

DESENHANDO ELIPSES DE QUALQUER EXCENTRICIDADE

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Apresentação

Esta atividade é conhecida também como o método do “jardineiro” para desenhar elipses, uma maneira simples de desenhar elipses de qualquer excentricidade, usando apenas lápis, papel e outros materiais simples e baratos.

Objetivo

Desenhar as órbitas dos planetas e cometas com as corretas excentricidades.

Sugestão de problematização

A soma das distâncias de um ponto qualquer da elipse aos focos é igual a uma constante. Qual é esta constante?

Materiais

- 1 lápis
- 1 folha de papel A4
- 1 régua
- Barbante
- 2 alfinetes (“cabeçudo” ou “alfinete de costureira”)
- 1 folha de papelão (opcional)

Procedimentos

1. Escolher, arbitrariamente, o comprimento do eixo maior (A) da elipse. Por exemplo, para fazer uma elipse cujo eixo maior ocupe quase toda a folha de papel A4, quando deitada, usar $A = 20$ cm. Mas isso é absolutamente arbitrário. Pode-se escolher o A que quiser, pois ele só determina o tamanho da elipse e não a sua forma, ou seja, ele não interfere na excentricidade.
2. Pode-se desenhar, por exemplo, a órbita de Plutão. Neste caso, deve-se utilizar a excentricidade já conhecida da órbita de Plutão, ou seja: $e = 0,25$.
3. Depois, determinar a distância entre os focos da elipse. Conhecida (ou dada) a excentricidade ($e = 0,25$) e escolhido o comprimento do eixo maior ($A = 20$ cm), obtém-se a distância entre os focos F pelo produto $F = e \times A$, ou seja: $F = 0,25 \times 20 = 5,0$ cm.
4. Marcar dois pontos separados pela distância F no centro de uma folha A4 deitada, conforme mostra a Figura 1.32. Sob esta folha colocar uma folha de mesmo tamanho de papelão (de preferência grosso). Sobre cada foco fincar um alfinete.
5. Cortar um pedaço de barbante com um comprimento útil dado por $L = F + A$. Em nosso caso, $L = 5 + 20 = 25$ cm. De fato, o barbante deverá ser uns 10 cm maior do que isso para que se possa fazer uma laçada que contenha exatos 25 cm úteis, e isso é muito importante para a precisão do desenho.
6. Em seguida, é só colocar a laçada envolvendo os dois alfinetes e com a ponta de um lápis na vertical, mantendo o fio sempre esticado, como mostra a figura a seguir, desenhar a elipse. Você acabou de reproduzir a órbita de Plutão.

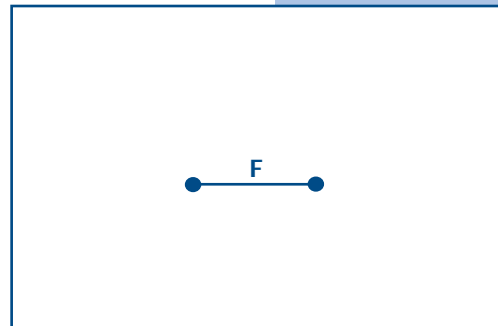


Figura 1.32. Representação de uma folha de papel A4, na posição "paisagem", com os dois pontos separados pela distância interfocal, F , já calculada.

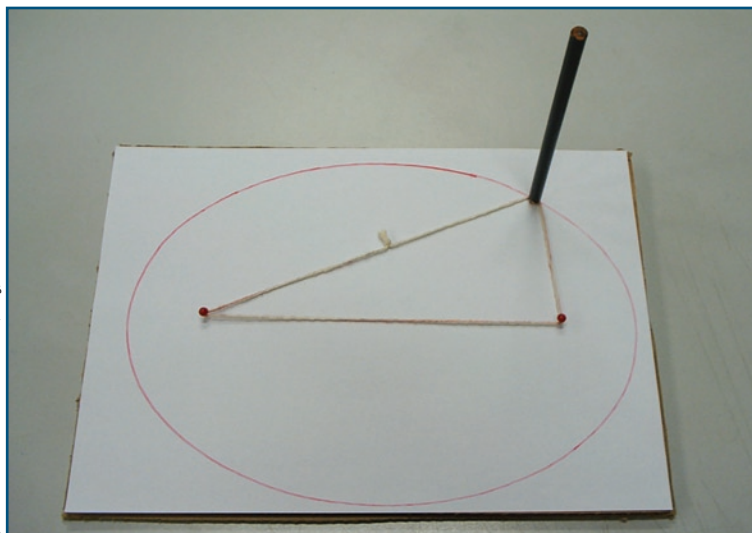


Figura 1.33. Esquema do método do jardineiro para desenhar uma elipse.

Orientações complementares

Na ausência de “alfinetes”, pode-se substituí-los simplesmente pelas pontas de dois lápis, que, neste caso, deverão ser segurados por alguém sobre a posição dos focos, para que a laçada de barbante passe ao redor deles.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, enquanto o círculo é definido pelo conjunto de todos os pontos que estão à mesma distância de um dado ponto, chamado centro, uma elipse é definida pelo conjunto de todos os pontos cuja soma das distâncias a dois pontos dados, chamados focos, é uma constante. Escolha um ponto qualquer da elipse, meça a distância dele a cada um dos focos dela, some-as e veja que esta soma é igual (ou muito próxima) ao comprimento do eixo maior da elipse, que é uma constante. Com isso você pode conferir se o seu desenho está correto.

COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL

João Batista Garcia Canalle (Uerj). Texto publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, nº 2, p. 141 - 144, 1994.

Apresentação

Quando os livros didáticos abordam o tema “Sistema Solar”, geralmente, apresentam uma figura esquemática do mesmo. Nesta figura o Sol e os planetas são desenhados sem escala e isto não é escrito no texto, o que permite ao aluno imaginar que o Sol e os planetas são proporcionais àquelas bolinhas (discos) lá desenhadas. Apesar de não estarem em escala, os planetas maiores são representados por bolinhas grandes e os menores por bolinhas pequenas, mas sem nenhuma preocupação com escalas. Em alguns livros o diâmetro do Sol é comparável ao de Júpiter, o que é um absurdo, claro!

Alguns livros apresentam, além das figuras esquemáticas, uma tabela com os diâmetros do Sol e dos planetas. Esta tabela também não ajuda muito, porque não se consegue imaginar as diferenças de tamanho dos planetas e do Sol apenas vendo os números dos seus diâmetros.

E como é possível dar uma visão concreta do tamanho dos planetas e do Sol aos alunos da Educação Infantil, do Ensino Fundamental e Médio sem recorrer aos números?

Sugerimos um procedimento experimental, que os alunos podem executar como tarefa extraclasse, reproduzindo (ou não) o material do professor, que permite visualizar corretamente a proporção desses astros sem fazer uso dos valores reais de seus diâmetros.

Esta atividade permite ver a gigantesca diferença de volume existente entre o Sol e os planetas. Só mesmo enchendo o balão

de látex e fazendo as bolinhas que representam os planetas é possível tomar consciência da enorme diferença que existe entre os volumes do Sol e dos planetas.

Em geral, os alunos participam, animadamente, desta atividade, que acaba se tornando uma experiência muito marcante para eles.

Objetivo

Visualizar os tamanhos dos planetas comparados ao do Sol.

Sugestão de problematização

Como calcular os tamanhos dos planetas se representarmos o Sol por uma esfera de 80 cm de diâmetro?

Materiais

- 1 rolo de barbante
- Folhas de papel pardo ou cartolinas coloridas
- Papel alumínio
- Jornais usados
- 1 balão de látex gigante (balão de aniversário), amarelo

Procedimentos

1. Para permitir uma visão concreta dos tamanhos dos planetas e do Sol, representaremos o Sol por uma esfera ou disco de 80,0 cm de diâmetro e, conseqüentemente, os planetas serão representados, na mesma proporção, por esferas ou discos com os seguintes diâmetros: Mercúrio (2,9 mm), Vênus (7,0 mm), Terra (7,3 mm), Marte (3,9 mm), Júpiter (82,1 mm), Saturno (69,0 mm), Urano (29,2 mm), Netuno (27,9 mm) e Plutão – o planeta anão (1,3 mm).
2. No item “Orientações complementares” estão os discos dos oito planetas e de Plutão, desenhados com os diâmetros já apresentados (Figura 1.37). Porém, o disco do Sol,

com 80 cm de diâmetro, precisa ser feito numa folha de papel pardo (papel de embrulho – Figura 1.36). Também podem ser usadas duas cartolinas amarelas, devidamente emendadas, ou até mesmo jornal. Para traçar o círculo de 80 cm de diâmetro, usamos um barbante com 82 cm de comprimento e amarramos as pontas formando uma laçada, que é usada como compasso.

3. Entretanto, melhor do que mostrar os discos dos planetas e do Sol é comparar os seus volumes. Para isso, é recomendável fazer os planetas, simplesmente, amassando papel alumínio. Para fazer Júpiter e Saturno é melhor amassar jornal e sobre este colocar o papel alumínio, que prende o jornal e ajuda a amassar mais para chegar ao volume correspondente aos discos desenhados na Figura 1.37.
4. Para representar o Sol, uma opção é usar um balão de látex gigante (balão de aniversário) (amarela, de preferência), tamanho grande (aquele que, geralmente, é colocado no centro do salão de festas, com pequenos brindes dentro dele, e é estourado ao fim da festa), que é encontrado em casas de artigos para festas (ou atacadistas de materiais plásticos). Existem vários tamanhos de balões grandes, de diversos fabricantes e, portanto, de diversos preços. Depois, é só encher o balão no tamanho certo, usando um pedaço de barbante de comprimento (C) igual a 2,51 m, com as pontas amarradas, pois, $C = 3,14 D$, sendo $D = 80$ cm (o diâmetro que o balão deve ter). À medida que o balão vai enchendo (na saída de ar do aspirador de pó, por exemplo), colocar o barbante no seu equador até que o barbante

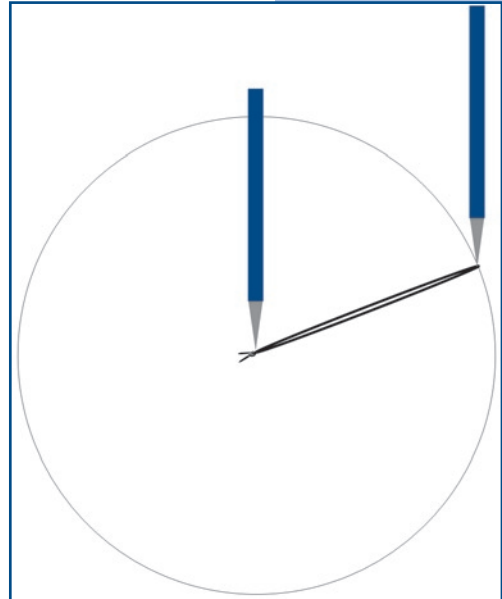


Figura 1.34. Desenho esquemático do procedimento 2.

João Batista Garcia Canalle (UERJ).



Figura 1.35A. Foto do balão de látex gigante dentro da respectiva embalagem.

João Batista Garcia Canalle (UERJ).

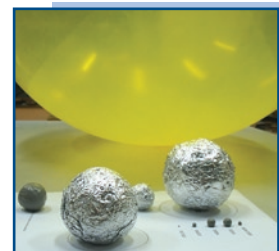


Figura 1.35B. Comparando o Sol (balão inflado) e os planetas (esferas de papel alumínio).

João Batista Garcia Canalle (UERJ).

circunde, perfeitamente, o balão. É fundamental que o barbante seja posicionado no equador (meio) do balão durante o enchimento, pois, se ele ficar acima ou abaixo do equador do balão, ele poderá estourar, para a alegria dos alunos.

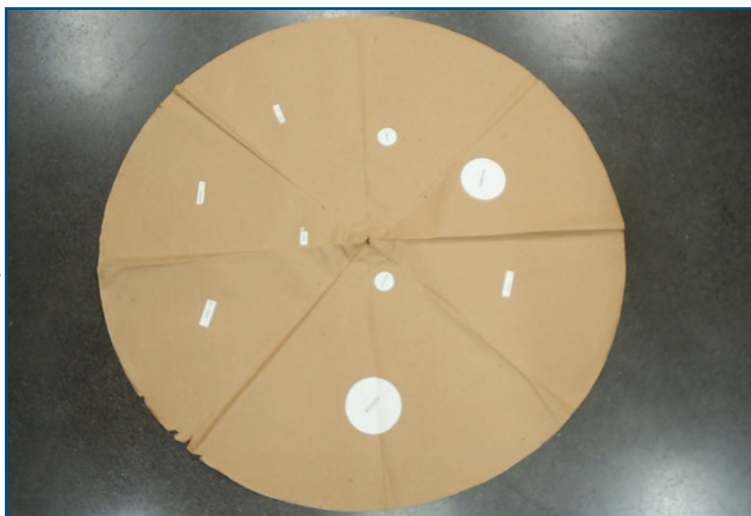
Orientações complementares

- Diâmetros equatoriais do Sol e dos planetas

ASTRO	DIÂMETRO NA ESCALA (MM)	DIÂMETRO EQUATORIAL (KM)
Sol	800,0	1.390.000
Mercúrio	2,8	4.879,4
Vênus	7,0	12.103,6
Terra	7,3	12.756,28
Marte	3,9	6.794,4
Júpiter	82,3	142.984
Saturno	69,4	120.536
Urano	29,4	51.118
Netuno	28,9	49.492
Plutão*	1,3	2.320

*Plutão, o planeta anão, está relacionado aqui por razões históricas.

- Disco solar e planetas



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.36. Disco solar e planetas.

- Discos dos oito planetas e de Plutão, o planeta anão.

