um micrómetro de diâmetro.

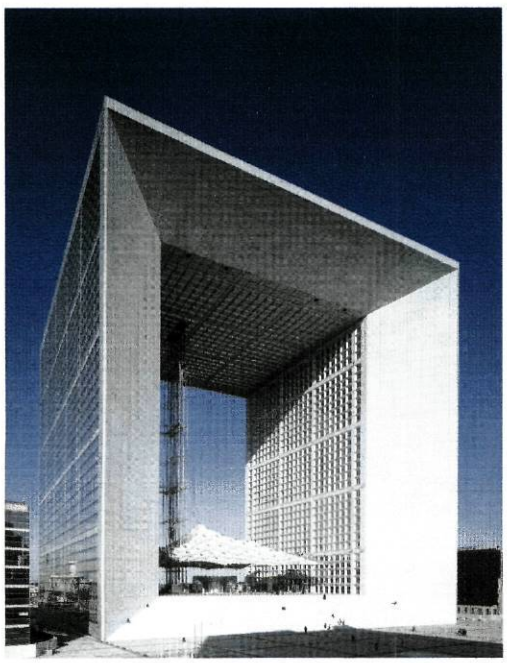


Figura 2.53

La Grande Arche, estrutura cúbica com cerca de 100 m de aresta, Paris. (Adaptado da brochura *Beaux-Arts Magazine et le Toit de la Grande Arche*, França, 1990).

Ao investigarem os anéis conhecidos de Saturno, as câmaras *Voyager* descobriram a existência de mais três sistemas de anéis: os anéis D, E e G ao longo dos quais se situam alguns dos 18 satélites do planeta. São anéis extremamente finos e ténues e difíceis de observar: o anel E é extremamente pouco nítido, mas possui 300 000 km de largura - cerca de 23 Terras e

meia dispostas em fila (o diâmetro de Saturno é apenas 40,2% desta distância) ou dois planetas e meio com a dimensão de Saturno alinhados. O anel tem 960 000 km de diâmetro – caberiam 75 Terras alinhadas e um quarto de outra (o diâmetro de Saturno é somente 12,6% deste valor) ou quase 8 planetas em fila como Saturno.



Figura 2.54

Modelo representando a relação existente entre o diâmetro exterior do anel E e o diâmetro equatorial de Saturno: diâmetro exterior de um CD e o diâmetro da abertura interior. Na abertura foi colocado um berlinde para representar o planeta. Figura *a*: vista de perfil; figura *b*: vista de face (a espessura do CD, 1,25 mm, não está á escala).

A relação entre o diâmetro de Saturno no equador e a dimensão do anel exterior, é a mesma que existe entre o diâmetro de um CD e o diâmetro do buraco existente no mesmo para o prender ao leitor (1,5 cm para 12 cm); se nesse buraco colocarmos um berlinde com as mesmas dimensões, obteremos um modelo para o sistema Saturno/anéis (figura 2.54).

Algumas estimativas apontam para que, se todo o material dos anéis de Saturno fosse reunido num único corpo, este seria pouco maior do que a nossa Lua. Apesar dos anéis serem extraordinariamente finos, como as estrias de um disco de vinil e, embora tenham um diâmetro 274 000 km (os visíveis do globo terrestre), pouco mais do que dois terços da distância entre a Terra e a Lua, a sua espessura não ultrapassa os 200 metros. A relação entre a espessura dos anéis de Saturno e o seu diâmetro entre pólos é da mesma ordem de grandeza existente entre a espessura de um cartão de chamadas telefónicas e a altura do edifício de escritórios mais alto do mundo (até 1996), *Sears Tower*, em Chicago, com 443 metros de altura (figura 2.55).



Figura 2.55

Edifício de escritórios mais alto do mundo, *Sears Tower* (443 m de altura) e um cartão de telefone. A altura da torre é cerca de 633 000 vezes a espessura do cartão telefónico. (Fotografia do prédio: adaptado de http://www.ci.chi.il.us/Tourism/Postcards/big/Sears Tower.jpe).

Devido ao seu tamanho, e apesar da distância a que se encontra, o planeta é visível a olho nu durante cerca de 10 meses, embora não se distinga de uma estrela brilhante (figura 2.56). Para se ter a certeza de que se está a observar Saturno é necessário conhecer bem a disposição das estrelas da constelação em que o planeta se encontra (figu-

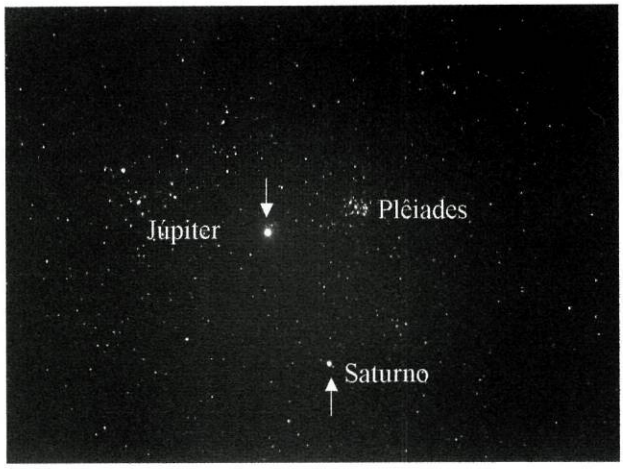


Figura 2.56

Os planetas Júpiter e Saturno na constelação do Touro. Fotografia registada em Santa Cruz, Torres Vedras, a 30 de Dezembro de 2000, com uma exposição de 10 segundos e um filme 800 ASA.

ra 2.56), e para ver os anéis principais é necessário um telescópio de amador razoável (figura 2.57). Ao contrário de Júpiter, Saturno não tem mudanças rápidas nas características globais mas poderemos detectar mudanças a longo prazo, nomeadamente na visibilidade e posição dos seus anéis.

É interessante verificar que a posição dos anéis é diferente de ano para ano, e que só se volta a ter a mesma posição passados muitos anos, precisamente um ciclo de 29,42 anos (figuras 2.59), pouco mais que dois quintos de uma vida humana, se considerarmos a esperança média de vida de 70 anos. Por exemplo, se um jovem de quinze anos observar o sistema de anéis alinhados com a Terra nessa idade, só observará novamente essa posição (com a mesma inclinação), mais uma ou duas vezes, na sua vida. A última disposição deste tipo foi em 1995 (figura 2.58): na primeira imagem, acima dos anéis e à esquerda, vê-se *Titan* projectando a sua sombra no planeta, e à direita sobre os anéis, quatro satélites (da esquerda para a direita: *Mimas*, *Tethys*, *Janus* e *Enceladus*); na segunda imagem, os anéis já se encontram ligeiramente inclinados, observando-se duas luas: à esquerda, *Tethys* e à direita, *Dione,* projectando a sua fina sombra ao longo do sistema de anéis. De salientar a espessura dos anéis em comparação com o diâmetro do planeta. Actualmente, o sistema de anéis começa a mostrar-se, à medida que o pólo sul se inclina em direcção ao Sol. Em 2002 estarão na posi-



Figura 2.57

Saturno observado através de um pequeno telescópio onde se vê o anel mais brilhante. (Adaptado de *Guia do Astrónomo, Guia Prático para as Experiências e Técnicas de Observação do Céu*, de Carole Stott).

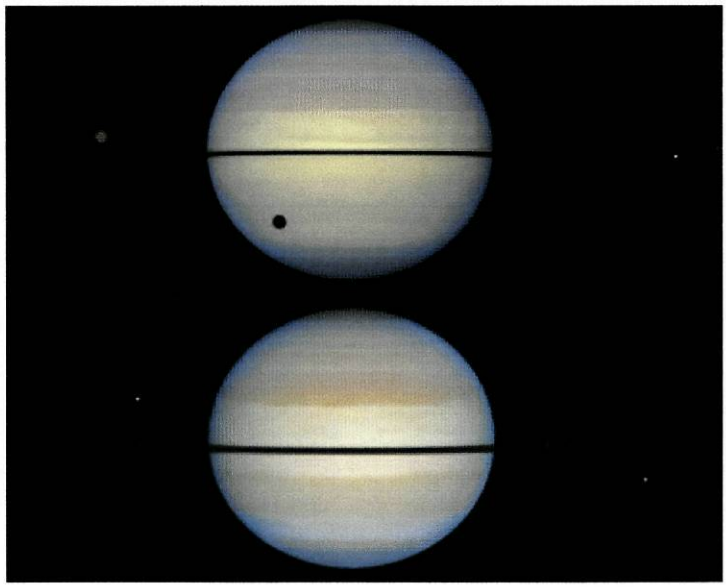


Figura 2.58

Saturno e os anéis vistos de perfil, por a Terra se encontrar no mesmo plano. Registos efectuados a 6 de Agosto e a 17 de Novembro de 1995 pelo Telescópio Espacial Hubble. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/PR/96/16/A.html).

ção de observação máxima a partir de uma base terrestre (figura 2.59) e onde a divisão de *Cassini* será bem visível. À medida que o pólo sul deixar de estar inclinado para o Sol, a posição dos anéis modificar-se-á até atingir o alinhamento com a Terra e quase desaparecerá de vista, o que ocorrerá em 2009. Depois será a vez do pólo norte inclinar-se na direcção do Sol e mais uma vez os anéis mostrar-se-ão na sua plenitude, sendo observável a sua parte superior. Esta situação ocorrerá em 2017. Finalmente, em 2025, Saturno apresentará novamente os anéis na sua visão mais fina, mas com uma inclinação diferente da apresentada em 2009. Entretanto já passaram 29 anos, 153 dias, 9 horas e cerca de 43 minutos terrestres!

Saturno também possui violentas tempestades sendo um dos planetas mais ventosos, com rajadas que atingem 1 800 km/h no equador, quatro vezes mais do que o mais rápido tornado registado na Terra - 450 km/h. A esta velocidade, os 581 km de comprimento de Portugal seriam percorridos em cerca de 19 minutos e 22 segundos.

.

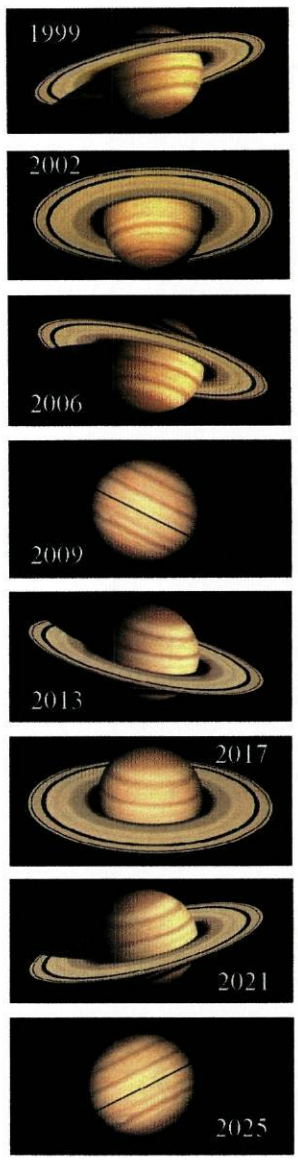


Figura 2.59

Esboço esquemático da posição relativa dos anéis de Saturno nos próximos anos. (Adaptado de *Guia do Astrónomo, Guia Prático para as Experiências e Técnicas de Observação do Céu*, de Carole Stott)

Quadro 2.7 Algumas características físicas de Saturno

FACTOS E NÚMEROS - Saturno	
Diâmetro (equatorial):	120 536 km (9,45 vezes o diâmetro da Terra)
Diâmetro (polar):	108 728 km (8,52 vezes o diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	1 429 000 000 km = 9,554 u.a.
Velocidade orbital :	34 920 km/h
Período orbital (um "ano"):	29 anos 153 dias 9 horas 43 minutos
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo (equatorial):	10 horas 13 minutos 59 segundos
Uma volta em torno do seu eixo (interior):	10 horas 39 minutos 25 segundos

2.11 Os satélites de Saturno

Saturno tem dezoito satélites naturais conhecidos. No entanto, já foram detectados mais de uma dúzia mas a sua existência ainda não foi confirmada. Dos dezoito satélites, os maiores são todos esféricos: *Mimas*, *Enceladus*, *Tethys*, *Dione*, *Rhea*, *Titan*, *Iapetus*, *Phoebe*; uma excepção para *Pan*, o mais pequeno, também esférico com apenas 20 km de diâmetro; os restantes, *Atlas*, *Prometheus*, *Pandora*, *Epimetheus*, *Janus*, *Calypso*, *Telesto*, *Helene*, e *Hyperion*, são mais pequenos e não esféricos.

É interessante verificar que as órbitas dos onze satélites mais interiores se situam nos anéis A, B e C, os únicos visíveis a partir da Terra, enquanto que os restantes se situam para além destes anéis (figura 2.60). De salientar a existência de satélites que partilham a mesma

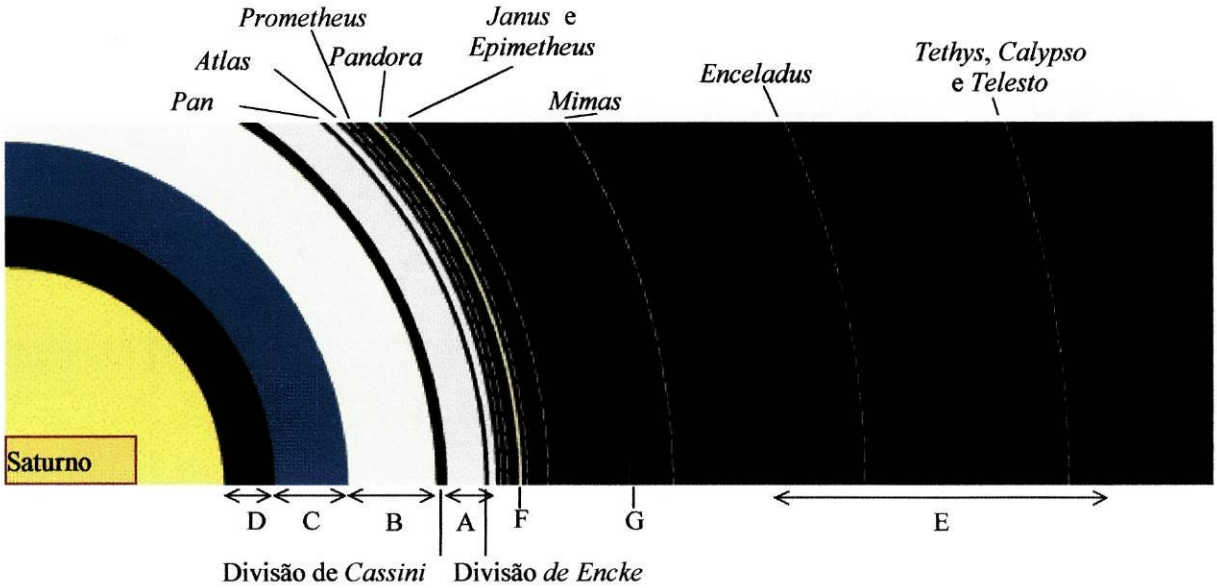


Figura 2.60

Esquema mostrando a disposição dos anéis de Saturno e as órbitas dos seus 11 satélites mais interiores. Os restantes localizam-se para além do anel F. *Titan* orbita o planeta a 1 221 850 km de distância, equivalente a cerca de 3,3 vezes a distância entre a Terra e a Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

órbita, satélites co-orbitais, tais como *Tethys*, *Calypso* e *Telesto* a 294 660 km do centro de Saturno (distância equivalente a dois Saturnos e meio em fila), *Dione* e *Helene* que orbitam a 377 400 km (pouco mais que três Saturnos). *Janus* e *Epimetheus* são também chamados co-orbitais por se movimentarem em órbitas quase idênticas, a 151 422 km e a 151 472, respectivamente, somente 50 km de diferença que, em comparação com as dimensões de todo o sistema, se trata de uma insignificância. O satélite que orbita mais próximo do planeta é *Pan*, a 133 570 km de distância do centro – apenas o equivalente a pouco mais do que um Saturno. O mais afastado é *Phoebe*, a 12 952 000 km de distância – equivalente a cerca de 108 Saturnos! Este satélite é o único, neste sistema, que possui movimento retrógrado. O maior deles, *Titan*, (figura 2.61) encontra-se coberto de bruma cuja camada mais exterior se situa a cerca de 200 km acima da superfície do satélite (altitude mínima da órbita do Vaivém espacial acima

da superfície terrestre ou, se se pretender comparar com dimensões mais perceptíveis de se entender, a largura de Portugal, 218 km).

Titan tem 5 150 km de diâmetro, ou seja, apenas 4,27% do diâmetro equatorial de Saturno. No entanto, trata-se de um satélite comparável, em dimensão, a *Ganymede*. Este satélite orbita Saturno a 1 221 850 km de distância do seu centro, cerca de 10 Saturnos em fila. Considerando o diâmetro de Saturno no equador, a relação existente entre Saturno e *Titan* é a mesma que existe entre uma bola de matraquilhos (cerca de 3,31 cm de diâmetro) e a cabeça de um alfinete (figura 2.62).

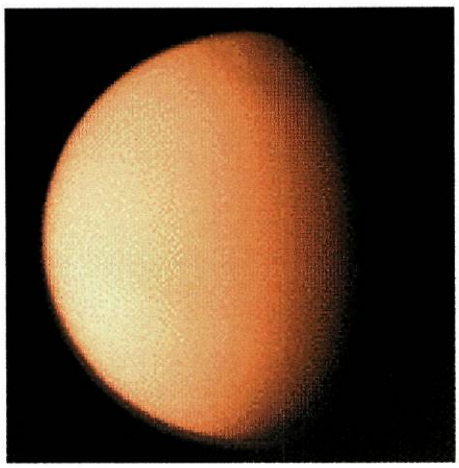


Figura 2.61

Titan, registado pela *Voyager 2*, a 4,5 milhões de quilómetros do satélite, equivalente a 37 planetas, com a dimensão de Saturno, em fila. (Adaptado de http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/titan.html).

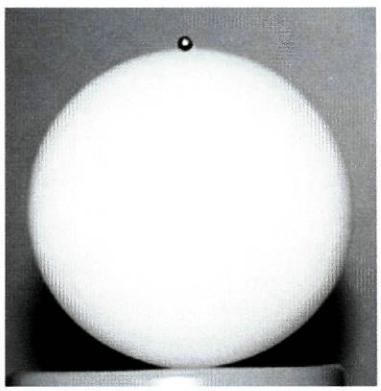


Figura 2.62

Modelo representando a relação existente entre *Titan* e o planeta Saturno: a cabeça de um alfinete e uma bola de matraquilhos.

Devido às reduzidas dimensões dos satélites *Pan*, *Atlas*, *Telesto*, *Calypso* e *Helene*, não é possível fazer uma representação gráfica, à escala, deles, de *Titan* e do planeta Saturno na mesma folha de papel A4. Assim, na figura 2.63, as dimensões dos cinco satélites mais pequenos foram ampliadas cinco vezes, de modo a torná-los visíveis. Uma parte do planeta Saturno encontra-se representada na parte inferior da mesma da figura, para comparação.

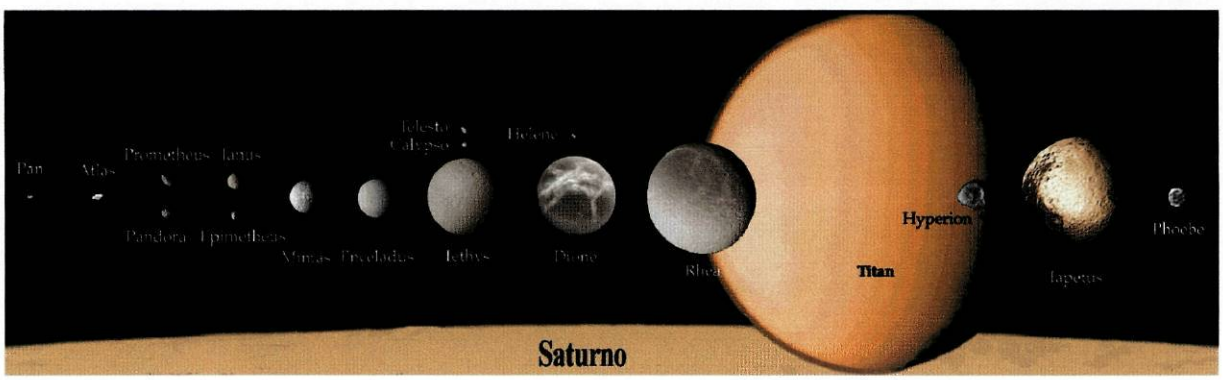


Figura 2.63

Esquema mostrando as dimensões relativas dos satélites e do planeta Saturno. Este encontra-se representado apenas por uma porção (parte inferior da figura). Os cinco satélites mais pequenos foram ampliados cinco vezes de modo a serem visíveis na gravura. Os restantes encontram-se representados, à escala, para comparação. Os satélites aparecem na figura pela mesma ordem que se encontram em torno de Saturno. (Adaptado de http://ringside.arc.nasa.gov/www/saturn/images/ring_sat.gif).

2.12 Úrano

Foi o primeiro planeta a ser descoberto nos tempos modernos. A sua descoberta foi acidental (13 de Março de 1781), e deve-se a William Herschel, astrónomo amador, que observava o céu com um telescópio que ele próprio tinha construído.

Úrano é o sétimo planeta em relação ao Sol e o terceiro maior do Sistema Solar. Trata-se de outro planeta gigante de gás, mais pequeno do que Júpiter ou Saturno, mas, mesmo assim, quatro vezes maior do que a Terra (figura 2.64). Encontra-se a uma distância média do Sol de $2{,}875 \times 10^9$ km (quadro 2.8): distância tal que, para um observador terrestre, o seu tamanho não é mais do que uma bola de golfe vista a um quilómetro.

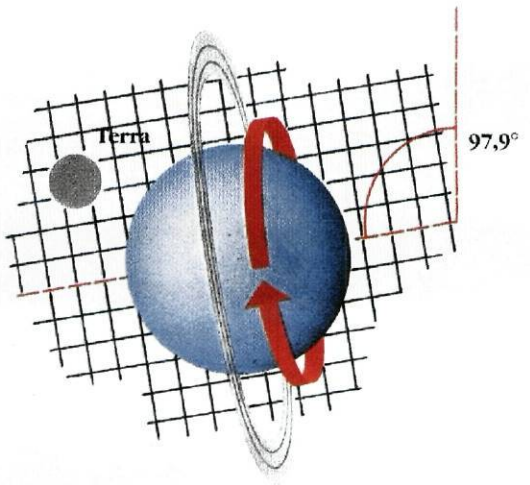


Figura 2.64
Comparação entre as dimensões do planeta Úrano e da Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 79 cm de comprimento (cerca de 2 vezes o comprimento de uma folha A4 e dois terços de outra) e Júpiter 8,1 cm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

A maioria dos planetas gira num eixo quase perpendicular ao plano da eclíptica mas, o eixo de Úrano é quase paralelo ao plano da eclíptica pois encontra-se inclinado de 97,9° enquanto que a Terra tem uma inclinação de 23,5°. Em consequência deste facto, as regiões polares de Úrano recebem mais energia vinda do Sol do que as regiões equatoriais. Enquanto o planeta percorre a sua órbita de 83,75 anos, um dos pólos está virado para o Sol e o outro na posição diametralmente oposta, dando assim origem às estações do ano. Devido à excessiva inclinação do seu eixo de rotação, cada pólo recebe cerca de 41 anos e 320 dias luz consecutivos e mesmo período de tempo de escuridão. No entanto, a luz recebida é tão pouca, que as temperaturas da estação de Verão quase não diferem das da estação Inverno.

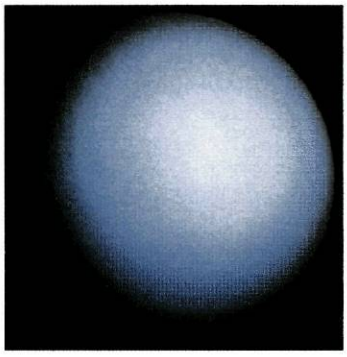


Figura 2.65
Úrano, observado pela *Voyager 2*, à distância de 81 600 km acima das nuvens do planeta (distância equivalente a 1,6 vezes Úrano). (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/welcome/uranus.htm).

Este planeta tem uma cor azulada (figura 2.65) devido à absorção da luz vermelha pelo metano na alta atmosfera, cujo período de rotação é de 16,5 horas, enquanto que o da parte interior é de 17,24 horas. A 24 de Janeiro de 1986, a *Voyager 2* avistou o planeta, passando a 81 600 km acima do nível das nuvens (demorou de cerca de oito anos e meio a atingir esta distância do planeta) e verificou que os ventos podem atingir 300 km/h - o equivalente a uma hora de viagem de Lisboa ao Porto se fosse possível

efectuá-la a esta velocidade. A 14 de Agosto de 1994, o Telescópio Espacial Hubble identificou duas nuvens de cerca de 4 200 km e 3 100 km de comprimento cada: distância, por estrada, entre Lisboa e Istambul e entre Lisboa e Copenhaga, respectivamente. Extensões comparáveis às dimensões de *Callisto* e de *Europa*.

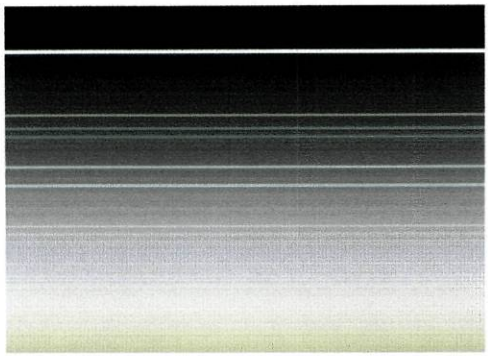


Figura 2.66

Grande plano dos anéis de Úrano em cores falsas e exageradas. Os anéis são as nove linhas mais brilhantes dispostas em grupos de uma linha, três, duas e três linhas, contando a partir de cima. As restantes linhas e as cores são consequência do tratamento efectuado à fotografia. O anel Ípsilon é o primeiro de cima. (Adaptado de http://ringside.arc.nasa.gov/www/saturn/images/ring_sat.gif).

Úrano, tal como Júpiter, possui um sistema de anéis finos. Foram descobertos acidentalmente, aquando da passagem do planeta em frente de uma estrela, pois impediram, um a um, a passagem da luz da estrela: detectaram-se nove anéis (figura 2.66). Posteriormente, a *Voyager 2* detectou mais dois anéis. Estes são muito escuros - um dos materiais mais escuros encontrados no Sistema Solar - e estreitos, não ultrapassando os 10 km de largura (a relação entre a largura deles e o diâmetro equatorial do planeta é equivalente à existente entre a espessura de 4 CDs sobrepostos, 5 mm, e o comprimento de um campo de ténis, 23,8 m). São constituídos por partículas de cerca de 1 metro cada, que reflectem somente uma pequena parte da luz que recebem: comparativamente, não reflectem mais que pedaços de carvão. O mais brilhante é conhecido como o anel *Ípsilon*. Estes anéis foram os primeiros a ser descobertos depois dos de Saturno, tendo sido uma descoberta de considerável importância pois veio confirmar que os anéis não são uma peculiaridade somente de Saturno. Todos os anéis se situam a menos de 25 559 km da superfície do planeta (um raio de Úrano), o que significa que a extensão dos anéis é, no máximo, equivalente a dois diâmetros de Úrano – uma moeda de 1$00 sobreposta a uma de 50$00 (figura 2.67).



Figura 2.67

Modelo mostrando a relação entre o diâmetro dos anéis e o diâmetro equatorial de Úrano.

Quadro 2.8 Algumas características físicas de Úrano

FACTOS E NÚMEROS - Úrano

Diâmetro (equatorial):	51 118 km (4,007 vezes o diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	2 875 000 000 km = 19,218 u.a.
Velocidade orbital média:	24 480 km/h
Período orbital (um "ano"):	83 anos 273 dias 22 horas 30 minutos
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo (atmosfera):	16 horas 30 minutos
Uma volta em torno do seu eixo (interior):	17 horas 14 minutos 24 segundos

2.13 Satélites de Úrano

Antes da viagem da *Voyager 2*, os satélites *Titania*, *Oberon*, *Ariel*, *Umbriel* e *Miranda* já eram conhecidos. Com excepção de *Miranda*, que possui um diâmetro de 470 km, os restantes quatro são de tamanho razoável: *Titania*, o maior deles, com 1 580 km, seguido por *Oberon* com 1 520 km, *Umbriel* com 1 170 km e finalmente, *Ariel* com 1 160 km (figura 2.68).

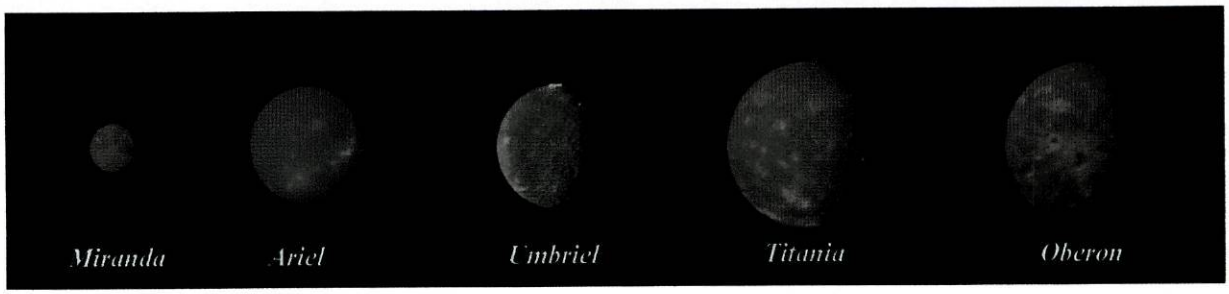


Figura 2.68

Os cinco maiores satélites de Úrano, à escala, e dispostos pela ordem que orbitam o planeta. *Titania*, o maior, orbita Úrano a 435 840 km do seu centro, distância comparável à distância entre a Lua e Terra (cerca de 7/6 da distância). No entanto, a Lua é 2,2 vezes maior que o satélite. (Adaptado de http://cass.jsc.nasa.gov/pub/research/outerp/usat.gif).

Titania tem 3% do diâmetro de Úrano, relação idêntica à existente entre uma semente de milho alvo (2,3mm) e uma *esfera* de 6,49 cm diâmetro (figura 2.69). Com a viagem de *Voyager 2*, foram descobertos 10 satélites, todos eles muito pequenos com diâmetros estimados entre 40 km e 150 km, sendo a maioria inferiores a 100 km. Todos os satélites são bastante escuros e têm órbitas muito próximas do planeta. Alguns dos satélites podem ser observados na imagem obtida pelo Telescópio Espacial Hubble em cor falsa (figura 2.70).



Figura 2.69

Modelo representando a relação existente entre *Titania* e o planeta Úrano: a cabeça de uma semente de milho alvo e uma *esfera* de brindes de máquinas distribuidoras.

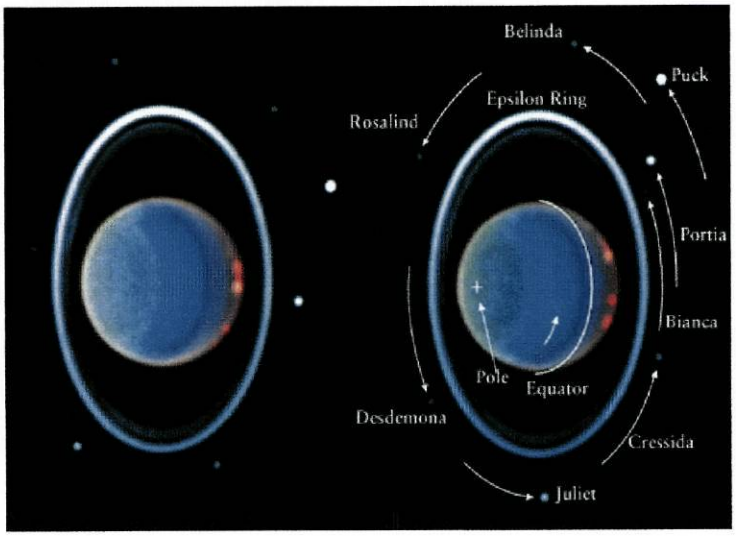


Figura 2.70

Composição de diversas imagens obtidas pelo Telescópio Espacial Hubble de 8 satélites de Úrano. Todos estes satélites orbitam o planeta num raio inferior a 86 010 km, pouco mais de 1/5 da distância da Terra à Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

O satélite que orbita mais próximo de Úrano fá-lo a 24 191 km acima da superfície, menos de um raio do planeta, enquanto que o que se encontra mais afastado, orbita-o à distância de 582 600 km do centro do planeta, cerca de 11,4 vezes a dimensão de Úrano (1,5 vezes a distância entre a Terra e a Lua).

2.14 Neptuno

À primeira vista, Neptuno parece ser um planeta gémeo de Úrano. No entanto, estes dois planetas são bem diferentes apesar de possuírem quase o mesmo diâmetro e uma composição atmosférica quase idêntica. Neptuno é mais massivo que Úrano e o seu eixo de rotação tem uma inclinação menor: uns modestos 29,6° comparados com os 97,9° de Úrano e apenas 4,4° mais que a da da Terra (figura 2.71). *Voyager 2* revelou que a atmosfera de Neptuno é mais activa e dinâmica do que a de Úrano, evidenciando assim uma fonte de energia no seu interior. Como em Úrano, a presença de metano fornece a Neptuno uma cor azulada (resultado da absorção da luz vermelha pelo metano), sendo visíveis claramente nuvens na sua atmosfera.

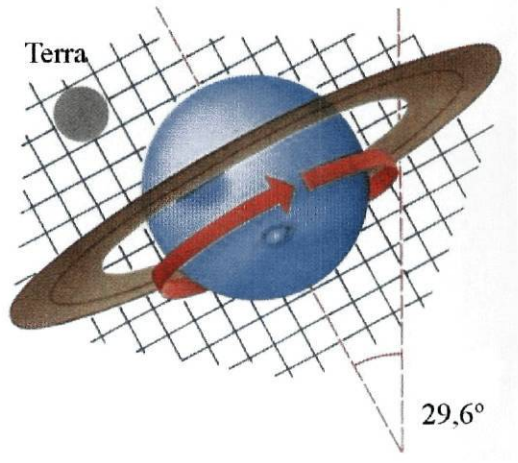


Figura 2.71

Comparação entre as dimensões do planeta Neptuno e da Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 81,6 cm de comprimento (cerca de 2 vezes o comprimento de uma folha A4 e 3/4 de outra) e Júpiter 8,4 cm de diâmetro. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Em 1989, *Voyager 2* detectou a Grande Mancha Escura (figuras 2.73 e 2.77), um enorme sistema de tempestades da dimensão da Terra, 12 000 km por 8 000 km. Os ventos que sopram em volta desta mancha atingem velocidades na ordem de 2 000 km/h (os mais velozes de todo o Sistema Solar), acima de quatro vezes mais que o mais rápido tornado registado na Terra (figura 2.72). A esta velocidade, os 581 km de extensão de Portugal seriam percorridos em cerca de 17 minutos e 26 segundos. A Grande Mancha Escura dá uma volta ao planeta em dezoito horas enquanto que as nuvens brancas situadas imediatamente abaixo dela mudam de aspecto em períodos de quatro horas. Para além desta característica de Neptuno existem outras duas, a *Scooter* e a Pequena Mancha Escura (figura 2.76).

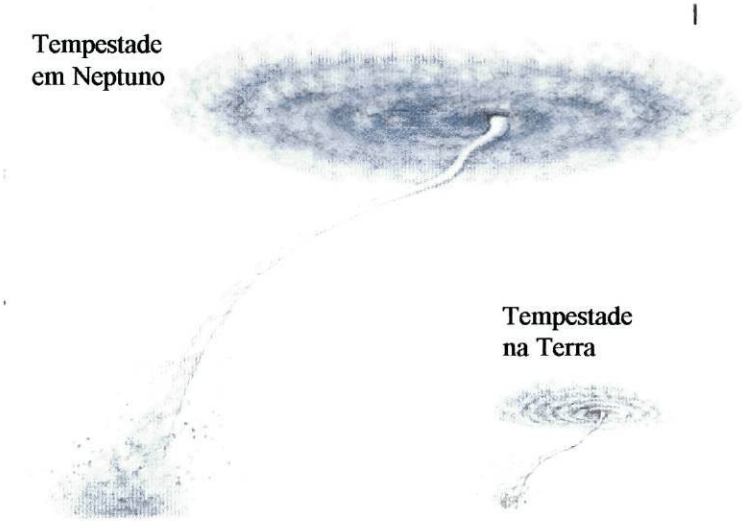


Figura 2.72

Em Neptuno ocorrem as maiores tempestades registadas no Sistema Solar. Os ventos chegam a atingir os 2 000 km/h: 4,4 vezes mais fortes que os registados na Terra, com 450 km/h. O esboço dos tornados estão representados à escala. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

A primeira situa-se logo abaixo da Grande Mancha Escura dando uma volta completa em torno do planeta em cerca de 16 horas; a segunda possui um centro brilhante e situa-se abaixo da *Scooter* (trotinete, alcunha atribuída pelos astrónomos) e é afectada por ventos fortes, na ordem dos 644 km/h - 54 minutos 8 segundos para atravessar Portugal de Norte a Sul - fazendo com que a mancha ultrapasse a Grande Mancha em cada cinco dias. Todas estas marcas se deslocam para oeste a velocidades diferentes sendo, portanto, difícil obter fotografias delas em conjunto; de salientar que os ventos sopram em volta do planeta em sentido contrário ao da rotação, contrariamente ao que acontece nos outros planetas (figura 2.74). Mas, observações realizadas em 1994 pelo Telescópio Espacial Hubble mostraram que a Grande Mancha Escura tinha desaparecido e que alguns meses mais tarde foi detectada uma outra, evidenciando assim que a atmosfera muda rapidamente.

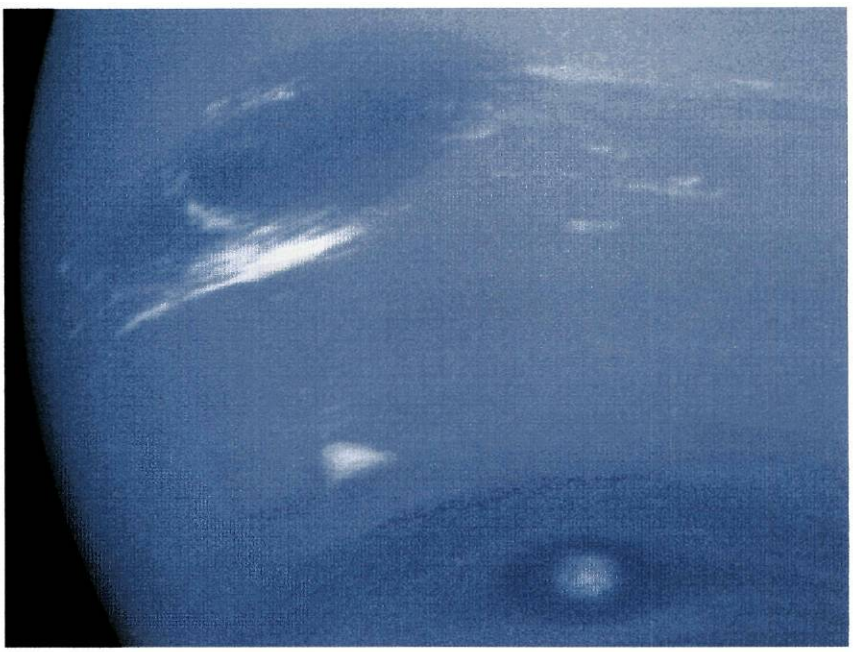


Figura 2.73

Vista de Neptuno registada pela *Voyager 2* em 1989. São visíveis a Grande Mancha Escura, *Scooter* e a Pequena Mancha Escura. A dimensão da Grande Mancha Escura é comparável à dimensão da Terra. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/nep/scooter.gif).

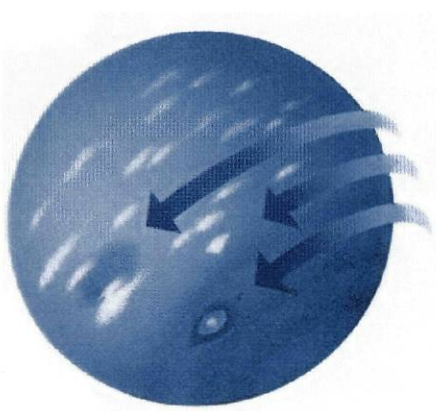


Figura 2.74

Os ventos ciclónicos sopram em sentido contrário ao da rotação do planeta, empurrando as manchas. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Neptuno é o quarto maior planeta em diâmetro do Sistema Solar e o oitavo a contar do Sol (quadro 2.9), 10,891 u.a. vezes mais afastado do Sol que Úrano. É apenas cerca de 3% mais pequeno do que este e cerca de 3,9 vezes a dimensão da Terra. O seu dia é 1 hora e 7 minutos mais curto do que o de Úrano.