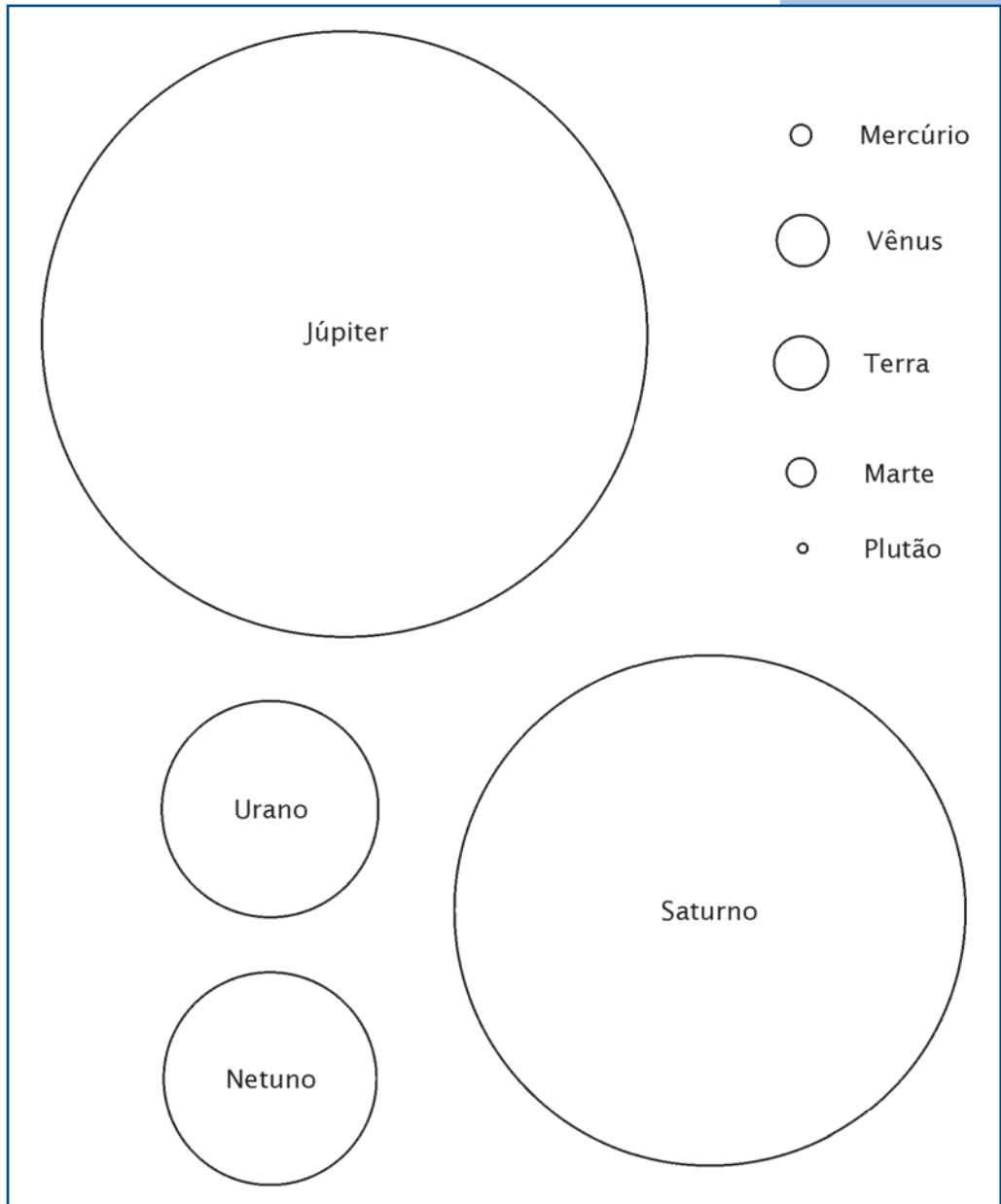


Figura 1.37. Discos dos oito planetas (e de Plutão) na escala adotada no quadro 1.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, você pode trabalhar com seus alunos a enorme diferença de tamanho que existe entre os planetas quando comparados ao Sol.

A partir do trabalho com os discos, os alunos podem confeccionar móveis coloridos e de tamanhos diferentes. Isso os ajudará a trabalhar proporcionalidade e medidas.

Também podem fazer uso de proporções entre frações para mostrar como chegar aos diâmetros dos planetas, uma vez escolhido o diâmetro de 80 cm para o Sol e conhecidos os diâmetros do Sol e dos planetas. Aproveite a ocasião para falar de escalas de representações.



DESAFIOS

PARTE I

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

1. Kepler conhecia os períodos (em anos terrestres) e as distâncias médias dos planetas ao Sol (em unidades astronômicas (UA) = distância Terra-Sol), mas somente dos planetas entre Mercúrio e Saturno, pois os demais não eram conhecidos naquela época. Dados estes valores na tabela abaixo, calcule o valor médio de k , a constante Kepleriana:

Planeta	Período (T) (anos terrestres)	Distância (D) (UA)	k
Mercúrio	0,24	0,39	
Vênus	0,62	0,72	
Terra	1,00	1,00	
Marte	1,88	1,52	
Júpiter	11,86	5,20	
Saturno	29,46	9,54	

Resposta: $k = 1,00$

2. Calcule a excentricidade das elipses abaixo. Basta medir A e B (ou F) e usar qualquer uma das fórmulas:

$$e = \frac{F}{A} \text{ ou } e = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2}$$

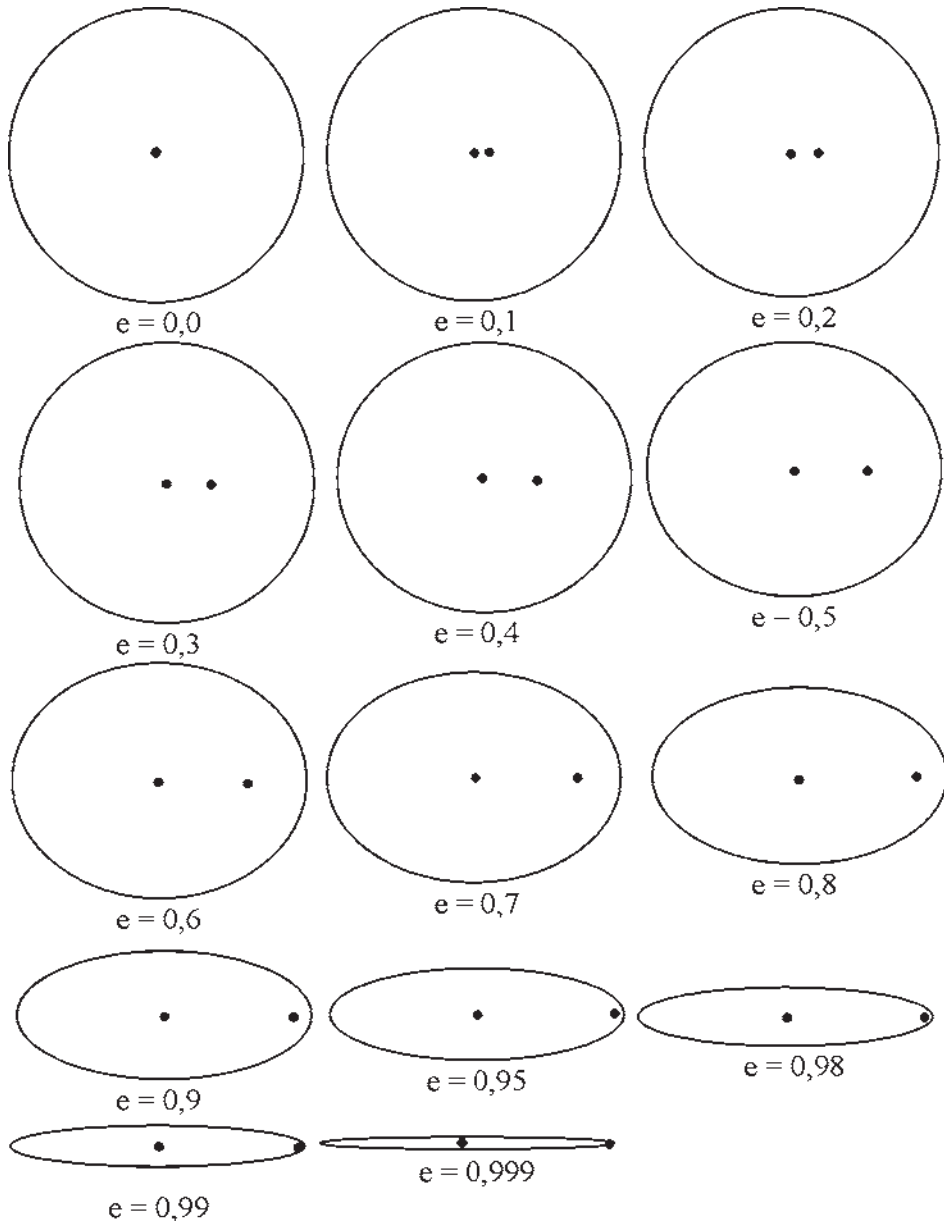


Figura 1.38. Desenho em escala correta de 14 elipses com as excentricidades variando de 0 até 0,999. O ponto central dentro de cada elipse denota seu centro, e o ponto à direita um dos seus focos.

3. Muito posteriormente foram descobertos os planetas Urano, Netuno e Plutão. Sabendo-se as distâncias médias (D) deles ao Sol, em unidades astronômicas (UA), e o valor da constante média k , do desafio anterior, calcule o período (T) deles em anos terrestres.

Planeta	Período (T) (anos terrestres)	Distância (D) (UA)
Urano		19,19
Netuno		30,08
Plutão*		39,46

* Planeta anão.

4. Usando a mesma escala usada para desenhar os discos dos planetas na atividade “Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol”, desafie seus alunos a calcular e construir o disco e a esfera correspondente à nossa Lua. Para facilitar os trabalhos, vamos dar o diâmetro da Lua: 3.840 km.

PARTE II

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

1. (VII OBA, 2004 – 5º ao 9º ano). Qual das duas figuras abaixo melhor ilustra o movimento da Terra (translação) ao redor do Sol? A da esquerda ou a da direita? Pinte a figura escolhida!

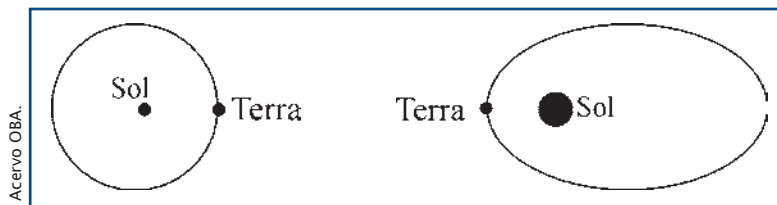


Figura 1.39A e B.

2. (VII OBA, 2004 – 5º ao 9º ano). Escreva certo ou errado na frente de cada afirmação abaixo.

	Se a Terra passasse bem pertinho do Sol e depois bem longe dele, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então teríamos que ver o tamanho do Sol ora bem GRANDE e ora bem pequeno.
	Se a Terra passasse bem pertinho do Sol, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então haveria um verão muito quente em toda a Terra na mesma época.
	Se a Terra passasse bem pertinho do Sol, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então haveria uma ENORME maré devido ao Sol uma vez por ano.

	Se a Terra passasse bem longe do Sol, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então haveria um intenso inverno em TODO o planeta Terra.
	Como a Terra gira ao redor do Sol, conforme a figura da esquerda, então, sempre vemos o Sol praticamente do mesmo tamanho e nunca há uma maré gigantesca devido ao Sol.

3. (IV OBA, 2001 – 5º ao 9º ano). O diâmetro do Sol é de, aproximadamente, $d_{\text{Sol}} = 1.400.000 \text{ km}$ e o diâmetro da Lua é de, aproximadamente, $d_{\text{Lua}} = 3.500 \text{ km}$; contudo, os dois astros possuem o mesmo diâmetro angular no céu.

A **distância da Terra à Lua** é de aproximadamente $D_{\text{Lua}} = 400.000 \text{ km}$. Esperamos que você já tenha aprendido o capítulo de triângulos semelhantes na matemática. Usando as relações dos triângulos semelhantes, determine a **distância da Terra ao Sol** (D_{Sol}). Para que a sua resposta fique mais próxima do valor correto, por favor, subtraia da sua resposta $10.000.000 \text{ km}$, uma vez que fizemos alguns arredondamentos nos números acima.

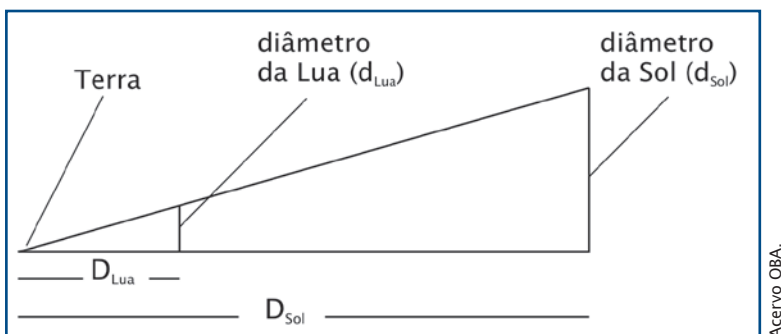


Figura 1.40.



SALA DE PESQUISA

Artigos/Livros

Ciências e educação

AMBROGI, A.; LISBOA, J.C.F.; SPARAPAN, E.R.F. **Química para o magistério**. São Paulo: Ed Harbra, 1995.

ARAGÃO, R.M.R.; SCHNETZLER, R.P.; CERRI, Y.N.S. **Modelos de ensino**: corpo humano, célula e relação de combustão. Ijuí: UNIJUÍ, 2000.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto Edições, 1996.

_____. **O novo espírito científico**. Lisboa: Edições 70, 1993.

BELTRAME, Z. V. **Geografia ativa** – investigando o ambiente do homem. São Paulo: Ed. Ática, 1996, vol. 1.

BIZZO, N. **Ciências: fácil ou difícil?** São Paulo: Ed. Ática, 1999.

BIZZO, N. et al. Graves erros de conceito em livros didáticos de ciências. **Ciência Hoje**, v.121, n. 21, p. 26 – 35, 1996.

BUTTER FIELD, H. **As origens da ciência moderna**. Lisboa: Edições 70. 1992.

CANALLE, J.B.G.; TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B. Análise do conteúdo de astronomia dos livros de geografia de 1º Grau. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 14, n. 3, p. 254 – 263, dez. 1997.

CANIATO, R. **A terra em que vivemos**. Campinas, SP: Papirus, 1984.

_____. **Com(s) ciência na educação**. Campinas, SP: Papirus, 1987.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Ciência no ensino fundamental: o conhecimento físico**. São Paulo: Scipione, 1998.

CHALMERS, A.F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Ed. Brasiliense, 1995.

DIAS, F.G. **Educação ambiental – princípios e práticas**. São Paulo: Ed. Gaia, 1992.

DIRANI, A. **Férias na fazenda ecológica**. Goiânia: UFG, 1989.

FIOLHAIS, C. **Física divertida**. Brasília: UnB, 2000.