Neptuno também possui um sistema de anéis que foi revelado pela *Voyager 2*: quatro ao todo, dois estreitos e dois largos, sendo os estreitos mais brilhantes que os outros (figura 2.75). O anel largo mais interior, *Galle*, tem cerca de 11 000 km de largura (pouco mais do que três

Luas alinhadas) e situa-se a 42 000 km do centro de Neptuno (distância equivalente a uma Terra e um terço de outra, alinhadas acima da superfície de Neptuno); segue-se um estreito, *LeVerrier*, a 53 000 km de distância e o outro largo, *Arago*, com 5 500 km de largura (Lua e meia de extensão) cujo bordo exterior se situa a 58 500 km e finalmente, o outro estreito, *Adams*, mais denso e brilhante, a 63 000 km do centro do planeta – distância equivalente a três Terras, em fila, acima da superfície do planeta. Os anéis são constituídos por partículas extremamente pequenas.

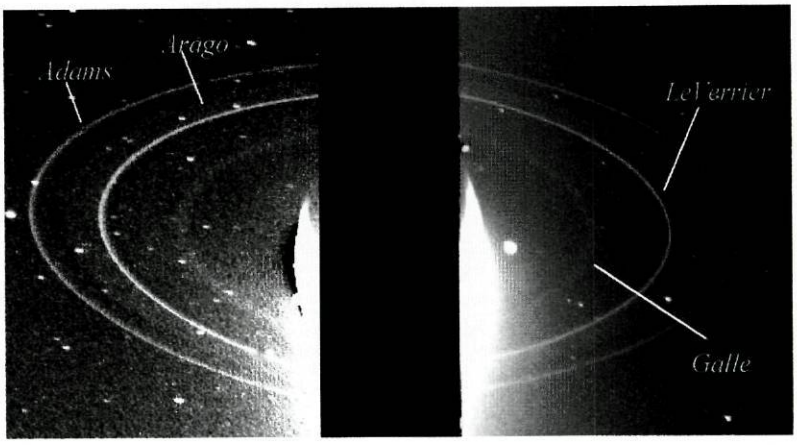


Figura 2.75
Os finos anéis de Neptuno registados pela *Voyager 2*. São facilmente visíveis dois deles: *Adams* e *LeVerrier*. A luz emitida pelo planeta foi barrada ao centro de modo a facilitar a observação dos anéis. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/nep/neprings.gif).

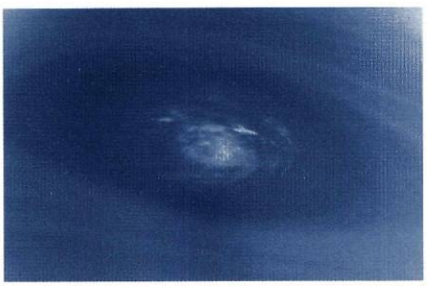


Figura 2.76
Grande plano da Pequena Mancha Escura. (Adaptado de http://solarviews.com/r/nep/darkspt2.gif).



Figura 2.77
Pormenor da Grande Mancha Escura. (Adaptado de http://solarviews.com/r/nep/gdspot2.jpg).

Quadro 2.9 Algumas características físicas de Neptuno

FACTOS E NÚMEROS - Neptuno

Diâmetro (equatorial):	49 528 Km (3,883 vezes o diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	4 504 300 000 Km = 30,109 u.a.
Velocidade orbital média:	19 800 km/h
Período orbital (um "ano"):	163 anos 266 dias 15 horas 11 minutos
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo (atmosfera):	16 horas 48 minutos (mancha Scooter)
Uma volta em torno do seu eixo (interior):	16 horas 6 minutos 36 segundos

2.15 Satélites de Neptuno

Triton e *Nereid* são dois satélites de Neptuno que já eram conhecidos antes de *Voyager 2* os ter avistado em 1989: em 1846, por William Lassel e em 1949, por Gerard Kuiper, respectivamente. A maioria das luas deste planetas são pequenas, à excepção de *Triton*, o maior satélite de Neptuno com 2 700 km de diâmetro – três quartos da dimensão da Lua, sendo o único satélite de Neptuno com movimento retrógrado. *Nereid* possui um diâmetro de 340 km (Lisboa a Mirandela em linha recta) e orbita o planeta titular a uma distância do seu centro de 5 513 400 km – uma distância equivalente a 14 vezes e meia a distância a que se encontra a Lua da Terra – com um período orbital de 359,2 dias terrestres. As restantes luas descobertas pela *Voyager 2* possuem diâmetros inferiores a 200 km, exceptuando *Proteus* com 415 km (Porto a Madrid em linha recta). As quatro luas mais interiores descrevem órbitas por entre os anéis do planeta. *Triton*, a 354 800 km – quase a distância da órbita da Lua em torno da Terra, é o sétimo maior satélite do Sistema Solar e o único a descrever uma órbita em volta do seu planeta em sentido retrógrado.

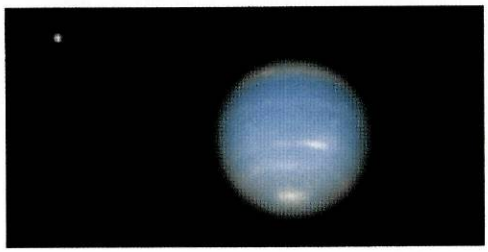


Figura 2.78
Neptuno e o seu maior satélite, *Triton*. Registo efectuado pelo Telescópio Espacial Hubble. (Adaptado de http://www.solarviews.com/b/nep/trinep3.jpg).

Com base em fotografias realizadas através do Telescópio Espacial Hubble construiu-se o mosaico da figura 2.78. A figura 2.79 mostra um duplo quarto crescente de Neptuno e do seu maior satélite, *Triton*, visto pela *Voyager 2* após a sua passagem pelo sistema nepturiano a 24 de Agosto de 1989, depois de 12 anos de viagem. Os seus sinais levaram mais de quatro horas a chegar à Terra (nas duas imagens, os astros encontram-se representados à escala). O encontro com *Triton* fez com que a sonda fosse catapultada para fora do plano do Sistema Solar afastando-a em direcção das estrelas. *Triton* possui somente 5,45% da dimensão de Neptuno: relação existente entre a cabeça de um alfinete (cerca de 0,18 cm) e uma bola de matraquilhos (figura 2.80).

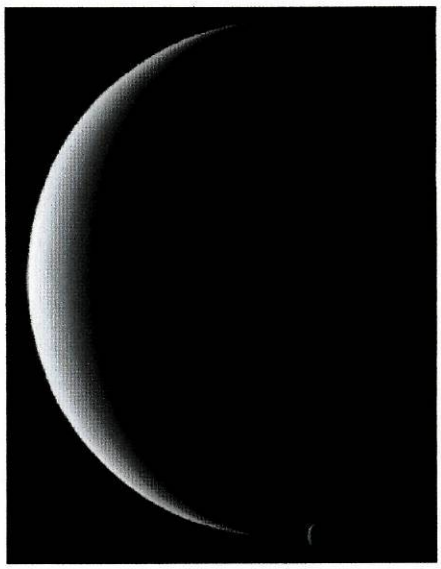


Figura 2.79
Fotografia de Neptuno e da sua lua *Triton*, ambos em fase quarto crescente. Registo efectuado pela *Voyager 2* aquando da sua passagem pelo planeta em direcção às estrelas. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/nep/parting.gif).

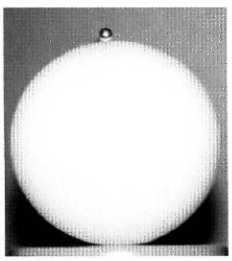


Figura 2.80
Modelo representando a relação existente entre *Triton* e o planeta Neptuno: a cabeça de um alfinete e uma bola de matraquilhos.

2.16 Plutão e Caronte

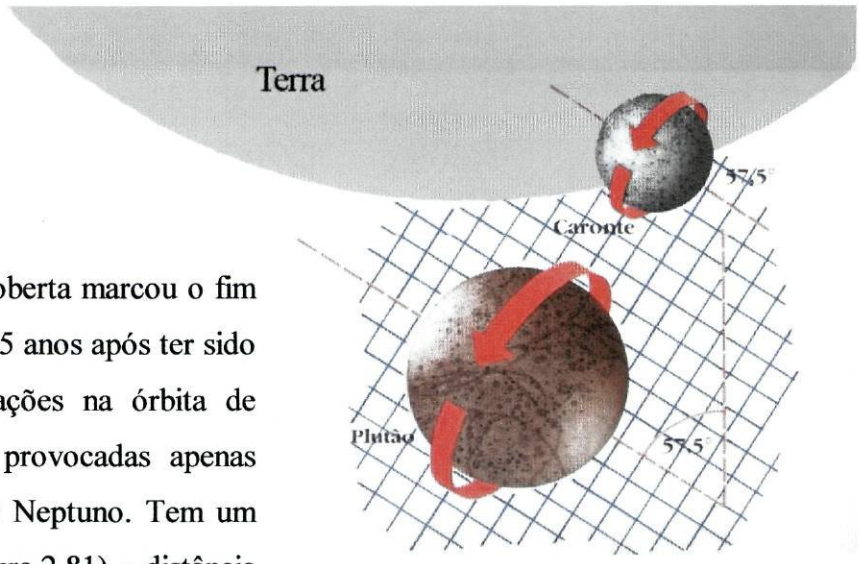


Figura 2.81

Comparação entre as dimensões do planeta Plutão, da sua lua, Caronte, e as dimensões da Terra. Nesta escala, o Sol teria um diâmetro com 17,43 m de comprimento (cerca de 59 vezes o comprimento de uma folha A4) e Júpiter teria 1,79 m de diâmetro – a altura de um homem. A Terra, neste esquema, tem 16 cm de dimensão. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

Plutão está muito distante e é tão pequeno que a sua superfície nunca foi observada da Terra nem visitada por alguma sonda espacial. A sua descoberta marcou o fim de uma busca de cerca de 75 anos após ter sido detectado que as perturbações na órbita de Úrano não poderiam ser provocadas apenas pela força de gravidade de Neptuno. Tem um diâmetro de 2 300 km (figura 2.81) - distância entre Lisboa e Berlim (ou entre Londres e Atenas) em linha recta. O menor de todos os planetas do Sistema Solar, possui um satélite, Caronte, com metade do seu tamanho, 1 190 km (distância entre o Porto e Paris em linha recta). Ambos caberiam na Europa em simultâneo ou nos Estados Unidos da América (figura 2.82). A soma do diâmetro de Caronte com o diâmetro de Plutão é aproximadamente o valor do da Lua. Quer Plutão quer Caronte giram com um inclinação de 57,6° na direcção contrária dos outros planetas, à excepção de Vénus. A sua órbita é muito alongada e conduz o planeta para o interior da órbita de Neptuno durante 20 anos, dos 248 que demora a percorrer a sua órbita passando, nessa altura, Neptuno à categoria de planeta mais externo do Sistema Solar (quadro 2.10). Plutão atravessou a órbita de Neptuno a 21 de Janeiro de 1979, teve a sua maior aproximação a 5 de Setembro de 1989 e permaneceu dentro da órbita de Neptuno até 11 de Fevereiro de 1999. Este facto só ocorrerá de novo em Setembro de 2226. A inclinação da sua órbita em relação à eclíptica é acentuada em comparação com os restantes planetas, cujos planos orbitais se situam dentro de alguns graus, enquanto que a de Plutão tem uma inclinação de 17,14°.

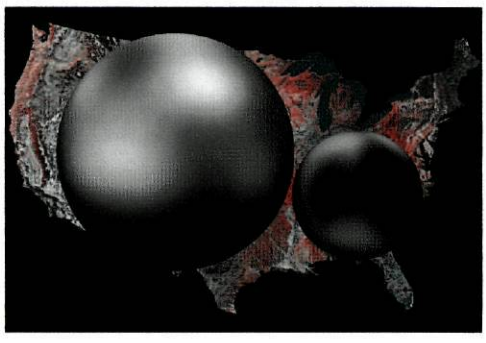


Figura 2.82

Comparação gráfica, à escala, das dimensões de Plutão e de Caronte com a dimensão dos Estados Unidos. (Adaptado de http://www.solarvews.com/b/pluto/plutousa.jpg).

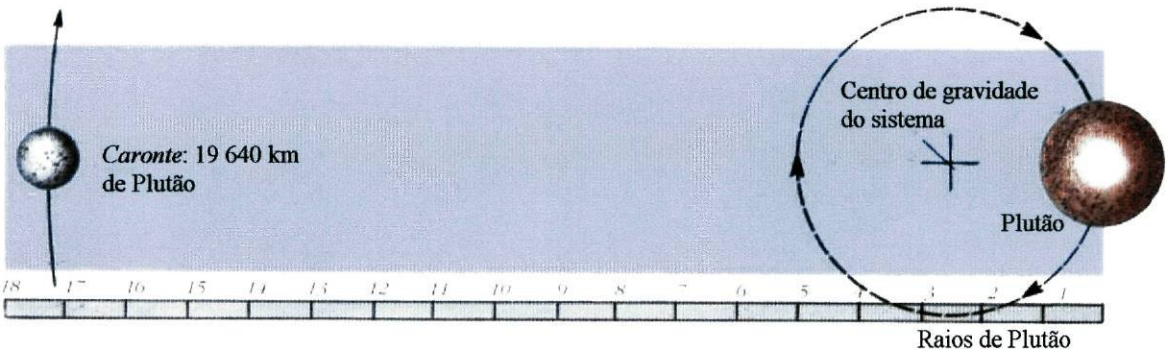


Figura 2.83

Esquema do sistema Plutão e Caronte em que a distância do planeta à sua lua se assinala em raios do planeta. O centro de gravidade do sistema encontra-se fora de Plutão, pois Caronte é responsável por cerca de 15% da massa do sistema. (Adaptado de *Atlas do Universo*, de Heather Couper e Nigel Henbest).

A distância média entre Caronte e Plutão é de 19 640 km, cerca de 5% da distância entre a Terra e a nossa Lua ou cerca de 8 Plutões e meio alinhados (figura 2.83). Caronte é considerado um satélite peculiar pelo facto de ser o maior satélite do Sistema Solar em relação ao seu primário: 51,7% da dimensão. Na figura 2.84 encontra-se a imagem mais nítida jamais conseguida do planeta distante Plutão e da sua lua, Caronte, realizada pelo Telescópio Espacial Hubble. A imagem foi obtida em 21 de Fevereiro de 1994, quando o planeta estava à distância mínima da Terra, 4,4 mil milhões de quilómetros.



Figura 2.84

Imagem de Plutão e de Caronte registada pelo Telescópio Espacial Hubble. A distância entre eles é comparável ao diâmetro de Terra sendo cerca de uma vez e meia maior. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/PlutoCharon.jpg).

Plutão executa um movimento de rotação completo em cerca de 6,4 dias e Caronte demora tempo idêntico para dar uma volta em redor de Plutão: para um astronauta situado num dos lados do planeta, Caronte nunca se deslocaria no céu enquanto que no outro lado o satélite estaria sempre invisível. À medida que Plutão e Caronte percorrem a sua órbita em torno do Sol, também se deslocam, em conjunto, em volta do centro de massa do sistema que fica fora de Plutão devido a Caronte ser responsável por cerca de 15% da massa de todo o sistema (figura 2.83).

Quadro 2.10 Algumas características físicas de Plutão e de Caronte

FACTOS E NÚMEROS – Plutão e Caronte

Diâmetro :	2 320 km (5,546 vezes menor que o diâmetro da Terra)
Distância média ao Sol:	5 916 000 000 km = 39,545 u.a.
Velocidade orbital :	16 920 km/h
Período orbital (um "ano"):	248 anos
Um "dia"	
Uma volta em torno do seu eixo:	6 dias 9 horas 17 minutos 17 segundos

2.17 Algumas comparações entre planetas: volumes e áreas de superfície

Júpiter possui um volume de mais de 1 530 biliões de quilómetros cúbicos, 1 530 600 000 000 000 km^3, cerca de 1 408 vezes o volume da Terra. O volume dos restantes oito planetas é cerca de 1 052 756 774 000 000 km^3 (aproximadamente 1 053 biliões de quilómetros cúbicos), isto é, o correspondente a pouco mais que dois terços do volume de Júpiter. Se este planeta fosse uma bola de barro, com ela poderíamos moldar os restantes planetas e ainda sobraria cerca de um terço de todo o barro – o equivalente a produzir 440 modelos terrestres com o barro restante (figura 2.85). Mas se compararmos com o volume de Plutão, este tem apenas 0,00042% do volume de Júpiter.

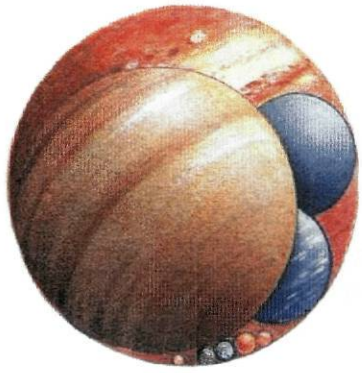


Figura 2.85
Se Júpiter fosse uma bola de barro poderíamos moldar com ela os outros planetas e ainda sobraria bastante. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

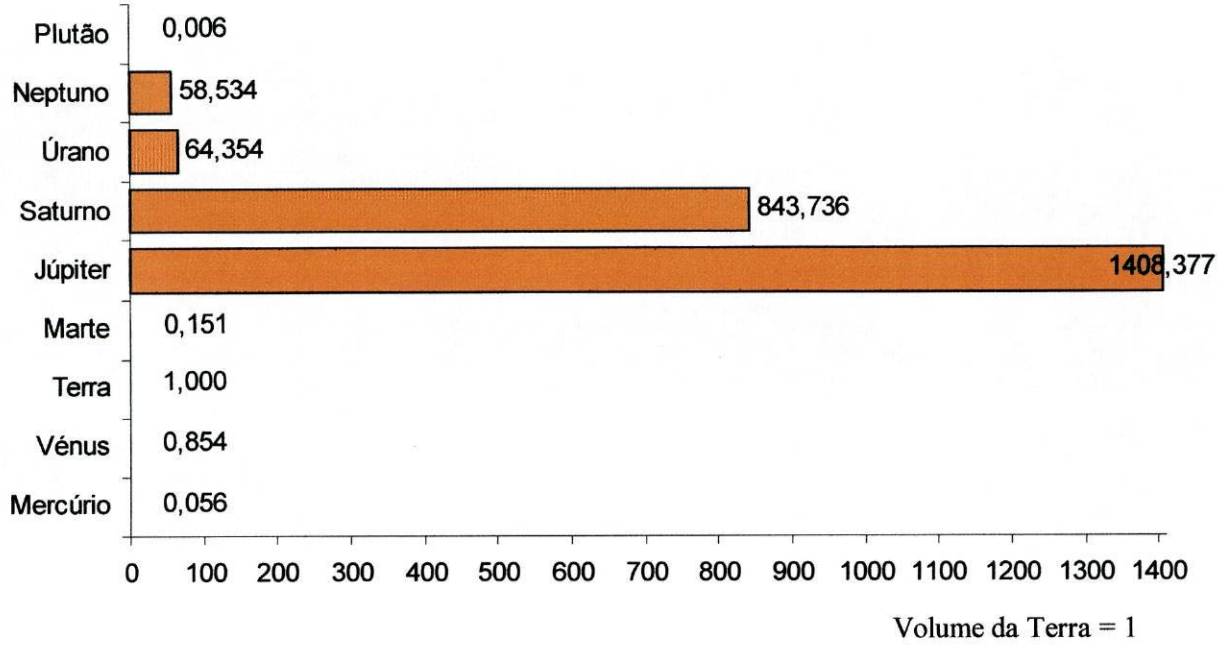


Figura 2.86
Diagrama de barras comparando os volumes dos planetas entre si considerando o volume da Terra como unidade de comparação.

O diagrama da figura 2.86 fornece informação sobre o volume dos planetas comparativamente ao volume da Terra, considerando-se para isso o volume da Terra como sendo uma unidade. O planeta mais pequeno, Plutão, tem somente 0,6% do volume da Terra.



Figura 2.87

Modelo representando os planetas. O objecto que tem desenhado os continentes terrestres, não se encontra a representar o planeta Terra mas o planeta Saturno, pois a sua dimensão relativa, nesta escala, aproximava-se da dimensão real do planeta. O lápis foi colocado junto do modelo para fornecer uma noção do tamanho dos objectos utilizados.

Para se compreender melhor o volume de cada planeta construiu-se um pequeno modelo com objectos que se encontram facilmente no nosso dia-a-dia, tais como sementes de plantas e bolas que se adquirem em máquinas distribuidoras que se encontram em locais de lazer mais frequentados pelos portugueses (figura 2.87). Da esquerda para a direita: Plutão, Neptuno, Úrano, Saturno, Júpiter, Marte, Terra, Vénus e Mercúrio, respectivamente, semente de milho painço, bola de matraquilhos, bola saltadora de borracha compacta, globo terrestre das máquinas distribuidoras (neste caso está a fazer a vez de Saturno), bola desmontável das máquinas distribuidoras, semente de sorgo, semente de ervilha, semente de estrelícia e, finalmente, semente de cânhamo. A Terra é pequeníssima em comparação com os planetas Júpiter e Saturno e mesmo com os dois seguintes, Úrano e Neptuno. Plutão quase não se vê devido à sua pequenez.

Os cinco planetas mais pequenos são constituídos principalmente por rocha, enquanto que os quatro maiores são compostos sobretudo por gases. No entanto, e apesar do seu tamanho, os planetas mais pequenos são mais pesados do que os restantes em proporção ao respectivo tamanho: Saturno é apenas somente 15,7% mais pequeno que Júpiter e, no entanto, Júpiter tem cerca de três vezes mais massa que Saturno (figura 2.89). Com efeito, Saturno flutuaria na água, caso fosse possível arranjar um tanque suficientemente grande para colocá-lo dentro (figura 2.88), pois a sua densidade é inferior à densidade da água (figura 2.90). Os planetas interiores são mais os densos do Sistema Solar enquanto

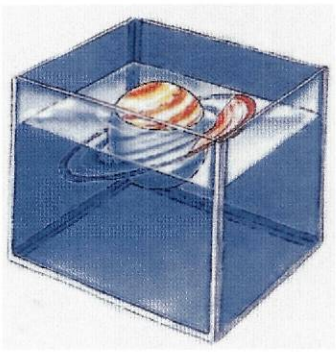


Figura 2.88

Se fosse possível colocar Saturno dentro de água, ele flutuaria por ter uma densidade inferior. (Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod).

que os exteriores, os menos densos. Mercúrio, Vénus e a Terra são comparáveis na sua densidade apesar de somente a Terra ser favorável à vida tal como a conhecemos.

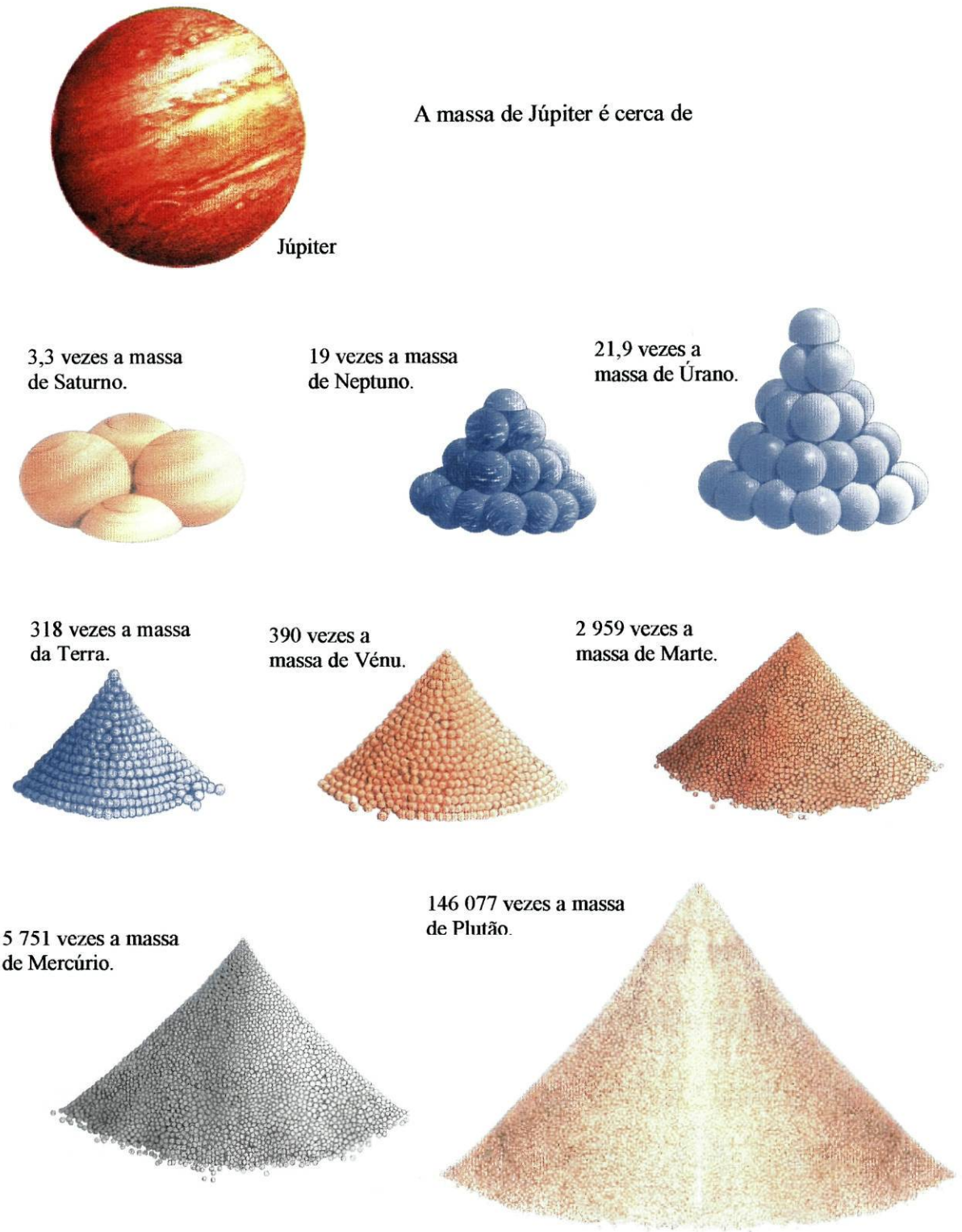


Figura 2.89

Comparação da massa de Júpiter relativamente à massa dos restantes planetas. Seriam necessários cerca de 146 077 planetas como Plutão para se equiparar a massa de Júpiter. Os desenhos apresentados não se encontram à escala. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

O diagrama da figura 2.91 mostra a relação existente entre a massa da Terra e a dos restantes planetas: Plutão, o menor deles equivale a somente 0,2% da massa da Terra enquanto que para o gigante Júpiter, precisaríamos de cerca de 318 Terras.

Analisando os valores das massa de cada planeta, podemos dizer que a Terra e Vénus são comparáveis entre si, assim como Úrano e Neptuno.

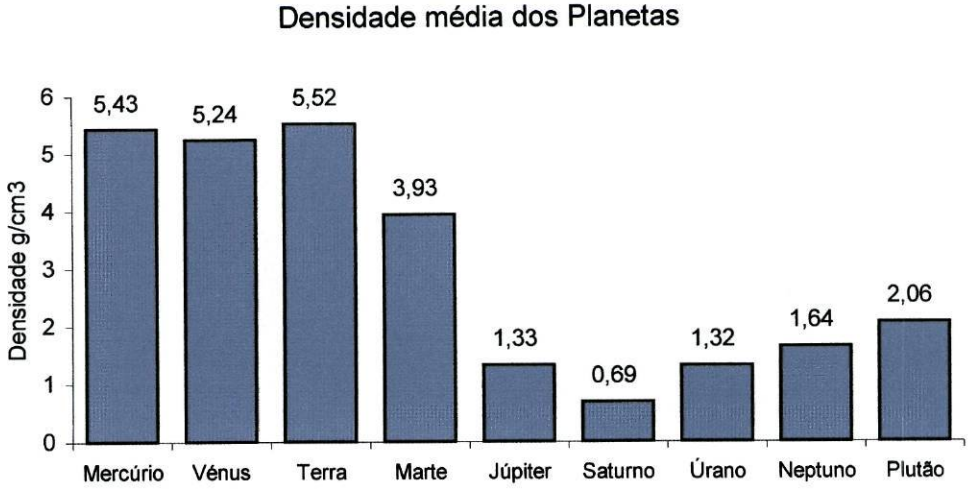


Figura 2.90

Diagrama de barras indicando as densidades de cada planeta, considerando a densidade da água igual a 1. Os planetas interiores são os mais densos. Saturno é o menos denso e tem a particularidade de ser menos denso que a água.

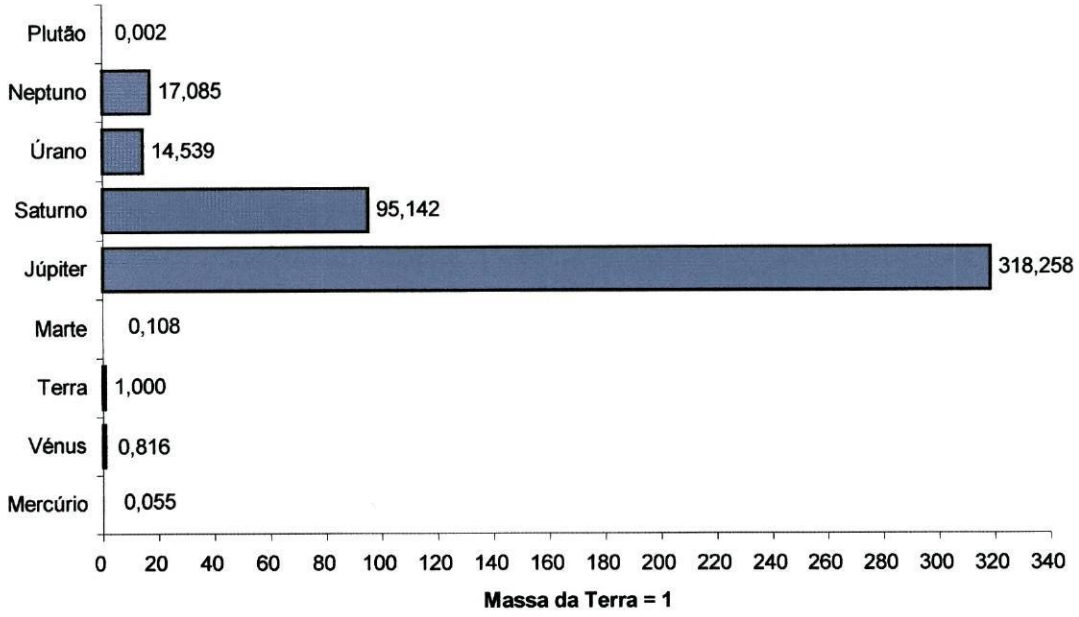


Figura 2.91

Diagrama de barras comparando os massas planetárias entre si considerando a massa da Terra como unidade de comparação.

Relativamente às áreas de superfície dos planetas, se a superfície de Júpiter fosse reduzida ao tamanho de um campo de ténis (limite exterior, 261 m^2, 4 200 folhas A4), a superfície de Mercúrio seria equivalente a cerca de 5 folhas A4, Vénus a 30 folhas, Terra seria cerca de 33 folhas, enquanto que para a superfície de Marte teríamos 10 folhas. Para Saturno, a sua superfície seria equivalente a cerca de 16 lugares individuais de estacionamento de automóveis(figura 2.92), cerca de 3 000 folhas A4. Em relação ao sétimo planeta, Úrano, teríamos cerca de três lugares de estacionamento (530 folhas A4); Neptuno corresponderia a 513 folhas e, finalmente, para Plutão, pouco mais do que uma folha A4. Nesta escala, a superfície do Sol seria equivalente a 95 campos de ténis, cerca de 400 000 folhas A4 ou três campos de futebol.



Figura 2.92

Parque de estacionamento de automóveis em Santa Cruz, Torres Vedras. As dimensões de cada lugar são 2,5 m por 4,8 m.

Na figura 2.93 estão representadas, através de rectângulos, as planificações das superfícies de cada planeta com as respectivas áreas aproximadas, em km^2.

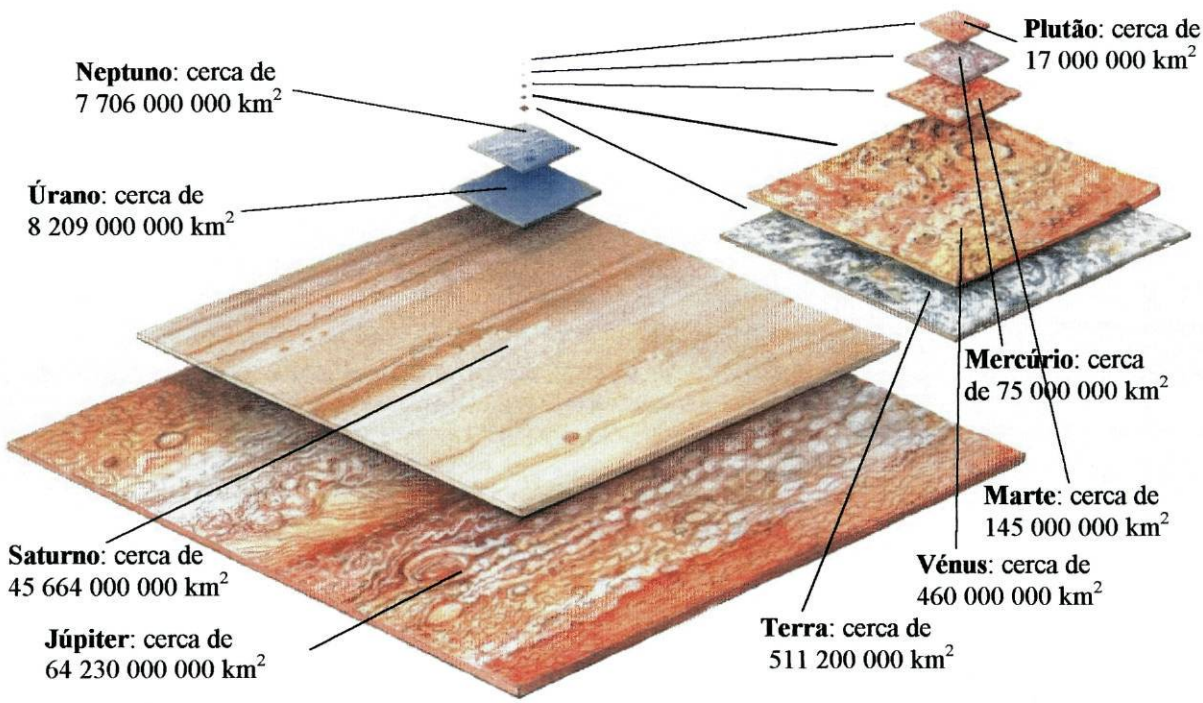


Figura 2.93

Esquema comparativo da área de superfície de cada planeta. A superfície do Sol, nesta escala, seria representada por um paralelogramo semelhante aos da figura mas com 7,13 m de lado. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Marte é cerca de 46,7% mais pequeno que o planeta Terra. No entanto, a área da sua superfície é muito próxima da área de terra firme existente no planeta Terra: 145 000 000 km^2 e 148 244 000 km^2 respectivamente

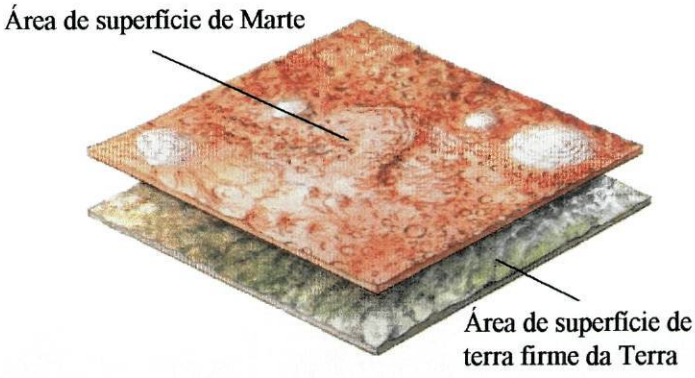


Figura 2.94

Comparação esquemática entre a área de superfície de Marte com a área de superfície de terra firme no planeta Terra. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Vista do espaço, a Terra é um globo azul envolto em nuvens (figura 2.95). Os oceanos cobrem cerca de 71% da superfície total do planeta Terra, isto é, cerca de 362 952 000 km^2 . Se adicionarmos as áreas de superfície dos três planetas mais pequenos do sistema Solar, Mercúrio, Marte e Plutão (figura 2.96), obteremos apenas 65,2% da área que os oceanos ocupam na Terra (a área de superfície conjunta dos três planetas referidos é de cerca de 236 759 533 km^2). Os restantes 34,8% (126 307 296 km^2) são equivalentes a dez vezes a área conjunta da Europa dos 15 e dos Estados Unidos (9 373 000 km^2).



Figura 2.95

O planeta Terra registado pela nave *Galileo*, a em 11 de Dezembro de 1990, a cerca de 2 091 700 km do planeta. (Adaptado de http://solarviews.com/r/earth/earthx.jpg).

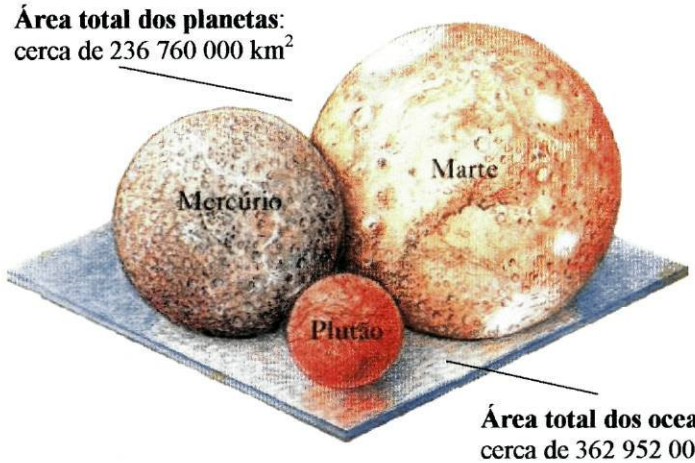


Figura 2.96

A área de superfície conjunta dos planetas Mercúrio, Marte e Plutão totaliza 65,2% da área de superfície dos oceanos terrestres. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

O gráfico da figura 2.97 evidencia claramente a dimensão relativa dos planetas, considerando por referência a dimensão do planeta Terra. O diâmetro de Júpiter é equivalente

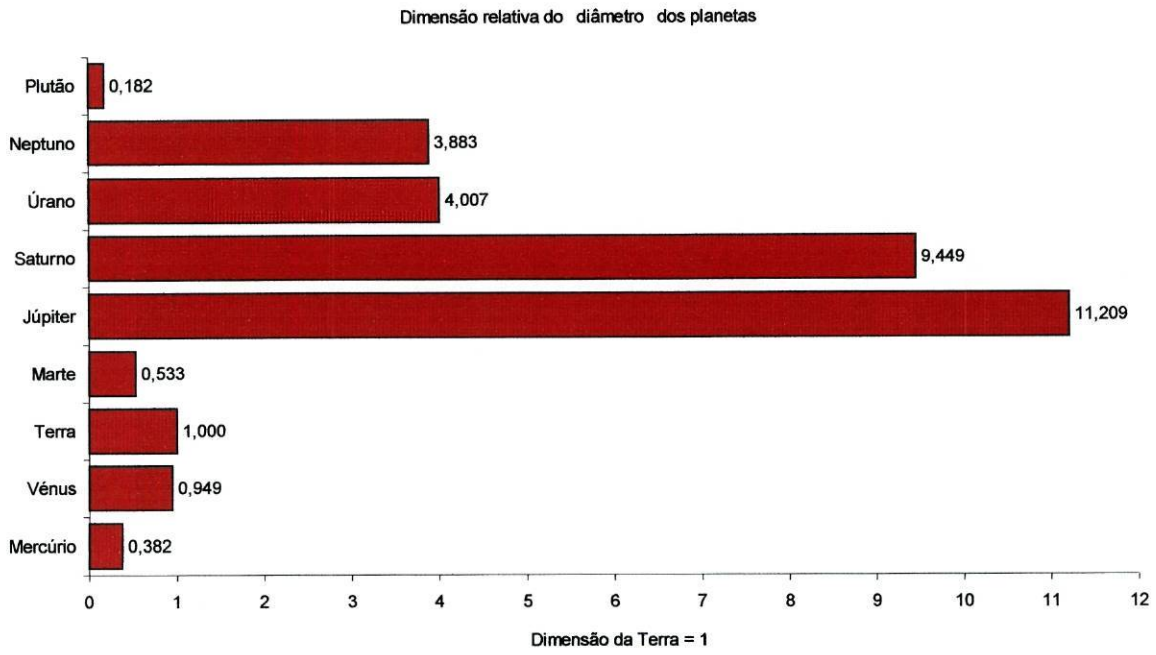


Figura 2.97

Diagrama de barras mostrando o diâmetro de cada planeta em relação ao diâmetro da Terra. Terra e Vénus são quase idênticos em dimensão assim como Úrano e Neptuno. Marte tem pouco mais que metade do diâmetro terrestre.

a 11,2 Terras em fila enquanto que para Saturno seriam necessárias somente 9,5 Terras. No entanto, Úrano exigiria 4 e Neptuno 3,9 Terras. Relativamente aos planetas mais pequenos, Vénus quase precisaria de uma Terra enquanto que para Mercúrio, Marte e Plutão, todos juntos em fila, pouco mais do que um diâmetro terrestre seria necessário.