HÉRMERY, D. et. al **Uma história da energia**. Brasília: Edunb, 1993.

LIMA, M.E.C.C.; AGUIAR JR, O.G.; BRAGA, S. A. M. **Aprender Ciências: um mundo de materiais**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999.

LUTFI, M. **Cotidiano e educação em química**. Ijuí: UNIJUÍ, 1988.

RONAN, A. C. **História ilustrada da ciência**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, vols. I; II; III; IV, 1990.

SACKS, O. **Tio Tungstênio**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

TOMAZELLO, L. (org.) **A experimentação na aprendizagem de conceitos físicos sob a perspectiva histórico-social**. Piracicaba, SP: UNIMEP/CAPES/PROIN, 2000.

TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B.; CANALLE, J.B.G. Assessoria na avaliação do conteúdo de astronomia dos livros de ciências do primeiro grau. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 14, n. 1, p. 7, 1997.

Astronomia

Enciclopédia do Espaço e do Universo. São Paulo: Editora Globo, 1997, CD-ROM.

Universidade de São Paulo. Instituto Astronômico e Geofísico (USP.IAG). Anuário Astronômico. São Paulo: USP, 1986.

Revistas

Astronomy – <http://astronomy.com/>

Scientif American Brasil – <http://www2.uol.com.br/sciam/>

Ciência Hoje – <http://cienciahoje.uol.com.br/>

Ciência Hoje das Crianças –
<http://cienciahoje.uol.com.br/view/418/>

Facção Científica – <http://www.faccaocientifica.org/>

Sítios

Instituições

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

Observatório Nacional – <http://www.on.br/>

Inpe – <http://www.inpe.br/>

IAG/USP – <http://www.astro.iag.usp.br/>

Nasa – <http://www.nasa.gov/>

Diversos

OBA – <http://www.oba.org.br/>

Biblioteca Virtual de Astronomia –
<http://www.prossiga.br/astronomia/>

Wikipedia –

http://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#Astronomia_em_Portugu%EAs/

Urânia Brasil – http://br.groups.yahoo.com/group/urania_br/

Filmes

2001: Uma Odisséia no Espaço

O Céu de Outubro

Impacto Profundo

Da Terra à Lua

Cosmos (Carl Sagan)

Os Eleitos



capítulo 2

APENAS UM LUGAR, DE MUITOS

Salvador Nogueira

Ao contrário do que se possa pensar, o maior feito de Nicolau Copérnico não foi descrever com precisão a arquitetura básica do **Sistema Solar**. Até porque, embora seu modelo fosse mais eficiente do que o ptolomaico para prever a posição dos astros no céu, ainda deixava a desejar. E, do ponto de vista dos conhecimentos disponíveis até então, não fazia mais sentido a Terra girar em torno do **Sol** do que o contrário – somente com a **gravitação** de Isaac Newton, um século e meio depois, viria a ser possível compreender que os objetos com menos massa, necessariamente, orbitam em torno dos de maior massa. Em suma, com o que tinha à mão, o astrônomo polonês teve de fazer uma aposta: ele julgou que o sistema mais simples e esteticamente mais agradável deveria ser o verdadeiro.

Isso não só reforça a imagem que temos de Copérnico como uma figura corajosa, mas também explica toda a hesitação na publicação de suas idéias. E se, cientificamente falando, elas ainda careciam de alicerces mais sólidos, em termos filosóficos elas propiciavam uma imensa revolução no modo de pensar. Nascia o conceito da pluralidade dos mundos.

Até então, o único “mundo” era a Terra, cercado pelos astros. Mas, subitamente, ao colocar o Sol no centro do sistema planetário, Copérnico apresentou uma nova e assustadora perspectiva: a Terra não era “o” mundo, mas apenas “um” mundo – um **planeta**, dos vários que giravam ao redor do Sol. Essa percepção é o que torna a teoria do polonês um marco na história da humanidade – justificando a expressão “revolução copernicana”.

A partir de então, a Terra não mais ocupava um lugar central no Universo. E não é difícil imaginar como isso poderia ser uma afronta



Sistema Solar: o Sol e todos os corpos que orbitam ao seu redor em virtude da gravidade.

Sol: estrela central do Sistema Solar. É uma estrela da sequência principal de tamanho e luminosidade médios.

Gravitação: força de atração entre os corpos que depende de suas massas e da distância entre eles. Mantém os corpos de pequena massa em órbita ao redor dos de maior massa, assim como os planetas ao redor do Sol.

Planeta: corpo esférico em órbita ao redor do Sol ou de outra esfera e dinamicamente dominante em sua órbita. Os planetas brilham somente pela luz refletida do Sol.



Satélite: corpo em órbita ao redor de um corpo principal maior. Os satélites naturais dos planetas são chamados luas. Os satélites artificiais têm sido colocados em órbita ao redor da Terra, da Lua, e de alguns outros astros celestes.



Atmosfera: camada gasosa mais externa ao redor de um planeta ou satélite. Não possui fronteira exterior definida, tornando-se cada vez mais tênue até atingir o espaço.

à Igreja e à interpretação literal da narrativa bíblica. Deus, ao que parece, não teria colocado os seres produzidos “a sua imagem e semelhança” em um local especial da criação, mas simplesmente no terceiro planeta do Sistema Solar, dos seis conhecidos na época de Copérnico (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno).

A Lua, por sua vez, estava condenada a perder seu *status* “planetário”, para se tornar apenas um **satélite** natural – o único objeto a, de fato, girar ao redor da Terra. E não demoraria até que fossem descobertas luas ao redor de outros mundos, a começar por Júpiter, em 1610.

As implicações das idéias de Copérnico logo foram percebidas pelos astrônomos mais arrojados. Johannes Kepler, entusiasta assumido do heliocentrismo e homem que acabaria por decifrar o real padrão de movimento dos planetas ao redor do Sol (trocando círculos por elipses) e com isso consagrar o modelo copernicano, ensaiou já em 1593 – apenas cinquenta anos após a publicação do *De revolutionibus orbium coelestium* [Sobre as revoluções dos orbes celestes] – produzir uma dissertação que mostraria como os fenômenos celestes, tais como descritos por Copérnico, seriam apreendidos por um observador posicionado na superfície da Lua.

A apresentação do trabalho não seria autorizada pela conservadora Universidade de Tübingen, onde Kepler estudou, mas mais tarde, o astrônomo disfarçaria a premissa como uma obra de ficção, o *Somnium* [Sonho]. Mesmo transformando a obra em ficção, o texto não escaparia à perseguição; interpretado como um relato autobiográfico em 1611, o manuscrito seria usado como prova contra a mãe de Kepler, Katherine, acusada de bruxaria. Por essa razão, a publicação do texto só viria a ocorrer depois da morte do astrônomo, em 1634.

Pode não parecer muito relevante, mas o simples fato de que Kepler, ainda em 1593, já se propunha a imaginar o que um observador veria na superfície da Lua pressupõe a possibilidade de esse observador existir! É um imenso salto na forma de perceber o contexto da Terra no resto do Universo.

Na versão finalizada do *Somnium*, Kepler ia ainda mais longe – especulava sobre a presença de criaturas inteligentes na Lua, pressupondo a existência lá de água e uma **atmosfera** adequada

à vida. O astrônomo alemão interpretava as grandes formações circulares na superfície da Lua – as crateras – como evidências de construção inteligente. Afinal, ele não conseguia imaginar um fenômeno natural que pudesse produzir algo tão simétrico e esteticamente agradável quanto um círculo.

Com o passar dos anos, idéias similares às de Kepler – e ainda mais audazes – começaram a ganhar força. E a síntese desse pensamento veio com Bernard le Bovier de Fontenelle (1657-1757), poeta, romancista e filósofo natural francês. Em 1686, ele escreveu *Entretiens sur la pluralité des mondes* [Diálogos sobre a pluralidade dos mundos]. “O livro tornou-se instantaneamente um *best-seller* e sensação internacional”, afirma o cientista planetário americano David Grinspoon (1959-). Ele prossegue:

Escrevendo num estilo brincalhão e extravagante, [Fontenelle] produziu o que foi descrito como o primeiro livro de ciência popular. Ainda hoje é uma boa leitura e não apenas para dar uma olhadela na mente de um pluralista e popularizador do século 17. É uma obra de enorme imaginação, escrita em prosa provocativa e espirituosa com uma pitada de vanguarda. (GRINSPOON, David. 2005, p. 47).



Diálogos sobre a pluralidade dos mundos

O texto, escrito em francês para atingir o maior público possível (em vez de em latim, linguagem usual para obras científicas na época), se divide em cinco diálogos, ocorridos durante cinco noites consecutivas, entre um filósofo e uma marquesa sem erudição, mas muito engenhosa. O filósofo está convencido de que os céus estão cheios de mundos habitados. A marquesa inicialmente duvida da visão pluralista e, conforme ela começa a se convencer, Fontenelle desfaz as dúvidas de seus leitores.

Guardadas as devidas proporções, é impressionante como o autor conseguiu antecipar muitas das discussões que até hoje são temas de acalorados debates entre os especialistas. Ao longo de suas cinco noites, Fontenelle usa os personagens para discutir a habitabilidade dos outros planetas no Sistema Solar, prever a possibilidade de vôo espacial e até mesmo descrever, vividamente, como seria o nosso planeta visto do espaço. O francês chega a ponto de incitar os leitores a imaginarem o que os habitantes de Júpiter poderiam pensar da Terra. Ele escreve:

Mesmo que eles vissem nossa Terra em Júpiter e soubessem sobre ela de lá, ainda não teriam a menor suspeita de que poderia ser habitada. Se alguém fosse pensar nisso, só Deus sabe como Júpiter inteiro riria dele. É possível que sejamos a causa, lá, de estarem sendo processados os filósofos que tentaram insistir que nós existimos. (Fontenelle, citado por David Grinspoon, 2005).

O astrônomo americano **Carl Sagan** (1934-1996) foi provavelmente o maior divulgador da ciência da história. Falando em linguagem simples, Sagan atingiu grandes massas com seus livros e com a série de televisão “Cosmos”. Além de seu trabalho com divulgação, Sagan fez muitos estudos importantes em ciência planetária, participando ativamente de muitas das missões não-tripuladas da Nasa.

Hoje, com todo o conhecimento adquirido sobre os planetas do Sistema Solar, a idéia de criaturas inteligentes em Júpiter pode soar um pouco ingênua. Mas é importante lembrar que esse foi o leque de possibilidades que a revolução copernicana escancarou diante da humanidade. A reflexão de que há incontáveis mundos lá fora fez o homem perceber que seu domínio, até então tido como “o mundo inteiro”, não passava, nas palavras do famoso astrônomo americano Carl Sagan, de “um pálido ponto azul”.

A pergunta que se segue a essa conclusão é óbvia: existe uma conexão entre o nosso mundo e os outros mundos? Qual é o tamanho do nosso isolamento? Podemos, para todos os efeitos, ignorar tudo que está lá fora e tocar nossas vidas tranquilamente? A Terra pode ser tida como um “sistema fechado”, no linguajar dos físicos?

A resposta é um retumbante não.

CONEXÃO SOL-TERRA

Comparado à idade atual do Universo, 13,7 bilhões de anos, o tempo de vida de um ser humano é ridiculamente pequeno. Mesmo quando nos limitamos à idade da Terra, com cerca de um terço do tempo de existência do cosmos, o efeito é igual – até mesmo toda a história da espécie humana torna-se minúscula. Uma metáfora usada pelo astrônomo Carl Sagan em diversas ocasiões, como nos livros “Dragões do Éden” e “Cosmos”, ajuda a ilustrar o tamanho da diferença.

Imagine que a história terrestre transcorrida até hoje equivalha a um jogo de futebol, com seus dois tempos de 45 minutos. A vida na Terra surgiria relativamente rápido, lá pelo 11º minuto do primeiro tempo. A vida complexa, ou seja, composta por criaturas com mais de uma célula, demoraria bem mais – os primeiros exemplares surgiriam somente aos 34 minutos do segundo tempo. Os dinossauros apareceriam aos 40 minutos, para desaparecer aos 43. O primeiro membro do gênero *Homo*, o *Homo habilis*, entraria em cena faltando apenas três segundos para o apito final. E o homem anatomicamente moderno, *Homo sapiens*, apareceria

aos 44 minutos e 59,8 segundos, apenas um quinto de segundo antes de o árbitro encerrar a partida.

Isso, sem falar no fato de que, para usar outro chavão futebolístico, “esse é um jogo de 180 minutos” – ou seja, a Terra terá mais tempo pela frente do que teve para trás. Hoje o planeta tem entre 4,6 bilhões e 4,7 bilhões de anos de idade. A expectativa é que ele dure pelo menos mais uns 7,5 bilhões de anos – mas muitas mudanças virão por aí, no mínimo tão radicais quanto as que aconteceram no passado.



Figura 2.1. A história da Terra comparada a um jogo de futebol.

Quando começamos a notar essa escala cósmica da Terra, percebemos que sua conexão com o espaço exterior e com o que acontece lá fora é muito maior do que podemos imaginar quando pensamos apenas em termos do tempo de vida de um ser humano, ou mesmo da humanidade toda. De repente, fica claro que a história terrestre foi pautada, desde o início, pela influência do Sol.

Uma definição comum usada em sala de aula para explicar a diferença entre estrelas e planetas é que as primeiras emitem luz própria, enquanto os segundos só refletem a luz que vem da estrela em torno da qual estão girando. Mas a verdadeira separação entre as estrelas e os outros objetos é que elas são capazes de fazer fusão nuclear – aquele processo em que átomos menores são fundidos uns nos outros e com isso produzem energia.



Victor Jimenez (AEB/Programa AEB Escola).



Estrelas gigantes e supergigantes:

estrelas grandes com uma alta luminosidade. As gigantes são 10 a 1.000 vezes mais brilhantes que o Sol, com um diâmetro 10 a 100 vezes maior.

As supergigantes são as maiores e mais luminosas estrelas, milhares de vezes mais brilhantes e com diâmetros superiores a 1.000 vezes o do Sol.

Para entender melhor essa afirmação, vale a pena mergulharmos um pouco mais no que faz do Sol o Sol. Trata-se de uma estrela, e uma estrela nasce do colapso de uma nuvem de gás e poeira. Quanto mais massa se aglomera no objeto que está se formando, maior é a gravidade que ele exerce sobre si mesmo. Resultado: ele começa a encolher. Num dado momento, o encolhimento é tão intenso que a pressão e a temperatura no núcleo sobem a um ponto em que começa a ocorrer a fusão do hidrogênio em hélio. Essa reação libera energia, que gera uma pressão de radiação de dentro para fora, equilibrando a força gravitacional. Com isso, a estrela “acende” e se estabiliza em tamanho.

Em linhas gerais, é assim que a coisa acontece. Mas as estrelas não são todas iguais – elas variam em porte, dependendo da quantidade de matéria que havia disponível no local em que elas nasceram. As de menor massa são relativamente mais frias (ainda que sejam extremamente quentes, se comparadas à temperatura ambiente na Terra) e queimam seu combustível com moderação. As de maior massa são muito mais quentes e são umas beberronas – acabam em pouco tempo com o hidrogênio existente no núcleo para a fusão.

E com a temperatura vem a cor. Assim como o arco-íris tem suas cores distribuídas pela ordem de energia (o vermelho é o comprimento de onda de luz visível menos energético, e o violeta, o mais energético), as **estrelas** respeitam essa hierarquia. As de menor massa e, portanto, mais frias, são as vermelhas. As de maior massa são chamadas de **gigantes** azuis e são muito mais quentes. No meio, há estrelas branco-amareladas, como o nosso Sol.

Uma forma de demonstrar isso em classe é acender uma vela. Os alunos, observando a chama facilmente notarão que a porção inferior da chama, mais quente, é azul, e a porção mais fria é avermelhada. No meio, a tonalidade predominante é a amarela. Claro, é preciso lembrar aos alunos que a vela faz combustão comum, e as estrelas fazem fusão nuclear, um processo muito mais energético!

Sofisticando um pouco mais essa noção básica, os astrônomos criaram uma categorização das estrelas por tipos, baseada na cor (ou,

para ser mais específico, no espectro, ou seja, na projeção de cores gerada pela luz da estrela quando atravessa um prisma). As de maior massa e mais brilhantes, azulonas, são do tipo O, e sua temperatura superficial é superior a 20.500 graus Celsius. Depois vêm as do tipo B, seguidas pelos tipos A, F, G – a categoria do Sol –, K e M.

Confira a tabela a seguir:

TIPO DE ESTRELA	TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE
O	Mais de 20.500 graus Celsius
B	De 9.430 a 20.500 graus Celsius
A	De 6.930 a 9.430 graus Celsius
F	De 5.700 a 6.930 graus Celsius
G (Sol)	De 4.400 a 5.700 graus Celsius
K	De 3.040 a 4.400 graus Celsius
M	Menos de 3.040 graus Celsius

Além de todas essas versões, ainda existem as “estrelas abortadas”, que não conseguiram acumular matéria suficiente para dar início ao processo de fusão nuclear. Esses objetos ganharam o nome de “anãs marrons”, termo usado pela primeira vez pela astrofísica Jill Tarter (1944-) em 1975, mas que não é lá muito preciso, uma vez que esses astros são avermelhados, ainda que com um brilho muito pálido, gerado apenas pelo calor de sua compactação.

Ao que parece, todos os tipos de estrela (excetuando talvez aquelas geradas na primeira fornada do Universo, que só tinham hidrogênio e hélio à sua disposição) são capazes de abrigar planetas ao seu redor. Os planetas se formam a partir de um disco de poeira e gás que sobram durante a formação da estrela – por isso os planetas se posicionam todos mais ou menos no mesmo plano e giram todos no mesmo sentido; é um resquício do padrão do disco que os gerou.

Astrônomos já descobriram planetas ao redor de anãs marrons, anãs vermelhas (estrelas pequenas com temperatura superficial baixa e a mais fraca luminosidade de todas as estrelas da **seqüência principal**) e estrelas como o Sol. Discos de poeira (denominados



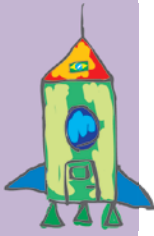
Estrela da seqüência principal: estrela localizada em uma faixa diagonal bem definida no **diagrama Hertzsprung-Russell**. Estrelas da seqüência principal produzem energia pela fusão de hidrogênio para formar hélio em seu núcleo.

Diagrama Hertzsprung-Russell: gráfico que mostra as luminosidades e os tipos espectrais (cor) das estrelas. Outros fatores, tais como as temperaturas estelares, também podem ser incluídos.

discos de acreção pelos especialistas – um disco de matéria espiralando ao redor de um objeto devido à gravidade) já foram vistos em estrelas maiores. Mas, faz uma grande diferença estar orbitando uma gigante azul, uma estrela como o Sol ou uma anã vermelha. Sobretudo se queremos encontrar vida.

Como vimos antes, a massa da estrela dita o ritmo em que ela consome seu combustível. Uma de muita massa pode esgotar todo o combustível em uns poucos milhões de anos. Usando a analogia da partida de futebol, seria como se o juiz terminasse o jogo no primeiro segundo de bola rolando – não dá tempo para que nada interessante aconteça num planeta ali localizado.

Ao longo de muitos bilhões de anos, os planetas tendem a igualar seu tempo de rotação com o de translação, mantendo a mesma face voltada para a estrela (como a Lua, hoje, faz com a Terra). Caso isso acontecesse num planeta ao redor de uma anã vermelha, ele teria um lado quente demais e outro frio demais, o que prejudicaria muito a habitabilidade de um mundo assim.



Por experiência própria, sabemos que estrelas de porte médio, como o Sol, são lugares interessantes. Com uma vida útil estimada em 10 bilhões a 12 bilhões de anos, esses astros permitem que planetas ao seu redor tenham tempo suficiente para presenciar a evolução da vida e até mesmo de vida inteligente, como é o nosso caso.

Mas ninguém garante que essa seja a melhor escolha para a vida.

Estrelas anãs vermelhas são muito, muito avarentas – consomem seu hidrogênio num período que se alonga por trilhões de anos! Isso é muito mais do que a vida do Universo, que tem hoje “miseráveis” 13,7 bilhões de anos. Então, se tudo que é preciso para a vida se formar em algum lugar é tempo, um planeta localizado ao redor de uma estrela dessas teria oportunidade de sobra para que evoluíssem nele até formas inteligentes, mesmo que fosse preciso mil vezes mais tempo do que a Terra exigiu para chegar nesse ponto. É bem verdade que tempo demais também pode ser um problema.

Independentemente da estrela central, um dos segredos para o sucesso, ao que tudo indica, é a distância que um planeta guarda

dela. É preciso estar na chamada Zona Habitável – uma área do sistema planetário que fica a uma distância que permitiria a existência de água em estado líquido (considerada pelos cientistas como pré-requisito fundamental para a vida como a conhecemos) na superfície de um planeta ali localizado. É uma forma complicada de dizer que o planeta precisa estar a uma distância que não faça com que ele fique nem muito quente, nem muito frio.

Por isso também é importante que a **órbita** do planeta não seja muito elíptica (achatada), caso em que ele passaria ora muito perto, ora muito longe da estrela para ter um clima estável e adequado à vida. A Terra, assim como todos os planetas do Sistema Solar, tem uma órbita quase perfeitamente circular – produzindo o tipo mais “arrumadinho” possível de sistema planetário. Essas características orbitais são “configuradas”, naturalmente, pelo histórico da interação gravitacional entre o Sol e os diversos objetos que estão ao redor dele.

Mesmo que o planeta esteja numa posição adequada, ainda há um probleminha. Ao longo do tempo, conforme a estrela envelhece, essa Zona Habitável se desloca, enquanto um planeta que porventura esteja nela, não. Hoje, a Terra está confortavelmente postada num lugar propício à vida. Mas o Sol está ficando a cada dia um pouquinho mais quente. O efeito é inapreciável nas escalas de tempo humanas, mas fará uma diferença brutal em mais ou menos 1 bilhão de anos. Segundo os astrônomos, a Terra será completamente inabitável no futuro. Um efeito estufa devastador aquecerá o planeta, ocasionado pelo aumento da radiação solar e acelerado pela evaporação dos oceanos, e o nosso mundo se tornará um deserto escaldante, não muito diferente do que hoje é o planeta Vênus.

Em compensação, como a Zona Habitável irá se deslocar para mais longe do Sol, Marte se tornará um lugar muito mais quente e propício à vida. O gelo em seu subsolo deve derreter e voltar a formar mares no planeta vermelho, como ele já teve no início de sua história. A atmosfera ficará mais densa do que é hoje. Marte ficará muito mais



Órbita: trajetória curva de um corpo no espaço, influenciado pela atração gravitacional de um corpo de maior massa. O plano orbital é o plano no qual a órbita é descrita. A inclinação orbital é o ângulo entre um plano orbital e um plano de referência, por exemplo, a eclíptica. O período orbital é o intervalo de tempo que um corpo leva para completar uma volta.

**Luminosidade:**

brilho de um corpo luminoso (por exemplo, estrela), definido pela energia total que irradia em um determinado momento.

Nebulosa: nuvem de gás e poeira interestelares. As nebulosas são detectáveis como nebulosas de emissão, que brilham; as nebulosas de reflexão, que dispersam a luz estelar; e as nebulosas escuras, que obscurecem a luz de estrelas e nebulosas mais distantes.

parecido com a Terra. Talvez a única maneira de proteger as formas de vida terrestres em 1 bilhão de anos seja transplantá-las para o ambiente marciano, onde poderão continuar florescendo!

Esse fenômeno mostra o quanto, na escala do tempo astronômico, a existência da vida depende da evolução do Sol.

Mesmo em Marte, as coisas ficarão insuportavelmente quentes em uns 5,5 bilhões de anos, quando acabar o principal combustível do Sol, o hidrogênio, e ele começar a “queimar” o hélio gerado pela fusão do hidrogênio que foi armazenado em seu interior ao longo do tempo. O astro-rei começará a inchar e seu brilho aumentará. Será o caso de se mudar para a periferia do sistema, onde residem Plutão e os cometas.

O Sol irá se transformar em uma gigante vermelha

Em uns 7 bilhões de anos, o Sol concluirá sua primeira fase de expansão, tornando-se uma estrela gigante vermelha. Seu diâmetro será 166 vezes maior que o atual, e o planeta Mercúrio, então, já terá sido engolido por ele. A **luminosidade** do astro-rei será 2.350 vezes maior que a atual. Mas, assim que houver no núcleo solar hélio suficiente para que ele se torne o combustível principal, o Sol voltará a encolher.

Com a continuidade do processo, o hélio um dia também rareia, e o Sol volta a inchar como uma gigante vermelha, com 180 vezes seu diâmetro atual e 3.000 vezes mais luminoso. O vento solar (de que falaremos logo mais) expulsa boa parte da massa da estrela (quase metade dela já se perdeu, a essa altura). Finalmente, após algumas oscilações, o Sol entra em colapso em seu interior e, com uma onda de choque (mais ou menos como o rebote de uma onda de água que bateu numa das bordas da piscina e voltou para a direção de onde veio), expulsa o que restou de seu invólucro gasoso, formando uma **nebulosa** ao seu redor.

A partir daí, a temperatura só tende a cair, e o que resta é a região central do Sol, compactada: uma bola condensada do tamanho da Terra, mas muito densa. A esse resto de estrela dá-se o nome

de **anã branca**. Essa é a última fase de vida de astros do tipo solar. Ele já não vai mais gerar calor suficiente para sustentar a vida em qualquer lugar do sistema planetário.

Claro, considerando que o Sol é a principal fonte de energia para a vida (embora não a única), não é surpreendente descobrir que, a longo prazo, a evolução e morte solar produzirá efeitos grandiosos na biosfera terrestre. O que talvez pegue o leitor de surpresa é o fato de que, hoje mesmo, agora, o que acontece no Sol exerce uma influência sobre eventos na Terra.

Embora de um modo geral as estrelas possam ser consideradas objetos estáveis enquanto estão queimando hidrogênio (diz-se que estão na “sequência principal”, no jargão dos astrônomos), ainda assim, há pequenas flutuações que afetam a paz e a ordem em seus sistemas planetários.

Para começo de conversa, as estrelas são campeãs na emissão de **radiação**. Não só na forma de luz e ondas eletromagnéticas (como os famosos raios ultravioletas), mas também, de partículas com massa, como prótons e elétrons livres. (Na verdade, as estrelas não são feitas de átomos neutros de hidrogênio e hélio, compostos por núcleos positivos e elétrons negativos; em razão da alta temperatura, essas partículas não conseguem se combinar, de forma que o Sol e suas colegas estrelas são uma mistura de núcleos atômicos e elétrons livres – estado da matéria a que se dá o nome de plasma.)

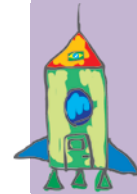
O vento solar é um dos maiores perigos para astronautas que façam viagens para longe da Terra. A radiação pode causar danos no DNA, molécula que armazena o código genético dentro de cada célula, provocando tumores e outras moléstias graves.

Quantidades copiosas dessa radiação de partículas são emanadas do Sol constantemente – e a esse fluxo de matéria e energia dá-se o nome de vento solar. Ele atinge todos os planetas do sistema. Na Terra, estamos razoavelmente imunes aos efeitos malévolos do Sol por duas barreiras protetoras. A mais óbvia é a atmosfera. É lá que pára a maior parte da radiação eletromagnética



Anã branca: estrela colapsada, pequena e muito densa, que está gradualmente se resfriando.

Radiação: ondas ou partículas emitidas por uma fonte. A radiação eletromagnética é energia deslocando-se em forma de onda, incluindo raios gama, raios x, radiação ultravioleta, luz visível, radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio. A radiação de partículas inclui partículas elementares, tais como os prótons e elétrons, no vento solar.



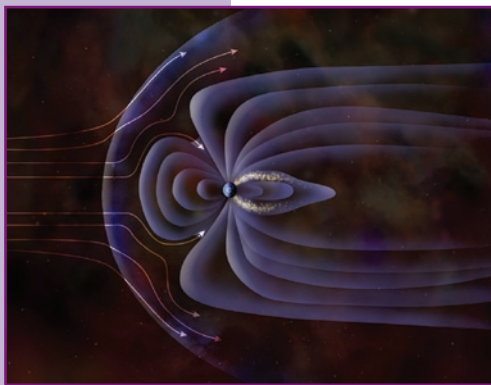
mais perigosa, como os raios ultravioleta e raios X emitidos pela estrela. A segunda barreira, tão importante quanto (embora menos conhecida), é a magnetosfera.