As figuras seguintes são composições de fotografias com uma montagem à escala, de modo a podermos comparar as dimensões dos planetas. Considerando uma escala para cada figura, a Terra e Vénus são aproximadamente do mesmo tamanho (figura 2.98), como se verifica também através do gráfico anterior. Marte possui cerca de metade do tamanho da Terra e um décimo da massa.

Úrano e Neptuno possuem quase a mesma massa e o mesmo tamanho e



Figura 2.98

Vénus, Terra e Marte, à mesma escala, para comparação das suas dimensões. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

estão ladeados pela Terra e Plutão (figura 2.99). A imagem deste último planeta foi gerada por computador com base nos dados fornecidos pelo Telescópio Espacial Hubble.

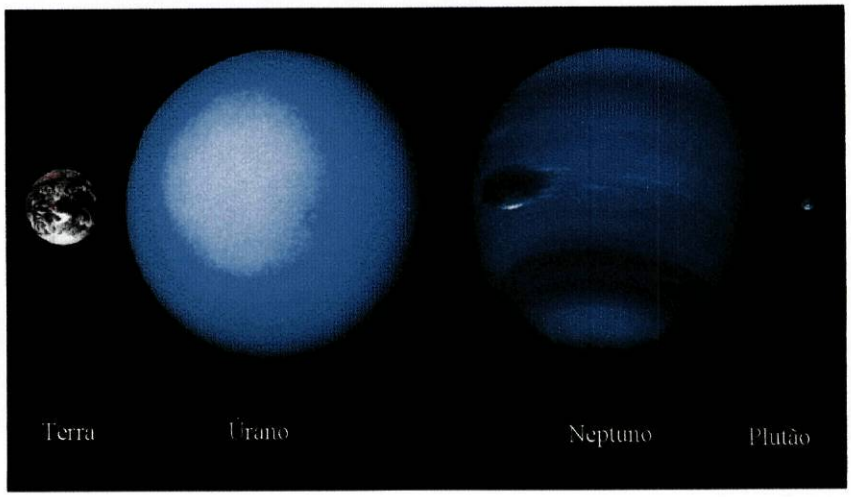


Figura 2.99

Terra, Úrano, Neptuno e Plutão representados à escala. Úrano e Neptuno têm dimensões semelhantes e possuem anéis que, nesta montagem, não foram considerados para melhor comparação com os restantes planetas. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Na figura 2.100, encontra-se representado, à mesma escala, os sete maiores satélites naturais do Sistema Solar e o planeta Mercúrio, para comparação das suas dimensões e na figura 2.101, um esquema indicando o sentido de rotação dos planetas e a inclinação do seu eixo de rotação, relativamente ao plano orbital. Os planetas são apresentados pela ordem que orbitam o Sol, do interior para o exterior.



Figura 2.100

Montagem fotográfica do planeta Mercúrio com os sete maiores satélites naturais do Sistema Solar: A Lua da Terra, as quatro maiores luas de Júpiter (*Io*, *Europa*, *Callisto* e *Ganymede*), a maior lua de Saturno (*Titan*) e finalmente a maior lua de Neptuno (*Triton*). As imagens encontram-se reproduzidas à escala, para comparação das dimensões. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

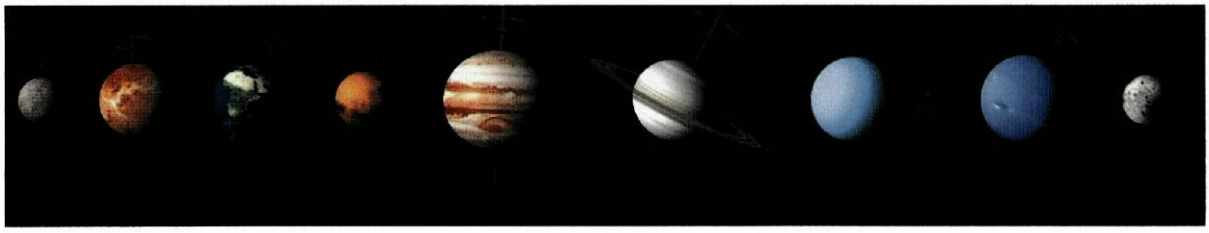


Figura 2.101

Esquema representando a inclinação do eixo de rotação e o sentido de rotação de cada planeta em relação ao plano da órbita. Da esquerda para a direita: Mercúrio, Vénus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Úrano, Neptuno e Plutão. (Adaptado de http://solarviews.com/r/misc/obliquity.jpg).

2.18 As órbitas dos planetas

Com excepção do Sol, os maiores objectos do Sistema Solar são os planetas. Plutão, o mais afastado de todos, é uma excepção pois, na realidade, é menor que a nossa Lua e menor que algumas luas de Júpiter e de Saturno. Uma outra maneira de comparar os planetas é através das suas órbitas em torno do Sol, dividindo-os em duas classes de acordo com as dimensões das respectivas órbitas. Assim, temos os planetas interiores, classe a que pertencem Mercúrio, Vénus, Terra e Marte, cujas órbitas, à esquerda na figura 102, se encontram muito próximas do Sol. Em contrapartida, os planetas exteriores Júpiter, Saturno, Úrano e Neptuno, possuem órbitas bem espaçadas devido às grandes distâncias a que se encontram do Sol. Deste modo, na figura só estão representadas, à escala, as órbitas e não os planetas, pois se Júpiter, o maior planeta do Sistema solar, fosse desenhado à escala relativamente às órbitas, teria somente $8{,}58\times10^{-5}$ cm de diâmetro - muito pequeno para ser visto sem a ajuda de um microscópio - enquanto que os restantes planetas ainda seriam mais pequenos.

Quando comparados com as distâncias a que se encontram, os planetas são pequeníssimos: por exemplo, enquanto que uma viagem regular de avião, viajando a uma velocidade média de 1 000 km/h, pode efectuar uma volta à Terra (sobre o equador) em menos de dois dias (cerca de um dia e dezasseis horas), a essa velocidade levaria cerca de 149 600 horas, isto

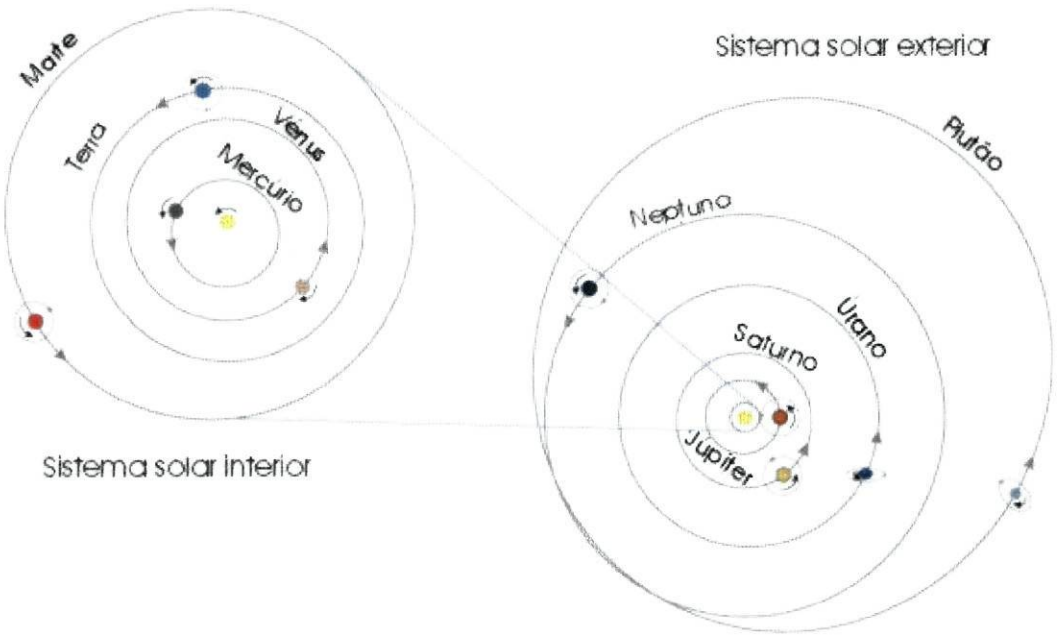


Figura 2.102

Esboço das órbitas dos planetas, suas posições relativas e sentidos de rotação. Se pudéssemos observar o Sistema Solar fora do seu plano orbital, teríamos que imaginar percursos como o esboço da direita, onde se observa somente as órbitas dos planetas exteriores. Para as órbitas dos planetas interiores, teríamos que nos aproximar mais e observaríamos, imaginando percursos em torno do Sol, parecidos com o esboço da esquerda. Os planetas com satélites são assinalados com outro círculo. (Adaptado de http://dosxx.colorado.edu/Pluto/orbits.jpg).

é, cerca de 17 anos e 20 dias, a efectuar o percurso da Terra ao Sol. E para atravessar a distância entre o periélio e o afélio do planeta Plutão, cerca de 11 831 000 000 km (onze mil, oitocentos e trinta e um milhões de quilómetros), demoraria 11 831 000 horas (onze milhões e oitocentos e trinta e uma horas), ou seja, cerca de 1 350 anos de viagem!

Se pudéssemos observar o sistema solar a partir de um ponto situado muitas unidades astronómicas acima do pólo norte terrestre veríamos todos os planetas a orbitarem o Sol no mesmo sentido, contrário ao do ponteiro do relógio (figura 2.102).

Se pudéssemos observar o sistema solar da sua borda exterior, isto é, de perfil, veríamos também que as suas órbitas se situariam quase num mesmo plano, à excepção do planeta mais exterior, cuja órbita tem uma inclinação diferenciada dos restantes, cerca de 17° em relação ao plano da eclíptica (figura 2.103).

Para se ter uma ideia mais aproximada das dimensões das órbitas dos planetas, poderí-

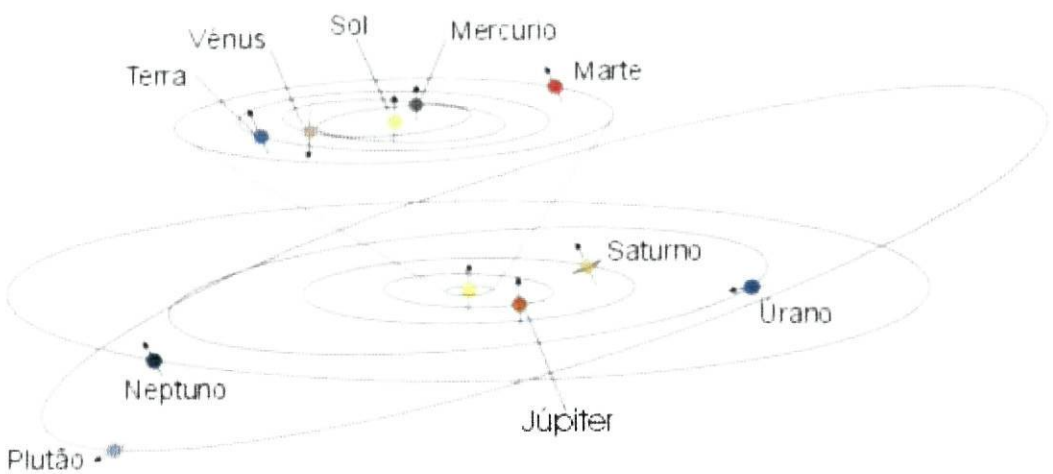


Figura 2.103

Esboço das órbitas dos planetas vistas de perfil, suas posições relativas e respectivos eixos de rotação. Se fosse possível observar o Sistema Solar de um ponto distante mas próximo do plano orbital dos planetas, observaríamos, imaginando percursos em torno do Sol, parecidos com o esquema apresentado em baixo. Para observar as órbitas dos planetas interiores, teríamos que nos situar mais próximos do Sistema Solar ou, eventualmente, no seu interior e observaríamos, imaginando de novo, percursos idênticos aos apresentados no esquema de cima. (Adaptado de http://dosxx.colorado.edu/Pluto/orbits.jpg).

amos imaginar que o Sol se situaria em Faro e identificar localidades por onde deveriam passar as órbitas de cada planeta. Obteríamos, desta forma, uma imagem que relacionaria as distâncias entre órbitas (figura 2.104). Por exemplo, ao centrarmos o Sol em Faro, Mercúrio teria uma órbita que passaria pela povoação Conceição e praia de Faro, cerca de 6 km do centro da cidade; Vénus passaria pelas localidades Quelfes e praia do Garrão, cerca de 10 km do centro de Faro; Terra deslocar-se-ia numa órbita que abrangesse as localidades de Gorjões

e Moncarapacho, a uma distância aproximada de Faro de 15 km e Marte passaria pela praia da Falésia, cerca de 22 km de Faro, ainda na região do Algarve e distrito de Faro.

Quando passamos para os planetas exteriores, as distâncias aumentam rapidamente: Júpiter teria uma órbita que passaria pela localidade espanhola Villanueva de los Castillejos, pela Aldeia das Amoreiras já no Baixo Alentejo (distrito de Beja), por Aljezur e praia da Ingrina, novamente no Algarve, a uma distância aproximada de cerca de 75 km de Faro; para Saturno obteríamos uma trajectória que atravessaria a Baixo Alentejo, passando pelas povoações de Alqueva, Alvito (ambas no distrito de Beja) e Grândola (distrito de Setúbal), a uma distância de 140 km de Faro em linha recta; relativamente a Úrano, o salto no mapa seria enorme pois a sua órbita situar-se-ia já no Alto Alentejo (Nisa e Belver, distrito de Portalegre), Ribatejo



Figura 2.104

Se o Sol estivesse em Faro, onde estariam os planetas? Considerou-se a distância média de Plutão ao Sol como sendo a distância entre Faro e Melgaço em linha recta (113 cm) no mapa de Portugal. (Trabalho realizado por alunos, no âmbito das actividade do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria).

(Constância, distrito de Santarém) e Estremadura (Lourinhã, distrito de Lisboa); quanto a Neptuno, a sua órbita atravessaria as províncias Beira Alta (Sernancelhe, distrito de Viseu) e Beira Litoral (Castro Daire, distrito de Viseu e S. João da Madeira, distrito de Aveiro) e, finalmente, Plutão a passar por Melgaço, já no Minho no distrito de Viana do Castelo. Estas relações entre as distâncias orbitais foram elaboradas considerando uma escala em que, à distância média do Sol a Plutão, 5 913 520 000 km (cinco mil, novecentos e treze mil milhões e quinhentos e vinte mil quilómetros), equivaleria 113 cm no mapa de Portugal (distância entre Faro e Melgaço em linha recta) de escala de 1:500 000.

O tamanho dos corpos celestes varia muito: a Terra é pequena quando comparada com Júpiter e minúscula se a compararmos com o Sol. Mesmo os maiores planetas do sistema So-

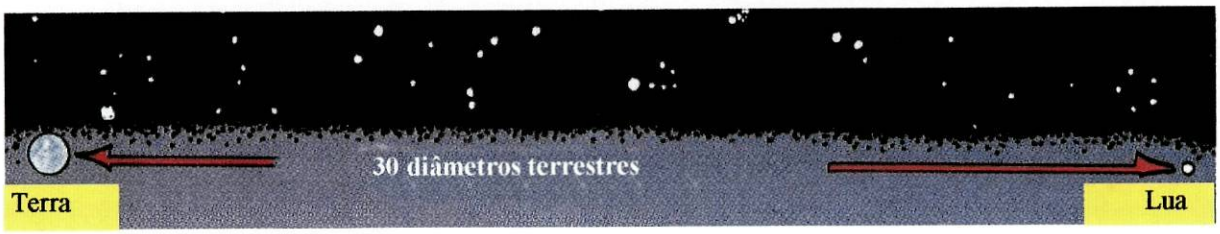


Figura 2.105

Distância entre a Terra e a Lua em diâmetros terrestres. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

lar são insignificantes quando comparados com as distâncias a que se encontram entre si. Por exemplo, a distância da Terra à Lua é cerca de 30 vezes o diâmetro da Terra (figura 2.105); no entanto, no Sistema Solar, poderemos considerar estes dois corpos celestes vizinhos um do outro (figura 2.106), já que a distância média da Terra ao Sol, cento e cinquenta de quilómetros, é quase 400 vezes a distância da Terra à Lua! E a Terra é um dos planetas mais próximos do Sol, somente a uma unidade astronómica de distância (figura 2.107)!

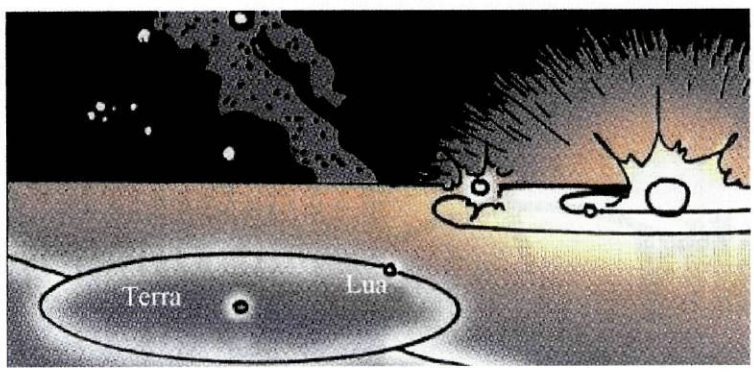


Figura 2.106

A Terra e a Lua: vizinhos na vizinhança do Sol. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

Júpiter encontra-se a 5,2 u.a. do Sol (figura 2.108), distância esta considerada pequena já que Plutão se encontra a 39,5 u.a., isto é, 7,6 vezes a distância de Júpiter ao Sol (figura 2.109)!

No entanto, Plutão é apenas uma pequena pedra lançada ao ar se o compararmos com as estrelas e as distâncias a que se encontram. De facto, a estrela mais próxima, a *Alfa Centauri*, encontra-se a cerca de 6 800 vezes a distância entre Plutão e o Sol (figura 2.110). Nesta situação, já não faz sentido utilizar a u.a. como unidade de medida de distâncias passando-se a



Figura 2.107

A Terra somente a 1 u.a. do Sol! Vénus a 0,72 u.a e Mercúrio a 0,39 u.a.! (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000)

utilizar o ano-luz (distância percorrida pela luz, no vácuo, durante um ano, cerca de 63 240 u.a.).

Exemplificando com três estrelas, *Betelgeuse*, *Bellatrix* ou *Rigel*, na constelação de *Orion* (figura 2.111): 430 anos-luz, 245 anos-luz e 770 anos-luz, respectivamente. Considerando como unidade de medida a distância entre o planeta Plutão e o Sol, tem-se que 1 ano-luz equivale aproximadamente 1 600 distâncias Plutão-Sol. Ou seja, *Betelgeuse* encontra-se a uma distância de nós cerca de 688 000 vezes a distância de Plutão ao Sol, *Bellatrix,* localiza-se a 392 000 distâncias Plutão-Sol, enquanto que *Rigel* está tão afastada do Sol quanto 1 232 000 distâncias Plutão-Sol.

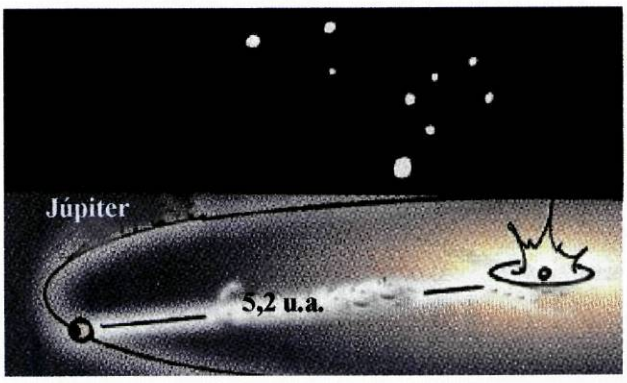


Figura 2.108

Júpiter a 5,2 u.a. do Sol, isto é, 5,2 vezes a distância entre a Terra e o Sol. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

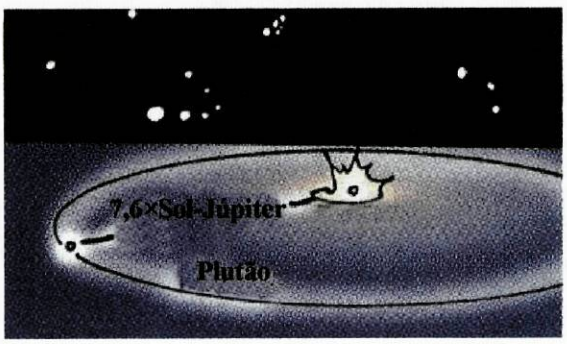


Figura 2.109

Plutão situa-se apenas a 7,6 vezes a distância do Sol a Júpiter. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

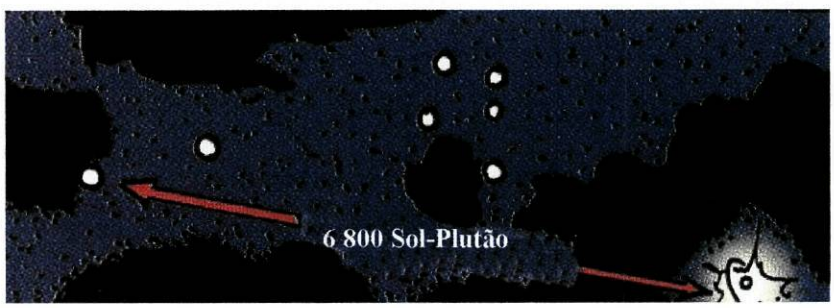


Figura 2.110

A estrela mais próxima de nós, *Proxima Centauri*, a 6 800 vezes a distância entre o Sol e Plutão. (Adaptado de *Sky & Telescope*, Dezembro de 2000).

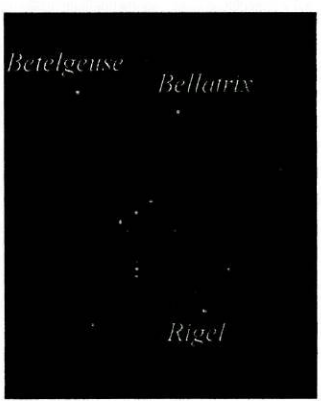


Figura 2.111

Constelação de *Orion*. *Betelgeuse* localiza-se a cerca de 688 000 vezes a distância entre Plutão e o Sol, *Bellatrix* a 392 000 distâncias e *Rigel* a 1 232 000 distâncias. (Adaptado de http://if.ufrgs.br/).

2.19 Velocidade nas órbitas

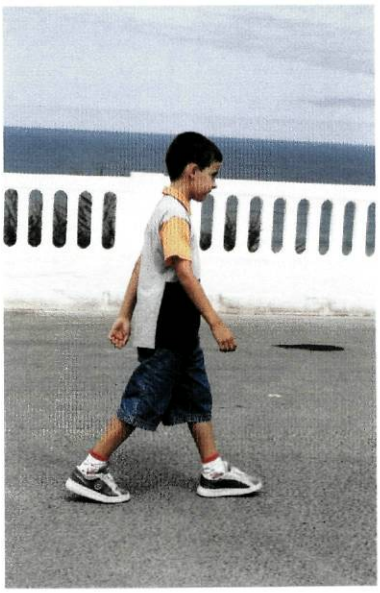


Figura 2.112

Criança com 10 anos a caminhar. A velocidade média de marcha de uma criança é de 1,4 m/s.

No giro que fazem em torno do Sol, os planetas viajam a altas velocidades. Os planetas interiores percorrem a sua órbita com velocidades superiores às dos planetas que se encontram mais afastados da acção de gravidade exercida pelo Sol. Mercúrio possui uma velocidade orbital de 47,9 km/s que corresponde a 172 440 km/h, isto é, 1 500 vezes superior à velocidade máxima permitida em Portugal. Plutão, mais afastado do Sol, possui somente 9,8% da velocidade do planeta mais interior do Sistema Solar: apenas 4,7 km/s, ou seja, 16 920 km/h 16 920 km/h (cerca de 150 vezes superior à velocidade máxima permitida em Portugal.



Figura 2.113

O golfinho pode atingir a velocidade de 13,3 m/s. (Adaptado de http://www.dolphin-synergy.com/enlarged/dolph3.html).

Poderíamos imaginar Plutão como uma criança (figura 2.112) com uma velocidade normal de marcha de 5 km/h e um golfinho (figura 2.113), o Mercúrio, com uma velocidade de 48 km/h (a velocidade da criança é cerca de 10,4% da do golfinho).

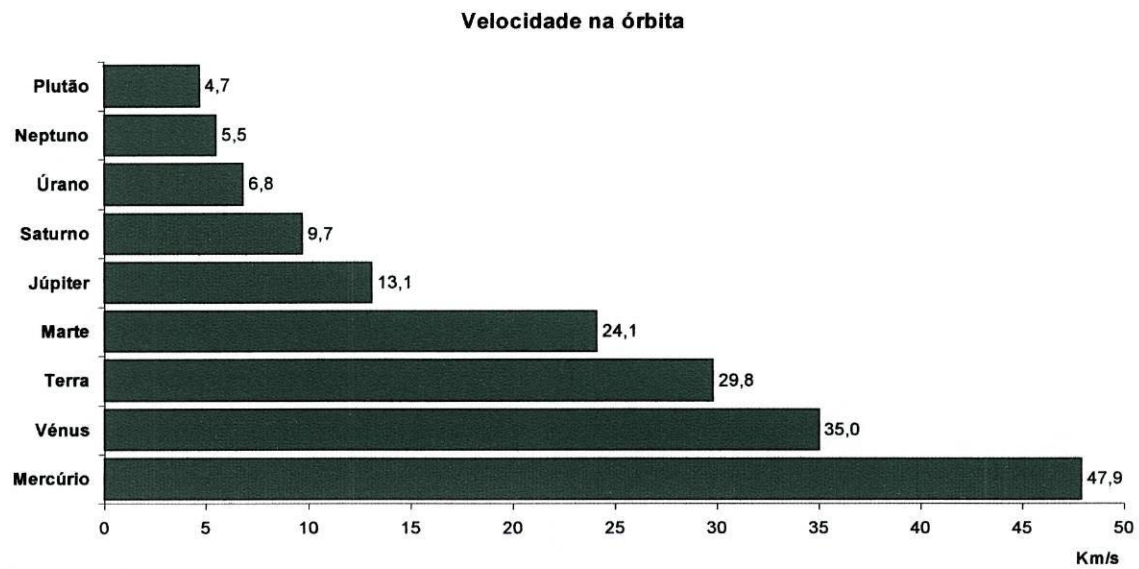


Figura 2.114

Diagrama de barras mostrando as velocidades na órbita de cada planeta. O mais lento é Plutão e o mais rápido é Mercúrio. Os planetas mais próximos do Sol possuem maior velocidade.

No diagrama da figura 2.114 encontram-se indicadas as velocidades orbitais de cada planeta em km/s. Poderíamos comparar a velocidade de Mercúrio com a velocidade do planeta Terra. Esta possui apenas 62,2% da velocidade de Mercúrio – aproximadamente a mesma relação existente entre a velocidade de voo nivelado de um pato bravo, 105 km/h (figura 2.115), e a velocidade da ave mais veloz (figura 2.116), o andorinhão (Mercúrio), que pode atingir os 171 km/h (o voo do pato é 61,4% do voo do andorinhão).



Figura 2.115

Quadro representando patos bravos. Estes podem atingir a velocidade de 29,2 m/s, em voo nivelado. (Adaptado de http://www.quackin.com/art/stamps/mt/mt1996.asp).



Figura 2.116

Andorinhão em pleno voo. Pode atingir a velocidade de 47,5 m/s. (Adaptado de http://www3.vantek.net/pmh/interest.htm).

Se fizermos o mesmo tipo de analogia para Júpiter e Terra – a velocidade de Júpiter é de cerca 43,9% da velocidade orbital da Terra – teremos, respectivamente, o par de animais marinhos Pinguim-papua (figura 2.117), com uma velocidade de cerca de 35 km/h e o peixe espadim (figura 2.118), com uma velocidade de cerca de 80 km/h (a velocidade do pinguim é apenas 43,8% da velocidade do espadim). Uma outra analogia para o mesmo par de planetas poderia ser o gato e a chita (figura 2.119), respectivamente, 48 km/h e 100 km/h, isto é, uma relação de 48% entre a velocidade do gato (Júpiter) e a velocidade da chita (Terra).



Figura 2.117

Família de pinguins-papua. Estes animais chegam a atingir a velocidade de 9,7 m/s dentro de água. (Adaptado de http://users.capu.net/~kwelch/pp/pics/gentoos-family.jpg).

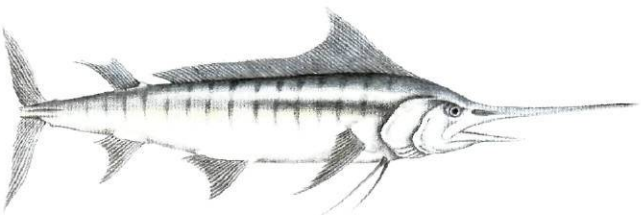


Figura 2.118

O peixe espadim pode atingir a velocidade de 22,2 m/s. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash)



Figura 2.119

A chita e o gato doméstico possuem a mesma relação de velocidade que os planetas Terra e Júpiter. A chita pode atingir a velocidade de 27,8 m/s e o gato doméstico, a velocidade de 13,3 m/s. As imagens não estão à escala. (Chita: adaptado de http://www.cheetahspot.com/speedf.html; gato: adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

2.20 Pequenos corpos do Sistema Solar

Na região entre Marte e Júpiter encontra-se a maioria dos asteróides – objectos irregulares rochosos e metálicos, muito pequenos para serem considerados planetas. A essa zona chamou-se Cinturão de Asteróides. A massa total estimada para a cintura de asteróides é inferior a uma milésima da massa da Terra e se fosse aglutinada num único objecto, este teria menos de 1 500 km de diâmetro (menos que metade do diâmetro da nossa Lua). O Cinturão de Asteróides encontra-se situado a cerca de 2,7 u.a., ou seja, cerca de 22 minutos-luz (figura 2.120), sendo constituído por milhares de pedaços de rocha de dimensões inferiores, na sua maioria, a 1 km. O maior deles, Ceres, possui um diâmetro de 914 km, aproximadamente a largura de França (figura 2.121) ou cerca de um quarto da dimensão da Lua (figura 2.122), e uma massa de cerca de 30% da massa conjunta dos restantes. Se a superfície de Ceres fosse planificada, teríamos 2 624 500 km^2, área conjunta equivalente aos seguintes treze países da União Europeia (figu-

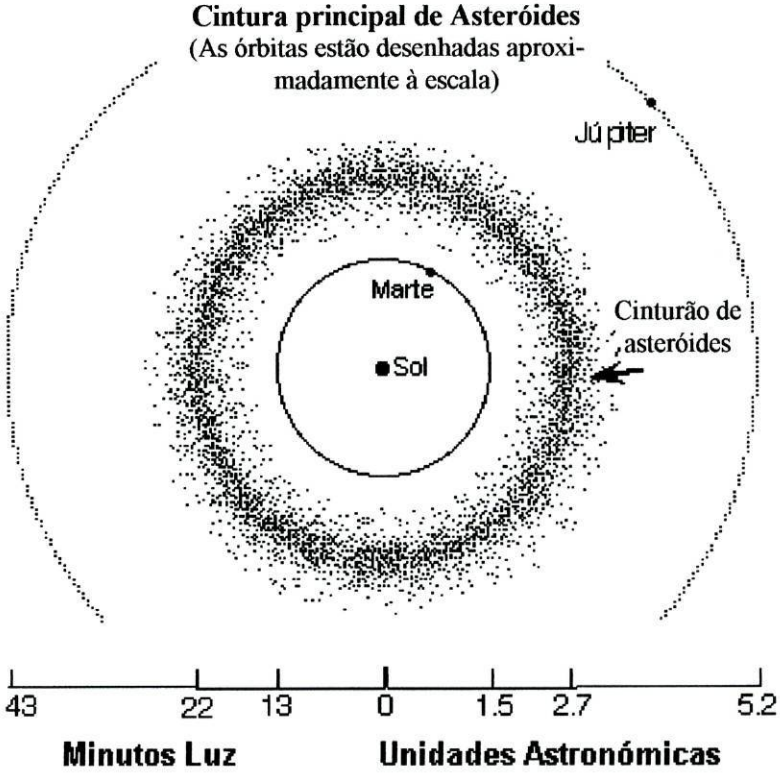


Figura 2.120

Esquema mostrado a disposição da cintura principal de asteróides, na região entre Marte e Júpiter, a 22 minutos-luz, cerca de trezentos e noventa e seis milhões de quilómetros do Sol. (Adaptado de http://www.solarviews.com/span/asteroid.htm).



Figura 2.121

A dimensão do asteróide Ceres é comparável à largura de França, cerca de 950 km de extensão. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

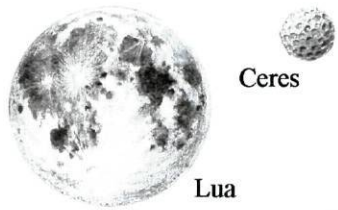


Figura 2.122

Representação da Lua e Ceres, à escala. O diâmetro da Lua é 3,8 vezes superior ao de Ceres. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

ra 2.123): Alemanha (357 000 km^2), Áustria (84 000 km^2), Dinamarca (43 000 km^2), Espanha (505 000 km^2), Finlândia (337 000 km^2), França (544 000 km^2), Holanda (41 000 km^2), Irlanda (70 000 km^2), Itália (301 000 km^2), Luxemburgo (3 000 km^2), Portugal (92 000 km^2) e Reino Unido (244 000 km^2) ou, se quisermos comparar com um só país, bastante inóspito, podemos indicar o Sudão, que é o maior país em superfície do continente africano, com uma área de cerca de 2 505 813 km^2 (figura 2.124).

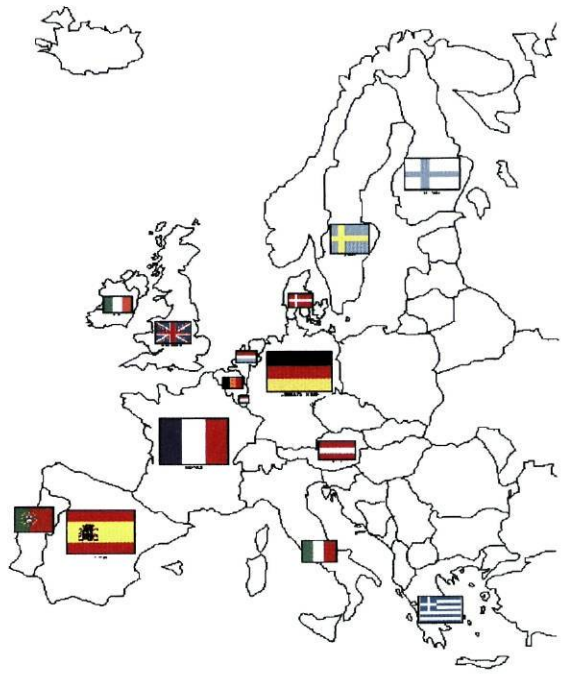


Figura 2.123

A área de superfície de Ceres é comparável à superfície de treze dos quinze países que constituem a União Europeia (os países excluídos são a Grécia e a Suécia), com 2 621 000 km^2. (Adaptado de http://europa.eu.int).

Os pedaços de rocha que se encontram em curso de colisão com a Terra são chamados de meteoróides que, quando atingem a atmosfera terrestre a alta velocidade e devido à fricção, produzem um risco de luz conhecido por meteoro. Quando o meteoróide não é consumido durante a travessia da atmosfera terrestre, e embate na superfície da Terra, tem o nome de meteorito. A maior cratera de impacto provocada pela queda de um meteorito é a *Crater Meteoro Barringer*, Winslow, no Arizona, Estados Unidos da América, com cerca de 1 200 metros de diâmetro (figura 2.125).



Figura 2.124

Sudão, o maior país africano em superfície (cerca de 27,2 vezes superior à superfície de Portugal). A sua área de superfície é comparável à área de superfície de Ceres. (Adaptado de http://kids.infoplease.lycos.com/ipka/A0748963.html).

Para além dos meteoritos, na atmosfera terrestre também entram pequenas partículas cósmicas do tamanho de grãos de areia que *ardem* criando as *estrelas cadentes*. Todos os anos atingem a atmosfera terrestre cerca de 40 000 toneladas de poeira cósmica, o equivalente ao peso de cerca de 308 baleias azuis, considerando o peso médio de cada uma de 130 toneladas (figura 2.126). Outros objectos de pequenas dimensões e que por vezes são visíveis a olho nu, são os cometas: são corpos pequenos, frágeis e de formato irregular compostos por uma mistura de grãos não voláteis e gases congelados. Têm órbitas muito elípticas que os trazem muito próximo do Sol e os levam longe no es-

paço, por vezes para além da órbita de Plutão.



Figura 2.125

Crater Meteoro Barringer localizada no Arizona, Estados Unidos, provocada pela queda do maior meteorito. O seu diâmetro é aproximadamente o comprimento da Rua de Cedofeita no Porto (Adaptado de http://www.solarviews.com /cap/earth/meteor.htm).

Quando os cometas se aproximam do Sol desenvolvem enormes caudas de matéria luminosa que se estendem por cerca de centenas de milhões de quilómetros, tão grande quanto uma unidade astronómica (figura 2.127). Normalmente o núcleo é pequeno, cerca de 10 km de diâmetro, e pouco luminoso pois reflecte apenas cerca de 4% da luz recebida do Sol, sendo invisível aos observadores terrestres devido ao brilho da coma ou cabeleira - nuvem difusa de gás e de poeira que envolve o núcleo, crescendo normalmente de tamanho e de brilho, à medida que o cometa se aproxima do Sol e que, a partir dela, se estende uma longa cauda. A coma usualmente mede um milhão de quilómetros de largura enquanto que o envelope de hidrogénio (hidrogénio que escapa à gravidade do cometa) se espalha por cerca de dez milhões de quilómetros.



Figura 2.126

O peso da poeira cósmica que atinge a atmosfera terrestre é comparável ao peso de 308 baleias azuis. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash)

Em Março de 1986, a sonda *Giotto* analisou de perto o cometa *Halley*, que tem um período de 76 anos, mostrando que o núcleo mede aproximadamente 16 km por 8 km por 8 km, 1 024 km^3, praticamente o volume de um cubo com 10 km de aresta. O periélio deste cometa encontra-se a apenas 0,587 u.a. do Sol. *Halley* só volta a passar pelo seu periélio no ano de 2061. O Grande Cometa de 1834 (figura 2.128) tinha uma cauda tão grande quanto os diâmetros dos três maiores planetas do Sistema Solar, da Terra e

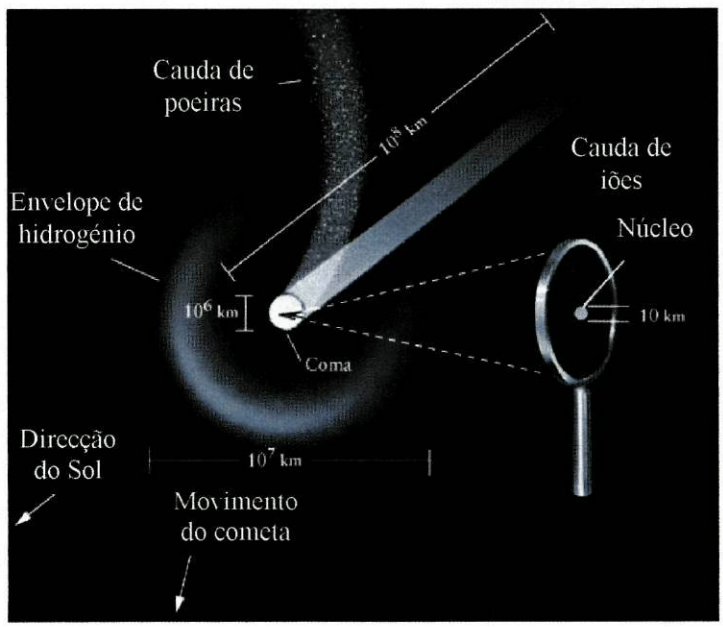


Figura 2.127

Esquema mostrando a estrutura de um cometa e suas dimensões: núcleo, coma, envelope de hidrogénio, cauda de iões e cauda de poeiras. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

de Plutão juntos (os diâmetros de Júpiter, Saturno, Úrano, Terra e Plutão totalizam 329 694 km).

A 25 de Março de 1996, o cometa *Hyakutake* (figura 2.129) aproximou-se da Terra a cerca de 0,1 u.a. (aproximadamente de 14 960 000 km da Terra), tornando-se um dos cometas mais brilhantes do séc. XX. A fotografia foi tirada em Abril de 1996 quando a cauda do cometa foi estimada em cerca de 60 vezes o diâmetro da Lua cheia (30° de amplitude), aproximadamente 8 637 200 km de extensão, cerca de 30 vezes a distância da Terra e à Lua.

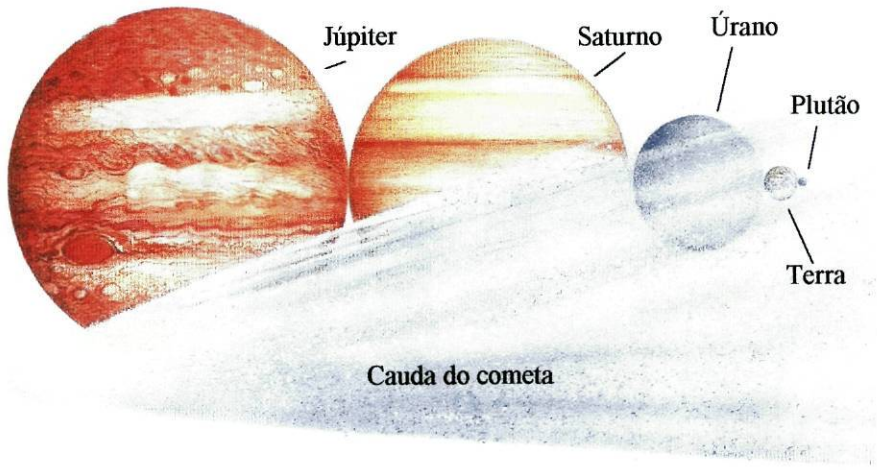


Figura 2.128

Comparação da cauda do cometa *Halley* com a soma dos diâmetros dos planetas Júpiter, Saturno, Úrano, Terra e Plutão. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).



Figura 2.129

Cometa *Hyakutake*, que em Março de 1996 passou próximo da Terra, mostrando uma cauda de cerca 30 vezes a distância da Terra à Lua. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

A 31 de Março de 1997, o cometa *Hale-Bopp* (figura 2.130), fez a sua passagem pelo periélio a 0,914 u.a. do Sol (cerca de 136 734 400 km), à velocidade de 158 000 km/h (a esta velocidade, o cometa daria a volta à Terra em cerca 15 minutos) e a uma distância de 1,3 u.a. da Terra. No seu máximo brilho, distinguiu-se a olho nu a cauda de gás ionizado e a de poeiras. Num local isento de poluição luminosa, a sua cauda atingiu a extensão aparente de 14° (cerca de 48 490 000 km, 129 vezes a distância da Terra à Lua). Este cometa possui um período longo, cerca de 3 000 anos, e um diâmetro de aproximadamente 25 km.

As caudas dos cometas são compostas por poeira e gases como já foi referido. No entanto, a quantidade de matéria aí existente é muito baixa já que em 1 mm^3 de ar na Terra existe mais matéria do que 1 km^3 da cauda de um cometa.



Figura 2.130

Cometa *Hale-Bopp* em 1997 apresentando uma cauda de 129 vezes a distância da Terra à Lua. (Adaptado de http://www.solarwies.com/b/comet/halebop2.jpg).

2.21 Sistema Terra, Lua e *Space Shuttle* à escala de uma bola de praia

Suponhamos que a Terra é do tamanho de uma bola de praia, com 40 cm de diâmetro. A Lua, nesta escala, teria um diâmetro de 11 cm (figura 2.131) e ficaria à distância de 11,8 m da bola de praia (figura 2.133). O Sol, nesta escala, teria 43,7 m de diâmetro e situar-se-ia a 4,7 km de distância - uma bola de diâmetro equiparável à altura de um prédio de 13 andares. Relativamente à órbita do *Space Shuttle* (figura 2.132), cuja órbita típica é de 350 km acima da superfície terrestre, ficaria apenas a 1,1 cm acima da superfície da bola de praia, enquanto que a nave (37 m) teria a dimensão de um vírus! Nesta escala, Plutão ficaria situado a 185,4 km de distância do Sol (tabela 2.3), equiparável à distância entre Leiria e Porto, com dimensão pouco maior que a de uma bola de ténis.

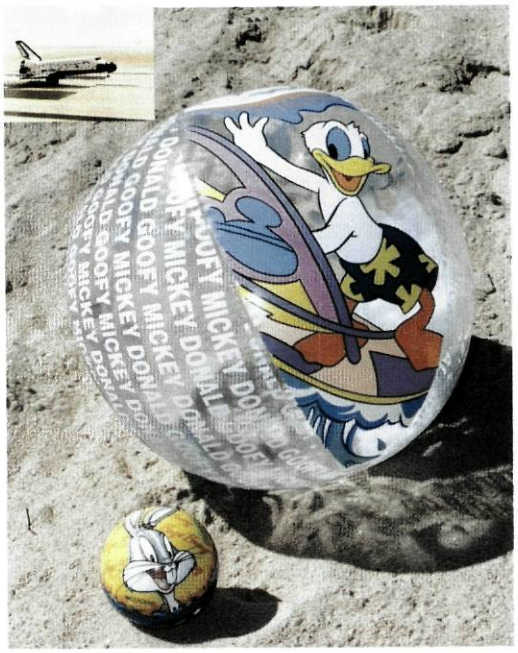


Figura 2.131

Modelo representando a Terra e Lua, à escala. A bola maior representa a Terra e tem 40 cm de diâmetro; a bola menor representa a Lua e têm 11 cm de diâmetro. Neste modelo, o *Space Shuttle* teria 0,00116 mm. Imagem inserida: *Space Shuttle* a aterrar no Centro Espacial Kennedy. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/sts/sts04.gif).

A faixa azul na figura 2.134 é a atmosfera terrestre vista de perfil, a partir do vaivém espacial *Discovery*, ao largo da costa brasileira. Trata-se de uma fotografia do pôr do Sol, onde se pode observar nuvens em forma de bigorna. Para além da faixa azul, fica a escuridão do espaço.



Figura 2.132

O *Space Shuttle* a ser transportado por um Boeing 747 do local de aterragem, na Califórnia do Sul, para o Centro Espacial Kennedy. (Adaptado de http://pds.jpl.nasa.gov/planets/gif/sts/sts05.gif).

A figura 2.135 é um registo fotográfico efectuado pela sonda *Galileo* aquando da sua viagem para Júpiter: no canto superior esquerdo, a Lua, e à direita, a Terra. A fotografia foi tirada a 16 de Dezembro de 1992 quando a sonda se encontrava a cerca de 6 200 000 quilómetros de distância da Terra significando que, tanto a Lua como a Terra, se encontram representadas à escala.

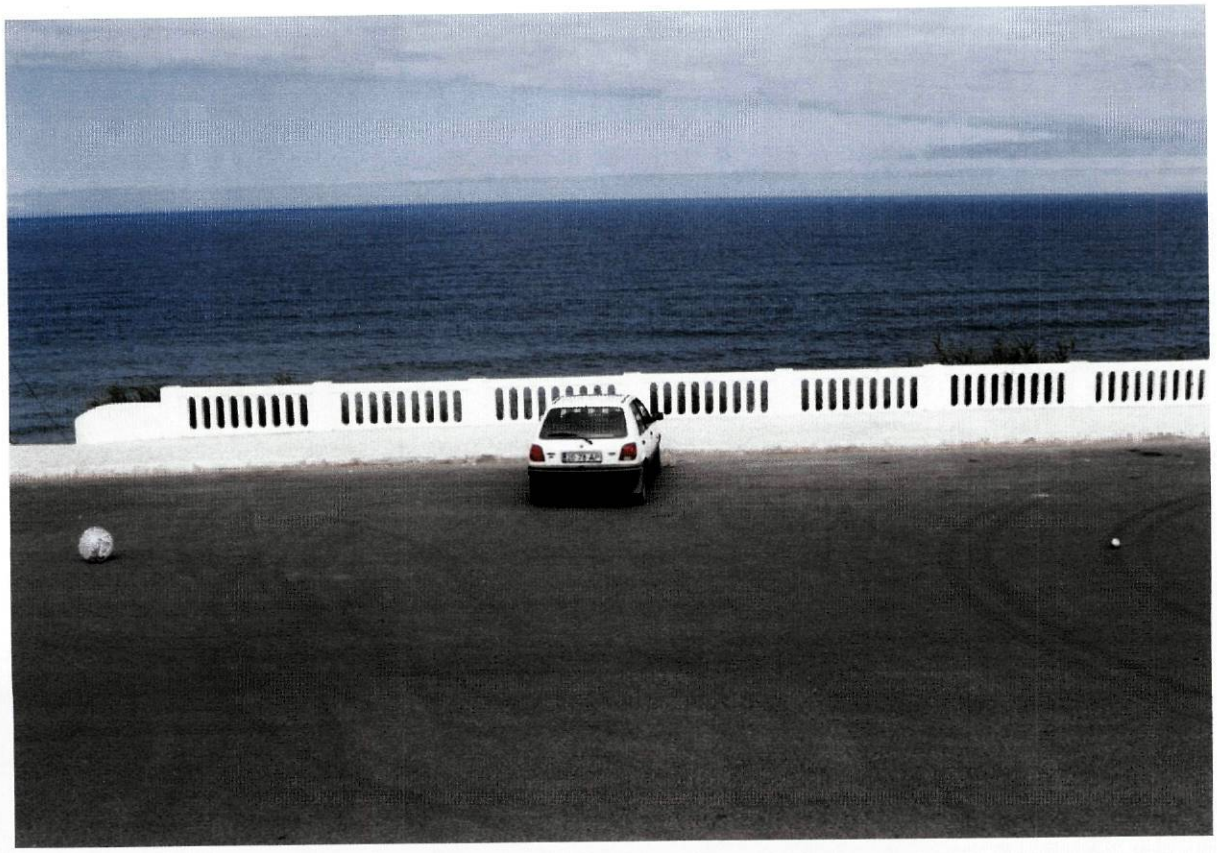


Figura 2.133

Modelo da Terra e da Lua: as dimensões das bolas (40 cm e 11 cm) e a distância a que se encontram (11,8 m) estão à escala.

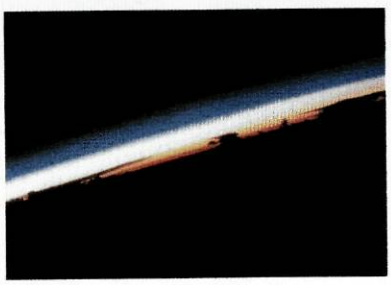


Figura 2.134

Atmosfera terrestre vista de perfil. Para além da faixa azul, situa-se a escuridão do espaço. (Adaptado de *O Ponto Azul-Claro*, de Carl Sagan).



Figura 2.135

Terra e Lua registadas pela sonda *Galileo* a 6 200 000 km de distância. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Tabela 2.3 Dimensões do modelo, à escala, da Terra, Lua, órbita do *Space Shuttle*

Objecto	Dimensão	Modelo	Distância ao Sol	Modelo
Terra	12 756 km	40 cm	149 600 000 km	469,1 cm
Lua	3 476 km	10,9 cm	-	-
Órbita do *Space Shuttle* (típica)	350 km (acima da superfície terrestre)	1,1 cm	-	-
Sol	1 394 000 km	43,7 m	-	-
Plutão	2 320 km	7,3 cm	5 913 520 000 km	185,4 km

2.22 Sistema Solar à escala da velocidade da luz

A luz viaja a uma velocidade extremamente alta, cerca de 300 000 km por segundo, mais precisamente, 299 790 km/s – equivalente a 1 079 244 000 km/h. Numa hora, percorre mil, setenta e nove milhões e duzentos e quarenta e quatro mil quilómetros. Considerando o perímetro da Terra, a esta velocidade um fotão daria sete voltas à Terra e quase metade de outra, num segundo (figura 2.136). A velocidade da luz é tão grande que é 27 050 vezes superior à maior velocidade alguma vez atingida pelo homem, que foi de 39 897 km/h, ao regressar à atmosfera terrestre, na *Apollo 10*.



Figura 2.136
Um fotão daria sete voltas e meia à Terra num segundo. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

Considerando as distâncias médias do Sol às órbitas dos planetas apresentadas na tabela 2.1, construiu-se a tabela 2.4, onde se indica o tempo que a luz demora a atingir a órbita de cada planeta. Assim, a luz que nos chega da Lua demora somente 1,3 segundos a atingir a Terra, enquanto que para percorrer a distância que separa a Terra do Sol, leva 8 minutos e 19 segundos. Para viajar até à órbita de Plutão já necessita de 5 horas, 28 minutos e 46 segundos. No entanto, estes intervalos de tempo são muito pequenos em comparação com o tempo necessário para chegar à estrela mais próxima do Sol, a *Proxima Centauri*. Levaríamos 4 anos e 80 dias a lá chegar, se viajássemos à velocidade da luz! Imagi-

Tabela 2.4 Tempo que se leva atingir as órbitas dos planetas, a partir do Sol, a diversas velocidades

Velocidade / Objecto	299 790 km/s	120 km/h	64 300 km/h (17,86 km/s) (velocidade média das *Voyager*)
Mercúrio	3 m e 13 s	55 a 18 d 21 h	37 d 12 h 37 m
Vénus	6 m e 1 s	102 a 313 d 23 h	70 d 2 h 44 m
Terra	8 m e 19 s	142 a 78 d 22h	96 d 22h 36 m
Lua	1,26 s	130 d 16 h 40 m	5 h 51 m 7 s
Marte	12 m e 40 s	216 a 251 d 20 h	147 d 16 h 57 m
Júpiter	43 m e 15 s	739 a 219 d 3h	1 a 138 d 21h 32 m
Saturno	1 h 19 m 27 s	1 358 a 171 d 1 h	2 a 195 d 11h 57 m
Úrano	2 h 39 m 37 s	2 729 a 104 d 7 h	5 a 34 d 3 h 55 m
Neptuno	4 h 10 m 25 s	4 281 a 357 d 19h	7 a 362 d 1 h 19 m
Plutão	5 h 28 m 46 s	5 621 a 235 d 7 h	10 a 179 d 11 h 38 m
Proxima Centauri	4 a 80 d	37 953 414 a	70 830 a 231 d

a – anos d – dias h – horas m – minutos s – segundos

nando uma viagem de automóvel a 120 km/h em vez de um fotão, seria necessário cerca de 130 dias, 10 horas e 40 m para chegarmos à Lua; 1 século, 42 anos e 79 dias para chegarmos ao Sol; Plutão ficaria a 56 séculos, 21 anos e 235 dias e a *Próxima Centauri* a 379 534 séculos de distância!

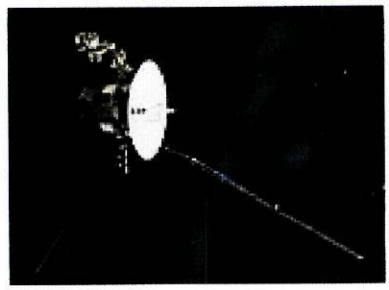


Figura 2.137
Modelo das sondas *Voyager* cujo destino era visitar os planetas mais afastados do Sistema Solar. (Adaptado de http://www.solarviews.com/b/craft/voyager3.jpg).

As sondas espaciais *Voyager 1* e *Voyager 2* (figura 2.137) passeiam-se pelo espaço para além de Plutão e fora do plano da eclíptica, a velocidades de 862 e 727 vezes superiores à velocidade de um automóvel numa auto-estrada portuguesa, respectivamente. De facto, as naves já percorreram, desde o seu lançamento em 20 de Agosto de 1977 e 5 de Setembro de 1977, cerca de 13 951 000 000 km (93,3 u.a.) para a primeira e 13 104 000 000 km (87,6 u.a.) para a segunda. Se considerarmos que já passaram 24 anos desde o seu lançamento, obteremos uma velocidade média de 66 312 km/h para a *Voyager 1*, 62 286 km/h para a *Voyager 2*. Poderíamos, também determinar a velocidade média do conjunto das duas naves que é de 64 300 km/h. Assim, numa viagem imaginária, viajando a esta velocidade, demoraríamos 5 horas, 51 minutos e 7 segundos a chegar à Lua, 96 dias, 22 horas e 36 minutos a atingir a nossa estrela. Para chegarmos à órbita de Plutão, seriam necessários cerca 10 anos e meio e à *Proxima Centauri*, cerca de 708 séculos e 30 anos! Os 581 km de extensão de Portugal seriam percorridos em apenas 32,5 segundos. Actualmente as sondas *Voyager 1* e *Voyager 2* viajam a 103 432 km/h e 87 271 km/h, respectivamente.

Voyager 1 demorou cerca de 3 anos, 2 meses e 22 dias a atingir Saturno. Com a ajuda da força de gravidade deste planeta, foi catapultada para fora do plano orbital dos planetas. A *Voyager 2* demorou cerca de 3 anos para chegar a Saturno sofrendo o mesmo tipo de acção, catapultadando-a, na direcção de Úrano. Novamente com a ajuda da gravidade, foi impulsionada com uma velocidade maior na direcção de Neptuno - onde chegou passados 12 anos, a 25 de Agosto de 1989. Por processo idêntico aos anteriores (*gravity assist*, neste caso, do planeta Neptuno), adquiriu maior velocidade, sendo expelida para fora do Sistema Solar (figura 2.138).

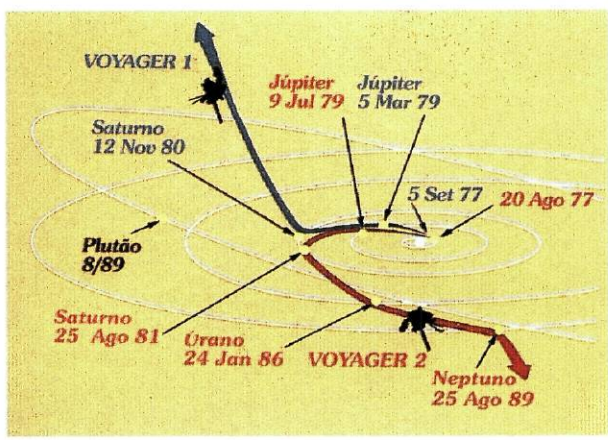


Figura 2.138
Trajectórias das naves *Voyager 1* e *Voyager 2*. (Adaptado de *O Ponto Azul-Claro*, de Carl Sagan).

2.23 Sol: a nossa estrela local

Todos os dias o Sol se ergue para fornecer luz e calor à Terra e ao fim do dia esconde-se, indo aquecer outras zonas do planeta Terra (figura 2.139). Sem ele a vida seria impossível na Terra, pois esta seria um planeta frio e escuro. O Sol é o centro do Sistema Solar: todos os objectos celestes sofrem a sua influência orbitando à sua volta devido à sua força de gravidade. É tão grande que no seu diâmetro de 1 394 000 km, poderíamos alinhar 109 Terras (figura 2.140)! Uma forma para tentar perceber



Figura 2.139

Pôr-do-sol em S. Pedro de Moel, Marinha Grande, Abril de 2001.

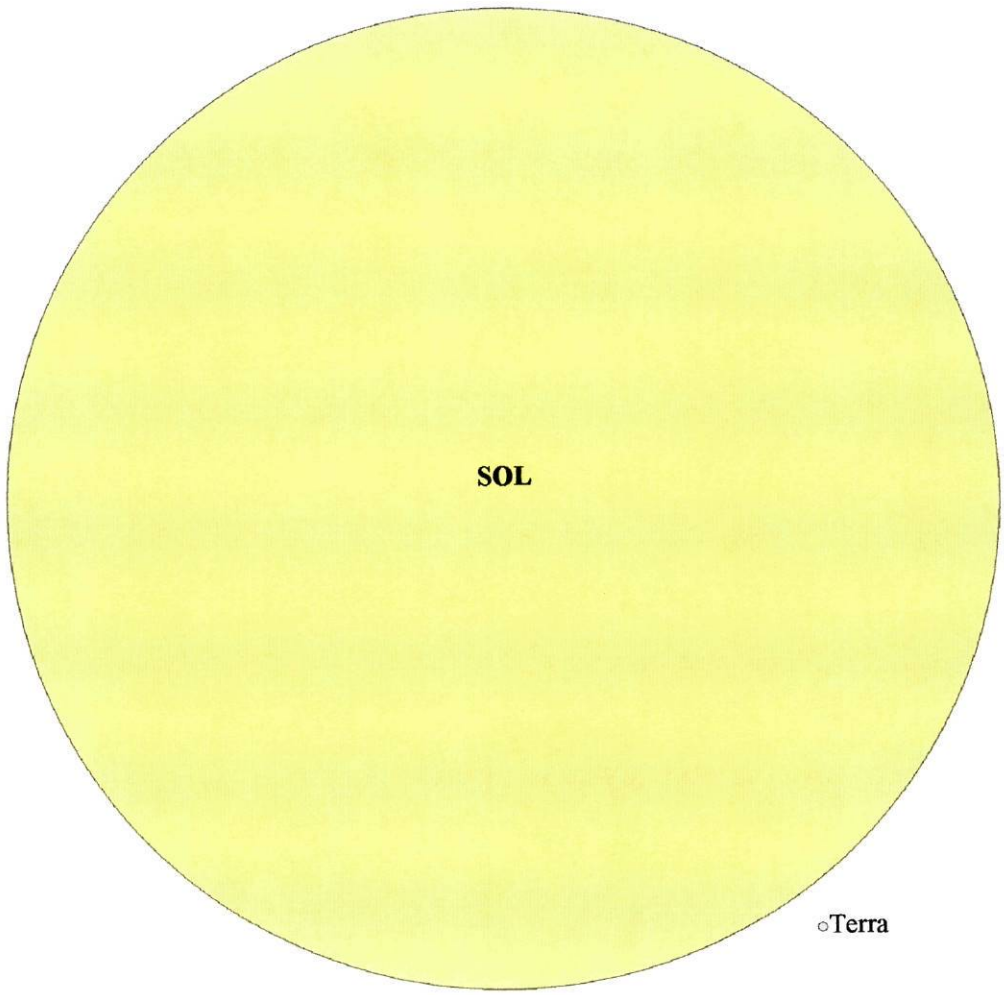


Figura 2.140

Esquema representando as dimensões do Sol e da Terra, à escala. No diâmetro do Sol poderíamos colocar cerca de 109 planetas como a Terra alinhados.

o seu tamanho é imaginá-lo rodeado por pessoas de mão dada.

Considerando para cada pessoa 1,20 m, seriam necessárias 3 649 483 466 pessoas para circundar o Sol, cujo perímetro mede 4 379 380 km - quase tantas pessoas quanto a população conjunta da Ásia, com 3 300 milhões (60% da população mundial) e América do Norte (28,4 milhões do Canadá, 272 milhões dos Estados Unidos e 94 milhões do México). Para circundar a Terra, cujo perímetro é 40 074 km, seriam necessárias 33 395 130 pessoas, cerca de 3,2 vezes a população portuguesa (10 562 000 habitantes), ou cento e dez vezes menos pessoas de mão dada, do que as necessárias para rodear o Sol.



Figura 2.141

Elefante africano macho com 1 500 kg de massa média. (Adaptado de http://www.africaelephants.com/gallery/african_elephant_bull6.htm).



Figura 2.142

Girinos com duas semanas de vida e uma massa média de 5 gramas cada. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/tadpoles.jpg).

O Sol é extremamente massivo em comparação com a Terra. Tão massivo quanto 333 330 vezes a massa da Terra (quadro 2.11). Procuremos dois objectos ou animais terrestres que tenham a mesma relação entre o Sol e a Terra, em termos de massa, de modo a entendermos melhor as dimensões do Sol. Imaginemos que o Sol é o maior animal terrestre, o elefante africano, de massa média 1 500 kg (figura 2.141). Que animal, cuja massa comparada com a do elefante africano, possui a mesma proporção que o Sol e a Terra, quando comparadas entre si? Pretende-se algo que seja cerca de 330 000 vezes inferior à massa do elefante (relação entre as massas da Terra e do Sol). Como resposta, temos dois exemplos que satisfazem as condições exigidas: os girinos (figura 2.142), que com duas semanas de vida, têm 5 gramas e o caracol (figura 2.143) com 7 gramas de massa média. Relativamente à massa deste, o valor indicado é bastante grosseiro por excesso; por se tratar de um animal muito conhecido e fácil de se encontrar, decidiu-se apresentá-lo também como resposta à questão colocada. As figuras 2.141, 2.142 e 2.143 não se encontram à escala entre si.



Figura 1.143

Caracol passeando por um prato (massa média: 7 gramas).

O Sol é enorme mesmo comparado com o maior planeta do sistema, Júpiter. Se compararmos a extensão do Sol com a altura de um astronauta (com 1,2 metros), Júpiter seria do tamanho da cabeça do astronauta, enquanto que a Terra teria as dimensões dos olhos. Os restantes planetas são pequeníssimos, em comparação com o Sol (figuras 2.145). Apesar do esquema apresentado na figura 2.145 nos fornecer uma boa noção da relação existente entre as dimensões dos planetas e do Sol, construiu-se um modelo a três dimensões do Sistema Solar. Pretendia-se com este modelo obter um maior impacto relativamente às

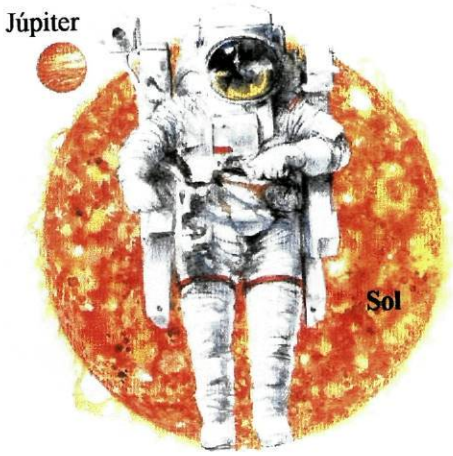


Figura 2.144

Se a dimensão do Sol fosse a altura de um astronauta, a Terra teria a dimensão de um olho do astronauta. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

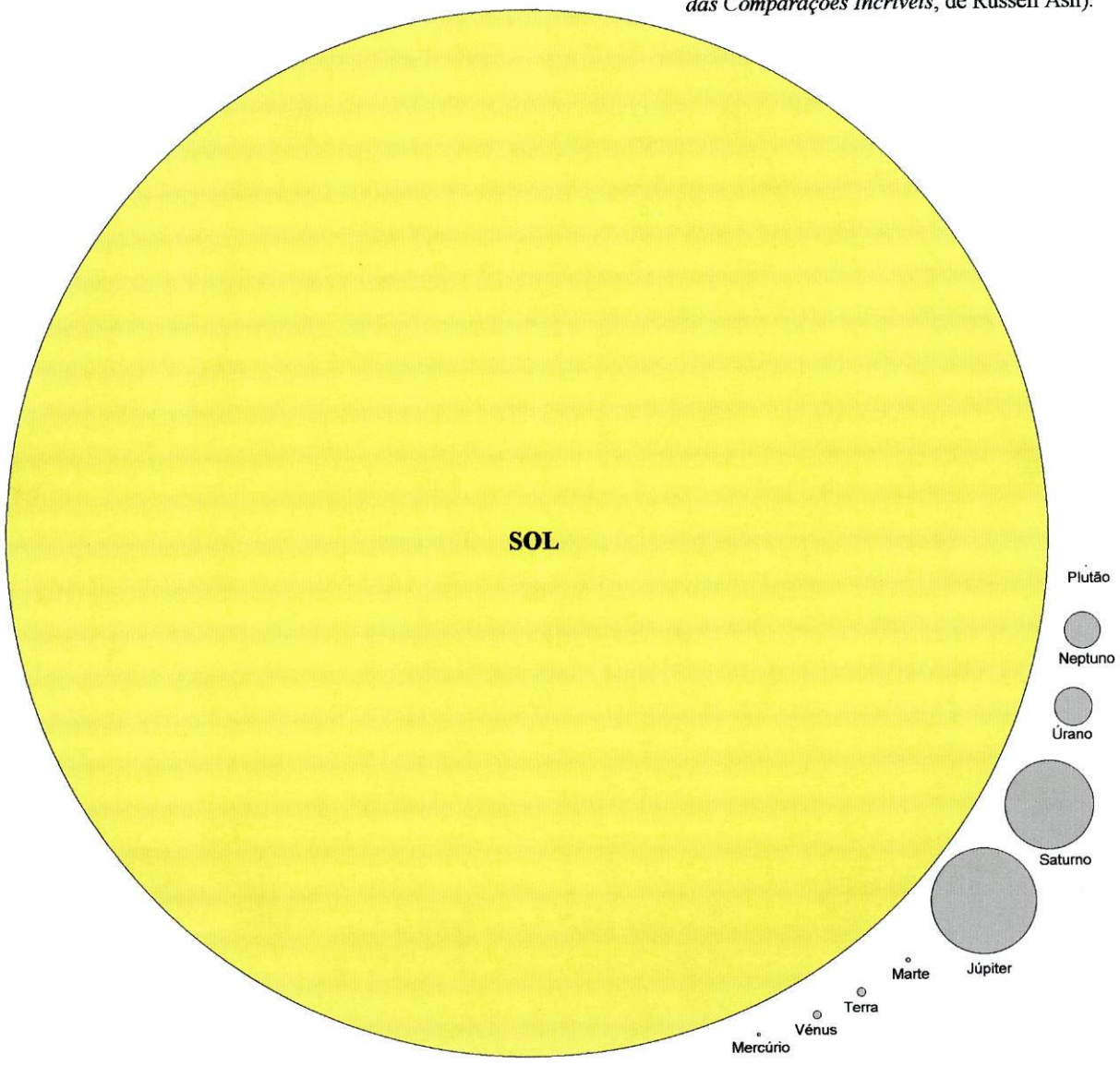


Figura 2.145

Os planetas, em dimensão, são pequeníssimos em comparação com o Sol. No diâmetro solar caberiam cerca de 600 planetas, com a dimensão de Plutão, alinhados lado a lado.

dimensões espaciais entre os principais astros e o Sol. De facto, a diferença entre um esboço a duas dimensões e um modelo espacial, é abismal. O modelo para os planetas é o descrito na secção 2.17, figura 2.87 deste trabalho, utilizando-se um balão gigante para representar o Sol.

Para determinar o diâmetro médio do balão, pois não tem a forma esférica desejada, foi necessário considerar diversos perímetros máximos e calcular o valor médio. Tomando como diâmetro esse valor médio, procurou-se descobrir objectos ou sementes que obedecessem às proporções exigidas, de modo a obter-se um modelo numa escala aproximada. Neste modelo, o diâmetro do Sol (balão) é de 95,5 cm, o de Júpiter (bola desmontável) é de 9,8 cm, o da Terra (ervilha) é de 7,5 mm e o diâmetro de Plutão (semente de milho painço) tem 2,3 mm de comprimento (figura 2.146). O resultado final foi espantoso pois as diferenças entre os objectos, no modelo, são enormes, nomeadamente, as diferenças volumétricas. E este impacto não é possível sentir num esquema ou numa fotografia (figura 2.148). No entanto, o Sol é um anão em comparação à maior estrela conhecida, a *Betelguese*, que é 800 maior que o

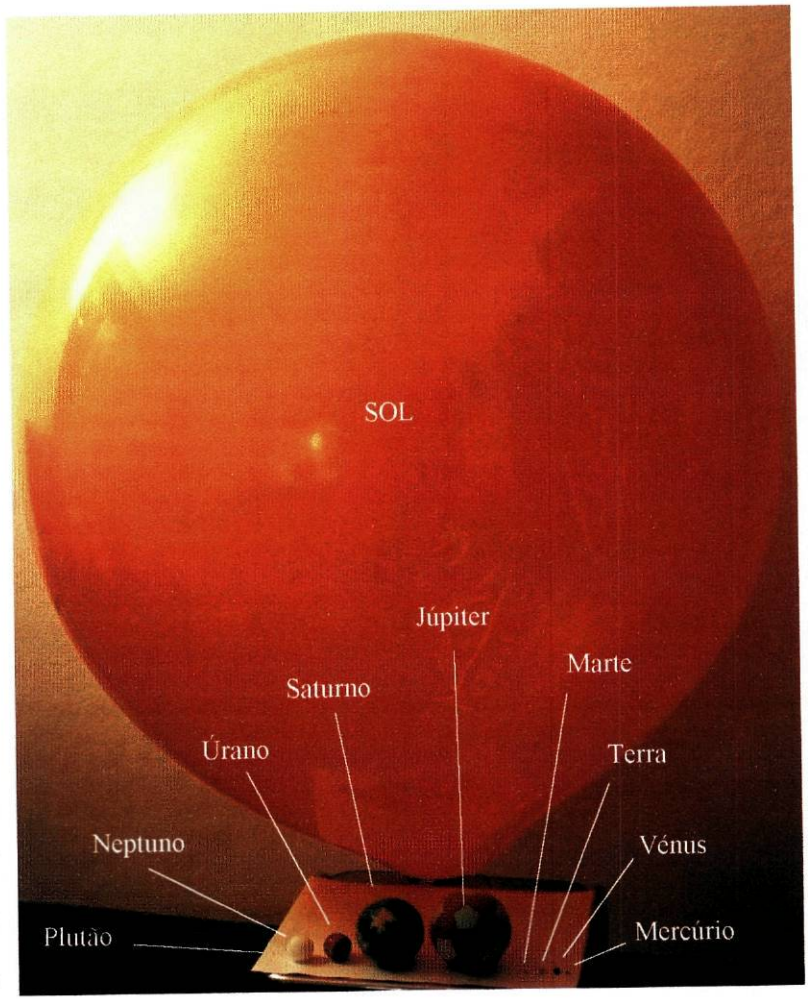


Figura 2.146

Modelo espacial, à escala, relativo às dimensões dos planetas e do Sol. Foram utilizados materiais de fácil acesso: sementes, bolas de plástico e de borracha, e um balão gigante. Neste modelo, Mercúrio, Vénus, Terra, Marte e Plutão estão representados por diferentes tipos de semente, respectivamente, de cânhamo (3,6 mm), de estrelícia (6,8 mm), de ervilha (7,5 mm), de sorgo (4,1 mm) e de milho painço (1,6 mm). Os valores entre parênteses indicam o diâmetro médio.

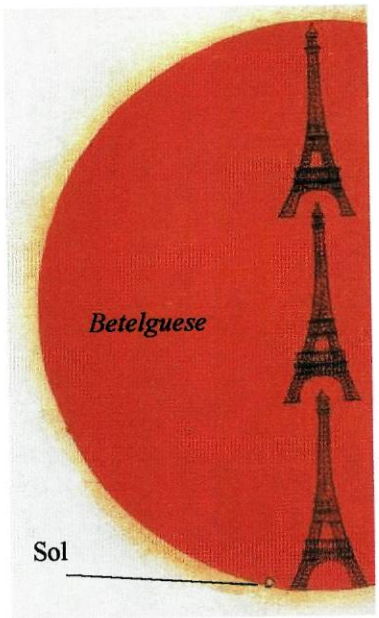


Figura 2.147

O Sol em comparação com a estrela supergigante vermelha, *Betelgeuse*. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Sol e se situa na constelação *Orion*, a 430 anos luz de distância. Se o diâmetro do Sol fosse do tamanho de um astronauta, a estrela *Betelguese* teria um tamanho equivalente a uma pilha de 3 torres como a Torre *Eiffel* (figura 2.147).

Na figura 2.148, compara-se novamente as dimensões dos planetas com o Sol mas, agora, usando fotografias inseridas numa única imagem, à escala. A fotografia do Sol foi obtida pela estação espacial *Skylab,* NASA, em 19 de Dezembro de 1973, mostrando um dos mais espectaculares *flares* solares já registados (grandes explosões repentinas e temporárias de gás, vindas de regiões da superfície e que se encontram associadas ao forte campo magnético). Esta proeminência abrange mais de 588 000 km de altura, isto é, comparável a 46 planetas

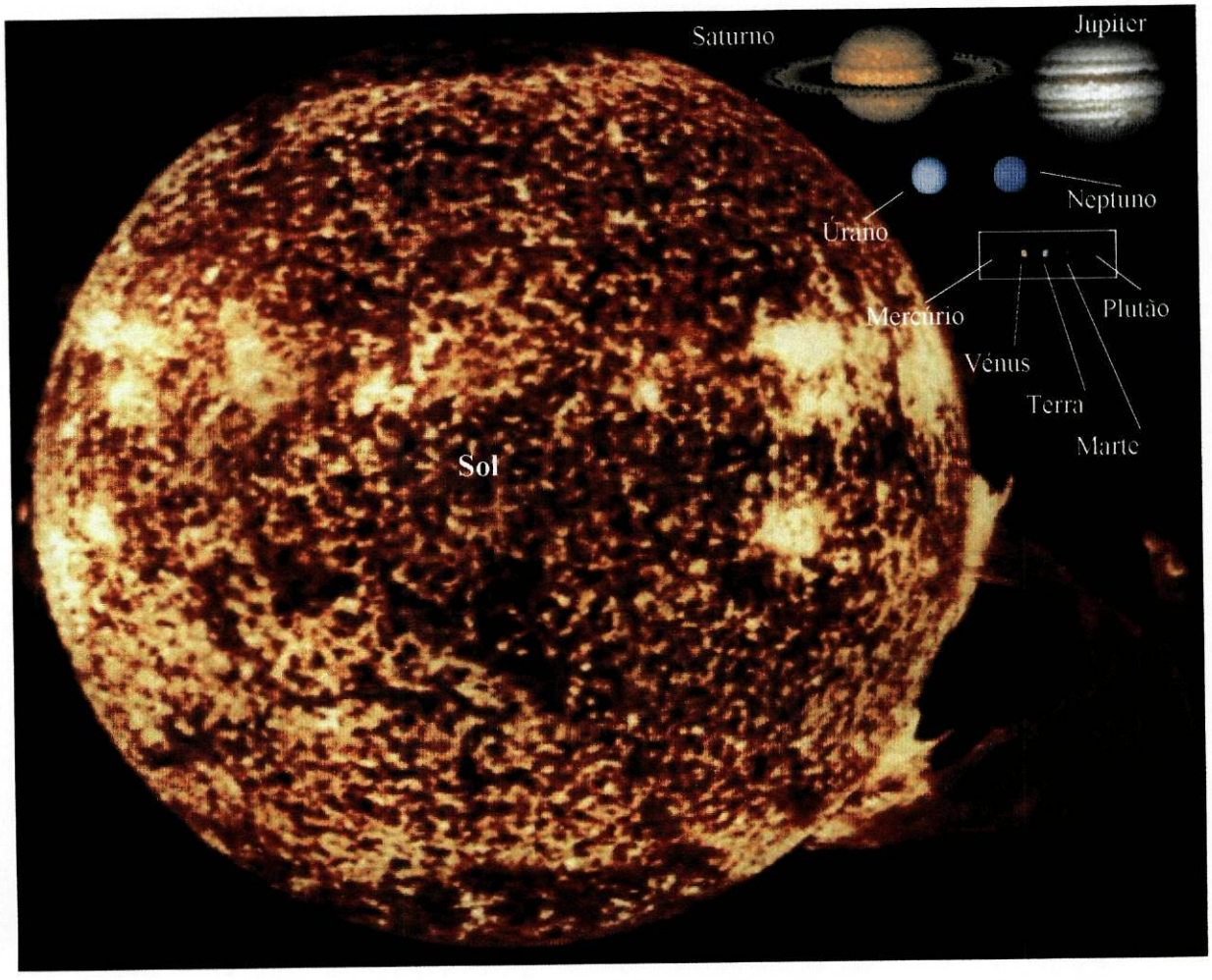


Figura 2.148

Fotomontagem, à escala, para comparação das dimensões dos planetas com a dimensão do Sol. Os planetas mais pequenos encontram-se dentro de um rectângulo. A altura da proeminência (canto inferior esquerdo da imagem), é comparável a 46 planetas como a Terra empilhados. (Adaptado de http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/gif/soletal.gif).

como a Terra empilhados, equivalente a uma vez e meia a distância entre a Terra e a Lua.