Todo mundo sabe que a Terra tem um campo magnético. Gerado pelo movimento do magma nas profundezas do interior terrestre, ele é o responsável pelo fato de as bússolas apontarem todas para o Norte Magnético atualmente. De tempos em tempos, o pólo magnético terrestre parece flutuar e trocar de polarização, de modo que a bússola passe a apontar para o pólo magnético Sul; na verdade, os cientistas desconfiam que estamos prestes a presenciar mais uma dessas inversões.

Um efeito menos conhecido desse campo magnético terrestre é a deflexão das partículas trazidas pelo vento solar, de forma que não atinjam diretamente o planeta. Elas acabam sendo desviadas em sua maior parte para o espaço e em pequena parte para os pólos, e é por isso que nas altas latitudes existem as auroras boreais (no Hemisfério Norte) e austrais (no Sul) – fenômenos luminosos no céu que refletem justamente a interação entre as partículas vindas do Sol e a atmosfera.

Astronautas que viajam em órbitas baixas ao redor da Terra recebem proteção parcial, pois, embora estejam fora da proteção da atmosfera, ainda estão sob os efeitos da magnetosfera terrestre.

Mas o vento solar não é constante – ele varia de acordo com a intensidade da atividade solar, que parece sofrer variações sazonais. Sim, o Sol tem clima! Sua dinâmica aparentemente é regida por um ciclo de cerca de 11 anos terrestres, e os cientistas não sabem exatamente o que determina esse processo. Ainda assim, está claro que num período de 5,5 anos o Sol alterna



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.2. A imagem representa a magnetosfera terrestre. As setas representam o vento solar, e as linhas de campo mostram como a Terra se comporta como um ímã, repelindo convenientemente a radiação do Sol e absorvendo uma pequena parte na região dos pólos.

gradualmente entre um pico de calma e um pico de intensa atividade, para depois voltar ao pico de calma 5,5 anos depois, concluindo o ciclo de 11 anos.

Uma das principais evidências dessa dinâmica é a frequência de aparição das manchas solares. Documentadas pela primeira vez por Galileu Galilei, no século 17, essas manchas são produzidas por variações no campo magnético da estrela, embora o mecanismo exato ainda seja fonte de discussão entre os estudiosos.

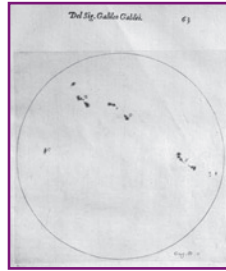


Figura 2.3. O desenho de Galileu registra manchas solares, em 1613.

Universidade de Oklahoma.
www.ou.edu/web/home.html/

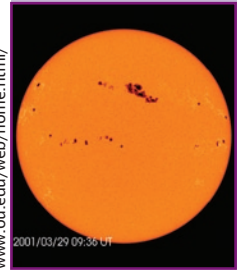


Figura 2.4. Manchas solares observadas pelo satélite SOHO.

Nasa. www.nasa.gov/

O ponto culminante de uma mancha normalmente é uma erupção solar – quando o material da estrela é violentamente ejetado e varre o Sistema Solar. Embora a atmosfera e a magnetosfera sejam suficientes para proteger a vida na Terra, objetos que estão fora desse escudo de proteção sofrem danos, às vezes irreparáveis. As erupções solares costumam interromper o funcionamento de satélites de comunicação e algumas vezes, nos casos mais extremos, provocam quedas de energia nas redes elétricas em terra – exemplo claro de como há conexões entre a dinâmica solar e o dia-a-dia no terceiro planeta ao redor do Sol.

Obviamente, a maior parte desses fenômenos nós só pudemos desvendar por termos enviado veículos, tripulados e não-tripulados, ao espaço.



Figura 2.5. Erupções solares, em imagem obtida pelo satélite TRACE.

Nasa. www.nasa.gov/

CONEXÃO TERRA-LUA

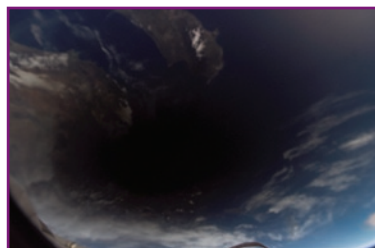
É por uma dessas coincidências incríveis que o Sol e a Lua parecem, no céu, ter mais ou menos o mesmo tamanho. Além



Eclipse: obscurecimento total ou parcial de um corpo celeste por outro. No eclipse solar, a Lua passa entre o Sol e a Terra escondendo parcial ou totalmente o Sol para uma pequena área da Terra. No eclipse lunar, a Terra está entre a Lua e o Sol, e a Lua passa através da sombra da Terra.

*O grego **Aristarco de Samos** foi o primeiro, até onde se sabe, a defender a hipótese heliocêntrica, ou seja, a de que os planetas, e a Terra entre eles, giram em torno do Sol. No entanto, pouco se sabe sobre seus argumentos, uma vez que a obra original foi perdida e só a conhecemos por referências posteriores.*

de propiciar fenômenos fascinantes, como os **eclipses**, esses dois objetos ajudaram a dar pistas sobre as dimensões do Sistema Solar. São os dois únicos corpos celestes a se apresentarem, a olho nu, como discos, em vez de pontos luminosos. Além disso, o fato de que a Lua pode passar à frente do Sol (produzindo um eclipse solar) indica claramente que a primeira está mais próxima da Terra que o segundo. E, se ambos parecem ter o mesmo tamanho, em realidade o objeto mais distante teria de ser muito maior que o mais próximo.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.6. Um eclipse solar visto do espaço. O que se viu, nesta imagem obtida na Estação Espacial Internacional, foi a sombra projetada da Lua sobre a superfície terrestre.

O primeiro astrônomo de que se tem notícia que ousou trabalhar esses fatos simples de forma a produzir algum resultado matemático foi o grego Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.). Ele estimou que o Sol deveria estar 19 vezes mais distante da Terra que a Lua e, portanto, ter diâmetro 19 vezes maior que o dela. O erro foi grande. Na verdade, hoje sabe-se, o Sol é 400 vezes maior em diâmetro e mais distante que a Lua. Mas as idéias de Aristarco pareciam muito à frente de seu tempo (é bom dizer “pareciam”, porque quase nada restou de seus escritos originais – o que conhecemos vem de segunda mão, descrito por Aristóteles). Basta notar que ele foi o primeiro astrônomo a defender um sistema heliocêntrico, ou seja, com o Sol no centro e os planetas ao redor. Ao que tudo indica, Copérnico tinha conhecimento dos trabalhos de Aristarco quando retomou a idéia, quase 20 séculos depois.

De toda forma, essa noção de que a Lua e o Sol no céu têm aparências de porte similar serve como bela alegoria – de fato, a Lua, assim como o Sol, exerce influência poderosa na evolução do planeta Terra.

A interação Sol-Terra, como vimos anteriormente, tem duas naturezas distintas, que trabalham em cooperação. De um lado, a gravidade exercida entre os dois corpos faz com que a Terra gire

ao redor do Sol; de outro, a radiação solar incide sobre o planeta para fornecer energia e um ambiente adequado ao surgimento da vida. As duas coisas, é claro, trabalham em conjunto: a interação gravitacional mantém o planeta numa órbita dentro da atual Zona Habitável, onde a radiação solar vem na medida certa para não fritar nem congelar o que quer que esteja por ali.

Já com a Lua, a única interação de fato relevante é a gravitacional. A luminosidade que parte da superfície lunar é uma mera reflexão da luz solar, e sua intensidade é praticamente irrelevante em termos da influência que poderia exercer sobre o planeta. O que conta mesmo é a gravitação.

Até onde sabemos, o efeito de maré nos oceanos da Terra é mais um fenômeno interessante do que relevante, em termos das condições que nosso planeta apresenta. Em outros mundos, no entanto, as marés parecem ter importância muito maior.



O efeito mais notável da Lua sobre a Terra (e o Sol também tem participação nisso) ocorre nos oceanos. O satélite natural terrestre exerce uma força de atração sobre o planeta, mas que é insuficiente para mobilizar massas de terra de uma maneira perceptível. As massas d'água, no entanto, mais flexíveis, são mais claramente manipuladas desse modo. Assim, enquanto a Terra gira sobre seu próprio eixo, e a Lua atravessa o firmamento por conta disso, os mares são atraídos para lá, depois para cá. O efeito de maré, tão conhecido, é produzido pela atração gravitacional da Lua e, em menor medida, do Sol.

Ocorre que esse é apenas o efeito mais óbvio e de prazo mais curto induzido pela Lua na Terra. Há outros, muito mais relevantes para a história do planeta, que não são perceptíveis no tempo de vida humano, mas, mesmo assim, fizeram uma diferença brutal ao longo do tempo.

Basta dizer que, no início de sua história, a Terra girava muito depressa em torno de seu próprio eixo – um **dia** durava apenas cerca de cinco horas! Foi graças à interação gravitacional com a Lua que a velocidade de rotação terrestre foi aos poucos



Dia: um dia sideral é o tempo decorrido para uma estrela retornar à mesma posição no céu. Um dia solar é o intervalo entre um nascer astronômico do Sol e o seguinte.

diminuindo, até que o período de rotação chegasse às 23 horas e 56 minutos atuais. E esse é um processo que continua em andamento. A cada século, o período de rotação da Terra aumenta em 1,5 milésimo de segundo. Ao roubar energia de movimento do planeta (reduzindo sua velocidade de rotação), a Lua ganha energia de movimento para si, aumentando sua órbita. A distância Terra-Lua é hoje cerca de 384 mil quilômetros. Mas o satélite natural se afasta de nós em média 3,8 centímetros por ano. Isso tudo significa que em um futuro distante o dia da Terra será muito mais longo que o dia atual.

Na verdade, essa é uma interação comum entre corpos que estão um em órbita ao redor do outro. De fato, eles só encontram estabilidade quando ambos estão girando no mesmo ritmo, e com rotação e translação equivalentes. Hoje, a Lua já mantém a mesma face voltada para a Terra permanentemente. Avançando mais alguns bilhões de anos, chegará o dia em que a Terra também terá sempre a mesma face voltada para a Lua – mas isso só acontecerá se nosso planeta sobreviver intacto à fase de gigante vermelha do Sol, quando acabar o hidrogênio no núcleo da estrela.

No entanto, o efeito talvez mais importante que a Lua pode ter tido na evolução da Terra foi a estabilização do seu eixo de rotação.

A Terra gira ao redor de si mesma em torno de um eixo que guarda uma inclinação de cerca de 23,5 graus com relação à perpendicular ao plano de sua órbita solar. Essa inclinação não é fixa, e varia ligeiramente ao longo das eras. Mas, graças à Lua, a inclinação nunca foi muito diferente da atual, o que pode ter se mostrado uma vantagem tremenda na manutenção de um clima moderado e adequado à vida através dos tempos. Sabe-se, por exemplo, que Marte também tem um eixo inclinado (cerca de 25 graus), mas a presença das duas luas marcianas não impediu que esse

Adaptada por Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola).
Imagem original publicada no site da Saint Louis University.
www.slu.edu/index.xml

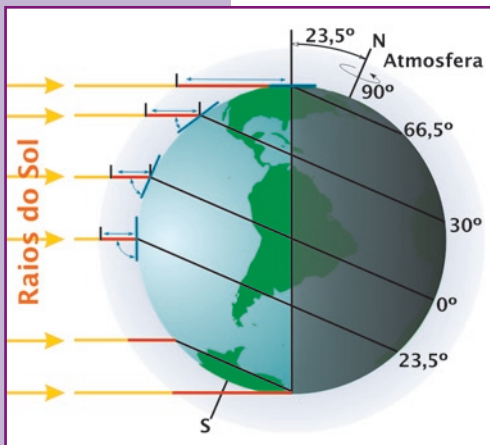


Figura 2.7. O eixo terrestre é inclinado, com relação à linha perpendicular ao plano de sua órbita, em 23,5 graus.

eixo variasse bastante ao longo dos 4,6 bilhões de anos de sua história. Isso porque as luas marcianas são muito menores e, portanto, exercem uma influência gravitacional muito menos intensa do que a nossa Lua.

Na verdade, este talvez seja o maior mistério acerca de nosso satélite natural – por que ele é tão grande? Embora a Terra seja apenas o quinto planeta do Sistema Solar em tamanho, ela possui a sexta maior lua conhecida. As cinco primeiras estão distribuídas entre Júpiter, Saturno e Netuno, todos planetas com múltiplos satélites e muito maiores que a Terra.

Os astrônomos sempre estiveram muito intrigados com as origens da Lua. O raciocínio mais imediato seria pensar numa feliz coincidência: Terra e Lua teriam se formado lado a lado, no mesmo processo que deu origem aos planetas vizinhos. No entanto, cálculos mostram que um nascimento assim dificilmente pode ser compatibilizado com os padrões vistos hoje na Lua, em termos de massa e características orbitais.

Com essa hipótese excluída, sobram duas. A primeira delas é a de que a Lua tivesse sido formada em alguma outra parte do sistema e, ao vagar pelo espaço, em algum ponto remoto do passado, acabasse sendo capturada pelo poço gravitacional da Terra, do mesmo modo que aconteceu com Fobos e Deimos, ao redor de Marte. Mas os cientistas sabem que dois pedregulhos de meia-pataca como os satélites marcianos não são comparáveis à nossa Lua. A chance de que um objeto do tamanho lunar (com seus impressionantes 3.476 quilômetros de diâmetro) fosse capturado pela Terra numa órbita quase circular é praticamente inexistente. O que deixou os cientistas com uma só idéia: a Lua provavelmente nasceu de um pedaço da Terra que se despreendeu naturalmente, antes que o planeta terminasse sua formação.

Como se pode imaginar, era a melhor idéia, mas também não era boa o suficiente. Para que a Terra “cuspiu” um pedaço de si, precisaria estar girando a uma velocidade estonteante, completando uma volta em torno de si mesma a cada 2,5 horas!

Todos os cálculos baseados no processo de formação planetária sugerem que é improvável que nosso planeta tenha girado de maneira tão selvagem em algum ponto do passado.

A hipótese mais aceita atualmente sobre o surgimento da Lua

Os astrônomos passaram séculos perdidos entre essas três idéias. Isso até 1975, quando os americanos William Hartmann e Donald Davis, revivendo noções primeiro aventadas nos anos 1940, mas nunca levadas realmente a sério, apresentaram a teoria que assumiria a liderança entre as candidatas à formação lunar. Já munidos das informações obtidas pelos astronautas que foram até a Lua, que revelaram detalhes sobre o interior lunar e sua baixa quantidade de ferro (comparada ao que há no núcleo dos planetas rochosos), eles sugeriram que o sistema Terra-Lua tenha sido fruto de um gigantesco acidente de trânsito cósmico.

Durante os estágios finais de formação da Terra, há 4,6 bilhões de anos, um objeto do tamanho de um planeta como Marte (que tem cerca de 6.800 km de diâmetro) teria se chocado com o nosso, espalhando material dos dois corpos em órbita. Em pouco tempo, essa massa ejetada teria se reorganizado para produzir a Lua. Como a Terra já estava quase “pronta” no momento da colisão, o impacto não teria sido capaz de arrancar uma parte do ferro contido em seu núcleo, explicando o porquê da pequena quantidade dessa substância e a baixa densidade média da Lua, apesar dos diversos parentescos em outros elementos compartilhados pelos dois astros.

Hoje, essa é a hipótese mais aceita para o surgimento da Lua, embora ainda faltem provas definitivas de que as coisas de fato aconteceram deste modo. Mas, mesmo que a teoria não esteja 100% comprovada, ela nos fala de um perigo bem real – talvez o maior fator transformador da história da vida na Terra não tenha sido a presença constante do Sol ou da Lua, mas, o potencial de devastação causado pelos impactos siderais. De tempos em tempos, eles acontecem, e, ao menos

até agora, não há nada que se possa fazer para evitá-los. Não seria exagero dizer que esses acidentes provocaram extinções em massa mais de uma vez na Terra e deram verdadeiros “pitacos” na seta de evolução, culminando no surgimento do homem. Gostemos ou não, estamos aqui somente porque um bólido espacial acabou com a “festa” dos dinossauros, 65 milhões de anos atrás.



Don Davis/Nasa. www.nasa.gov

Figura 2.8. Ilustração do impacto que teria destruído os dinossauros há 65 milhões de anos.

A AMEAÇA QUE VEM DO ESPAÇO

Embora a Lua tenha sido a primeira a denunciar a ocorrência de violentos choques cósmicos de tempos em tempos, a ficha demorou a cair entre os astrônomos. É um longo e tortuoso caminho o que liga o céu imutável, perfeito e ordenado de Aristóteles a um que gera tantas e tão radicais mudanças. Sem falar que, durante muito tempo, foram poucas as evidências de que houvesse algum perigo. Até que a tecnologia pudesse dominar a pesquisa astronômica, era muito raro ver algo no céu que contrariasse os preceitos aristotélicos. Um desses eventos eram as “novas” (em geral, estrelas distantes que esgotaram seu combustível e explodiram, tornando-se muito brilhantes), como observadas nos séculos 16 e 17, que pareciam inofensivas o bastante para não gerar reais preocupações. Outro tipo de aparição, mais comum e, paradoxalmente, mais assustador, era o dos **cometas**.

Hoje sabemos que esses objetos são agregados de poeira e gelo que giram ao redor do Sol, na maior parte das vezes em órbitas bastante alongadas. Conforme se aproximam mais da estrela, o gelo que os compõe começa a sublimar (converter-se de sólido em gás) e forma a chamada coma (ou cabeleira) que envolve o astro, juntamente com a cauda. Esse fenômeno torna o objeto bastante luminoso, justo nos momentos em que ele passa pelo Sistema Solar Interior, onde a Terra está localizada. Não é à toa



Cometa: pequeno corpo de gelo e rocha orbitando o Sol em uma longa e excêntrica órbita.



Figura 2.9. Imagem do cometa Halley obtida em observações aéreas em 1986.

que os cometas costumam dar belos *shows* no firmamento quando aparecem.

Por conta de sua aparente imprevisibilidade (resultante, na maioria dos casos, do tamanho de suas órbitas, que podem consumir até milhares de anos antes que o objeto dê uma volta completa), os cometas sempre trouxeram terror e apreensão entre os humanos – acabaram associados à morte de reis e lideranças, a tal ponto de induzir monarcas a abdicarem do trono em favor de outra pessoa, apenas para matá-la e cumprir a profecia, voltando ao poder assim que o astro desaparecesse dos céus.

O cometa Halley, com suas aparições separadas por 76 anos, acabou se tornando o gatilho para um grande número de mortes ao longo da história. No ano 240, Gêngis Khan ordenou a morte de cerca de 1 milhão de pessoas para afastar o “mau agouro” da passagem do Halley. O cometa também foi “responsabilizado”, ao longo da história, por várias coisas, como a peste bubônica e o incêndio de Londres.

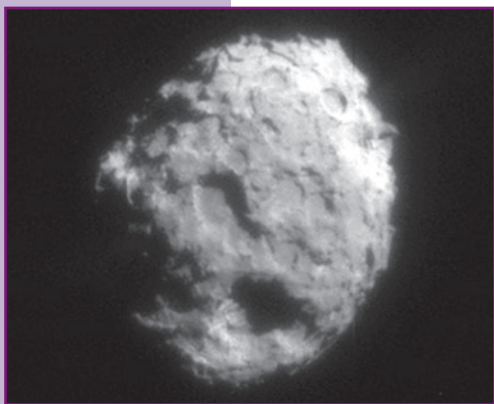


Figura 2.10. Núcleo do cometa Wild-2, em imagem enviada pela sonda Stardust.

Os cometas não tinham espaço no céu imutável aristotélico, o que fez esse pensador grego atribuir a eles uma natureza atmosférica, não celeste. Mas, em 1577 o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe derubou essa idéia, ao constatar, por meio de cálculos, triangulações e observações, que um cometa aparecido naquele ano estava claramente mais distante da Terra que a Lua – portanto acima da esfera sublunar.

Ainda assim, pouco se sabia sobre a natureza desses objetos. Foi lento o progresso no sentido de decifrar os mistérios e perceber que, de fato, os cometas poderiam ser uma ameaça à Terra, caso se chocassem com o planeta.

O primeiro aviso nesse sentido veio do astrônomo britânico Edmond Halley (1656-1742), que com justiça emprestou seu nome ao famoso cometa, depois de tê-lo identificado e previsto sua periodicidade de 76 anos. Em 1694, Halley sugeriu que impactos de cometas devem ter causado catástrofes globais no passado. Um século mais tarde, o matemático e astrônomo francês Pierre Simon de Laplace (1749-1827) faria a mesma sugestão.

Com o passar do tempo, os astrônomos foram dividindo os cometas em três categorias. Os de curto período completam uma volta ao redor do Sol em no máximo 20 anos, raramente ultrapassando muito além da órbita de Júpiter em sua posição mais afastada. Os de médio período levam de 20 anos a 200 anos para concluir sua rota ao redor do Sol e normalmente vêm de uma faixa de objetos localizada além de Netuno, denominada cinturão de Kuiper (em homenagem ao astrônomo holandês Gerard Kuiper (1905-1973), que previu teoricamente sua existência em 1951). Finalmente, os de longo período levam mais de 200 anos para completar uma volta e costumam vir da chamada nuvem de Oort (batizada depois de ter sido sugerida pelo também holandês Jan Hendrik Oort (1900-1992), em 1950), região muito mais distante que o cinturão de Kuiper, 100 mil vezes mais afastada do Sol que a Terra. Esses objetos mais remotos, em sua maioria, foram vistos apenas uma vez na história registrada da astronomia, dada a lentidão com que voltam a reaparecer.

O mais dramático de tudo isso, no entanto, é que, em suas órbitas elípticas, os cometas muitas vezes cruzam o caminho da Terra quando estão se aproximando do Sol – o que torna uma colisão possível, caso o planeta esteja no lugar errado, na hora errada. Na verdade, os cientistas hoje chegam a especular que no passado remoto a colisão com cometas tenha sido benéfica à Terra, abastecendo-a com a vasta quantidade de água que depois repousaria em seus oceanos. De toda forma, atualmente um impacto seria absolutamente catastrófico, podendo até mesmo ocasionar a extinção repentina da espécie humana.

Edmond Halley foi um dos mais aclamados astrônomos de seu tempo. Amigo do também britânico Isaac Newton, Halley fez muitas observações importantes, entre as quais se destaca a previsão da periodicidade de um cometa, que acabou levando seu nome.



Asteróide:

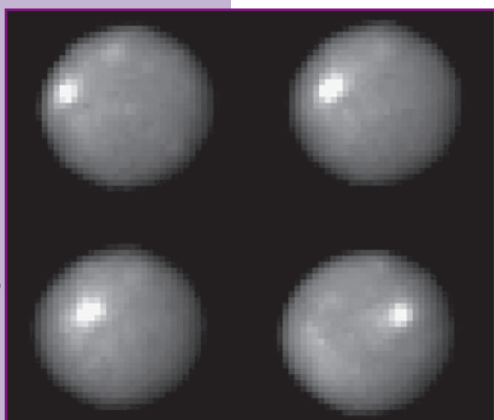
pequeno corpo rochoso orbitando o Sol, usualmente no cinturão de asteróides entre Marte e Júpiter.

Mas, como diz o ditado, “desgraça pouca é bobagem”. Hoje os cientistas sabem que os cometas, em especial os de longo período, que fazem aparições desavisadas e, portanto, podem ocasionar uma catástrofe sem que um alerta seja dado, respondem por apenas 10% de todo o perigo que ronda a Terra. É uma percepção assustadora, que começou a aparecer com uma descoberta feita no alvorecer do século 19. Foi quando uma busca iniciada pelo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826) começou a dar frutos. Ele procurava um planeta entre Marte e Júpiter, uma vez que a distância entre os dois era estranhamente vasta para o entendimento que então havia do Sistema Solar.

Em 1º de janeiro de 1801, ele descobriu um objeto que de início lhe pareceu um planeta, mas ao final acabou se mostrando pequeno demais para entrar para a família. No máximo, ganhou a categoria de “planetóide” ou “planeta menor”. Ceres, com seus parcos 933 quilômetros de diâmetro, acabou sendo o primeiro membro identificado do famoso cinturão de **asteróides**, composto por objetos concentrados entre as órbitas de Marte e de Júpiter. Ali eles oferecem pouco perigo para a Terra, mas a ameaça não pararia neles.

Em 1932, foram descobertos dois asteróides de um tipo singular. Eram parecidos em tudo com seus parentes do cinturão, mas, suas órbitas não estavam confortavelmente posicionadas entre as de Marte e Júpiter. Em vez disso, mergulhavam na região interna do sistema e atravessavam a órbita terrestre. Outras descobertas ainda mais desconfortáveis viriam nos anos seguintes. Em 1937, um asteróide chamado Hermes, com cerca de 800 metros

de diâmetro, foi observado por alguns dias ao passar de raspão pela Terra, a apenas 670 mil quilômetros de distância (menos de duas vezes o percurso Terra-Lua).



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.11. Quatro imagens de Ceres - as melhores até hoje obtidas - feitas pelo Telescópio Espacial Hubble.

Depois dessa passagem, discutir a ameaça dos asteróides deixou de ser uma questão de “se eles podem nos atingir”, mas de “quando e com que frequência eles o fazem”. Em 1941, o astrônomo americano Fletcher Watson (1912-1997) fez a primeira estimativa da taxa de impactos com a Terra, com base na descoberta dos primeiros asteróides que hoje chamamos de *Near Earth Asteroids* (NEA) [Asteróides Próximos à Terra], assim classificados por, em algum ponto de suas trajetórias, chegarem a até 7,5 milhões de quilômetros da órbita terrestre.

Em 1949, o astrofísico Ralph Baldwin (1912-) já antecipava a potencial catástrofe de um impacto na Terra, com base em observações das crateras lunares. Ele escreveu em seu livro *The face of the moon* [A face da Lua]:

Como a Lua sempre foi companheira da Terra, a história da primeira é apenas um paralelo da história da segunda. (...) Não há garantia de que esses impactos meteoríticos tenham sido restringidos ao passado. De fato, temos evidência positiva de que meteoritos e asteróides ainda abundam no espaço e ocasionalmente se aproximam da Terra. A explosão que formou a cratera [lunar] Tycho (...) iria, em qualquer lugar da Terra, ser uma coisa horrível, quase inconcebível em sua monstruosidade. (Baldwin, citado por Nasa, 1992).

Atualmente, estima-se que existam cerca de 1.100 NEAs potencialmente ameaçadores à civilização – ou seja, com mais de um quilômetro de diâmetro. Uma grande parcela do total segue desconhecida, em razão da dificuldade de detectar esses objetos, mas os cientistas pretendem ter 90% deles catalogados até 2008.

A atmosfera, em tese, oferece alguma proteção contra os asteróides menores, que queimam como meteoros ao atravessar a camada de ar terrestre. Mas as coisas começam a ficar perigosas, ainda que não ameacem a continuidade da existência humana, quando um desses pedregulhos espaciais tem acima de 100 metros. Há pelo menos um registro histórico do impacto resultante de uma colisão desse tipo. Aconteceu em Tunguska, uma fria e isolada região da Sibéria, na Rússia, em 1908.



"Quase impacto" de Tunguska

No dia 30 de julho de 1908, em Tunguska, Sibéria, um objeto vindo do espaço com, provavelmente, uns 60 metros de diâmetro explodiu a oito quilômetros de



Figura 2.12. Imagens mostram devastação de árvores pelo "quase impacto" de Tunguska, na Sibéria.

altitude, enquanto era massacrado pelo atrito com a atmosfera da Terra. A energia liberada pela desintegração do bólido foi equivalente à de uma grande bomba nuclear. O evento, ocorrido na atmosfera, causou uma onda de choque que atirou árvores ao solo por uma área de 2.000 quilômetros quadrados. Tivesse caído sobre uma grande cidade, teria causado perdas imensuráveis e matado milhões de pessoas.

Um estudo realizado no fim de 2002 mostrou, de acordo com as mais recentes estimativas de quantos objetos dessas dimensões existem no espaço, que um impacto ocorre em média a cada mil anos. Obviamente, a probabilidade maior é a de que aconteça no oceano, onde o dano seria menor. Mas, quando estamos falando de asteróides com um quilômetro ou mais (que caem aqui em intervalos de várias dezenas de milhões de anos), onde quer que ele caia o estrago será imenso e em escala global. O que nos leva às

grandes extinções. Na história da Terra, houve várias. Ao menos uma delas com certeza está associada ao impacto de um asteróide, e os cientistas suspeitam que outras também possam ter sido iniciadas pela queda de um bólido espacial. Cada um desses impactos gigantes teve o efeito de mudar radicalmente o curso da evolução da vida no planeta.