Embora os astrónomos falem muitas vezes da superfície solar, ela não existe realmente como superfície sólida, pois o Sol é constituído, todo ele, por gás: 74% da sua massa é

hidrogénio, 25% de hélio e 1% de outros elementos. Se conseguíssemos penetrar no Sol sem nos evaporarmos, encontraríamos gás muito denso e uma de densidade cada vez mais acentuada, na direcção do seu interior.

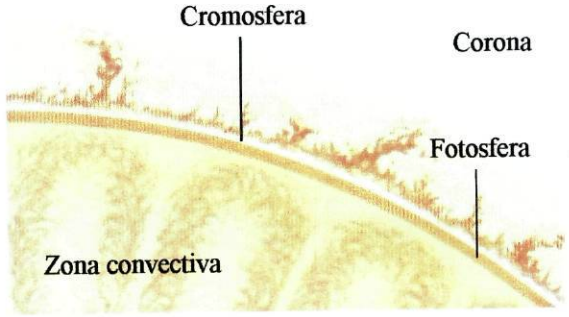


Figura 2.149

Diagrama esquemático das três camadas da atmosfera solar: fotosfera, cromosfera e corona. (Adaptado de Atlas do Universo, de Hearther Couper e Nigel Henbest).

A atmosfera do Sol é composta por 3 camadas principais: a fotosfera, a cromosfera e a corona. A fotosfera é, das três, a camada que se encontra mais abaixo. Para lá desta camada, situa-se o que normalmente se chama, interior do Sol. Acima da fotosfera, situa-se a cromosfera e a corona (figuras 2.149 e 2.164). A fotosfera é uma camada de gás que emite a luz visível (tal como o nome indica, esfera de luz) com 400 km de espessura que, em comparação com o raio do Sol que tem 697 000 km, é muito fina. A espessura da fotosfera é 0,057% do raio do Sol – relação equiparável à existente entre a altura de uma garrafa de água de 1,5 l (31,5 cm) e a altura da *CN Tower*, Toronto, Canadá (figura 2.150) ou equivalente a duas vezes a largura de Portugal.

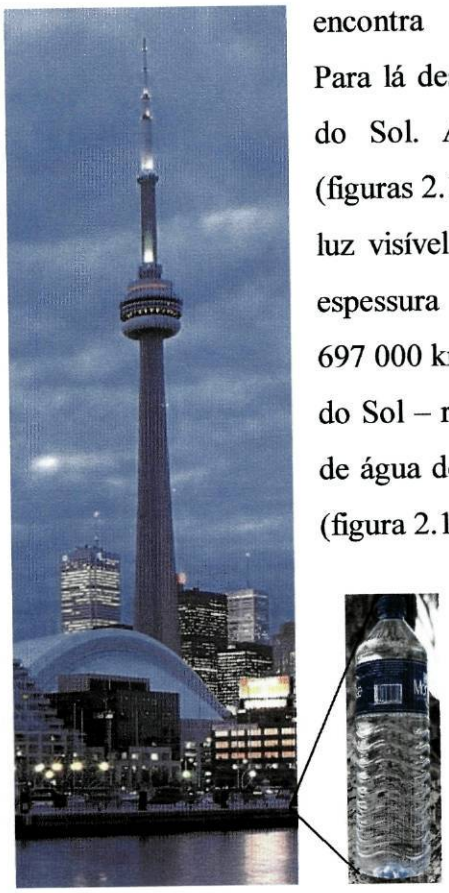


Figura 2.150

Se o diâmetro do Sol fosse a altura da *CN Tower*, a espessura da fotosfera seria a altura de uma garrafa de água. (*CN Tower*: adaptado de *The Postcard Factory*, Canadá)

Observando o Sol com os devidos cuidados, isto é, usando filtros especiais em telescópios especiais, pode-se detectar um padrão de formas regulares na fotosfera: a granulação (figura 2.151). Cada mancha mais clara é um grânulo com cerca de 1 000 km de dimensão e uma área de 10^6 km^2 (cerca de duas décimas de milionésima parte da superfície solar): equivalente à área total dos seguintes cinco países europeus (figura 2.152): Alemanha (356 718 km^2), Bélgica (30 518,1 km^2), França (543 964,6 km^2), Holanda (41 028,9 km^2), Luxemburgo (2 586,4 km^2) e Suíça (41 293 km^2).

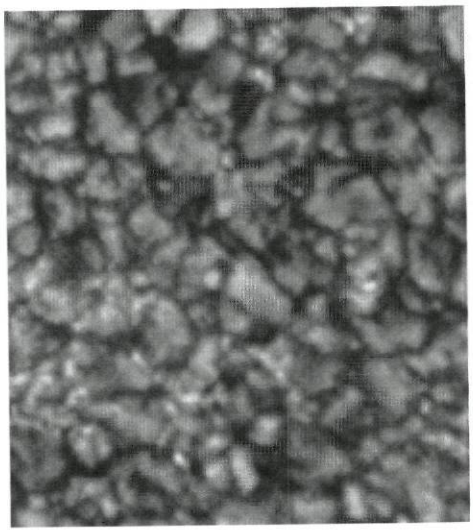


Figura 2.151

Granulação solar. Cada mancha mais clara é um grânulo, mais propriamente, uma célula convectiva das camadas mais exteriores do Sol. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/granule_med.jpg).

A granulação é causada pela convecção - forma do Sol transportar o calor produzido no seu interior para a sua atmosfera - facilmente observável no borbulhar da sopa a ferver. Cada grânulo é rodeado por uma zona mais escura, que corresponde à descida do gás já menos quente, dando essa aparência mais escura às zonas entre grânulos (figura 2.153). A duração de cada grânulo é de cerca de 5 minutos, libertando mais energia nesse intervalo de tempo do que a grande central hidroeléctrica de *Hoover* (figura 2.154), rio Colorado, Estados Unidos da América, em 1 000 anos! Comparando esta central hidroeléctrica, que tem uma potência de 2 074 megawatts, com um grânulo, conclui-se que este possui uma potência de $2{,}182\times10^{11}$ megawatts. Considerando a lâmpada existente no Farol do Penedo da Saudade, S. Pedro de Moel, Marinha Grande, com uma potência de 1 000 watts, seriam necessárias $2{,}182\times10^{14}$ lâmpadas de igual potência, para obtermos a potência de um só grânulo solar.



Figura 2.152

Um grânulo solar tem uma área de superfície equivalente a cinco países da Europa Central: Alemanha, Bélgica, França, Holanda, Luxemburgo e Suíça que totalizam 1 016 1079 km^2. (Adaptado de *Viajar na Europa*, brochura da Comissão Europeia).

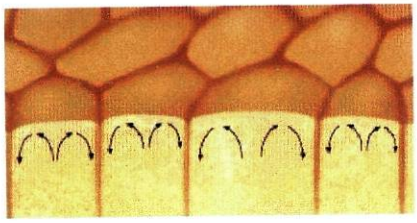


Figura 2.153

Movimento de convecção: comportamento do gás quente que vem do interior do Sol e que produz os grânulos na fotosfera. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

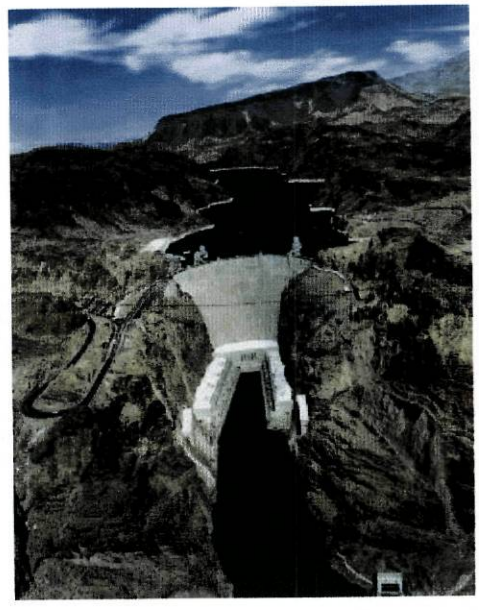


Figura 2.154

Hoover, a maior central hidroeléctrica dos Estados Unidos, com uma potência de 2 074 megawatts. (Adaptado de http://www.hoover dam.usbr.gov/Gallery/Picindex.htm).

A fotosfera é uma zona bastante activa onde formas granulares se desfazem e se refazem em ciclos de duração de alguns minutos. Durante este curto período de tempo, cerca 6 milhões de grânulos cobrem a super-

fície solar, libertando $3{,}9\times10^{26}$ J de energia. Cada centímetro quadrado da superfície solar, produz 6 400 watts, valor equivalente a 64 lâmpadas de 100 watts cada.

Na fotosfera, a temperatura é cerca de 5 800 K, isto é, *dezasseis* vezes maior que a temperatura da ebulição da água, que é de 373 K. As temperaturas médias do Sol variam consoante a zona que se pretende estudar: a temperatura média no seu centro é $1{,}55\times10^7$ K, decrescendo de valor, na direcção da sua superfície, conforme modelo teórico (figura 2.155) sendo, portanto, necessário referir qual a zona do Sol quando se pretende estudar a temperatura desta estrela.

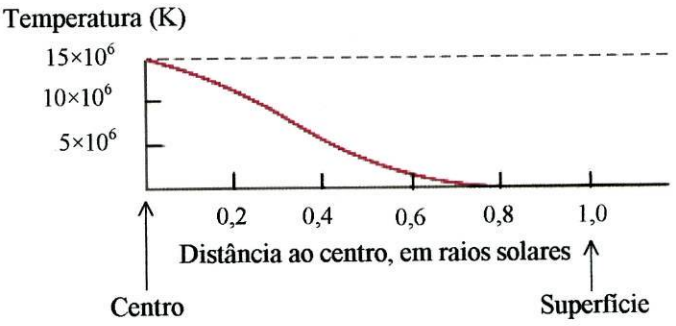


Figura 2.155

Modelo teórico do Sol relativo à temperatura, que decresce desde o seu centro até à superfície. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

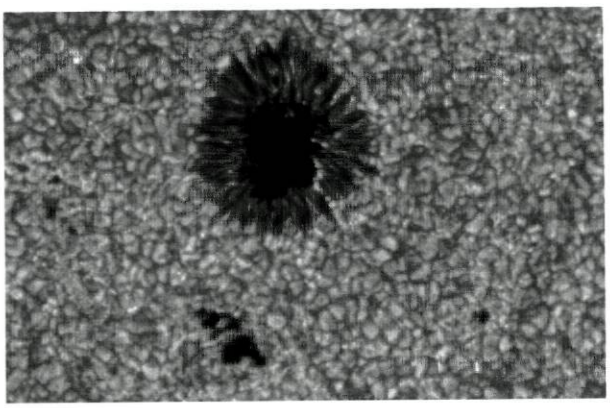


Figura 2.156

Mancha solar de tamanho moderado. Na imagem são visíveis a *umbra* envolvida pela *penumbra* e pela granulação. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/spotregion_med.jpg).

Associado aos grânulos existem as manchas solares: regiões escuras e mais frias em comparação com as regiões vizinhas (figura 2.156), possuindo um forte campo magnético. A parte mais escura no seu centro é chamada de *umbra* enquanto as formas raiadas do seu exterior é chamada de *penumbra*.

As manchas solares podem ser consideradas pequenas com cerca de 1 500 km de diâmetro ou podem atingir 50 000 km de dimensão. A mancha da figura 2.156 possui uma dimensão de cerca de 16 500 km, incluindo a *penumbra*. Para se ter uma ideia aproximada da grandeza deste tipo de característica do Sol e considerando os valores fornecidos anteriormente, podemos dizer que nesta mancha solar, que é de tamanho moderado, é equiparável, em dimensão, a 1,3 planetas como a Terra (figura 2.157). Em torno da

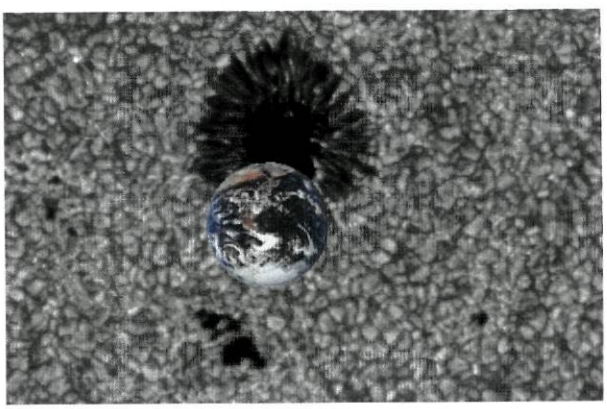


Figura 2.157

Comparação de uma mancha solar de tamanho moderado com a dimensão da Terra. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/spotregion_earth.jpg).

mancha é visível a granulação. Apesar de na figura 2.156 aparecer uma sombra escura isolada, normalmente elas encontram associadas em grupos e as sua dimensões dependem da actividade solar, havendo um ciclo de cerca de 11 anos, em que aparece um pico máximo de manchas (figura 2.158) e um pico mínimo (figura 2.159). A figura 2.158 é uma fotografia tirada em 1989, numa altura em que o Sol apresenta um grande número de manchas e de grandes grupos de manchas - estava-se muito próximo de um pico máximo, enquanto que na figura 2.159, não são visíveis quaisquer manchas solares – fotografia tirada em 1986, próximo de um pico mínimo de manchas.

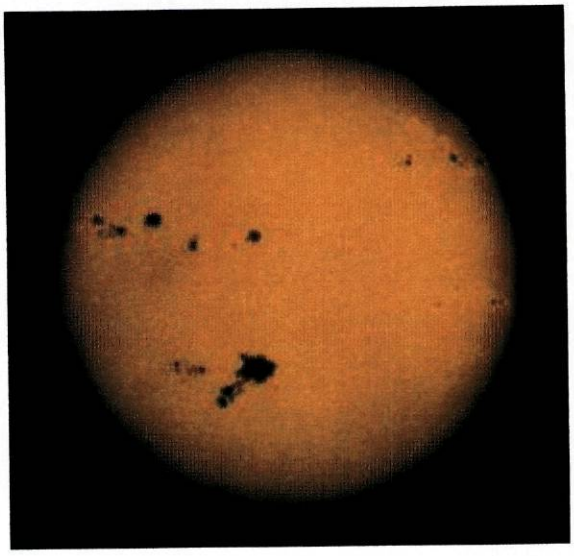


Figura 2.158

Fotografia do Sol quando se encontra num pico máximo de manchas. Nessa altura, o disco solar apresenta muitas manchas e grandes grupos de manchas. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

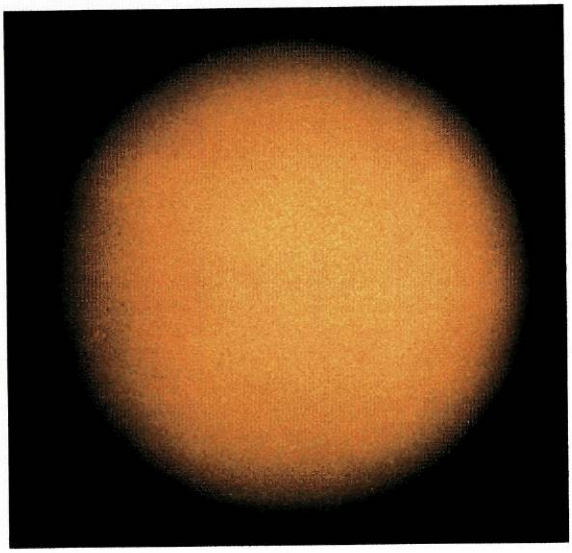


Figura 2.159

Fotografia do Sol quando se encontra num pico mínimo de manchas. Nessa altura, o disco solar apresenta poucas manchas ou nenhumas. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

O grupo de manchas visíveis na parte inferior do disco solar da figura 2.158 é tão largo quanto o planeta Júpiter, isto é, cerca de 11 planetas como a Terra, alinhados em fila.

Ocorreram picos máximos de manchas em 1968, 1979, 1989 e em fins de Março e inícios de Abril de 2001, e picos mínimos em 1965, 1976, 1986 e 1996.

Na figura 2.160 apresenta-se uma fotografia do maior grupo de manchas solares que apareceu no Sol nesta última década, a 27 de Março de 2001, atingindo também as dimensões de Júpiter. Associado a estas manchas ocorrem erupções violentas chamadas de *flares* ou proeminências (figuras 2.148 e 2.169). Neste último pico máximo de Março de 2001, ocorreu a maior explosão dos últimos 25 anos,

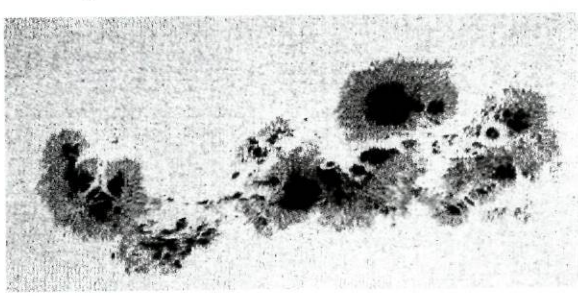


Figura 2.160

Registo fotográfico do grande grupo de manchas solares correspondentes ao pico máximo de 27 de Março de 2001. (Adaptado de *Astronomy*, Julho de 2001).

maior que a de 6 de Março de 1989, que causou quebras de energia no Canadá (figura 2.161). Felizmente, esta explosão não atingiu directamente a Terra, pois ocorreu próximo do polo norte solar – os efeitos provocados por esta explosão foram pequenos quando comparados com anteriores explosões. As partículas foram expelidas para o espaço a uma velocidade de 7,2 milhões de quilómetros por hora, isto é, 2000 km/s ou seja, o continente australiano seria atravessado, na sua maior extensão, em cerca de dois segundos. As partículas percorreram a distância média entre o Sol e a Terra, em 20 horas, 46 minutos e 40 segundos. O evento mais violento do Sol, as explosões (*flares*) de gás, transportam cerca de 10^{30} joules de energia, tanto quanto $3{,}125\times10^{16}$ bombas idênticas à de Hiroshima, em 1945, com um poder equivalente a 20 000 toneladas de TNT (1 g de TNT equivale a $1{,}6\times10^{4}$ joules). No entanto, a bomba de Hiroshima é somente uma bilionésima parte da quantidade de energia libertada pelo Sol num segundo.

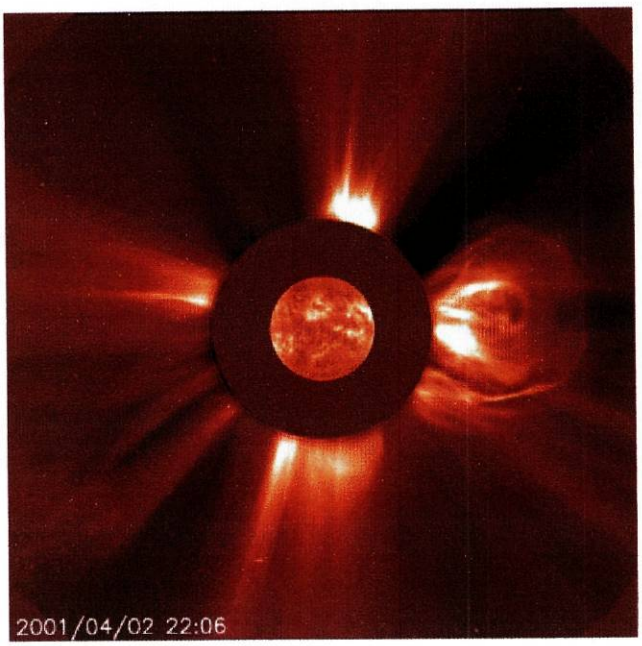


Figura 2.161

Imagem da explosão solar ocorrida a 2 de Abril de 2001, captada pela sonda SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) utilizando o coronógrafo, que esconde parte do disco solar. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

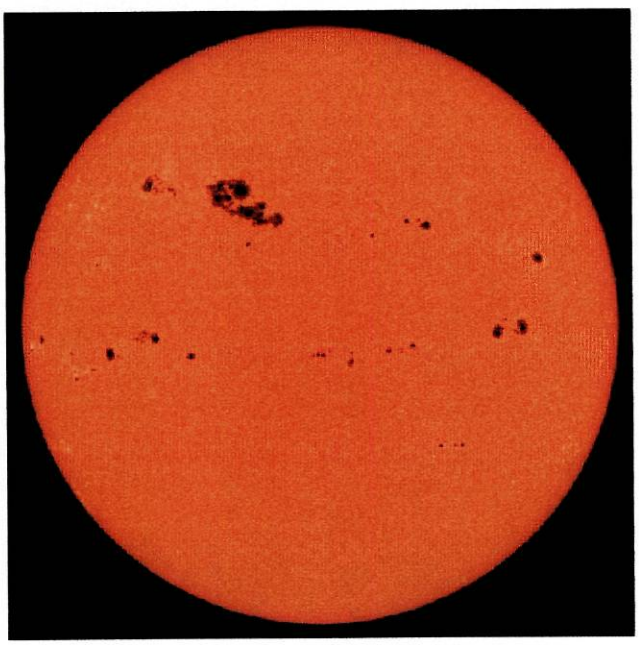


Figura 2.162

Imagem do disco solar em que são visíveis grupos de manchas. Em cima e à esquerda, observa-se a grande mancha da figura 2.160. Registo fotográfico efectuado a 27 de Março de 2001. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

O aspecto do Sol neste último pico máximo de manchas solares encontra-se na figura 2.162, onde é visível muitas manchas e o grande grupo de manchas apresentado em grande plano na figura 2.160 .

A cromosfera, esfera de cor, encontra-se imediatamente acima da fotosfera, sendo a segunda maior camada da atmosfera do Sol, com cerca de 2 000 km de extensão acima da fotosfera e onde existem ejecções de gás chamadas espículas (figura 2.163).



Figura 2.163

Imagem do rebordo do disco do Sol mostrando numerosas espículas no interior da cromosfera oriundas da fotosfera. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Estas ejecções de gás ocorrem a uma velocidade aproximadamente de 20 km/s (cerca de 29 segundos para atravessar longitudinalmente Portugal), atingindo uma altura de 10 000 km (cerca de 17 vezes o comprimento de Portugal) e colapsando de seguida, depois de uma duração de existência de aproximadamente 15 minutos. Aproximadamente 300 000 espículas ocorrem simultaneamente, cobrindo cerca de 1% da superfície do Sol.

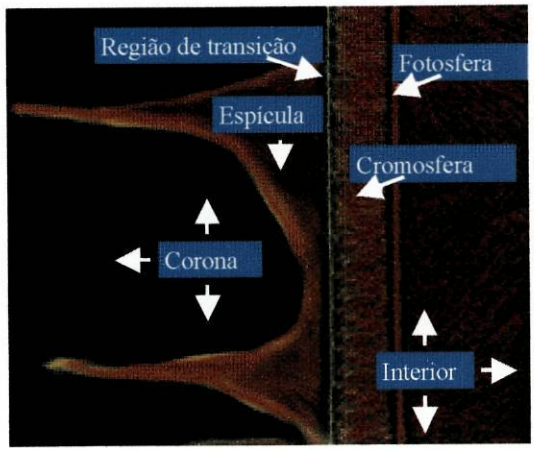


Figura 2.164

Diagrama esquemático mostrando a espessura das três camadas da atmosfera solar, região de transição e espículas. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/sunatmos.jpg).

A terceira camada da atmosfera solar, mais exterior, chamada corona, estende-se por milhões de quilómetros para o interior do espaço interplanetário sendo, por isso, demasiado grande para ser representada, à escala, neste diagrama (figura 2.164). Também se encontra assinalado uma região de transição entre a cromosfera e a corona, onde a temperatura sobe abruptamente de 10^4 K para 10^6 K.

Vejamos as dimensões destas camadas da atmosfera solar. Consideremos a espessura conjunta da fotosfera e da cromosfera (cerca de 2 400 km de extensão), da região de transição, da espícula, um pouco do interior do Sol e da corona solar (figura 2.165). Podemos comparar a dimensão das referidas regiões com a dimensão da Terra (12 756 km de diâmetro), pois é um valor aproximado ao assinalado (figura 2.166).

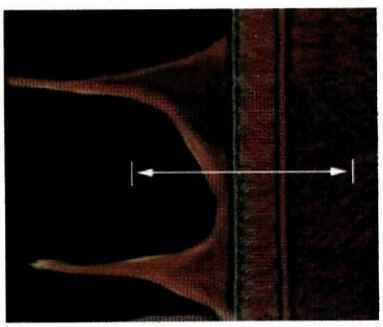


Figura 2.165

Diagrama esquemático indicando a espessura conjunta da fotosfera, cromosfera, região de transição, espícula, um pouco do interior do Sol e da corona solar. (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/solatmosarrows.jpg).

A corona, estende-se do topo da cromosfera para a direcção do vácuo, transformando-se gradualmente no vento solar – corrente de protões e electrões a grande velocidade que se escapam



Figura 2.166

Diagrama esquemático comparando a dimensão da Terra com a espessura da região indicada na figura 2.165 (Adaptado de http://solar-center.stanford.edu/images/solatmos_earth.jpg)

continuamente da fotosfera. A corona tem 10^{-6} vezes o brilho desta, isto é, uma milionésima parte do brilho da fotosfera – aproximadamente o mesmo brilho que a Lua Cheia. No entanto, a corona só pode ser visível se a luz vinda da fotosfera for bloqueada, o que ocorre aquando de um eclipse total (figura 2.167) ou quando se utiliza num telescópio o coronógrafo.

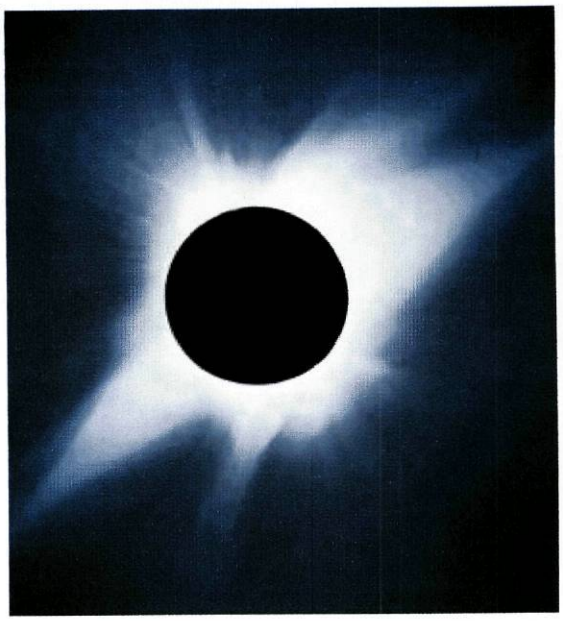


Figura 2.167

Fotografia da Corona solar aquando do eclipse total de 11 de Julho de 1991. Acima da superfície do Sol observa-se imensas torrentes de energia em diferentes direcções mostrando, desta forma, que a corona não é esférica. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

A corona não é na realidade muito quente, isto é, contém muito pouca energia, pois a corona é quase o vácuo. De facto, na corona existem apenas 10^5 átomos por centímetro cúbico de gás em comparação com os 10^{17} átomos por centímetro cúbico existentes na fotosfera e os 10^{19} átomos por centímetro cúbico existentes no ar que respiramos. A energia existente na corona é muito baixa apesar da sua alta temperatura. Esta provoca um movimento muito rápido por parte dos átomos mas, como existem poucos nesta região do Sol, o total de energia produzida por estes átomos em movimento, é muito baixa.

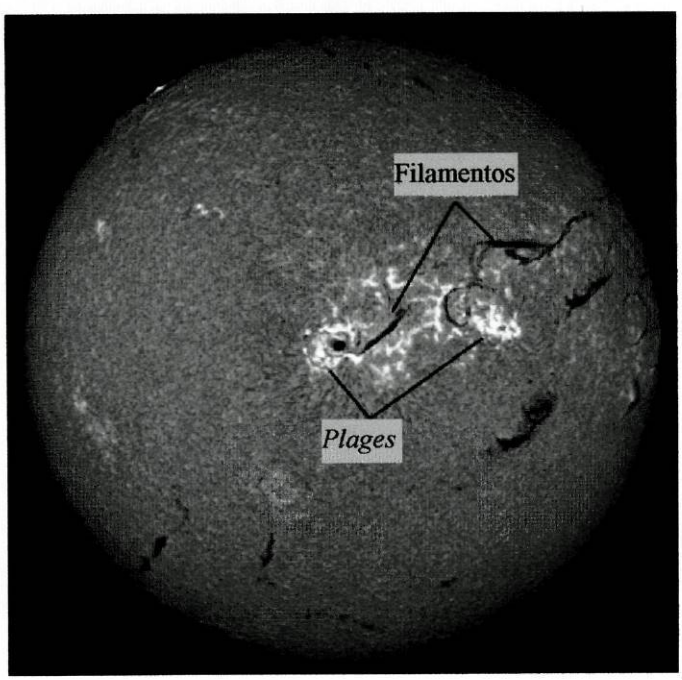


Figura 2.168

Outras manifestações solares que se encontram associadas às manchas: as *plages* e os filamentos. Na imagem, as *plages* são as zonas claras e os filamentos as linhas escuras. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Existem outras actividades que caracterizam o Sol e que também se encontram relacionadas com as manchas solares: as *plages* e os filamentos (figura 2.168).

As *plages* são regiões quentes na cromosfera e que tendem a formar-se antes do aparecimento de novas manchas solares.

Os filamentos são parte da cromosfera que sofreram acções do campo magnético do Sol distribuindo-se pelas linhas desse campo magnético e atin-

gindo grandes extensões de altura, em forma de arco. Quando observadas de perfil contra a escuridão do espaço, esses filamentos são muito brilhantes e formam colunas de gás em arco, as proeminências (figuras 2.148 e 2.169). O gás nos arcos move-se com um movimento parabólico seguindo as linhas do campo magnético da região (figura 2.171). Uma proeminência típica pode atingir 100 000 km de altitude cerca de 8 Terras alinhadas (figura 2.170), a uma velocidade média de 200 km/s, isto é, 720 000 km/h (a distância entre Lisboa e Porto seria percorrida num segundo e meio – 6 000 vezes a velocidade permitida nas auto estradas portuguesas).

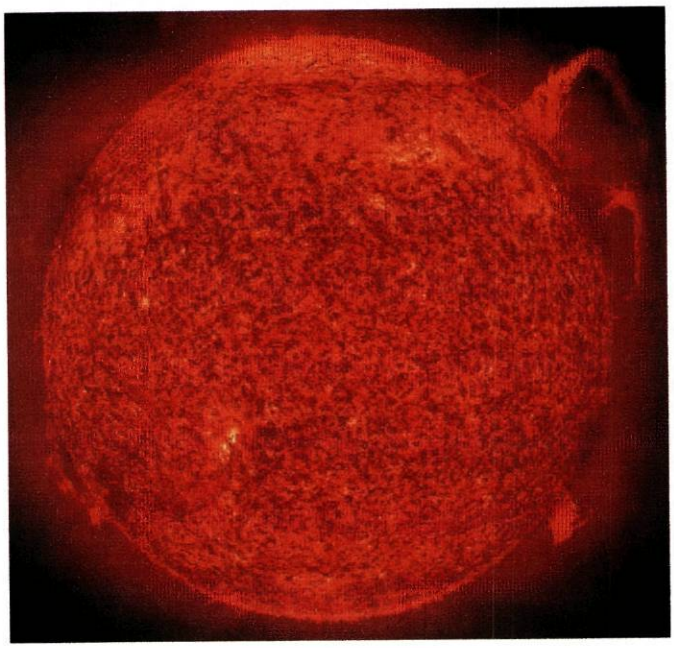


Figura 2.169

Proeminências solares. Algumas têm uma duração de horas enquanto que outras podem permanecer activas durante meses. (Adaptado de http://www.astronomy.com/photogallery/gallery_list.asp).

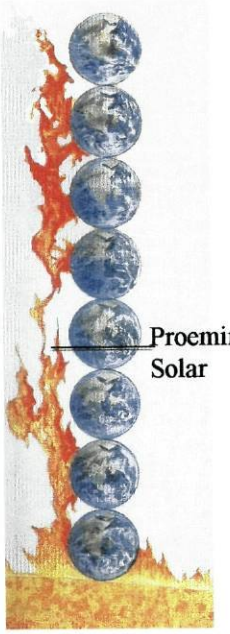


Figura 2.170

Uma proeminência típica pode atingir a altura equivalente a 8 Terras. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).

Na figura 2.172 apresenta-se uma fotografia de uma ejecção de massa coronal. Nela se observa claramente um evento deste tipo, em que mil milhões de toneladas de gás oriundas da corona são projectadas no espaço a alta velocidade.

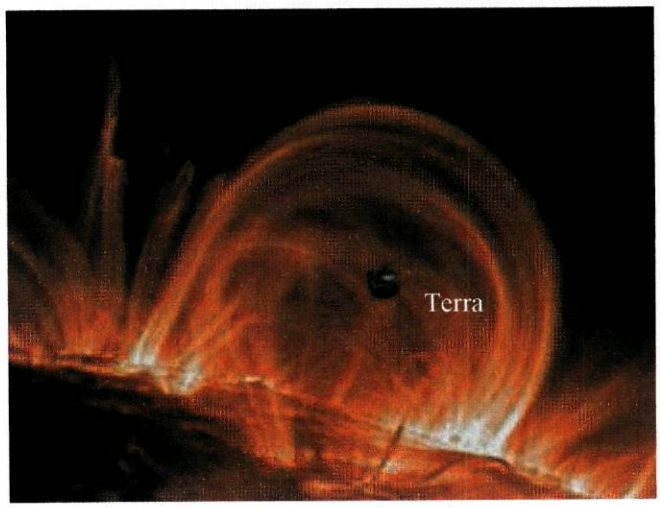


Figura 2.171

Imagem registada pelo satélite TRACE, *Transition Region and Coronal Explorer* mostrando que o gás nas ejecções coronais se movimenta em arcos parabólicos. A Terra encontra-se representada para comparação das respectivas dimensões. (Adaptado de http://www.skytelescope.com).

Tal como a maior parte das estrelas, o Sol é uma enorme esfera de hidrogénio em ebulição. A pressão e a temperatura no seu centro é de tal ordem que os átomos de hidrogé-



Figura 2.172

Explosão de gás ocorrida a 14 de Setembro de 1999 e registada pela SOHO. Actividade em que mil milhões de toneladas de gás proveniente da corona é projectado no espaço a alta velocidade. A Terra inserida na imagem encontra-se à escala, para comparação das dimensões da massa coronal ejectada (Adaptado de http://pcgo.if.ufrgs.br/esol/esol.htm#).

nio se fundem, produzindo hélio. O Sol, no seu centro e em cada segundo, transforma cerca de 540 mil milhões de quilos de hidrogénio em hélio: massa equivalente à massa conjunta de 103,5 pirâmides idênticas à Grande Pirâmide (figura 2.173), que tem cerca de 5 216 400 000 quilos (figura 2.174).

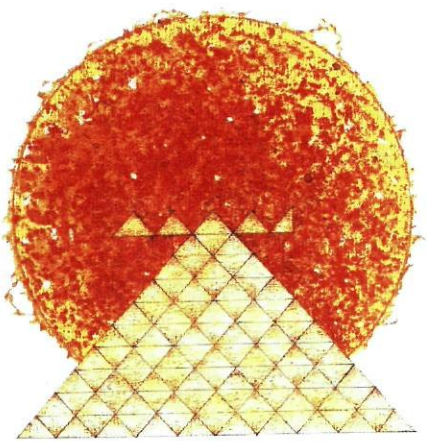


Figura 2.173

Esquema mostrando o Sol e as 103,5 pirâmides necessárias para igualar a massa de hidrogénio convertida em hélio, por segundo, no centro do Sol. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russell Ash).



Figura 2.174

Grande Pirâmide, em Gizé, com uma massa de 5 216 400 toneladas, construída há 4 500 anos. Tem 147 metros de altura. (Adaptado de http://thierryailleret.citeglobe.com/cgi-bin/egypt/frame.pl).

Quadro 2.11 Algumas características físicas do Sol

FACTOS E NÚMEROS - Sol

Idade:	$4{,}5\times10^{12}$ anos = 4 500 000 000 000 anos (4,5 biliões de anos)
Diâmetro:	1 394 000 km (109,3 vezes o diâmetro da Terra)
Distância média à Terra:	$149{,}6\times10^{6}$ km = 149 600 000 Km = 1 u.a.
Distância média à estrela mais próxima:	4,22 anos-luz = $3{,}99\times10^{13}$ km
Distância média ao centro da Galáxia :	8 000 pc = 26 095 anos-luz
Período orbital (um "ano") em torno do centro da Galáxia:	220 000 000 anos
Velocidade orbital em torno do centro da Galáxia:	792 000 km/h
Luminosidade :	$3{,}9\times10^{26}$ watts
Massa:	$1{,}99\times10^{30}$ kg (333 330 vezes a massa da Terra)

3. Para além do Sistema Solar

3.1 Estrelas na vizinhança do Sol

Imagine-se que é possível fazer uma viagem até ao Sol num avião vulgar de passageiros. A viagem demoraria cerca de 18 anos a ser efectuada e se considerarmos a viagem feita por um MiG-25 (figura 3.1), avião de combate russo, com uma velocidade média de 3 395 km/h, o percurso demoraria 5 anos. Se apanhássemos o avião de passageiros para a estrela mais próxima, a *Proxima Centauri*, a viagem demoraria $4{,}2\times10^{10}$ anos (42 mil milhões de anos), enquanto que, se tomássemos o MiG-25, a viagem demoraria $1{,}2\times10^{10}$ anos (12 mil milhões de anos). Embora a *Proxima Centauri* seja a estrela mais próxima, a cerca de 40 biliões de quilómetros, as distâncias a que se encontram as outras estrelas são enormes e, quando expressas em quilómetros, resultam números muito grandes e difíceis de entender. Basta pensar na distância a que se encontra a



Figura 3.1

Avião de combate russo, MiG-25. O mais veloz do mundo, com uma velocidade cerca de 2,8 vezes a velocidade do som. (Adaptado de http://www.geocities.com/luissemiao2/Image285.jpg).

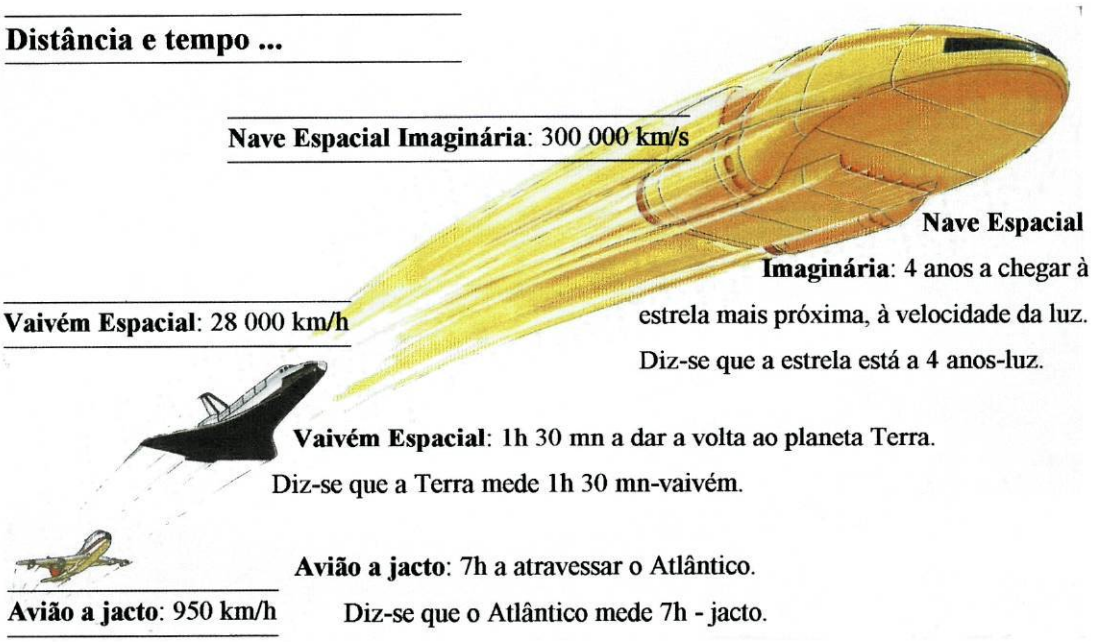


Figura 3.2

Noção de ano-luz. (Trabalho realizado por alunos, no âmbito das actividades do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria. Adaptado de *Atlas Juvenil do Espaço*, de Robin Kerrod).

estrela *Proxima Centauri*. Assim, os astrónomos criaram uma unidade de medida para se referirem a distâncias entre estrelas: o ano-luz (a.l.), que é a distância que a luz percorre, no vácuo, durante um ano ou seja, 9 460 652 940 000 km. A velocidade da luz é, na realidade, 299 790 km/s mas, para facilitar os cálculos, costuma-se arredondar o valor da velocidade para 300 000 km/s (figura 3.2).

Muitas das estrelas próximas do Sol, tal como a *Proxima Centauri*, não são visíveis a olho nu por serem pouco brilhantes. No entanto, existem estrelas que são impressionantes, tanto pelo seu brilho como pelo seu tamanho. Na tabela 3.1 estão alguns dados sobre 14 estrelas, as mais visíveis no céu nocturno, à excepção do Sol. Encontra-se ordenada pela magnitude visual das estrelas. A primeira é *Sirius*, seguida das 13 estrelas mais brilhantes no céu nocturno, terminando em *Bellatrix*, na constelação de *Orion*. *Sírius*, por exemplo, a estrela mais brilhante no céu, situa-se a 8,6 a.l., possui 1,8 diâmetros do Sol e é 23 vezes mais luminosa que ele, de cor branca. Já *Antares* está a 600 a.l., tem 500 vezes a dimensão do Sol e é 12 000 vezes mais luminosa que o Sol: é uma supergigante vermelha. Quando olhamos para a *Sirius* ou *Antares*, vêmo-las como eram, respectivamente, há 8,6 anos e 600 anos (a grande vantagem que esta unidade de medida possui é o facto de que o mesmo número indica a distância a que se encontra a estrela e o tempo que a luz demora a chegar à Terra). Nesta lista, encon-

Tabela 3.1 Dados sobre algumas estrelas visíveis a olho nu, no hemisfério norte

Nome próprio	Designação de Bayer	Constelação (latim / português)	Mag. visual	Dist. a. l.	Diâ. solares	Lumin. solares	Cor
Sirius	alfa *Cma*	*Canis Major* (Cão Maior)	-1,4	8,6	1,8	23	branca
Arcturus	alfa *Boo*	*Bootes* (Boeiro)	-0,1	37	23	130	g amarela
Vega	alfa *Lyr*	*Lyra* (Lira)	0,0	25	3	58	azulada
Rigel	beta *Ori A*	*Orion* (Orionte, Caçador)	0,2	770	30	50000	sg azul
Procyon	alfa *CMi*	*Canis Minor* (Cão Menor)	0,4	11,4	2	6	amarela
Betelgeuse	alfa *Ori*	*Orion* (Orionte, Caçador)	0,5	430	800	15000	sg vermelha
Altair	alfa *Aql*	*Aquila* (Águia)	0,8	16,8	1,6	9	branca
Aldebaran	alfa *Tau*	*Taurus* (Touro)	0,9	65	45	360	g vermelha
Antares	alfa *Sco*	*Scorpius* (Escorpião)	0,9	600	500	12000	sg vermelha
Pollux	beta *Gem*	*Gemini* (Gémeos)	1,2	34	11	35	alaranjada
Deneb	alfa *Cyg*	*Cygnus* (Cisne)	1,3	1600	60	6000	g azulada
Regulus	alfa *Leo*	*Leo* (Leão)	1,4	78	5	160	amarelada
Bellatrix	gama *Ori*	*Orion* (Orionte, Caçador)	1,6	245	12	4000	sg azul

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson) g - gigante sg - supergigante

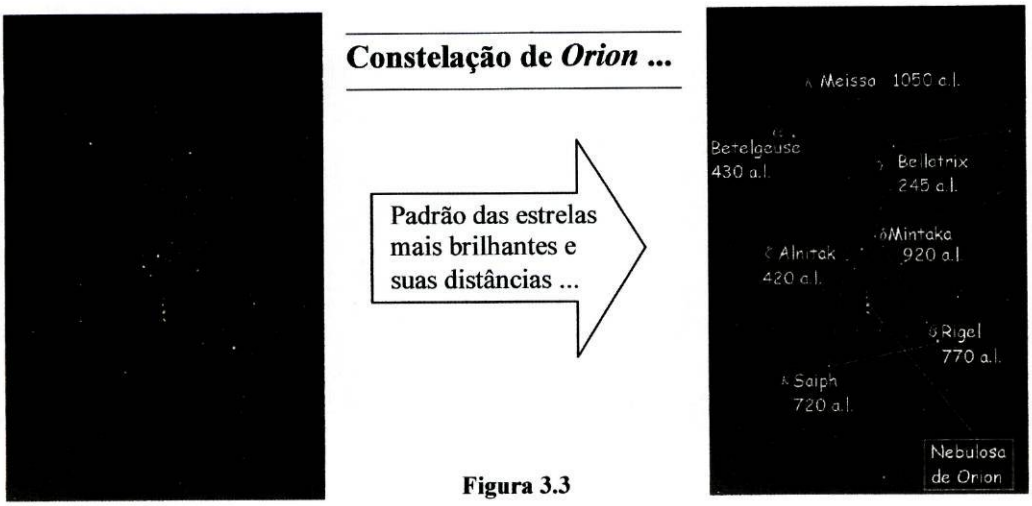


Figura 3.3

Identificação dos padrões formados pelas estrelas, dos seus nomes e distâncias a que se encontram. (Trabalho realizado por alunos, no âmbito das actividades do Núcleo de Investigação em Astronomia da Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria).

tram-se as três primeiras estrelas mais brilhantes da constelação *Orion*, *Betelgeuse* *Rigel*, e *Bellatrix*, por esta ordem (figura 3.3).

Apesar de parecer estarem à mesma distância de nós, quando as observamos, elas encontram-se muito distanciadas entre si. Aliás, isto acontece para todas as estrelas do céu nocturno, pois encontram-se muito longe da Terra: ocorre algo parecido quando observamos casas situadas em colinas distantes em que estas parecem estar a uma distância uniforme (figura 3.4).



Figura 3.4

As casas parecem situar-se no mesmo plano, quando observadas de uma colina distante. Encosta do Cabo Girão ao anoitecer (fotografia *a*) e ao amanhecer (fotografia *b*), Câmara de Lobos, Madeira; Encosta Norte da mesma ilha (fotografia *c*).

Existem estrelas de diversas dimensões. O Sol, em comparação com algumas estrelas, é enorme e quando comparado com outras, é minúsculo. A maior estrela conhecida é *Betelgeuse*, estrela supergigamte vermelha a 430 a. l. do Sol , 15 000 vezes mais luminosa que ele e com 800 vezes o seu diâmetro. Se a *Betelgeuse* tivesse as dimensões de uma bola de ténis (6,35 cm de diâmetro), a dimensão do Sol seria cerca de três quartos da espessura de uma folha de papel de máquina, que tem 0,108 mm!

Se colocássemos a *Betelgeuse* centrada no Sol (figura 3.5), a órbita de Marte ficaria no seu interior e se fizéssemos o mesmo a estrela *Antares* (figura 3.6), esta englobaria a órbita do planeta Terra

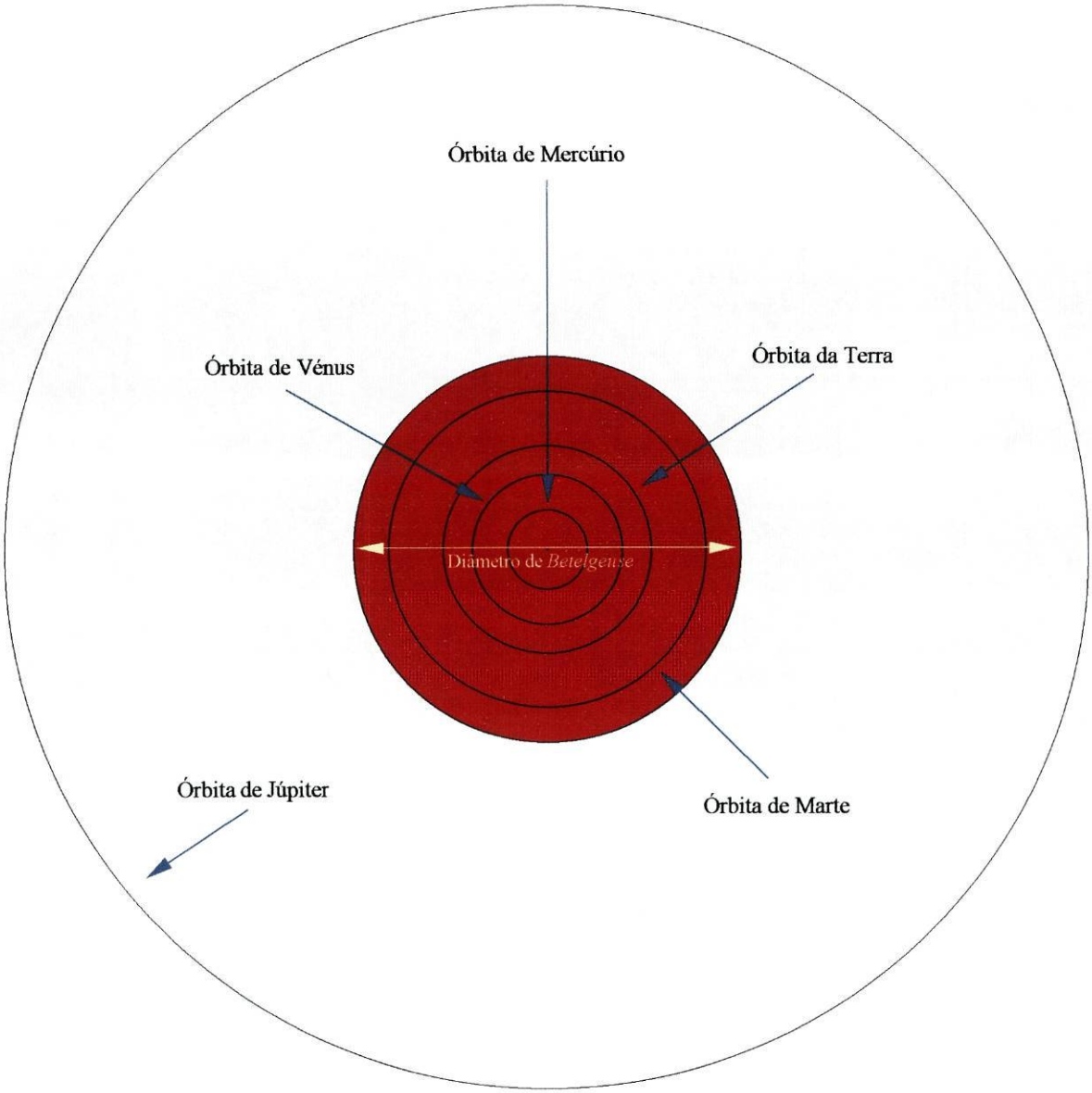


Figura 3.5

Esquema, à escala, comparando a dimensão da estrela *Betelgeuse* com a dimensão da órbita do planeta Júpiter e dos planetas interiores a esta órbita. *Betelgeuse* é tão grande que englobaria a órbita do Marte, se a centrássemos no Sol.

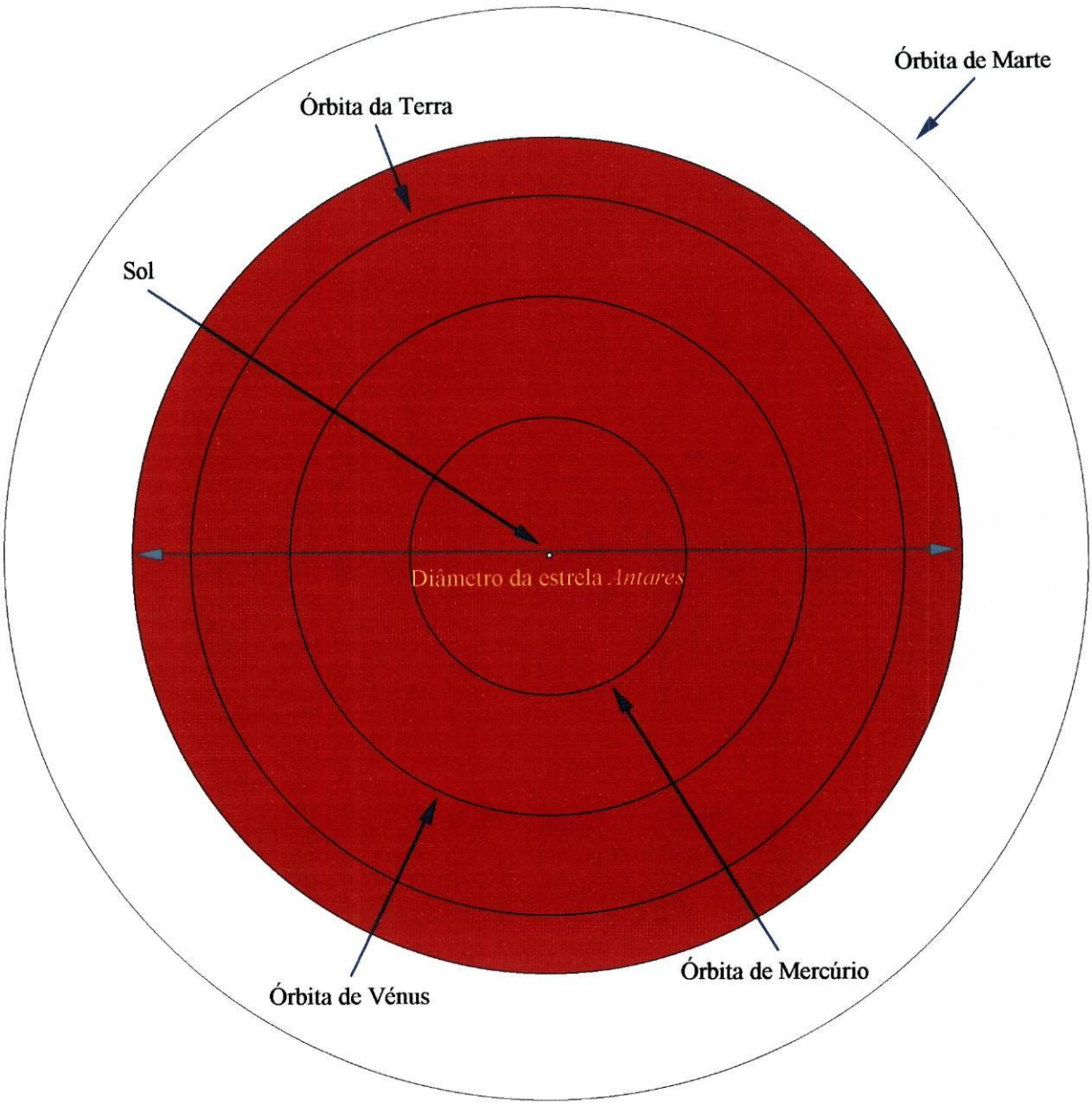


Figura 3.6

Esquema, à escala, comparando a dimensão da estrela *Antares* com a dimensão da órbita do planeta Marte e dos planetas interiores a esta órbita. *Antares* é menor que *Betelgeuse* mas se a centrássemos no Sol, englobaria a órbita da Terra.

No esquema da figura 3.5, o Sol reduz-se a um ponto, tal é a sua pequenez, em comparação com a supergigante *Betelgeuse* enquanto que no esquema da figura 3.6, a sua representação é um pequeno círculo. As estrelas deste tipo são muito luminosas. As supergigantes chegam a ser milhares de vezes mais luminosas do que o Sol, e as suas dimensões são enormes, quando comparadas com a dimensão do Sol. Uma estrela supergigante típica tem uma temperatura da ordem dos 3 000 K (cerca 800°C) e luminosidade de 10^4 $L_\odot$ (10 000 vezes a luminosidade do Sol).

As estrelas *Betelgeuse* e *Antares* são dois exemplos de estrelas supergigantes enquanto que *Deneb* e *Aldebaran* são exemplos de estrelas gigantes.

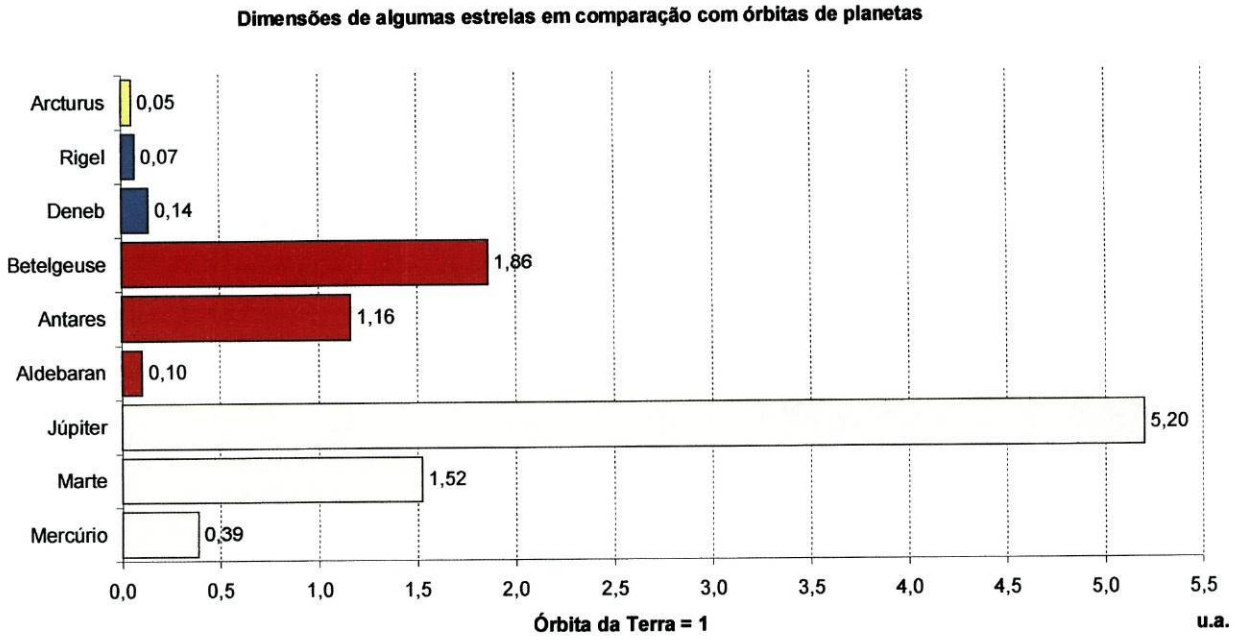


Figura 3.7

As dimensões de algumas estrelas gigantes e supergigantes são comparáveis às órbitas dos planetas Mercúrio, Marte e Júpiter. *Arcturus*, *Rigel*, *Deneb* e *Aldebaran* não chegam a atingir a órbita de Mercúrio; *Antares* ultrapassa a órbita da Terra, enquanto que a dimensão de *Betelgeuse* é comparável à órbita de Marte e de Júpiter.

O gráfico de barras da figura 3.7 compara a órbita da Terra com as dimensões das estrelas gigantes *Arcturus*, *Rigel*, *Deneb*, *Aldebaran*, com as dimensões das supergigantes, *Betelgeuse* e *Antares*, e ainda com as dimensões das órbitas dos planetas Júpiter, Marte e de Mercúrio. Para comparação, considerou-se a unidade astronómica como unidade de medida, ou seja, a órbita da Terra é a unidade de comparação, pois as dimensões das estrelas supergigantes são tais, que são comparáveis às órbitas dos planetas Marte e Júpiter. *Arcturus* tem apenas 5% da dimensão da órbita da Terra enquanto que *Betelgeuse* tem 186% da dimensão da órbita. *Arcturus* não chega atingir a órbita de Mercúrio.

Embora o Sol seja *idoso* - tem cerca de 4,6 mil milhões de anos - aproxima-se da sua meia idade. Quando atingir os 10 mil milhões de anos, deixará de converter o hidrogénio em hélio no seu núcleo, transformando-se numa gigante vermelha. Nessa altura expandir-se-á em direcção às órbitas dos quatro planetas mais próximos, provavelmente engolindo-os. A energia do Sol é produzida pela combustão do hidrogénio existente no seu núcleo, de diâmetro 100 000 km. Quando o Sol se tornar numa gigante, daqui a 5 mil milhões de anos, a sua energia será produzida a partir de uma concha de hidrogénio que envolve um compacto núcleo de hélio de 30 000 km de diâmetro. A contracção do núcleo transforma a energia gravitacional

em energia térmica, provocando o aquecimento da concha de hidrogénio que, por sua vez, faz desencadear violentas reacções térmicas. Como resultado, a luminosidade do Sol aumentará para cerca de 2 000 vezes a luminosidade actual. O aumento desta irá provocar um aumento de pressão nas suas camadas mais exteriores fazendo com que se expandam, aproximadamente 100 vezes em relação ao tamanho actual (figura 3.8).

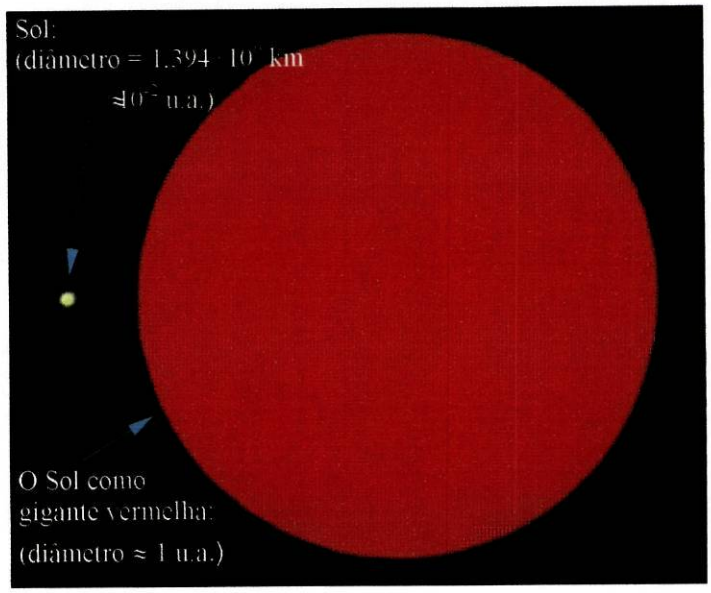


Figura 3.8

Dimensão actual do Sol e as dimensões previstas como gigante vermelha. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

O Sol é um anão, em comparação com as estrelas gigantes e supergigantes. No entanto, se o compararmos com as estrelas anãs brancas, ele é um gigante. Antes de atingir o estado de anã branca, uma estrela de massa idêntica à do Sol passa por diversas fases da sua vida. Depois de se ter expandido, ao ponto de abranger a órbita de Marte ou mais (fase de gigante vermelha), a estrela ejecta uma grande quantidade de matéria tornando-se numa nebulosa planetária. A figura 3.9 é uma fotografia da nebulosa planetária NGC 7293, também chamada de Nebulosa da Hélice, tem no seu centro uma anã branca, pequeno astro frio, que arrefecerá progressivamente tal como um pedaço de carvão que escapou à combustão e fica misturado com as cinzas (poeiras cósmicas). Esta nebulosa situa-se a 450 anos-luz da Terra, na constelação Aquário e o interior azul do invólucro vermelho deu-lhe o nome alternativo Girassol (a zona azul mede cerca de 150 u.a. de diâmetro).

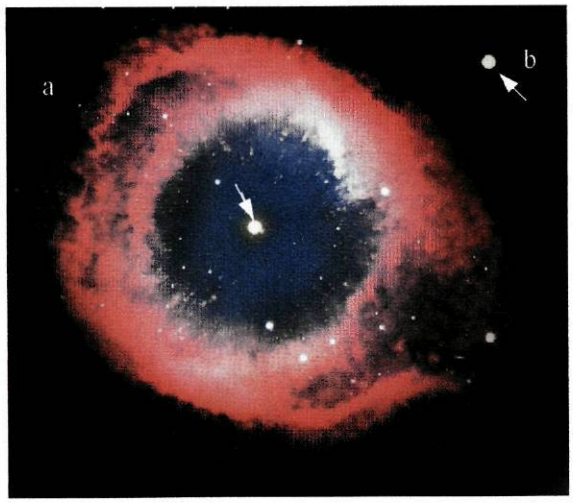


Figura 3.9

Nebulosa planetária da Hélice a 450 a.l. da Terra cujo centro contém uma anã branca (*a*) e a anã depois da concha de gás desaparecer (*b*). (Adaptado de *Pour la Science*, volume temático *Vie et moeurs des étoiles*, de Janeiro de 2001).

A dimensão típica de uma anã branca é próxima da dimensão da Terra mas com uma densidade média de 10^6 g/cm^3, cerca de um milhão de vezes a densidade média de uma estrela do tipo do Sol. Uma colher de chá (2,5 mililitros) de matéria que as constitui, na Terra pesa-

ria 2,5 toneladas!

Outro exemplo de nebulosa planetária é a *Abell 39* (figura 3.10), na constelação *Hercules*, que se localiza a 7 000 anos-luz da Terra. O seu diâmetro é de 5 anos-luz de comprimento e a sua espessura um terço da unidade astronómica (cerca de 50 milhões de quilómetros). Devido à sua forma esférica, pouco usual nas nebulosas planetárias, *Abell 39* tornou-se num bom exemplar para os astrónomos estudarem e compreenderem como é que, ela e outras nebulosas planetárias, enriquecem quimicamente o meio interestelar.



Figura 3.10

Nebulosa planetária *Abell 39*, a 7 000 anos-luz e com um diâmetro de 5 anos-luz. Localiza-se na constelação *Hercules*. (Adaptado de *Astronomy*, de Julho de 2001).

A massa, parâmetro essencial para as estrelas, determina qual o seu destino último. Se a massa inicial é inferior a 1,4 massas solares, a estrela acabará como anã branca (98% das estrelas da Galáxia terminarão desta forma). Para as estrelas massivas, elas acabarão em estrelas de neutrões, de dimensões equiparáveis às de uma cidade, ou para as mais massivas, como buracos negros – corpos cujos núcleos são especialmente maciços devido à acção da força de gravidade, que os esmaga (figura 3.11). As densidades destes corpos são enormes, em comparação com a do Sol. Quando uma estrela massiva morre, a força de gravidade exercida no material restante é enorme e a matéria contrai-se de tal forma que para lhe fugir seria necessário ultrapassar a velocidade da luz. Chama-se-lhe buraco negro, pelo facto de a luz não lhe conseguir escapar, e buraco, pelo facto de não se conseguir sair depois de lá cair.



Figura 3.11

Comparação das dimensões entre anãs brancas (cerca de 10 000 km de diâmetro), estrelas de neutrões (cerca de 20 km) e buracos negros. (Adaptado de Pour la Science, volume temático *Vie et moeurs des étoiles*, de Janeiro de 2001).

Apesar de se prever que 98% das estrelas da Galáxia deverão terminar em anãs brancas, apenas se consegue observar algumas delas, pois poucas tiveram tempo de atingir esse estado. Somente 3% dos 200 mil milhões de estrelas da Galáxia são anãs brancas. A velocidade da evolução das estrelas depende da sua massa: uma estrela

de 10 massas solares acabará como supernova (fase anterior à fase de estrela de neutrões ou de buraco negro) depois de cerca de 23 milhões de anos; uma estrela de quatro massas solares, por exemplo, evoluirá para o estado de anã branca em 160 milhões de anos; uma estrela como o Sol em dez mil milhões de anos, uma fracção respeitável da idade do universo. Quanto às estrelas de massa inferior à do Sol, ainda não se tornaram anãs brancas, pois precisam de intervalos de tempo superiores à idade do universo, que é de 15 mil milhões de anos.

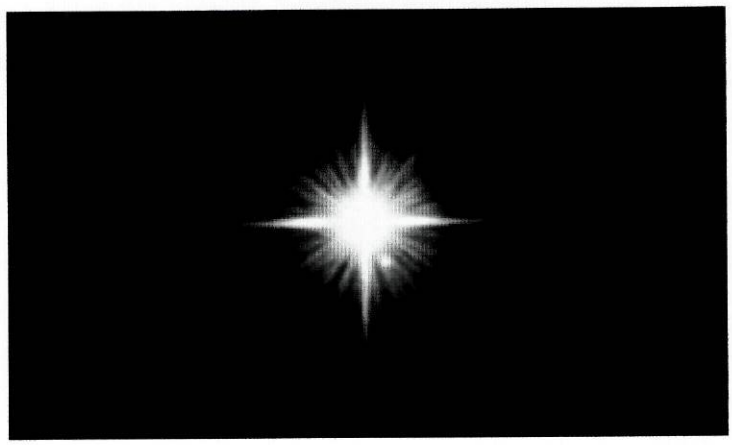


Figura 3.12

Sirius e a sua companheira anã branca, *Sirius B*. *Sirius* é a estrela mais brilhante no céu nocturno. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Um exemplo de uma estrela anã branca é a companheira de *Sirius*, a estrela mais brilhante no céu nocturno (figura 3.12). Na realidade, é uma estrela dupla em que a estrela secundária, chamada de *Sirius B*, é uma anã branca. Na figura 3.12, *Sirius B* encontra-se na posição das cinco horas, quase ofuscada pelo brilho da estrela primária, *Sirius A*. O diâmetro da anã *Sirius B* é de 9 650 km, cerca de três quartos do diâmetro da Terra ou 144 vezes menor que o diâmetro do Sol, ou ainda, pouco mais que o comprimento do caminho-de-ferro transiberiano, com 9 438 km de extensão. No entanto, *Sirius B* é tão maciça que tem mais massa que o Sol, que por sua vez, tem 333 330 vezes mais massa que a Terra. Embora *Sirius A* tenha 23 vezes a luminosidade do Sol, *Sirius B* tem somente 0,002 vezes: *Sirius A* é 11 500 vezes mais luminosa que *Sirius B*. Consideremos 11,3 kg a massa média de um bebé de 2 anos como sendo a luminosidade da estrela anã branca *Sirius B* (figura 3.13). Consideremos a massa média de uma baleia azul, 130 toneladas,



Figura 3.13

Criança de dois anos de idade com 12 kg de massa.

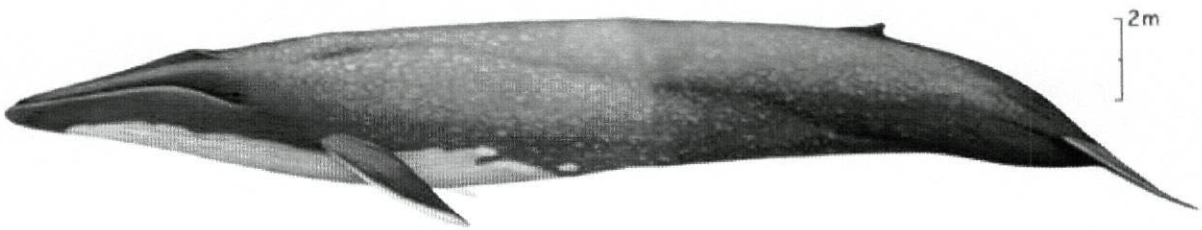


Figura 3.14

Baleia azul, o maior animal vivo conhecido. Pode atingir 33,5 metros de comprimento (cerca de 18 mergulhadores alinhados, incluindo as barbatanas) e 130 toneladas de massa (cerca de 26 elefantes machos africanos adultos com 5 toneladas cada). A altura normalizada de uma porta é de 2 m. (Adaptado de http://whales.magna.com.au/DISCOVER/BLUE/blueg.html).

como sendo a luminosidade da estrela *Sirius A* (figura 3.14). O *ratio* entre a massa da baleia azul e a massa do bebé é de 11 404, que é um valor muito próximo do calculado para a relação entre o brilho das estrelas *Sirius A* e *Sirius B*. Podemos então dizer que a luminosidade de *Sirius A* está para a luminosidade de *Sirius B* como a massa da baleia azul está para a massa de uma criança de 2 anos.

No fim das sua vidas, *Betelgeuse* e outras estrelas massivas podem-se transformar em estrelas de neutrões. Estas são ainda mais pequenas e densas do que as estrelas anãs brancas, possuindo uma densidade tal que uma porção do seu material do tamanho da cabeça de um alfinete pode ter cerca de 1 000 000 toneladas de massa, equivalente a três edifícios *Empire State Building*, Nova Iorque, com 331 122 toneladas de massa (figura 3.15).

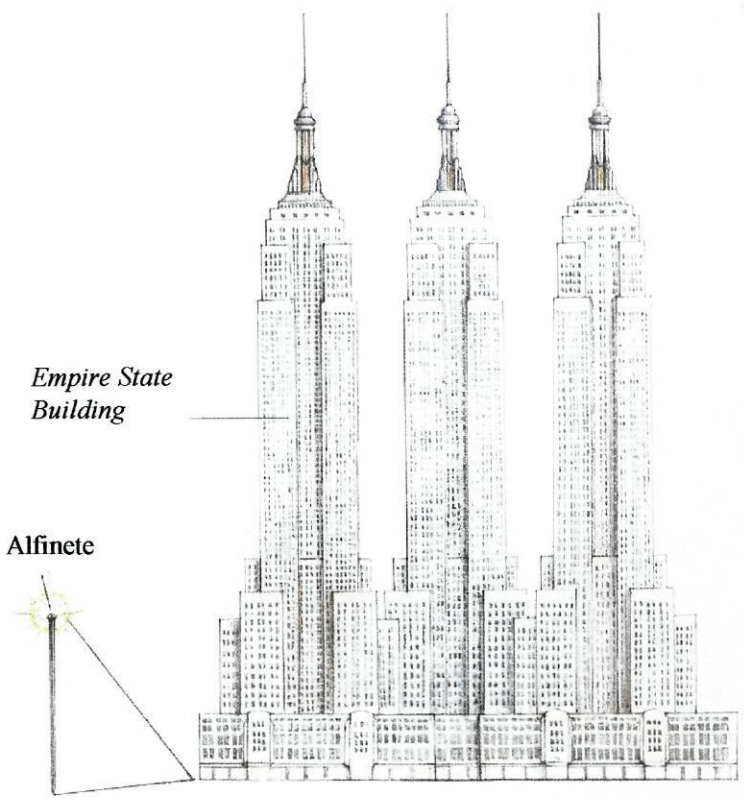


Figura 3.15

Esquema representando três edifícios *Empire State Building* (com cerca de 330 mil toneladas de massa) e um alfinete, cuja cabeça teria de massa o equivalente ao conjunto dos três edifícios, se o material de que é feito fosse o existente nas estrelas de neutrões. (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

A figura 3.16 é um esquema representando, à escala, as dimensões relativas das estrelas que constam na tabela 3.1 . Neste esboço, o Sol é representado por

um ponto, por a sua dimensão ser muito pequena, quando comparada com a dimensão de *Betelgeuse*. Para ser possível representar o Sol de forma mais visível, o esboço da *Betelgeuse* não caberia na folha A4 como se pode observar na figura 3.17.

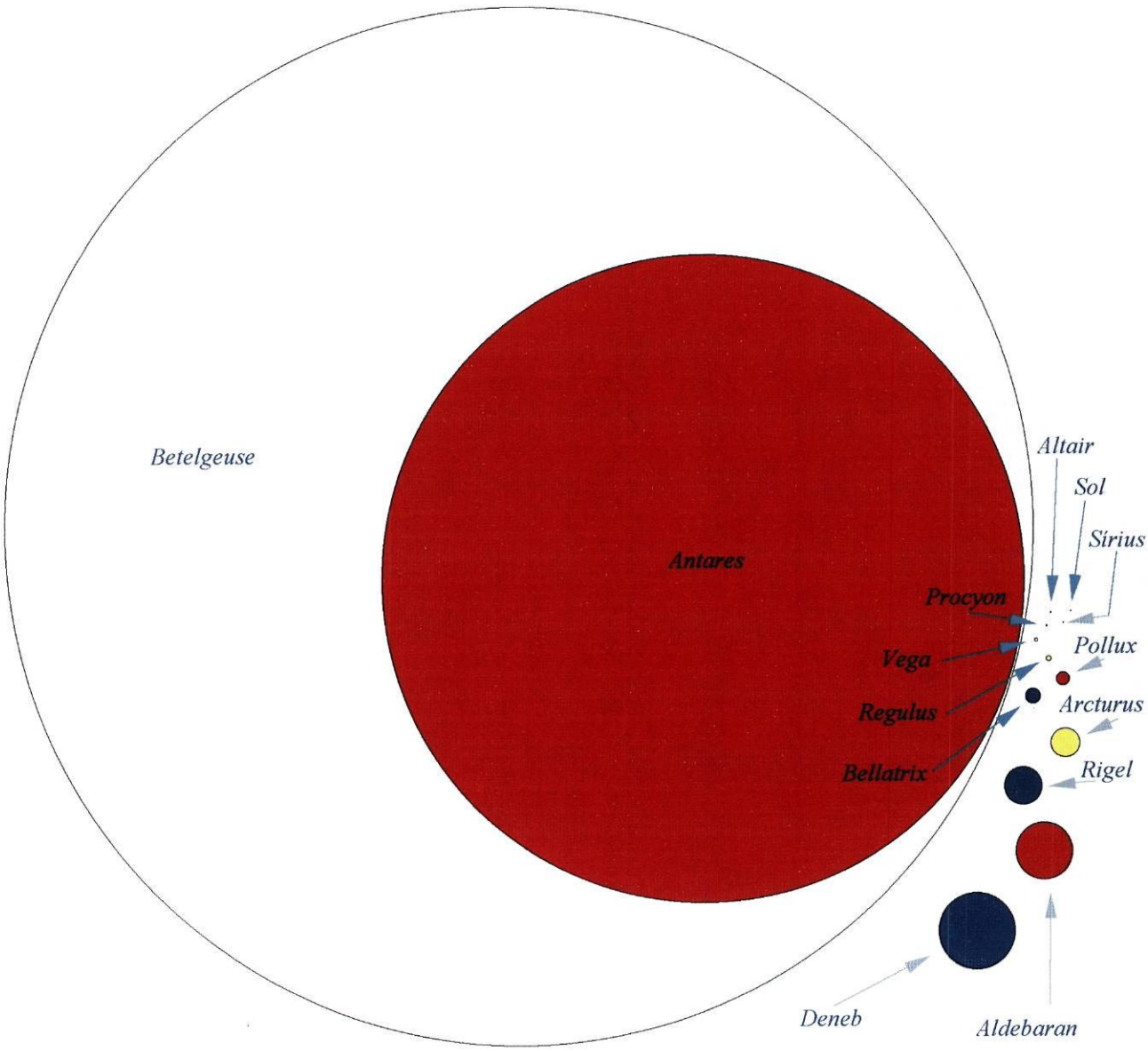


Figura 3.16

Representação esquemática, à escala, das dimensões de algumas estrelas gigantes e supergigantes. O Sol, quando comparado com as estrelas supergigantes *Betelgeuse* e *Antares*, é pequeníssimo. As duas supergigantes são, respectivamente, 800 e 500 vezes maiores que o Sol. *Sirius* e *Altair* possuem quase a mesma dimensão: 1,8 e 1,6 vezes a dimensão do Sol. As cores utilizadas são indicadoras da temperatura de cada estrela com excepção da *Betelgeuse*, que não foi possível colori-la.