Uma bomba de hidrogênio é um artefato nuclear que produz energia induzindo a fusão de átomos, do mesmo jeito que o Sol faz em seu interior, mas de forma totalmente descontrolada. Uma única bomba desse tipo é quase 700 vezes mais potente que a bomba atômica explodida sobre Hiroshima, no Japão, em 1945.



Impacto profundo

Há 65 milhões de anos, os dinossauros dominavam a Terra. Essas criaturas existiam nos mais variados tamanhos (embora o nosso costume seja sempre pensar nos grandalhões) e dominavam muitos dos nichos ecológicos do planeta. Os únicos mamíferos de então eram pequenos, vivendo com muito pouco – foi o que os ajudou a sobreviver depois que um asteróide ou cometa (não se sabe que tipo de objeto) colidiu com a Terra. A “cicatriz” deixada pelo impacto foi descoberta pelos cientistas na península de Yucatán, no golfo do México.

Segundo algumas estimativas feitas por especialistas, devia ser um objeto com 16 quilômetros a 19 quilômetros de diâmetro. O impacto seria equivalente à energia de detonação de 10 milhões a 100 milhões das mais poderosas bombas de hidrogênio já concebidas pelo homem. É um quadro aterrador. A área do impacto, na época, era um mar raso. Mesmo assim, ondas reverberaram pelo oceano e produziram grandes *tsunamis*, com um quilômetro de altura. No ponto de colisão, ocorreu a formação de uma cratera com centenas de quilômetros. A área ao redor, com mais de mil quilômetros de raio, foi totalmente carbonizada, esterilizada. Mais longe, incêndios foram produzidos, se espalhando por praticamente toda a América do Norte. A poeira levantada pelo impacto transformou o dia em noite, bloqueando a luz do Sol, por um período de dezenas de meses. A poluição atmosférica esfriou o clima repentinamente e gerou **chuva ácida**, que contaminou os oceanos em escala global.

Com a morte de espécies em massa, inclusive de plantas, que dependiam diretamente da luz do Sol, os dinossauros que não foram mortos pelo impacto não tinham como se alimentar. As criaturas dominantes da Terra se viram diante de uma crise ecológica sem precedentes e morreram de fome. Somente os bichos menores, como os mamíferos, conseguiram passar pelo “gargalo”, graças às suas baixas necessidades, e proliferar, eventualmente recuperando os *habitats* perdidos.



Chuva ácida:
contaminação da água que participa do ciclo hidrológico (ou seja, que evapora da superfície, forma nuvens na atmosfera e volta a chover) com compostos que geram poluentes altamente reativos e nocivos à vida, como ácido sulfúrico.

Foi devido a esse episódio fortuito que mamíferos de tamanhos que iam dos de cães aos de elefantes, passando pelo de seres humanos, puderam surgir e progredir. Somos, de certa maneira, produto da interação dos perigos do espaço exterior com a evolução da vida na Terra.

Por outro lado, agora, ao estudar o espaço e entender a natureza do perigo, estamos caminhando – ainda que não estejamos 100% seguros – para desenvolver tecnologias que nos protejam contra o futuro impacto de um asteróide. Graças à ciência, estamos começando a reverter o jogo e ditar as regras. Claro, há muito caminho a percorrer até que cheguemos lá, mas certamente não é à toa que o escritor britânico Arthur C. Clarke (1917-2008) avaliou que “os dinossauros morreram porque não tinham um programa espacial”.

UMA COLEÇÃO DE PLANETAS

A percepção de que a Terra é apenas um mundo, em meio a tantos outros que giram ao redor do Sol, ajuda não só a entender como nosso planeta pode ser influenciado por acontecimentos celestes, mas também a se dar conta da razão pela qual certos fenômenos terrestres se desenvolvem. Ao tirar a Terra do centro do Universo, Copérnico nos escancara um campo científico totalmente novo e fascinante: **planetologia comparada**.

O termo é recente, e não poderia ser diferente. Quase nada poderíamos dizer sobre os outros planetas se não fossem as recentes expedições robóticas conduzidas no espaço. Antes de 1957, nossa visão do que poderíamos esperar das condições a serem encontradas em outros planetas era muito mais fruto de nossa imaginação do que de real informação. Era o entusiasmo nascido do “princípio copernicano”, segundo o qual não ocupamos um lugar especial no cosmos. Se a Terra é apenas um lugar, por que não encontrar coisas tão fascinantes ou até mais do que as que temos aqui em outros planetas? Esse era o raciocínio da época.



Planetologia comparada: ciência que estuda a origem e a evolução dos diferentes planetas a partir da comparação entre eles.

Em *The Exploration of Space* [A exploração do espaço], de 1958, Arthur C. Clarke sintetiza o conhecimento adquirido sobre os planetas antes das primeiras investidas espaciais e manifesta a expectativa de encontrar vida brotando de vários lugares diferentes do Sistema Solar. Ele praticamente exclui Mercúrio e Vênus (embora ressalte que as nuvens venusianas deixam passar muito pouca informação sobre o que há em sua superfície para que descartemos a hipótese de vida), mas aponta que Marte, com suas calotas polares sazonais (que ele imagina serem feitas totalmente de gelo de água), poderia ser um abrigo para formas biológicas. Entretanto, ele se mostra bem menos entusiasmado que Percival Lowell (1885-1916), o americano que, no final do século 19, aventava a hipótese de que havia uma civilização moribunda em Marte construindo canais loucamente, para combater a seca que afligia aquele mundo – idéia que obviamente se mostrou equivocada.

Sobre o que há além de Marte, o escritor inglês é mais cauteloso, embora pareça já andar na trilha correta, ao menos para categorizar os quatro planetas gigantes, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Escreveu ele:

O menor desses tem quatro vezes o diâmetro da Terra, mas suas densidades são extremamente baixas (no caso de Saturno, chega a ser menor do que a da água). Somos forçados a concluir disso que os quatro planetas gigantes são parcialmente gasosos ou líquidos, talvez possuindo núcleos sólidos em grandes profundidades abaixo de uma atmosfera imensamente espessa. Observações telescópicas apóiam essa teoria, pois Júpiter e Saturno mostram mudanças – assim como vastas perturbações ocasionais – que dificilmente poderiam ocorrer se eles fossem corpos sólidos. (CLARKE, 1958, pp. 121-122).

A exploração robótica do Sistema Solar demonstrou exatamente isso – e muito mais. No final das contas, longe de uma família homogênea, ficou claro que a coleção de planetas do Sistema Solar pode ser dividida em pelo menos dois grupos distintos.

Na região interna, até Marte, temos os “planetas terrestres”. O nome não diz respeito à similaridade com a Terra, mas, indica sua propriedade mais elementar, qual seja sua composição

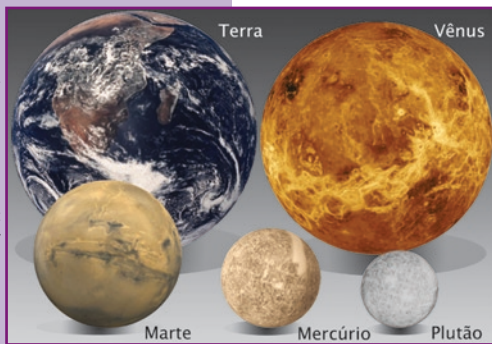


Figura 2.13. Os quatro planetas terrestres, Terra e Vênus ao fundo, Marte e Mercúrio à frente, mais Plutão, recentemente reclassificado como planeta anão.

rochosa. Fazem parte desse grupo Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

Após o cinturão de asteróides, encontramos Júpiter, o primeiro dos quatro “gigantes gasosos”. Sua composição é majoritariamente de hidrogênio e hélio, as matérias-primas mais abundantes do Universo, e seu estado é gasoso, exceto por um núcleo possivelmente sólido nas profundezas de seu interior. O mesmo ocorre com Saturno, o segundo maior planeta do Sistema Solar.

Depois deles, encontramos outros dois gigantes gasosos, mas com uma aparência diferente: são eles Urano e Netuno. Ambos são muito similares um ao outro, e possuem menor proporção de hidrogênio e hélio que Júpiter e Saturno (embora esses ainda sejam os principais componentes da atmosfera), somados a um toque de metano. E, por estarem mais distantes do Sol, possuem um solo congelado sob sua grande atmosfera.

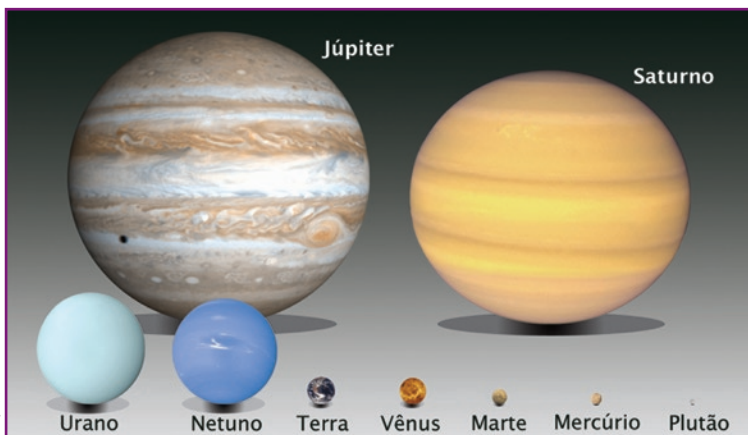


Figura 2.14. Comparação dos tamanhos dos planetas numa mesma escala. Ao fundo Júpiter e Saturno e na frente Urano, Netuno, Terra, Vênus, Marte, Mercúrio e Plutão, reclassificado em 2006 como planeta anão.

Finalmente, temos, depois de Netuno, Plutão e outros corpos de porte similar. De início, quando foi descoberto, em 1930, pelo americano Clyde Tombaugh, Plutão foi considerado um planeta. Mas, após muitos anos de debate e estudo, em 2006 a União Astronômica Internacional decidiu excluí-lo da lista, deixando o Sistema Solar com apenas oito planetas. Plutão, agora reclassificado como um “planeta anão”, é apenas mais um dos objetos pertencentes ao cinturão de Kuiper.

A despeito de quem é planeta e quem não é nessa história toda, o mais importante é que, ao compararmos os diversos mundos no Sistema Solar, aprendemos muito mais sobre o nosso.

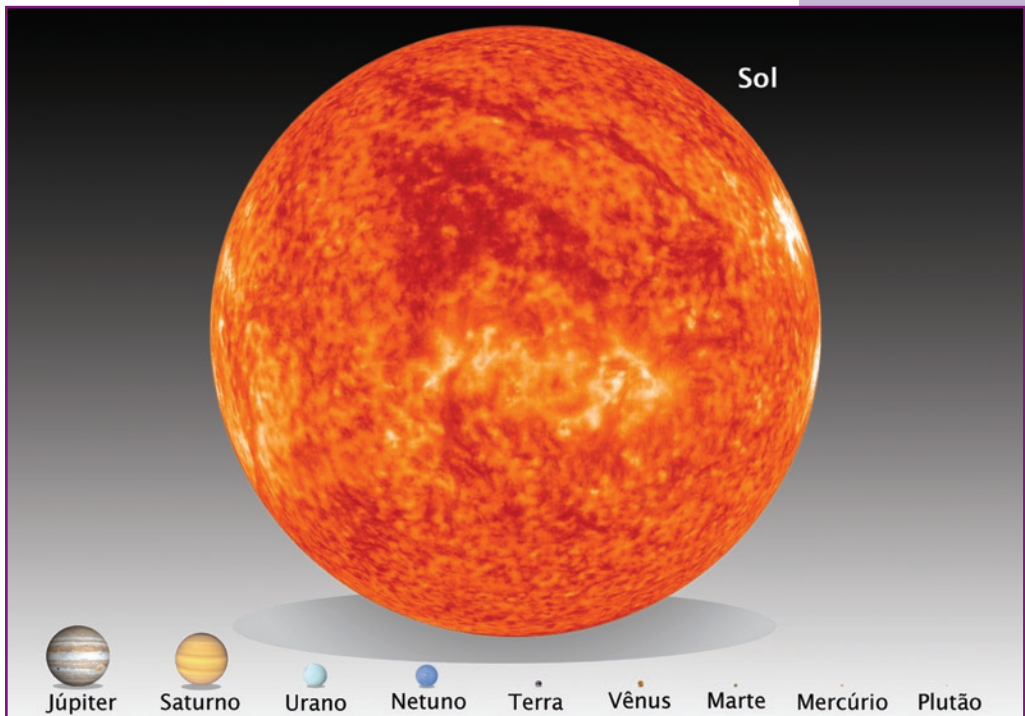


Figura 2.15. Comparação entre os volumes do Sol e dos planetas numa mesma escala.

Hoje, por exemplo, uma das coisas que mais se fala da Terra, em termos globais, é o acirramento do efeito estufa. Ocorre que esse fenômeno foi descoberto não na Terra, mas em Vênus! E lá a coisa realmente é pesada. Uma atmosfera 90 vezes mais densa

Adaptada de imagem publicada no sítio de Jeff Rense. <http://www.rense.com/>



O efeito estufa consiste na propriedade que a atmosfera tem de permitir que os raios solares atinjam o solo, e depois impedir que o calor escape refletido para o espaço.

O mecanismo é parecido com o que acontece dentro das estufas de plantas, daí o nome.

que a terrestre, recheada de gás carbônico, impede que o calor escape. Resultado: é o planeta mais quente do Sistema Solar, com temperaturas mais ou menos constantes dia e noite, ao redor dos 450°C. Lá, até mesmo as rochas brilham no escuro, de tão quente que é.

O mais assustador da história é que Vênus é um planeta, em termos de tamanho, muito parecido com a Terra. Ele está um pouco mais próximo do Sol do que nós, mas só isso não parece justificar a diferença monstruosa de temperatura. Sua evolução é uma demonstração cabal de

como planetas terrestres podem “dar errado”, se comparados com a hospitaleira Terra.

O histórico venusiano torna mais preocupante o acirramento recente do efeito estufa terrestre (que, em seu estado natural, era benéfico, ao reduzir as variações de temperatura e manter o ambiente suficientemente confortável para a vida), em razão da injeção de gases causadores do fenômeno na atmosfera em decorrência de atividades humanas. Será que podemos, com isso, derrubar o equilíbrio existente e levar a Terra subitamente a um efeito estufa descontrolado, auto-reforçador, que poderia transformá-la numa irmã gêmea de Vênus? Embora seja quase unânime o consenso de que o planeta está se aquecendo, a maioria dos cientistas hoje pensa que não é possível que ele chegue rapidamente ao ponto em que Vênus chegou – mas o risco é alto demais para que não façamos mais estudos. E parte deles deve certamente envolver a investigação de por que o ambiente venusiano se tornou o que é.