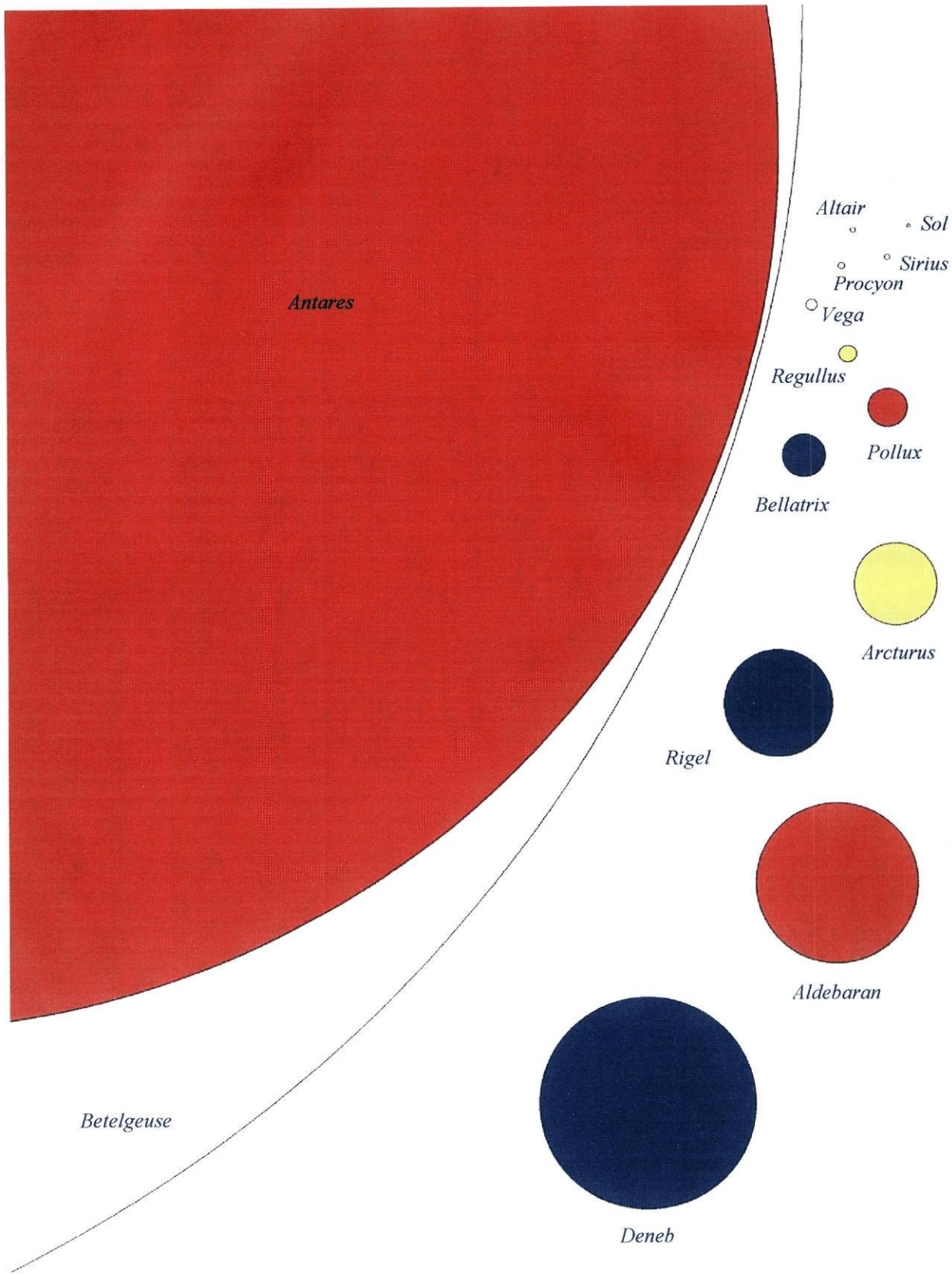


Figura 3.17

Pormenor do esquema apresentado na figura 3.16 em que a representação do Sol deixou de ser um ponto para se tornar num pequeno círculo. Todas as estrelas representadas são maiores que o Sol. Para apresentar este esboço na sua totalidade mantendo esta escala, seriam necessárias 6 folhas de papel de tamanho A4.

3.2 A Via Láctea e as galáxias vizinhas

Numa noite escura de Verão, sem a luz da Lua e longe da poluição luminosa dos centros urbanos, podemos observar uma faixa mais luminosa atravessando o céu. A esta banda, que se estende por toda a esfera celeste, chamamos a Via Láctea. Galileu foi a primeira pessoa a observar a Via Láctea, através de um telescópio, descobrindo que era constituída por incontáveis estrelas débeis. Hoje, sabemos que a Galáxia tem cerca de 200 mil milhões de estrelas, entre as quais se encontra o Sol. A maioria das estrelas que constituem Via Láctea (figura 3.18) encontra-se situada num plano, o disco, com cerca de 30 000 pc de diâmetro (6 187 950 000 vezes a distância média entre a Terra e o Sol – cerca de 100 000 anos-luz) e 600 pc de espessura (123 759 000 u. a. – cerca de 2 000 anos-luz) e no seu centro, uma forma quase esférica, de 3 000 pc de diâmetro (aproximadamente 10 000 anos-luz).

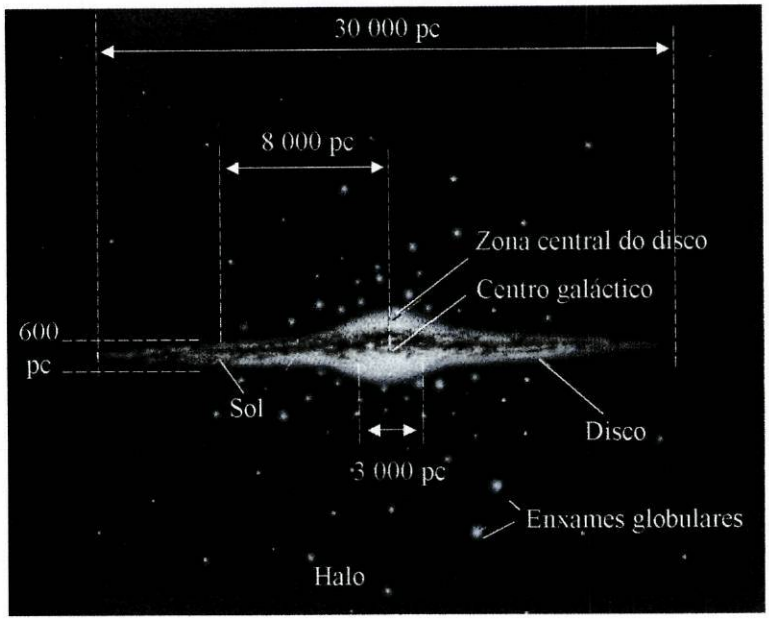


Figura 3.18

Representação esquemática das três principais componentes da Via Láctea: o disco, a zona central e o halo, em vista de perfil. As dimensões referenciadas não estão à escala. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

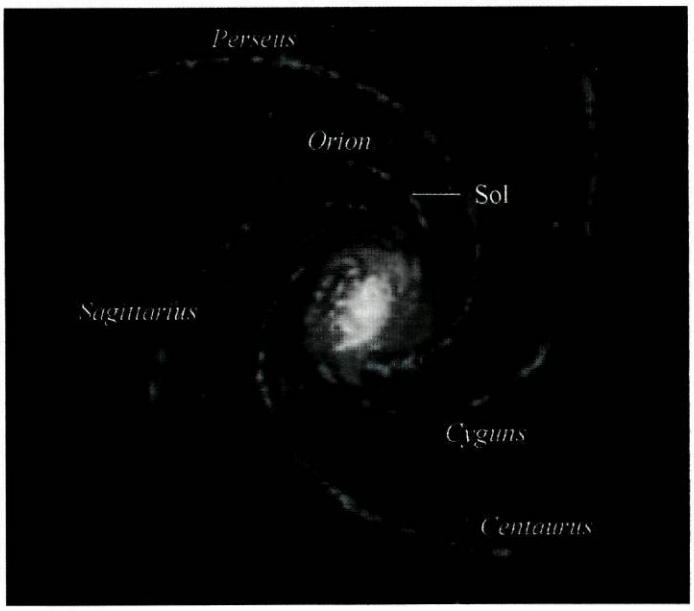


Figura 3.19

Representação esquemática dos quatro braços principais da Galáxia e de outros secundários (vista de um ponto afastado e fora do plano do disco). O Sol situa-se num braço secundário, *Orion*, entre dois braços principais (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

Podemos imaginar, de uma maneira grosseira, que a Via Láctea tem a forma de dois ovos estrelados colocados um debaixo do outro de modo que as partes que tiveram contacto com a frigideira fiquem unidas. As gemas seriam o centro da Galáxia e as claras, o disco. Para se ter um entendimento

aceitável das dimensões da nossa Galáxia, nomeadamente da relação espessura-largura, podemos imaginar dois CDs sobrepostos e unidos. O Sol seria um grão de poeira situado entre os dois discos. Outro exemplo: se reduzíssemos o diâmetro da Galáxia ao comprimento do diâmetro da Terra, o Sol teria um sexto da espessura de uma folha A4 (a mesma ordem de grandeza de um glóbulo branco típico que tem 0,012 mm de diâmetro), a Terra situar-se-ia a 2 mm de distância, o Sistema Solar teria 16,3 cm de diâmetro (considerando a distância entre o afélio e o periélio de Plutão) e a estrela mais próxima do Sol, *Proxima Centauri*, ficaria a 550 m afastada do que seria o Sol.



Figura 3.20

Vista de perfil da galáxia NGC4565, na constelação *Coma Berenices*. Vista idêntica à da Via Láctea, caso fosse possível observá-la de perfil. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

A disposição das estrelas no disco obedecem a um padrão espiral. Os braços principais

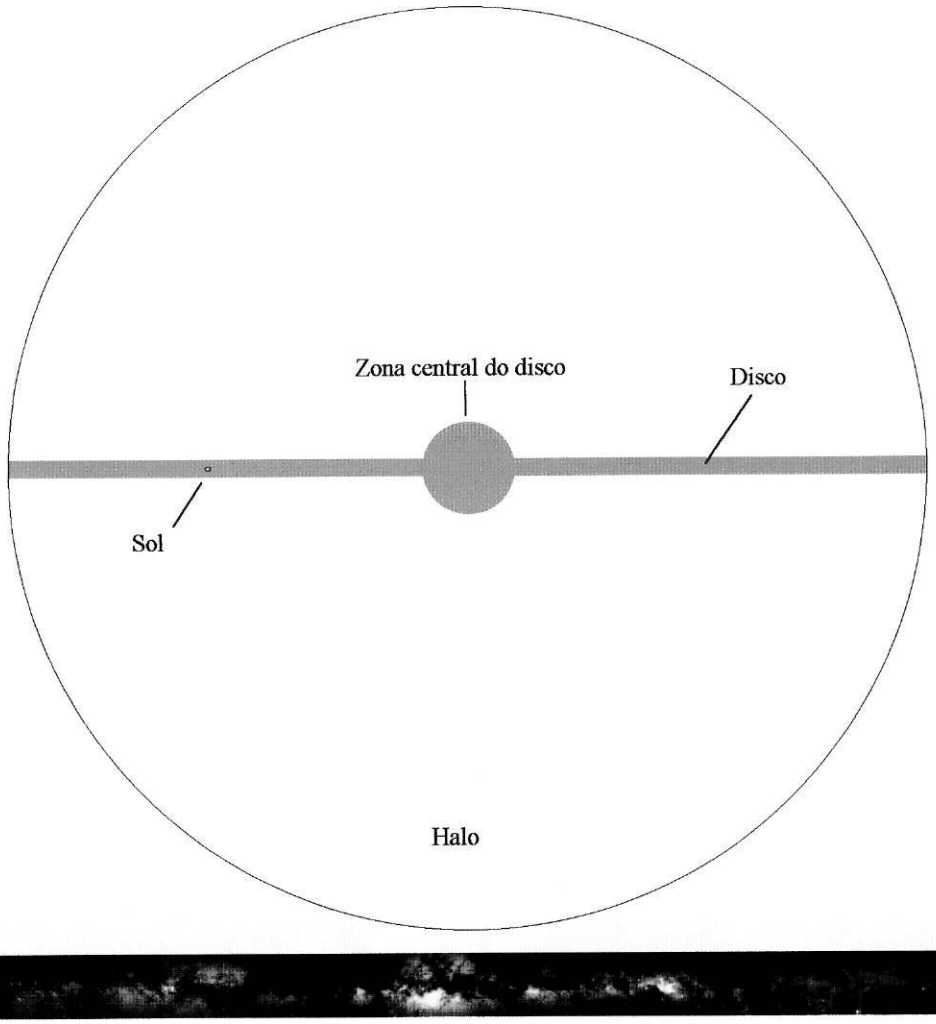


Figura 3.21

Em cima: Esquema, à escala, das três principais componentes da Galáxia. A dimensão do Sol não está à escala.

Em baixo: Fotografia do disco da Via Láctea, no visível. (Adaptado de http://nvo.gsfc.nasa.gov/mw/milkyway.html).

são quatro: *Sagittarius*, *Centaurus*, *Cygnus* e *Perseus*. O Sol encontra-se situado em *Orion*, braço menor do braço principal *Sagittarius*, a uma distância de 8 000 pc do centro galáctico (cerca de 26 100 anos-luz de distância). Caso fosse possível visualizar a Galáxia de um ponto fora do plano e muito acima dele, o aspecto seria o esboçado na figura 3.19 e se pudéssemos vê-la a grande distância e de perfil, provavelmente observaríamos algo idêntico à galáxia NGC 4565, na constelação de *Berenices* (figura 3.20). O disco da Galáxia, por sua vez, está inserido numa grande esfera formada por estrelas de fraca luminosidade e por enxames globulares de estrelas: o halo (figura 3.18 e parte superior da figura 3.21). A parte inferior da figura 3.21 é uma fotografia do disco da Via Láctea, em comprimento de onda no visível, centrada no seu núcleo. A região escura que atravessa longitudinalmente a imagem é devido à poeira interestelar que ofusca a luz das estrelas. O centro da Galáxia situa-se na área central da imagem. Considerando que a população mundial é de 6 082 970 000 pessoas (ano de 2000) e que existem cerca de 200 000 milhões de estrelas na Via Láctea, cada habitante da Terra poderia reclamar para si 33 estrelas (figura 3.22).



Figura 3.22
"Levo 14 estrelas de tamanho normal, 10 gigantes, 6 supergigantes e 3 anãs, por favor". (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

As galáxias mais próximas da nossa Galáxia são a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães, visíveis a olho nu no hemisfério sul e identificadas pelo navegador português Fernão de Magalhães (1480-1521) em 1520. Localizam-se, respectivamente, a 50 000 pc (163 000 anos-luz) e a 63 000 pc (205 000, anos-luz) de distância. A Grande Nuvem de Magalhães (figura 3.23) é a segunda galáxia mais próxima da Via Láctea, com 19 000 pc de extensão (61 970 anos-luz de comprimento). A Pequena Nuvem de Magalhães (figura 3.24) tem 8 000 pc de comprimento (26 093 a.l.), sendo a menos massiva das duas. Ambas possuem aspecto bem diferente da nossa Galáxia sendo consideradas como os dois exemplos mais conhecidos de galáxias irregulares. A companheira da Via Láctea que se situa mais perto encontra-se à distância de 25 000 pc (81 500 anos luz) e chama-se Anã *Sagittarius*, tendo sido descoberta em 1994.



Figura 3.23
Grande Nuvem de Magalhães, à distância de 50 kpc da Via Láctea. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).



Figura 3.24
Pequena Nuvem de Magalhães, à distância de 63 kpc da Via Láctea. (Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman)

O grupo de galáxias ao qual a Via Láctea pertence chama-se Grupo Local. É um aglomerado pequeno com cerca de 30 membros, dos quais a Via Láctea, Andrómeda (figura 3.25) e M33 são os mais massivos. A sua massa é de cerca de 5×10^{12} massas solares. As Nuvens de Magalhães, as galáxias satélites da nossa Galáxia, também fazem parte desse grupo. Os outros membros são, na maioria, pequenas galáxias elípticas, em comparação com a Via Láctea e a Andrómeda. A distância entre estas é de 900 000 pc (2,9 milhões de anos-luz) e a última possui um diâmetro de 46 000 pc (150 000 anos-luz), isto é, 1,5 vezes a galáxia onde vivemos!



Figura 3.25

Andrómeda (M 31 ou NGC 224), galáxia do Grupo Local, comparável à Via Láctea. A distância a esta galáxia é de 900 kpc. As duas manchas claras são duas galáxias satélite. (Adaptado de http://pcgo.if.ufrgs.br/galax/index.htm).

Se imaginarmos que a Via Láctea é um prato de 16,3 cm de diâmetro, a Grande Nuvem de Magalhães seria uma pequena bola irregular de algodão com 10,3 cm de extensão, a Pequena Nuvem teria 4,3 cm e ficariam situadas a 27,2 e 34,2 centímetros do prato. A galáxia Andrómeda seria um disco de praia com 25 cm de diâmetro localizado a 4,9 m de distância do prato que representa a Via Láctea (figura 3.26). As restantes galáxias do Grupo Local pode-

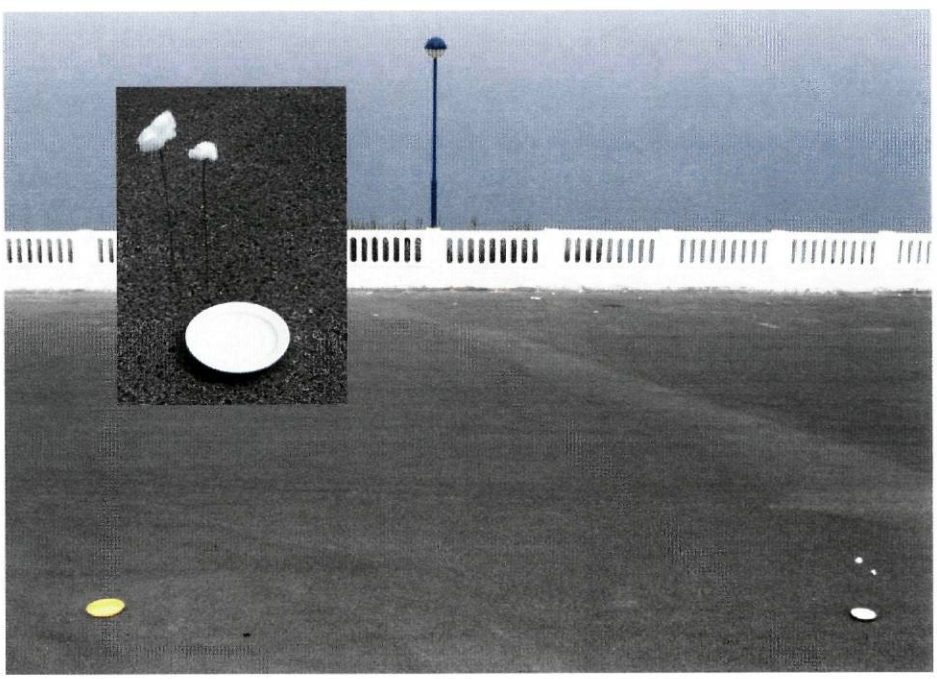


Figura 3.26

Fotografia de fundo: modelo construído, à escala, das galáxias Via Láctea, Nuvens de Magalhães (à direita) e Andrómeda (à esquerda). A distância entre os pratos é de 4,9 m. Fotografia inserida: pormenor do modelo relativamente ao conjunto Via Láctea e Nuvens de Magalhães. O diâmetro do prato é de 16,3 cm. Dimensões das Nuvens de Magalhães: 10,3 cm e 4,3 cm.

riam ser assinaladas também por pequenas bolas de algodão irregulares espalhadas no interior de uma esfera com cerca de 10 m de diâmetro.

As galáxias não se encontram dispersas aleatoriamente no Universo mas em aglomerados chamados enxames. Um enxame diz-se pobre ou rico, conforme a quantidade de galáxias nele contidas. Ao enxame pobre também se chama grupo: é o caso do Grupo Local (figura 3.27). Conforme os enxames são mais ou menos esféricos, dizem-se regulares ou irregulares.

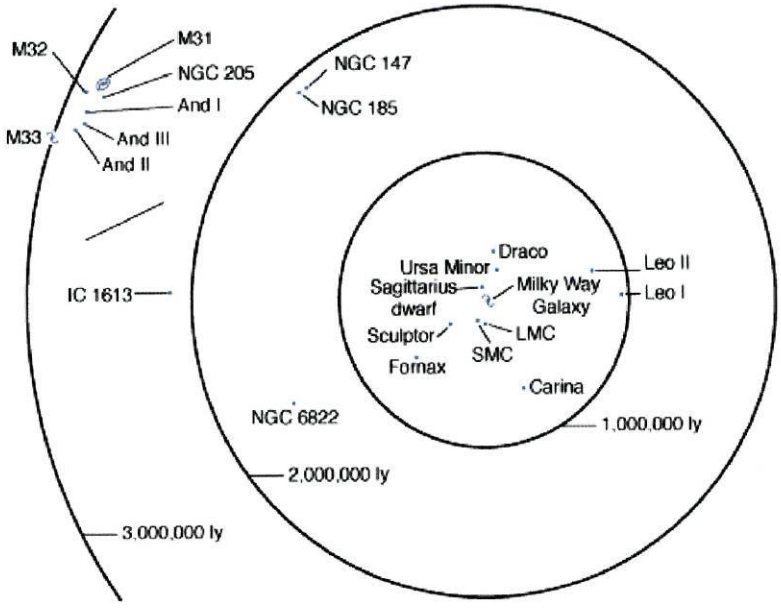


Figura 3.27

Distribuição de algumas galáxias no interior do Grupo Local. No esquema, as galáxias foram desenhadas no plano de modo a assinalar as suas distâncias à Galáxia. Ao Grupo Local pertencem cerca de 30 galáxias mas na figura estão representadas apenas 21. A sigla ly significa ano-luz .(Adaptado de *Universe*, de W. Kaufmann e R. Freedman).

O enxame rico e regular mais próximo de nós, é o de *Coma* (figura 3.28) situado a 90 Mpc (293 548 000 anos-luz) da Terra, assim chamado por se situar na direcção da constelação *Coma Berenices*. Contém mais de 10 000 galáxias, estendendo-se por cerca de 6 Mpc (19 570 000 anos-luz). Outro exemplo de um enxame rico, mas irregular, e que se situa na vizinhança do Grupo Local, é o enxame *Virgo* (Enxame da Virgem – figura 3.29), a 15 Mpc (48 925 000 anos-luz) da Terra, com um diâmetro de cerca 3 Mpc (9 785 000 anos-luz) e uma massa de cerca 2×10^{15} massas solares (400 vezes a massa do Grupo

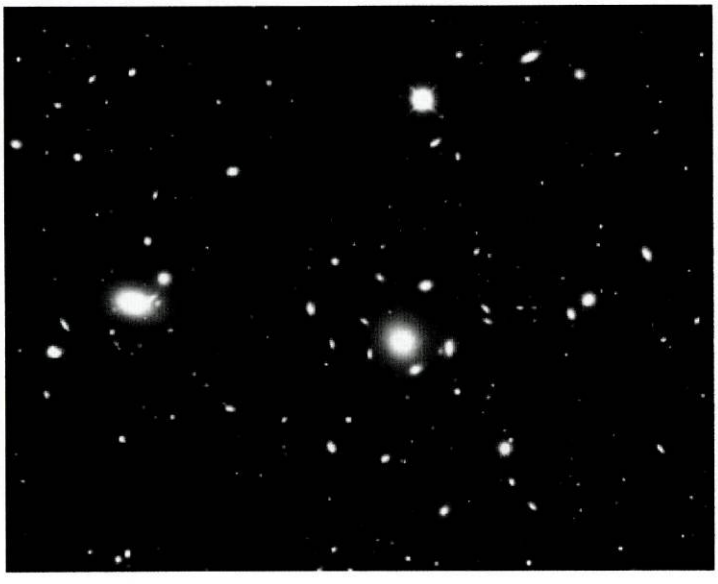


Figura 3.28

Enxame de *Coma*: as manchas luminosas desta imagem são galáxias individuais. A este conjunto pertencem, pelo menos, 10 000 galáxias. A mancha brilhante no topo da figura é uma estrela da Via Láctea, milhões de vezes mais próxima de nós que qualquer galáxia do exame. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/images/d2/02345a.jpg).

Local de galáxias). O centro deste enxame é dominado por galáxias elípticas gigantes, duas das quais são visíveis na figura 3.29. O diâmetro destas galáxias gigantes é de 900 000 pc, distância comparável à distância entre a Via Láctea e a galáxia M31 (Andrómeda), isto é, estas galáxias tem uma dimensão idêntica à dimensão do Grupo Local!



Figura 3.29

Enxame da Virgem: contém mais de 2 000 galáxias a cerca de 15 Mpc da Terra. As duas grandes manchas da direita fazem parte do centro do enxame e são as galáxias M 84 (à direita) e M 86 (à esquerda). (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/images/d2/02346a.jpg).

Outro enxame irregular, *Hercules*, localiza-se a 150 Mpc (489 250 000 anos-luz) da Terra e é muito menos denso que o enxame *Coma*, contendo muitas galáxias espirais associadas aos pares ou em pequenos grupos (figura 3.30).

Os enxames de galáxias estão, por sua vez, agrupados em enormes aglomerados de enxames, os superenxames de galáxias. Um superenxame típico pode conter vários enxames de galáxias espalhadas por uma região do universo de cerca de 100 milhões de anos-luz (cerca de 3, Mpc). Em grande escala, estes superenxames apresentam, geralmente, uma estrutura filamentada (figura 3.31). São entidades não completamente formadas, como o são os enxames de galáxias. No interior destes filamentos encontram-se grandes extensões de quase vazio, aproximadamente esféricos,



Figura 3.30

Enxame de *Hercules*, irregular, a 150 Mpc de distância de nós. (Adaptado de http://www.noao.edu/image_gallery/images/d5/03496a.jpg).

com diâmetros na ordem dos 80 Mpc (260 931 000 anos-luz) e onde poucas galáxias se encontram presentes. Podemos comparar a distribuição destes superenxames com o aspecto da espuma de sabão: as bolhas (os espaços vazios do universo) delimitadas pela fina superfície (os filamentos de superenxames) e que se intersectam com outras superfícies de bolhas (os nodos onde as galáxias se concentram formando os enxames). Se considerarmos escalas ainda maiores que esta, na ordem de várias centenas de megaparsec, a distribuição das galáxias no Universo parece ser mais uniforme

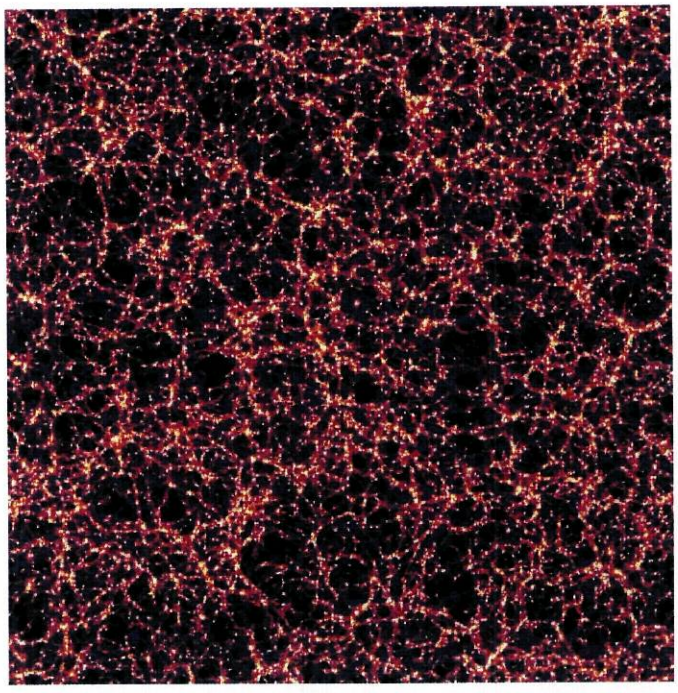


Figura 3.31

Simulação computacional da estrutura filamentosa do universo. O volume do Universo correspondente a esta imagem é o de um cubo de 300 milhões de anos-luz de aresta. As cores azul escuro, azul, rosa, vermelho e laranja representam diferentes densidades, da mais baixa para a mais alta, respectivamente. (Adaptado de http://www-hpcc.astro.washington.edu/picture/images/runs06.01461.gif).

A Via Láctea pertence ao Superenxame Local, que tem pelo menos 40 Mpc (130 466 000 anos-luz) de diâmetro e uma massa muitas vezes 10^{15} massas solares e localiza-se na sua periferia. Próximo do centro do Superenxame Local encontra-se o conhecido enxame *Virgo*.

Ao tentarmos visualizar as dimensões das regiões mais afastadas do Sistema Solar, nomeadamente, à escala da Galáxia, à escala das galáxias suas vizinhas e, finalmente, à escala do restante Universo, deparamo-nos com alguma dificuldade em compreendê-las, tais são as dimensões que estão envolvidas neste processo. Obviamente, a unidade de comprimento *quilómetro* deixou de ser praticável, assim como a *unidade astronómica* ou mesmo, o ano-luz: basta pensar que a galáxia Andrómeda se localiza a 2,9 milhões de anos-luz (o número é, por si só bastante grande, e de difícil apreensão – 2 900 000 anos-luz corresponde a $2{,}7455\times10^{19}$ km!). No entanto, esta distância torna-se insignificante, quando comparada com o objecto celeste que se julga mais distante no Universo, o *quasar* PC1247+3406, (núcleos de galáxias distantes que libertam enormes quantidades de energia; por ocasião da sua detecção, foram confundidos com estrelas cujo comportamento não poderia ser de estrelas, tendo sido apelidados de *quase estrelas*, do inglês *Quasi Stellar Object*). Este *quasar* encontra-se a

13 200 000 000 anos-luz de distância (4 407 Mpc), isto é, 4 552 vezes a distância entre a Galáxia e a Andrómeda!

Actualmente, e devido às investigações efectuadas através do *Hubble Space Telescope*, sabe-se que a existência de galáxias no Universo é vulgar: a pesquisa intitulada *Hubble Deep Field*, cujo alvo era pesquisar uma região quase destituída de objectos celestes conhecidos – portanto, uma zona representativa das condições do Universo distante - revelou imagens surpreendentes de 1 500 galáxias ou mais, de todas as formas, tamanhos e cores (figura 3.32). Devido ao facto desta investigação ter sido efectuada numa pequena região do espaço, cerca do tamanho de um ponto final a um metro de distância, trouxe implicações impressionantes, pois permitiu estimar o número de galáxias existentes no Universo: aproximadamente 100 000 milhões de galáxias, ou seja, 16,4 galáxias por cada habitante da Terra (figura 3.33)! Para se entender melhor a grandeza destas distâncias, podemos imaginar que a distância entre o Sol e a Terra (8,3 minutos-luz), seja comprimida a 0,108 mm (espessura de uma folha de papel A4). Nesta escala, a estrela mais próxima de nós (4,22 anos-luz de distância) ficaria localizada a 28,8 m de distância (equivalente a 534 resmas de papel empilhadas), o Sol ficaria a 178,2 km do centro da Galáxia (distância equivalente a 3,5 milhões de resmas empilhadas), a galáxia Andrómeda estaria situada a uma distância de cerca de 20 milhões de quilómetros (aproximadamente 372 milhões de resmas de papel) e o *quasar* PC1247+3406, a 98,2 milhões de quilómetros (equivalente a uma pilha com 1,67 biliões de resmas de papel), cerca de dois terços da distância real entre o Sol e a Terra!



Figura 3.32

Imagem captada pelo Telescópio Espacial Hubble mostrando galáxias a cerca de 2 mil milhões de anos após o *Big Bang*. (Adaptado de http://oposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/HDFWF3.jpg).



Figura 3.33

"*Levo 8 espirais, 6 elípticas e 2 irregulares, por favor*". (Adaptado de *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, de Russel Ash).

3.3 Uma viagem pelo Universo

A imaginação humana é desafiada para entender o universo: as distâncias e dimensões são de tal forma enormes que forçam a compreensão humana, tornando difícil mostrar, em figuras, a estrutura e extensão de todo o Universo, de modo claro e compreensível. Neste capítulo tenta-se oferecer uma visão global de todo o Universo, descrevendo a sua dimensão através duma sequência de cubos centrados na Terra, em que o primeiro contém o planeta Terra e o seguinte é construído a partir do anterior, incrementando a aresta de um factor 100, isto é, dando um incremento volumétrico ao cubo anterior de um milhão.



Figura 3.34

Aresta do cubo: 20 000 km

Volume do cubo: 8 biliões de quilómetros cúbicos

($8\ 000\ 000\ 000\ 000\ km^3 = 8\times10^{12}\ km^3$)

Volume da Terra: $1{,}09\times10^{12}\ km^3$

(1,09 biliões de quilómetros cúbicos)

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 0,07 s

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

Comecemos por colocar a Terra no centro de um cubo imaginário, de aresta pouco maior que o diâmetro da Terra. Suponhamos uma aresta de comprimento 20 000 km (figura 3.34). O cubo imaginário terá um volume de $8\times10^{12}\ km^3$; a Terra tem $1{,}087\times10^{12}\ km^3$ de volume, isto é, 13,6% do volume do cubo. Apesar da massa da Terra ser $5{,}974\times10^{24}$ kg (cerca de 6 mil triliões de toneladas), não deixa de ser uma partícula de poeira no Universo, como revela a sequência de cubos imaginários que se segue.

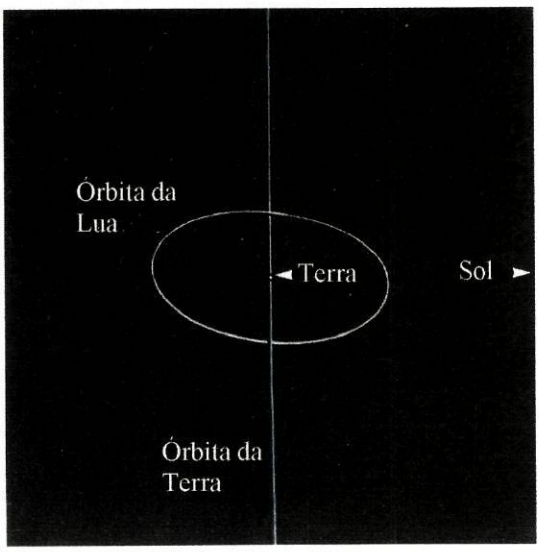


Figura 3.35

Aresta do cubo: 2 000 000 km

Volume do cubo: 8 triliões de quilómetros cúbicos

($8\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ km^3 = 8\times10^{18}\ km^3$

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 6,7 s

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

O próximo percurso da viagem será um cubo cuja aresta foi incrementada 100 vezes, reduzindo a Terra a um ponto (figura 3.35). Nesta situação, o cubo terá 2 milhões de quilómetros da aresta e conterá confortavelmente a órbita da Lua, com um diâmetro médio de 752 560 km (cerca de 60 diâmetros terrestres). O volume conjunto, da Terra e

da Lua, é $1{,}263\times10^{12}$ km^3 (0,000 0 16% do volume do cubo). Exceptuando alguma rocha vinda da cintura de asteróides, nenhum outro objecto entra nos limites deste cubo.

Com o próximo incremento, o cubo passará a incluir as órbitas dos planetas Mercúrio, Vénus e Marte (figura 3.36). Este cubo possui 200 milhões de quilómetros de aresta, um pouco mais que a unidade astronómica (1,337 u.a.) e um volume de 8 quatriliões de quilómetros cúbicos (8×10^{24} km^3). Dezenas de sondas têm viajado nesta região do Universo, essencialmente vazia, com excepção de alguns asteróides, que andam à deriva na cintura de astróides, e de alguns cometas.

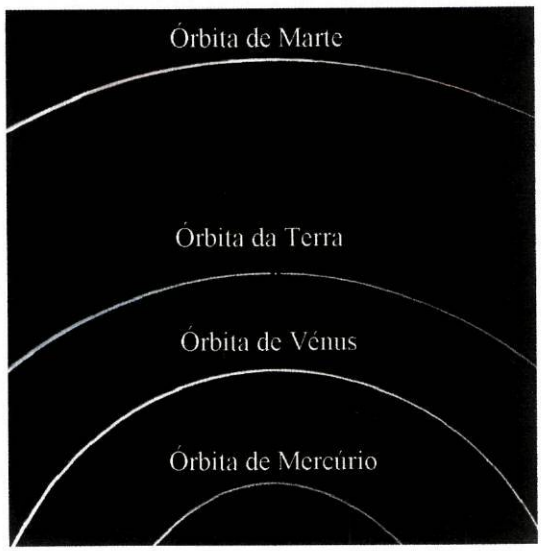


Figura 3.36
Aresta do cubo: 200 000 000 km (1,337 u.a.)
Volume do cubo: 2,389 u.a. cúbicas (8×10^{24} km^3)
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 11,1 m
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

Para incluirmos todos os planetas do Sistema Solar basta, na nossa sequência de cubos, incrementar o cubo anterior de um factor 100 (figura 3.37). Passamos a ter o quarto termo da sucessão de cubos, com 20 000 milhões de quilómetros de aresta (133,7 u.a.). Os corpos celestes do sistema Solar que passam para além do cubo são os cometas, pois possuem trajectórias eclípticas alongadas. Observando o Sistema Solar do bordo deste cubo, os planetas seriam invisíveis a olho nu, à excepção dos gigantes Júpiter e Saturno, que não deixariam de ser apenas modestas pintas no espaço. Nesta escala, somente o brilho do Sol seria significativo e, por comparação, os planetas seriam meramente detritos orbitando o Sol. O volume deste cubo é de 2 390 000 u.a. cúbicas (8×10^{30} km^3).

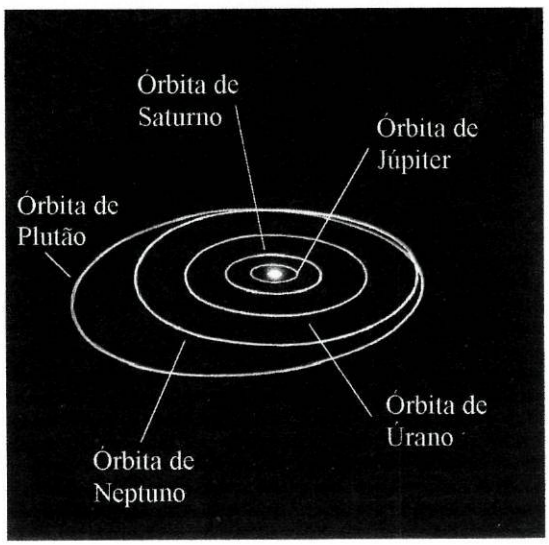


Figura 3.37
Aresta do cubo: 20 000 000 000 km (133,7 u.a.)
Volume do cubo: 2 390 000 u.a. cúbicas (8×10^{30} km^3)
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 18,5 h
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

A próxima viagem, em direcção ao exterior do Sistema Solar, será realizada no interior de um cubo com 13 370 u.a de aresta. O espaço dentro deste quinto cubo é quase o vazio (figura 3.38). A órbita do planeta Plutão reduziu-se a uma elipse muito próxima do Sol que, visto do bordo do cubo, se parece com uma vulgar estrela brilhante. Apesar deste cubo ter dimensões enormes, a estrela *Proxima Centauri* fica distanciada do centro do

cubo cerca de 2 vezes a aresta. A partir deste cubo, as dimensões tornar-se-ão demasiado grandes. Deste modo, as unidades de medida *quilómetro* e *unidade astronómica*, passarão a ser desajustadas para as distâncias em causa, obrigando os astrónomos a utilizar o *ano-luz* e o *parsec* .

O sexto incremento leva-nos a um cubo de 21 a.l. de aresta. No interior deste cubo já se encontram algumas estrelas, como por exemplo, o triplo sistema de estrelas *Proxima Centauri*, *Alfa Centauri A* e *B*, o duplo sistema *Sirius A* e *B*, entre outras (figura 3.39). Nesta escala e observado do bordo do cubo, o Sol seria visto como uma estrela brilhante no seio de outras de fraca luminosidade. Para se ter uma ideia aproximada da escala utilizada, se o Sol fosse da tamanho de uma laranja grande (cerca de 9 cm de diâmetro), o cubo imaginário teria as dimensões do diâmetro da Terra. *Sirius*, a estrela mais brilhante do céu nocturno terrestre, neste cubo, é mais brilhante que o Sol, devido à sua proximidade com a face do cubo.

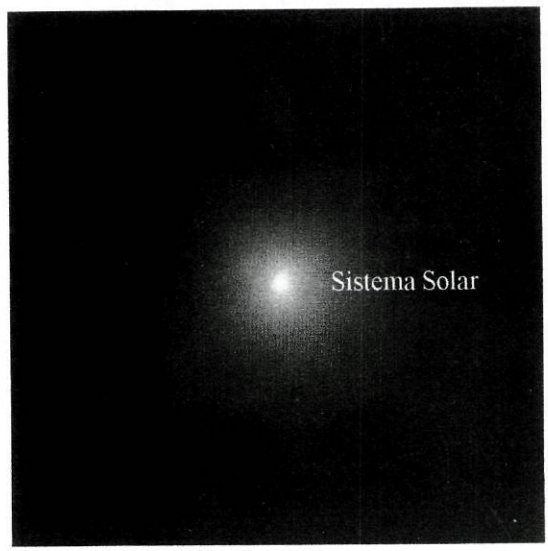


Figura 3.38

Aresta do cubo: 13 370 u.a (0,21 a. l.)
Volume do cubo: 2,390 biliões de u.a. cúbicas
(2 390 000 000 000 u.a.^{3} =2,39×10^{12} u.a. cúbicas)
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 77,22 dias
Número estimado de cometas no interior do cubo: um bilião (1×10^{12} cometas)
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

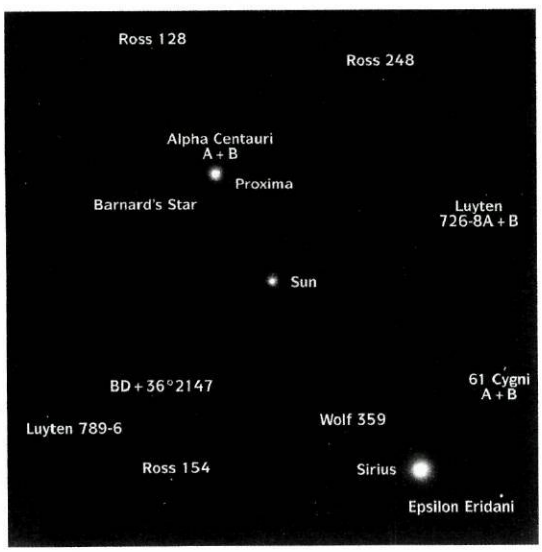


Figura 3.39

Aresta do cubo: 1 337 000 u.a (21 a. l.)
Volume do cubo: 9 261 a.l. cúbicos (2,39×10^{18} u.a.^{3})
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 21 anos
Distância do Sol a: *Sirius*, 8,6 a.l.; *Proxima Centauri*, 4,22 a.l.; *Epsilon Eridani*, 10,5 a.l..
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

O espaço entre as estrelas não é o vácuo mas aproxima-se muito disso: para cada centímetro cúbico de espaço entre estrelas, existe menos de um átomo, em comparação com os 10 triliões de átomos existentes num centímetro cúbico de ar terrestre, ao nível das águas do mar (10^{19} átomos).

Para continuar a nossa viagem, temos que ampliar o nosso cubo imaginário para os 2 100 a.l. de aresta (643,8 pc) e incluir nele muito mais estrelas que as que são visíveis a olho nu a partir da Terra (figura 3.40). Neste cubo aparecem alguns objectos celestes conhecidos tais como as *Pleiades*, a nebulosa de *Orion* e algumas estrelas brilhantes. Todos se encontram muitos anos-luz afas-

tados uns dos outros, apesar de não parecer na figura. Atendendo que a semi-diagonal espacial deste cubo mede cerca de 1819 a.l., podemos dizer que nele se incluem objectos celestes cujas distâncias ao Sol sejam inferiores 1 819 a.l., como por exemplo, *Betelgeuse* que se situa a 430 a.l. do Sol ou a *Nebulosa de Orion*, que se situa a 1 400 a.l. de distância. Apesar do número de estrelas incluídas neste cubo ser enorme, representa apenas uma milésima de um por cento das estrelas existentes na galáxia Via Láctea, isto é, cerca de 2 milhões de estrelas.

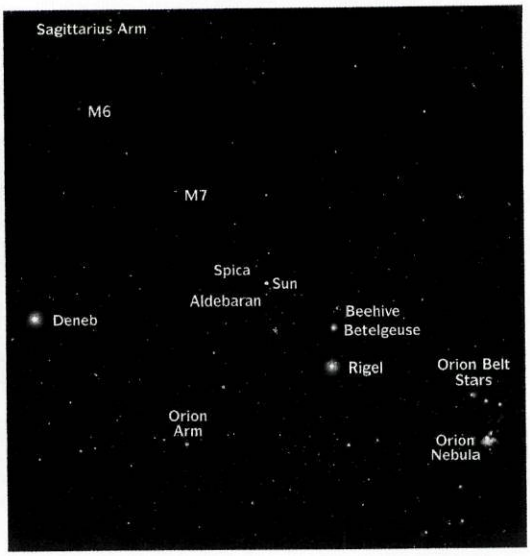


Figura 3.40

Aresta do cubo: 2 100 a. l.

Volume do cubo: 9 261 milhões de a.l. cúbicos ($9{,}261\times10^{9}$ a.l.^{3})

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 2 100 anos

Distância do Sol a: *Aldebaran*, 65 a.l.; *Spica*, 260 a.l.; *Pleiades*, 370 a.l.; enxame M7, 800 a.l..

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

O cubo seguinte terá 210 000 a.l. de aresta (64 386 pc) e nele estarão incluídas a Via Láctea, as Nuvens de Magalhães, algumas galáxias anãs (como por exemplo, *Draco*, *Sculptor*, *Sagittarius*) e milhares de milhões de estrelas (figura 3.41). O Sol, situado a cerca de dois terços do centro da Galáxia, demora cerca de 220 milhões de anos a dar a volta ao centro da Via Láctea (tem uma velocidade órbital próxima de 1 u. a. por semana):, o Sol e todo o Sistema Solar, desde a sua formação (há cerca de 5,5 mil milhões de anos), devem ter realizado 25 dessas viagens.



Figura 3.41

Aresta do cubo: 210 000 a. l.

Volume do cubo: 9 261 biliões de a.l. cúbicos ($9{,}261\times10^{15}$ a.l.^{3})

Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 210 000 anos

Diâmetro da Via Láctea: 100 000 a.l.

(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson

O nono cubo (figura 3.42) leva-nos a dar um enorme salto em direcção ao bordo do Universo pois passará a ter 21 000 000 a.l. de aresta (6,44 Mpc). Neste volume do Universo, a Via Láctea não passa de um salpico de tinta no meio de dezenas de pintas que representam galáxias. Situado no centro deste cubo, encontra-se o Grupo Local de galáxias ligadas gravitacionalmente umas às outras, formando uma família de galáxias. Neste grupo, somente a Andrómeda é comparável à galáxia Via Láctea.

O espaço intergaláctico é quase o vácuo: exis-

te apenas um átomo por metro cúbico no *vazio* entre galáxias. No entanto, estas estruturas não se encontram espalhadas aleatoriamente no Universo mas agregadas em enxames e estes em superenxames. Isto leva-nos ao décimo cubo imaginário, cuja aresta medirá 2,1 mil milhões de anos-luz (figura 3.43).

O superenxame a que pertencemos, Enxame da Virgem, situa-se no centro do cubo. O Grupo Local encontra-se na periferia do enxame da Virgem e as galáxias M81 e M82, que no cubo anterior se situavam na sua periferia, neste localizam-se próximo da região central.

O cubo seguinte desta viagem teria uma aresta com $2{,}1\times10^{11}$ anos-luz (210 mil milhões de anos-luz), excedendo a estimativa para a dimensão do Universo, que é de cerca de $1{,}5\times10^{10}$ anos-luz (15 mil milhões da anos-luz).

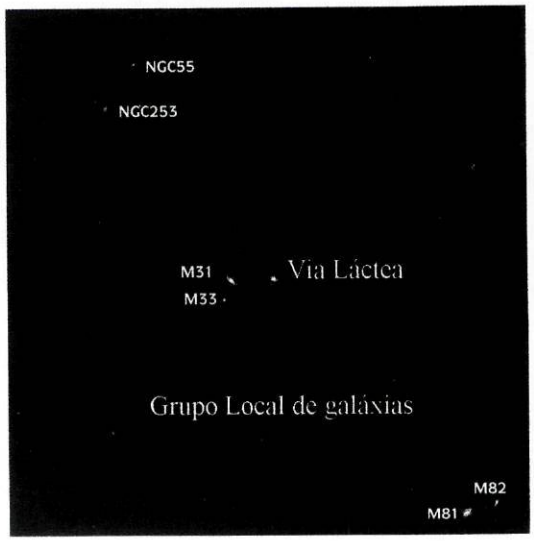


Figura 3.42

Aresta do cubo: 21 000 000 a. l. (6,44 Mpc)
Volume do cubo: 9 261 triliões de a.l. cúbicos ($9{,}261\times10^{21}$ a.l.^{3})
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 21 milhões de anos ($2{,}1\times10^7$ anos)
Distância à galáxia M31 (Andrómedra): $2{,}9\times10^6$ a.l.
Distância às galáxias M81 e M82: $1{,}1\times10^7$ a.l.
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

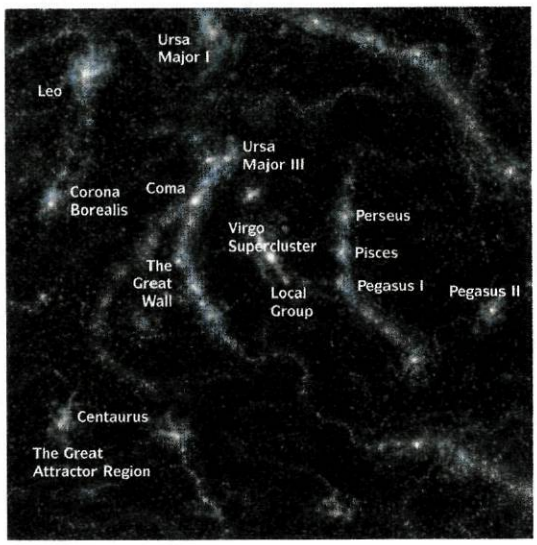


Figura 3.43

Aresta do cubo: 2 100 000 000 a. l. (644 Mpc)
Volume do cubo: 9 261 quatriliões de a.l. cúbicos ($9{,}261\times10^{27}$ a.l.^{3})
Tempo que a luz leva a atravessar o cubo: 2,1 mil milhões de anos ($2{,}1\times10^9$ anos)
Distância estimada entre superenxames: 300 milhões de anos-luz (3×10^8 a.l.)
(Adaptado de *NigthWatch*, de Terence Dickinson)

Uma concepção artística, diferente da apresenta, mostrando diferentes incrementos entre cubos sucessivos, encontra-se na figura 3.44. Partindo de um cubo cuja aresta mede 37 metros (dimensão do *Space Shuttle*, representado na parte inferior da figura) e incrementando cada resta no factor indicado, obtém-se cubos contendo a Terra, o Sistema Solar, algumas estrelas vizinhas do Sol, a Galáxia, o Grupo Local de galáxias e, por fim, enxames de galáxias.

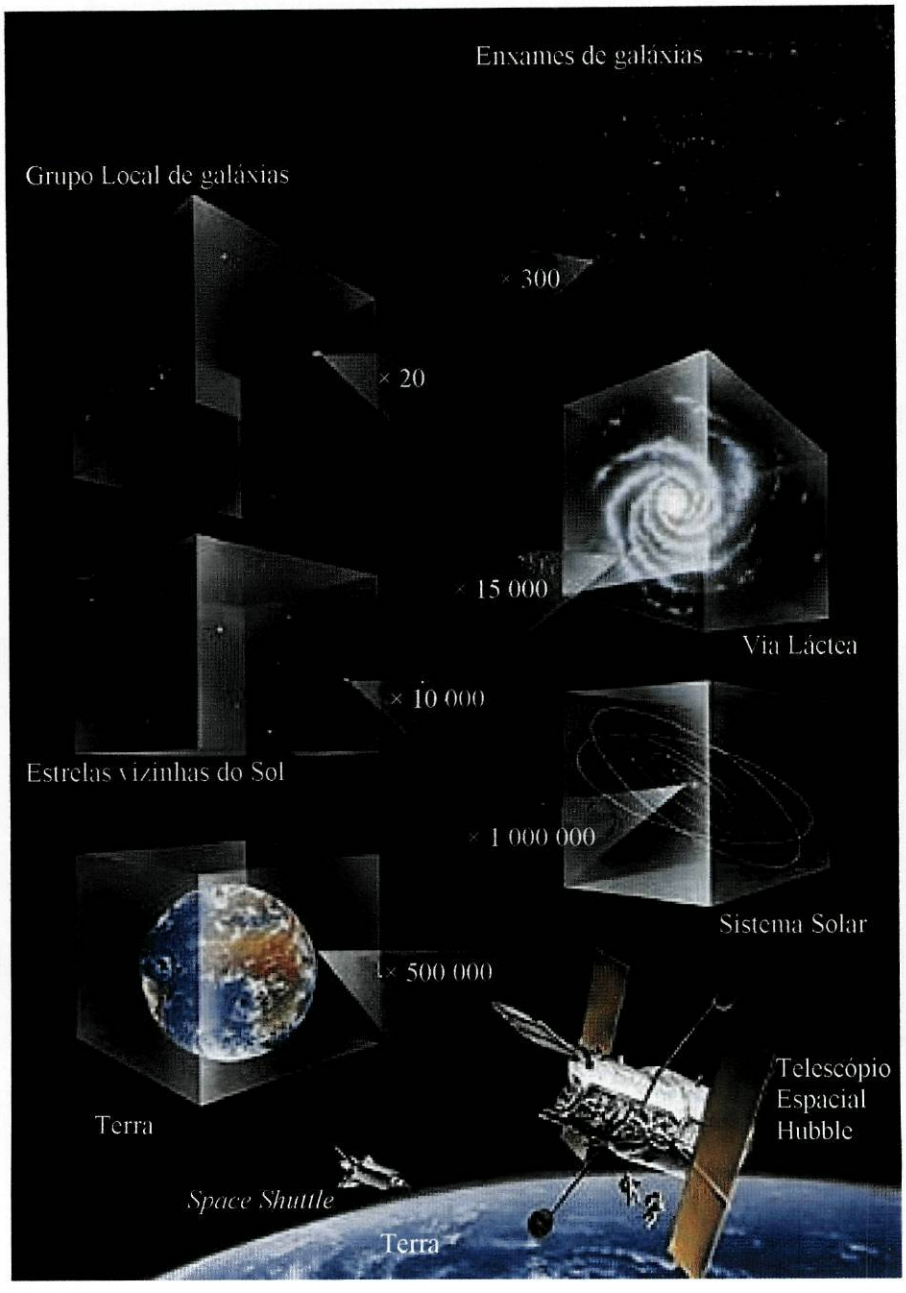


Figura 3.44

Esquema mostrando a dimensão aproximada do Universo em cubos sucessivos, cujas arestas foram incrementadas com os valores indicados. (Adaptado de http://www.astronomynotes.com/).

4. Réguas Cósmicas

A primeira régua das três apresentadas neste capítulo (figura 4.1) compara diversas dimensões que se podem encontrar no Universo: desde valores microscópicos como por exemplo, o diâmetro de um núcleo atómico com cerca de 10^{-15} metros, a valores macroscópicos como as distâncias às galáxias observadas pelo *Hubble Space Telescope*, distanciadas de nós cerca de $1{,}13\times10^{26}$ metros (uma diferença de 41 ordens de grandeza). Outros exemplos de dimensões poderão ser indicados: o diâmetro de uma molécula de botano com 10^{-9} metros e o enxame globular de estrelas M80, com $6{,}86\times10^{17}$ metros de diâmetro (26 ordens de grandeza de diferença); a dimensão de um vírus com $2{,}25\times10^{-7}$ metros e a extensão da cidade de Lisboa que é de $1{,}25\times10^{4}$ metros diferindo, entre si, de 11 ordens de grandeza.

A segunda régua (figura 4.2) apresenta uma escala de comparação de ordens de grandeza de velocidades no Universo como por exemplo, a velocidade de animais, de objectos construídos pelo homem ou eventos naturais. Esta escala tem 16 ordens de grandeza: desde a mais pequena, referente à velocidade de movimento das placas tectónicas, que é cerca de 10^{-9} metros por segundo, à velocidade da luz . Neste intervalo pode referir-se alguns exemplos: a velocidade média do caracol que é de $1{,}39\times10^{-2}$ metros por segundo ou a velocidade do insecto mais rápido, a libélula, que pode atingir 8,1 metros num segundo. Outros exemplos interessantes são a velocidade de deslocação de bactérias e a do comboio TGV com 10^{-8} metros e $1{,}43\times10^{2}$ metros por segundo, respectivamente.

A terceira e última régua (figura 4.3) reduz a idade do Universo a um ano, apresentando nessa escala, alguns acontecimentos astronómicos e humanos. Supondo que a origem do Universo ocorre no primeiro dia do ano, às 0h 00m 00s, Jesus Cristo teria nascido 4 segundos antes de terminar esse ano; o Tratado de Zamora entre D. Afonso Henriques e o reino de Castela em 1143 reconhecendo o reino de Portugal, ocorre, nesta escala a 1,716 segundos do fim do ano! E a descoberta do Brasil pelos portugueses, ocorre a um segundo da meia noite do último dia desse ano! Na realidade, estes acontecimentos ocorreram em épocas que diferem entre si de 357 anos mas, nesta escala, correspondem a apenas 72 centésimas de segundo de diferença. Se recuarmos 65 milhões de anos, atingiremos a época em que os dinossauros foram extintos. No entanto, este acontecimento distanciado de nós muitos anos, nesta escala, teria ocorrido apenas no dia anterior ao do nascimento de Jesus Cristo. Em comparação com a ocorrência de outros eventos no Universo, como por exemplo, o nascimento das primeiras galáxias há 13 mil milhões de anos (nesta escala, a 9 de Fevereiro), poder-se-á dizer que a extinção dos dinossauros foi um evento recentíssimo.

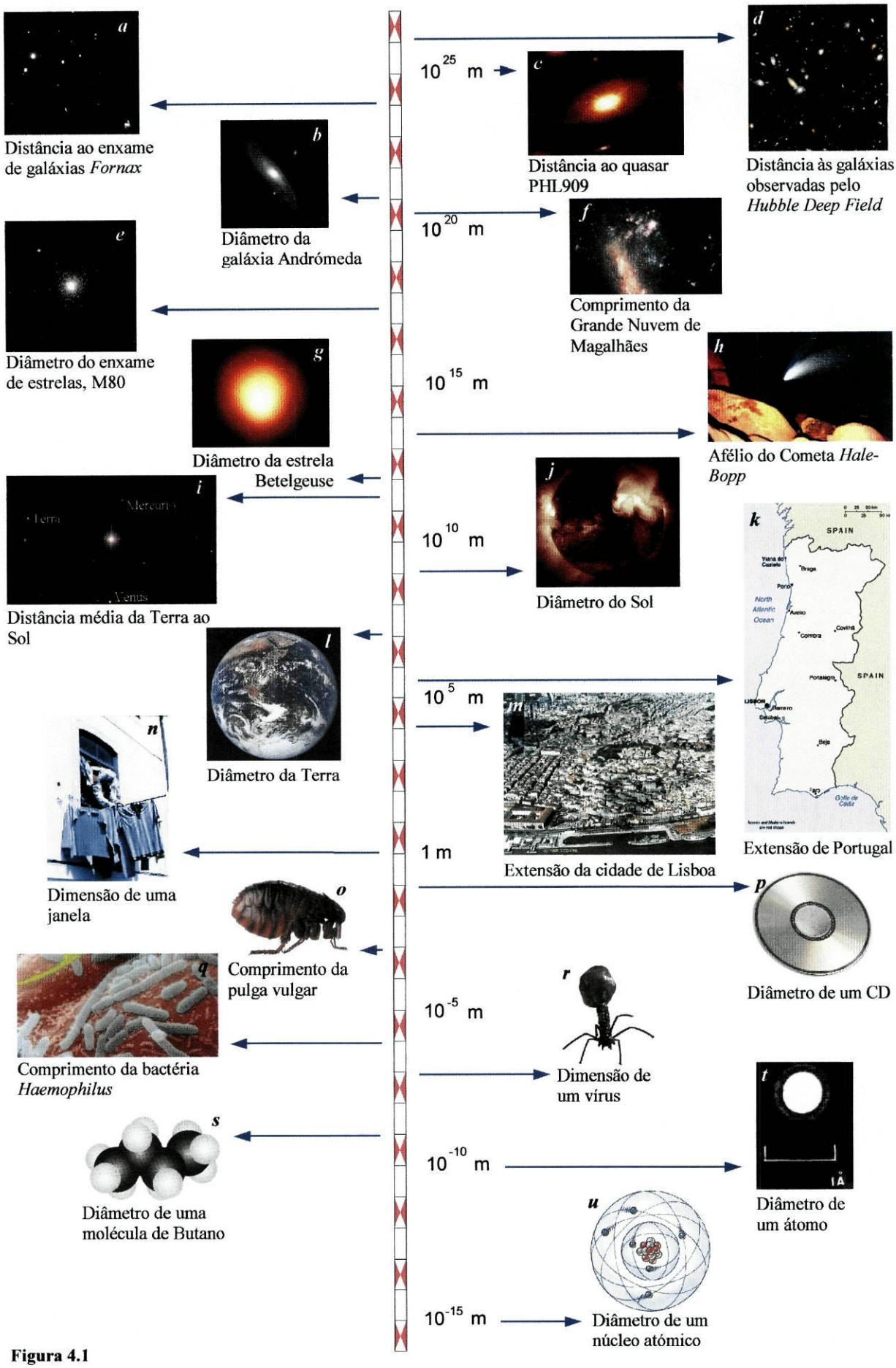
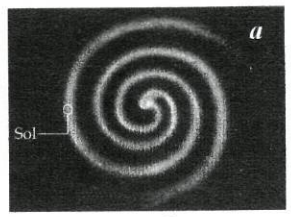


Figura 4.1

Esquema mostrando ordens de grandeza de algumas dimensões existentes no Universo.



O Sol em torno do centro galáctico.



A Lua em torno da Terra.



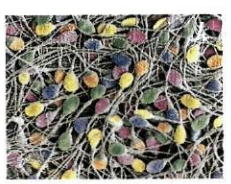
Comboio TGV.



Voo da libélula.



Caracol.



Espermatezóides.



Movimento de placas tectónicas

10^{7} m/s



A luz.

10^{5} m/s



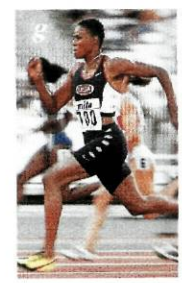
A Terra em torno do Sol.

10^{3} m/s



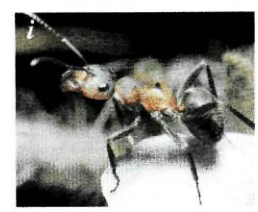
Som no ar.

10^{1} m/s



Corrida humana.

10^{-1} m/s



Formiga.

10^{-3} m/s

10^{-5} m/s



Deslizamento de glaciares.

10^{-7} m/s



Bactérias.

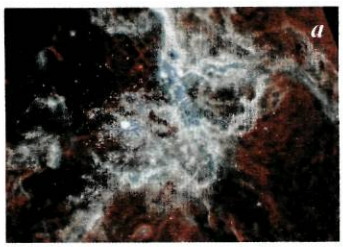
10^{-9} m/s

Figura 4.2

Esquema mostrando ordens de grandeza de algumas velocidades existentes no Universo.

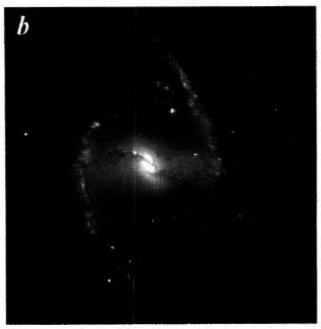
1 de Janeiro
00h 00m 00s

Origem do Universo: *Big Bang*, há 15 mil milhões de anos.



Nascimento das primeiras estrelas 100 milhões de anos após o *Big Bang* (Imagem: região de formação de estrelas *30 Doradus*, na Grande Nuvem de Magalhães).

3 de Janeiro



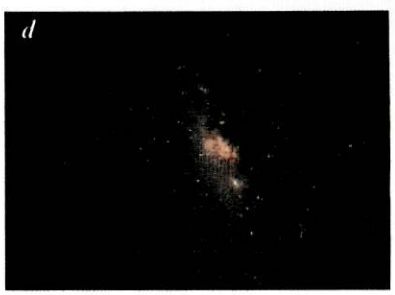
9 de Fevereiro

Nascimento das primeiras galáxias, há cerca de 13 mil milhões de anos (Imagem: galáxia NGC1365).



Assim como as estrelas se atraíram para formar galáxias, estas , há cerca de 11,5 mil milhões de anos, também começaram a aglutinar-se para formarem os enxames de galáxias.(Imagem: enxame de galáxias Abell98).

24 de Março



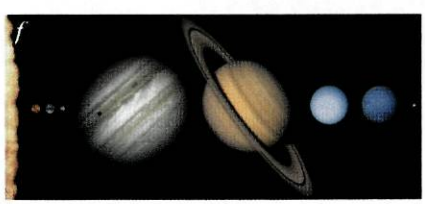
1 de Maio

Há cerca de 10 mil milhões de anos ocorreu a formação da Via Láctea, 5 mil milhões de anos depois do *Big Bang* (Imagem: região central da Galáxia, na constelação *Sagittarius*).



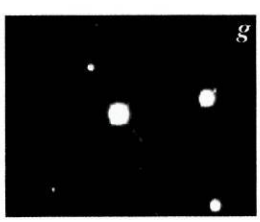
Início da formação dos primeiros sistemas planetários na Galáxia, há 6,7 mil milhões de anos (Imagem: vista hipotética do sistema planetário *Epsilon Eridani*).

10 de Junho



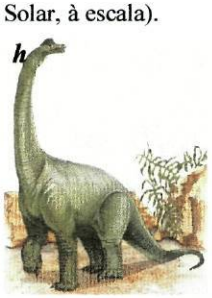
13 de Setembro

1,7 mil milhões de anos após o aparecimento dos sistemas planetários, ocorreu a formação do nosso Sistema Solar, há cerca de 5 mil milhões de anos (Imagem: Sistema Solar, à escala).



Há 2 mil milhões de anos nascia o que se julga ser o *quasar* mais próximo. (Imagem: *quasar* 3C273, na constelação Virgem).

12 de Novembro



30 de Dezembro
9h 00m 00s

Extinção dos dinossauros pela queda de um cometa há 65 milhões de anos.



Nascimento do enxame *Pleiades*, há 20 milhões de anos.

31 de Dezembro
12h 00m 00s



Criação do reino de Portugal, há 859 anos.

23h 59m 56s



Nascimento de Jesus Cristo.

23h 59m 58.284s



Descobrimento do Brasil há 500 anos.

23h 59m 59s

Figura 4.3

Esquema com a idade do Universo reduzida a um ano e alguns acontecimentos nessa escala.

5. Conclusão

Actualmente os astrónomos defendem que o Universo nasceu no *Big Bang* e que não deixou de se expandir desde há cerca de 15 mil milhões de anos. Nessa altura foram criadas, em alguns minutos, a energia e toda a matéria existente. Em comparação, o Sol e a Terra, têm cerca de 5 mil milhões de anos e os primeiros humanos (género *Homo*) têm menos de 2 milhões de anos.

Durante muito tempo, acreditou-se que as estrelas se encontravam todas à mesma distância da Terra, presas à abóbada celeste. Hoje, sabe-se que algumas estrelas se encontram perto (em comparação com outros objectos longínquos), outras longe, mas também que elas podem ser muito brilhantes ou muito discretas, minúsculas ou gigantescas, e de muitas cores. Como o Universo, ou como os homens, as estrelas também não são eternas. Têm uma história de vida apesar de não ser possível observar directamente esse intervalo de tempo: nascem um dia, vivem durante poucos ou muitos anos dependendo da sua massa inicial e acabam por morrer. É o que se espera do Sol, dentro de 5 mil milhões de anos. As estrelas encontram-se organizadas em gigantescas concentrações, as galáxias, de tamanhos e formas diversas. As galáxias, por sua vez, aglomeram-se em conjuntos de galáxias que, numa escala maior, se organizam em estruturas, semelhantes à estrutura da espuma de sabão, em que as bolhas representam regiões quase vazias de galáxias.

Com este trabalho pretendia-se, de uma forma simples, estudar e, sempre que possível ilustrando com imagens, alguns valores de grandezas existentes no Universo, em especial, a distância. A concretização desse objectivo passou pela comparação de dimensões e utilização de relações de semelhança entre objectos de modo a tornar mais acessível à nossa compreensão a imensidão do Universo. De facto, os valores das grandezas são tão díspares, tanto na distância, no tempo ou na quantidade de energia que, quando comparados com os valores encontrados no nosso dia-a-dia, tornam-se facilmente incompreensíveis. A realização deste trabalho permitiu entrar em contacto com essa imensidão de números utilizados em astronomia, permitindo um maior aprofundamento do conhecimento sobre este tipo de grandezas. Embora nas escolas portuguesas não exista uma disciplina de ensino da Astronomia, as dimensões do Sistema Solar, das estrelas, galáxias ou enxames de galáxias, velocidades dos planetas nas respectivas órbitas, tempo necessário para os atingir assim como às estrelas, temperatura e luminosidades das mesmas ou as distâncias às galáxias, por exemplo, são grandezas que se podem estudar facilmente, tendo em consideração somente os valores numéricos e não o processo para obtê-los. Cremos que as secções apresentadas ao longo desta dissertação poderão

ser sugestões de trabalho que podem ser realizadas por alunos do 7º ano de escolaridade e níveis seguintes. São secções que fornecem pistas para investigação e trabalho de projecto e que apontam para uma grande interdisciplinaridade entre diversas disciplinas de ciências e mesmo de línguas estrangeiras, através da utilização de bibliografia adequada ou pesquisa de imagens na *internet*. Para além disso, a Astronomia é útil para o desenvolvimento da perspectiva do ser humano, relativamente à sua existência e sua relação com o cosmos, fornecendo aos adolescentes uma boa formação pessoal sobre a história de todos nós, pois desafia a capacidade de cada um para compreender a vastidão das grandezas no Universo. Se quisermos conhecer a história humana consultemos livros e recuemos no tempo cerca de 3 000 anos; para acontecimentos anteriores a esta data, consultemos arqueólogos e antropólogos que nos fornecem conhecimentos referentes aos primeiros primatas, por exemplo, recuando cerca de 12,8 milhões de anos; se quisermos saber mais para além desta data, consultemos paleontólogos, biólogos e geólogos obtendo informação sobre as primeiras evidências da vida na Terra e sua evolução, recuando cerca de 3 500 milhões de anos; para termos conhecimento sobre períodos anteriores à formação da Terra, consultemos astrónomos obtendo deste modo informações sobre a vastidão do tempo, formação do Sistema Solar, formação da Via Láctea e origem do Universo no *Big Bang*, modificando as nossas noções de tempo e de evolução cósmicas, compreendendo portanto, que o Universo é um lugar dinâmico, em permanente mudança.

Por fim, gostaríamos de referir a satisfação sentida ao elaborar este trabalho. Muitas questões se levantaram sobre a vastidão das distâncias e tamanhos dos corpos celestes, no fundo, a imensidão do Universo. Quando, no exterior, observamos o céu nocturno tentamos compreender a ideia, desanimadora, de que a Terra é apenas uma partícula à deriva no oceano espacial. Apesar disso, não nos sentimos esmagados nem insignificantes, pois actualmente conhecemos o suficiente do espaço de modo a reconhecer o nosso lugar no cosmos, pelo menos no sentido físico. Só por esse facto não podemos pensar que somos insignificantes, apesar da nossa pequenez em comparação com outras dimensões. Pessoalmente, observar o céu nocturno não um acto esmagador, antes um acto revigorante: é uma comunhão entre a beleza e a imensidão do Universo, uma experiência simultaneamente redutora, estimulante e gratificante. Tudo isto gostaríamos de transmitir às gerações vindouras que frequentarão as Escolas.

Bibliografia

Obras

Amaral, Ilídio do – *Enciclopédia Geográfica*, 1ª Edição, Selecção do Reader's Digest, Lisboa, 1988.

Ash, Russel – *O Livro Fantástico das Comparações Incríveis*, 1ª Edição, Livraria Civilização Editora, Lisboa, 1996.

Beaumont, Émilie – *O Universo*, 1ª Edição, Livros e Livros, Lisboa, 2000

Becklake, Sue – *O Grande Livro do Espaço*, 1ª Edição, Impala Sociedade Editorial, S.A., Queluz, 1997.

Burnie, David – *Vida Microscópia*, 1ª Edição, Livraria Civilização Editora, Lisboa,1997.

Couper, Heather; Henbest, Nigel – *Atlas do Universo*, 1ª Edição, Livraria Civilização Editora, Lisboa, 1999.

Dickinson, Terence – *NightWatch: A Practical Guide to Viewing the Universe*, 3th Edition, Firefly Books, Ontario, 2000.

Hoskin, Michael – *The Cambridge Illustrated History of Astronomy*, 1ª Edição, Cambridge University Press, United Kingdom, 1997

Kaufmann, William; Freedman, Roger – *Universe*, 5th Edition, W.H. Freeman and Company, New York, 1999.

Kerrod, Robin – *Atlas Juvenil do Espaço*, 2ª Edição, Editorial Notícias, Lisboa, 1999.

Levy, David – *Observar o Céu*, 1ª Edição, Edições Atena, S. Pedro do Estoril, 1998.

Lidman, Sven – *Enciclopédia Combi Visual*, 1ª Edição, Editorial Baber S.A., Lisboa, 1989.

Macquitty, Miranda - *Insectos Fantásticos*, 1ª Edição, Livraria Civilização Editora, Lisboa, 1996.

Mattoso, José – *História de Portugal*, Volume II, 1ª Edição, Editorial Estampa Lda, Lisboa, 1993.

Nobre, José; Vitorino, Nuno - *Grande Atlas do Mundo*, 1ª Edição, Público/Edições Temas da Actualidade S.A., Lisboa.

Press, Frank; Siever, Raymond – *Understanding Earth*, 1ª Edição, W. H. Freeman and Company, New York, 1994.

Sagan, Carl – *O Ponto Azul-Claro*, 1ª Edição, Gradiva Publicações Lda, Lisboa, 1995.

Stott, Carole – *O Guia do Astrónomo*, 1ª Edição, Livraria Civilização Editora, Lisboa,1999.

Manuais Escolares

Baldaia, Ludovina; Gramaxo, Fernanda; Santos, M. Ermelinda; Silva, A. Dias da – *Terra, Universo de Vida*, 1ª Parte,12º ano de escolaridade, 1ª Edição, Porto Editora, Porto, 2001.

Bello, Adelaide; Caldeira, Helena – *Ritmos e Mudanças*, Física 11º ano de escolaridade, 1ª Edição, Porto Editora, Porto, 1998.

Cavaleiro, M. Neli G. C.; Beleza, M. Domingas – *No Mundo da Física*, 8º ano de escolaridade, 1ª Edição, Edições Asa, Porto, 1999.

Ferrão, Maria Leonor; Silva, Marília – *Energias*, 8º ano de escolaridade, 1ª Edição, Constância Editores S.A., Carnaxide, 1999.

Fiolhais, Carlos; Silva, Luís; Teodoro, Vítor Duarte; Valadares, Jorge - *Química*, 8º ano de escolaridade, 1ª Edição, Didáctica Editora, Lisboa, 1994.

Jacinto, Elisabete; Pina, M. Eduarda – *A Terra em Movimento*, Guia de Aprendizagem de Ciências do Ambiente, Ensino Básico Recorrente, 1ª Edição, Plátano Editora S.A., Lisboa, 1996.

Leal, I. Júlia; Serapicos, M. Hortense; Pinto, M. de Lurdes – *Técnicas Laboratoriais de Biologia*, Bloco I, Ensino Secundário, 2ª Edição, Edições Asa, Rio Tinto, 1999.

Mendonça, Lucinda Santos; Ramalho, Marta Duarte - *Ciências Físico-Químicas*, 8º ano de escolaridade, Texto Editora, Lisboa, 1999.

Morais, Ana Maria; Ribeiro, Luísa; Silva, Irene – *Química e Física*, 8º ano de escolaridade, 1ª Edição, Porto Editora, Porto, 1999.

Silva, Amparo; Cruz, Otília; Gramaxo, Fernanda; Santos, Ermelinda – *Biologia, Ciência da Vida*, 10º de escolaridade, Porto Editora, Porto, 1992.

Publicações Periódicas

Astronomy, Kalmbach Publishing Corporation, United States of America.

Ciel et Espace, Association Française d'Astronomie, France.

Mensageiro do Coração de Jesus, Secretariado Nacional do Apostolado da Oração da Província Portuguesa da Companhia de Jesus, Braga

Pour la Science - Vie et mœurs des étoiles, Édition Française de Scientific American, France.

Scientific American Magnificant Cosmos, Scientific American, Inc., United States of America.

Sky & Telescope, Sky Publishing Corporation, United States of America.

Super Interessante, Abril/Controljornal Editora, Linda-a-Velha

Outras Publicações

A União Europeia, Estados Membros e Países Candidatos, Serviço das Publicações Oficiais das Comunidade Europeias, Comissão Europeia, Luxemburgo, 2001.

Atletismo de Pista, Colecção Os Livros Olímpicos do Ziggy, Didáctica Editora, Lisboa, 2000.

Beaux-Arts Magazine et le Toit de la Grande Arche, França, 1990.

Europa: Atlas Rodoviário e Turístico, Michelin Edições de Viagem, Prior Velho, 2001.

Mapa de estradas da Europa nº 970, Michelin, 2001.

Mapa de estradas de Portugal, Automóvel Clube de Portugal, 92ª Edição, 2000/2001.

Mapa de estradas de Portugal, Edições Poseidon Lda, Albufeira,1994.

Mapa de estradas dos Estados Unidos nº 491, Michelin, 2001.

Mapa de estradas dos Estados Unidos nº 492, Michelin, 2001.

Mapa de estradas dos Estados Unidos nº 493, Michelin, 2001.

Mapa do Algarve, publicação da Região de Turismo do Algarve, 1997.

Mapa do Concelho de Faro, publicação da Região de Turismo do Algarve,1997.

Mapa do Concelho de Loulé, publicação da Região de Turismo do Algarve,1997.

Planta da Cidade do Porto, Porto Editora, 1997

Viajar na Europa, Serviço das Publicações Oficiais das Comunidade Europeias, Comissão Europeia, Luxemburgo, 2001.

The Postcard Factory, Canada, 1991.

Programas Computacionais

Starry Night Pro, Sienna Software Incorporated, Canada, 1999.

World Wide Web (*home pages*)

http://antwrp.gsfc.nasa.gov/

http://cass.jsc.nasa.gov/

http://dosxx.colorado.edu/

http://europa.eu.int/

http://if.ufrgs.br/

http://lisboa.kpnqwest.pt/

http://kids.infoplease.lycos.com/

http://mercurio.iet.unipi.it/

http://nssdc.gsfc.nasa.gov/

http://nsidc.org/

http://nvo.gsfc.nasa.gov/

http://oposite.stsci.edu/

http://pcgo.if.ufrgs.br/

http://pds.jpl.nasa.gov/

http://qmcweb.dq.ufscar.br/

http://ringside.arc.nasa.gov/

http://seds.lpl.arizona.edu/

http://solar-center.stanford.edu/

http://solarviews.com/

http://thierryailleret.citeglobe.com/

http://users.capu.net/

http://violet.pha.jhu.edu/

http://vraptor.jpl.nasa.gov/

http://vulcan.wr.usgs.gov/

http://whales.magna.com.au/

http://www2.smumn.edu/

http://www.astronomynotes.com/

http://www.noao.edu/

http://www.africaelephants.com/

http://www.astronomy.com/

http://www.astrosurf.com/

http://www.cheetahspot.com/

http://www.ci.chi.il.us/

http://www.damtp.cam.ac.uk/

http://www.dolphinsynergy.com/

http://www.eso.org/

http://www.geocities.com/

http://www.hawastsoc.org/

http://www.hooverdam.usbr.gov/

http://www.jpl.nasa.gov/

http://www.krsstal.com/

http://www.noao.edu/

http://www.physics.gmu.edu/

http://www.quackin.com/

http://www.raileurope.com/

http://www.skytelescope.com/

http://www.solarviews.com/

http://www3.vantek.net/

http://www-cse.ucsd.edu/

http://www-hpcc.astro.washington.edu/

http://www.zenite.nu/

Outras Fontes de Informação

Apontamentos das disciplinas leccionadas no curso de Mestrado Ensino da Astronomia do Departamento de Matemática Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto:

Astronomia Galáctica e Extragaláctica, Ano Lectivo de 1999/2000.

Ensino da Astronomia nas Escolas, Ano Lectivo de 2000/2001.

O Sistema Solar, Ano Lectivo de 1999/2000.