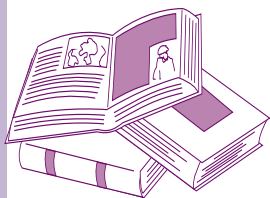
Por que a Terra e Vênus têm menos crateras do que outros planetas?

Outros planetas também dão dicas de como o ambiente terrestre é diferente. Por exemplo, sabemos que a Terra e Vênus têm muito

menos crateras que Mercúrio, a Lua e Marte. Como explicar isso? As crateras são, em sua maioria, formadas pelo impacto de asteróides e cometas (e não por uma inteligência extraterrestre, como desconfiava Kepler), e os modelos de formação do Sistema Solar indicam que todos os planetas terrestres devem ter sofrido mais ou menos o mesmo número de colisões. (Na verdade, Terra e Vênus, por serem os maiores do grupo, deveriam ter tido mais impactos!) Então, o que aconteceu?

Os cientistas descobriram que a atividade interna dos planetas – na forma, principalmente, de vulcanismo – pode apagar os sinais deixados por impactos na superfície. Terra e Vênus são menos marcados porque são geologicamente os membros mais ativos entre os planetas terrestres. De outro lado, a presença de crateras ajuda a “datar” um terreno, descobrir se ele é muito velho. Essa técnica é usada até hoje para identificar, por meio de observações feitas do espaço, qual é a idade de uma dada região de Marte.

Conforme os estudos dos planetas continuam, certamente descobriremos mais diferenças e semelhanças relevantes para o entendimento da própria Terra, o que só ressalta a importância da exploração de outros mundos, mesmo que o objetivo seja revelar fatos e fenômenos da realidade terrestre.



LEITURAS COMPLEMENTARES

A QUESTÃO PLUTÃO – RESOLUÇÃO DA UNIÃO ASTRONÔMICA INTERNACIONAL DE 2006

Thaís Mothé Diniz (Observatório Nacional – ON).

A descoberta casual de Urano, em 1781, por William Herschel e a identificação de irregularidades associadas à sua órbita (discrepâncias entre as observações e as efemérides) levaram os astrônomos a sugerir a existência de um outro planeta, além de Urano, que poderia ser o causador dessas irregularidades. Foram feitos cálculos para prever onde estaria este planeta, e uma busca foi iniciada, resultando na descoberta de Netuno em 1846. Entretanto, as irregularidades permaneciam, agora também na órbita de Netuno. Diversos astrônomos interpretaram-nas como sendo causadas por um planeta adicional, ainda mais distante. Entre estes astrônomos estava Percival Lowell, que calculou a posição onde deveria estar o nono planeta, então apelidado “Planeta X”, e construiu um observatório para a busca, o *Lowell Observatory*.

Plutão só foi descoberto em 1930, após a morte de Lowell, pelo astrônomo americano Clyde Tombaugh, que trabalhava no *Lowell Observatory*. Quanto às irregularidades nas órbitas de Urano e Netuno, hoje sabemos que eram devidas a incorreções na estimativa da massa destes objetos, e não causadas pela atração gravitacional de um planeta desconhecido. Na verdade, podemos dizer que Tombaugh teve sorte na descoberta de Plutão, um objeto muito fraco nas placas fotográficas, e que, alguns anos antes, havia passado despercebido pelo próprio Lowell.

Já na época de seu descobrimento, Plutão foi considerado um planeta “anômalo”, com órbita muito excêntrica e inclinada,

enquanto todos os demais possuem órbitas quase circulares (excentricidades baixas) e estão todos aproximadamente no mesmo plano (baixas inclinações). Além disso, seu diâmetro era muito inferior aos demais (~18% do diâmetro da Terra). Posteriormente, viu-se ainda que, pela composição, Plutão não se encaixava nem na categoria de planeta rochoso, nem na de planeta gasoso. A densidade de Plutão (bem como a de um de seus satélites, Caronte) é aproximadamente duas vezes a da água, o que indica que é composto por uma mistura de gelo e material rochoso. Estima-se que a temperatura superficial em Plutão seja de, aproximadamente, 40 Kelvin (-233°C). O conjunto das características de Plutão fez com que por muitos anos ele fosse considerado um “estranho” mundo gelado, em uma órbita “diferente”.

Nas décadas de 1940 e 1950, Gerard Kuiper e Kenneth Edgeworth (1880-1972) sugeriram que ele não era o único, mas que existiria uma miríade de objetos gelados orbitando em um disco localizado para além de Netuno, e que Plutão seria o mais brilhante desses objetos. Esse disco foi denominado Cinturão de Edgeworth-Kuiper, ou simplesmente Cinturão de Kuiper. Nos anos subsequentes as buscas por objetos do Cinturão de Kuiper foram frustradas, nenhum objeto foi detectado, e o cinturão caiu no esquecimento. O primeiro objeto do cinturão de Edgeworth-Kuiper, entretanto, só foi detectado ao telescópio em 1992, em Mauna Kea, Havaí, mais de 60 anos depois da descoberta de Plutão! Desde então já foram observados mais de mil desses objetos, com diâmetros entre 50 km e 2.000 km. Estimativas atuais, baseadas no número de objetos descobertos até o momento e na fração do céu que foi “varrida” nas buscas, indicam que existem ao menos 100.000 objetos gelados com diâmetros maiores do que 100 km.

Com a descoberta observacional do Cinturão de Kuiper, Plutão deixou de ser um corpo anômalo, mas passou a fazer parte de um grupo de objetos, equivalente ao Cinturão de Asteróides que está localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter, porém na parte externa do Sistema Solar, na região “gelada” que se estende desde a órbita de Netuno até aproximadamente 50 UA.

Um resultado recente sobre o Cinturão de Kuiper é que, da mesma forma que Plutão, muitos de seus objetos estão em ressonância 3:2 de movimento médio com Netuno. Isso significa que eles completam duas órbitas em torno do Sol no mesmo tempo que Netuno completa três órbitas. Esses objetos são denominados “Plutinos”, por sua semelhança “dinâmica” com Plutão.

A nova definição de Planeta

A nova resolução da The International Astronomical Union (IAU) [União Astronômica Internacional] diz que “Planeta é todo corpo celeste que cumpra as seguintes condições” (http://www.iau.org/static/resolutions/Resolution_GA26-5-6.pdf):

- a. esteja em órbita em torno do Sol;
- b. tenha massa suficiente para que sua auto-gravidade se sobreponha às forças de um corpo rígido de modo que o corpo esteja em equilíbrio hidrostático, isto é, seja arredondado; e
- c. seja dinamicamente dominante na vizinhança de sua órbita.

A IAU também introduziu uma nova terminologia em astronomia: a de Planeta Anão. Para um corpo ser um “Planeta Anão”, ele tem que cumprir as duas primeiras condições da definição de Planeta, não satisfazer a terceira e:

- a. não ter limpado a vizinhança de sua órbita; e
- b. não ser satélite de nenhum planeta.

Todos os demais objetos, exceto os satélites, serão chamados de “Pequenos Corpos do Sistema Solar”.

O SISTEMA SOLAR

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

A teoria mais aceita atualmente sugere que o Sistema Solar surgiu de uma nuvem primitiva de gás e poeira ao redor de 4,6 bilhões de anos atrás. A gravidade fez com que esta névoa sofresse uma contração, num processo que durou dezenas de milhões de anos, até que a maior parte de sua massa se concentrasse no centro do sistema. Devido à turbulência, o núcleo original começou a girar com velocidade cada vez maior, dando ao restante da névoa a forma de um disco.

A temperatura do centro da nuvem foi aumentando à medida que ela se comprimia, até se tornar quente o suficiente para que o Sol começasse a brilhar. Enquanto isso, a periferia do disco foi se esfriando, permitindo que a matéria se solidificasse.

À medida que as partículas colidiam, elas foram se unindo, formando corpos cada vez maiores. Esses corpos são atualmente os oito planetas que giram em torno do Sol.

Essa teoria foi proposta, primeiramente, pelo francês Pierre Simon de Laplace e vem sofrendo aperfeiçoamentos desde então.

Mercúrio

É o planeta mais próximo do Sol, o que dificulta sua observação no céu, embora seja visível a olho nu quando em configuração favorável. Ambos os diâmetros (equatorial e polar) são de 4.878 quilômetros, e a translação ao redor do Sol se efetua em 88 dias, enquanto a rotação ocorre em 58 dias, 15 horas, 27 minutos e 42 segundos.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.16. Os planetas do Sistema Solar e Plutão, o planeta anão, numa mesma escala. O Sol está fora da escala dos planetas e as distâncias entre eles é apenas esquemática.



Adler Planetarium & Astronomy Museum.
www.adlerplanetarium.org/

Figura 2.17. Mercúrio em imagem obtida pela sonda Mariner 10.

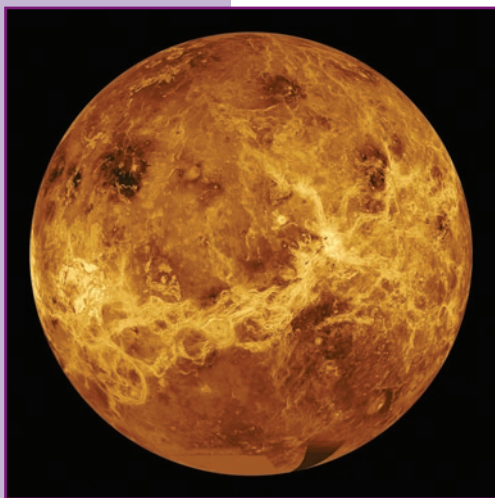


Figura 2.18. Vênus, em imagem de radar obtida pela sonda Magellan.

Devido à proximidade com o Sol, as temperaturas em Mercúrio oscilam entre 430 graus Celsius, de dia, e -170 graus Celsius, à noite. O planeta não possui atmosfera e sua superfície é repleta de crateras.

Vênus

É o mais brilhante dos planetas, com órbita situada entre a de Mercúrio e a da Terra. Como é um planeta interior, apresenta fases semelhantes às da Lua, se observado com um instrumento de pequeno porte. Ao telescópio, não mostra na superfície marcas bem definidas, pois é coberto por atmosfera espessa, composta em pelo menos 95% de gás carbônico, o que acarreta temperaturas superiores a 464 graus Celsius, por conta do efeito estufa (mais quente, portanto, que Mercúrio). As nuvens venusianas são formadas por gotículas de ácido sulfúrico, composto extremamente corrosivo. Em 1993, a superfície de Vênus foi completamente mapeada pela sonda americana Magellan (Magalhães). Ambos os diâmetros do planeta são de 12.104 quilômetros, e os períodos de translação em torno do Sol e de rotação se completam respectivamente em 225 e 243 dias terrestres, sendo a rotação retrógrada.



Figura 2.19. A Terra e a Lua, vistas pela sonda Galileo.

Terra

O terceiro planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol. Seu diâmetro equatorial equivale a 12.756 quilômetros, enquanto o diâmetro polar é de 12.713 quilômetros. Assim sendo, a Terra não é uma esfera perfeita. O movimento de rotação se realiza em 23 horas, 56 minutos e 4 segundos, e o movimento de translação

ao redor do Sol em 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 46 segundos. Apresenta-se envolto numa massa gasosa (atmosfera). Possui uma lua e é o único do Sistema Solar, até onde se sabe, a ter vida.

Marte

O quarto planeta em ordem de afastamento do Sol e o único do Sistema Solar a apresentar aspectos e características análogos aos da Terra. Sua superfície mostra terrenos crivados de crateras, vales sinuosos onde outrora hão de ter corrido rios, campos de neve carbônica e dunas de areia. Seu diâmetro equatorial é de 6.794 quilômetros, enquanto o polar equivale a 6.760 quilômetros. A translação em torno do Sol se realiza em 687 dias, e a rotação em 24 horas, 37 minutos e 22 segundos. Sua massa é 10,7% da terrestre. Possui duas luas, Fobos e Deimos, ambas descobertas em 1877 pelo astrônomo americano Asaph Hall (1829-1907).

Júpiter

O maior planeta do Sistema Solar, que orbita entre Marte e Saturno. O diâmetro equatorial equivale a 142.796 quilômetros; já o polar é de 133.515 quilômetros. Júpiter tem uma massa 318 vezes superior à da Terra, e sua rotação se dá em cerca de 9,9 horas (é impossível determinar com exatidão, pois a velocidade de rotação joviana varia com a latitude, uma vez que se trata de um planeta essencialmente gasoso), enquanto a translação ao redor do Sol se dá em 4.329 dias

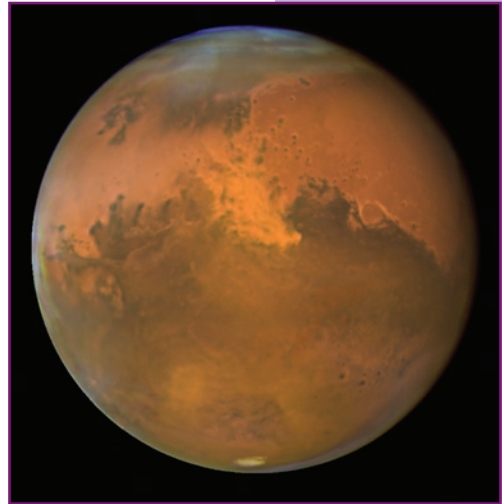


Figura 2.20. Marte, em imagem capturada pelo Telescópio Espacial Hubble.

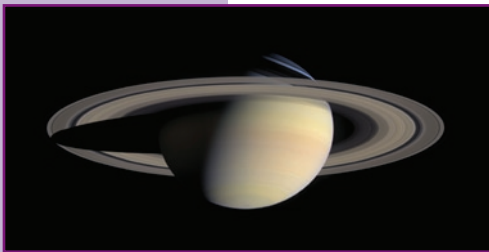


Figura 2.21. Júpiter, em imagem da sonda Cassini.

Nasa. www.nasa.gov/

Nasa. www.nasa.gov/

(cerca de 11,8 anos terrestres). É visível a olho nu como uma estrela de magnitude -2,5 no momento de máximo brilho e, observado ao telescópio, apresenta a forma de um disco achatado e atravessado por faixas escuras paralelas ao equador, que delimitam entre si zonas mais claras. No interior de tais faixas se observam marcas superficiais de formas irregulares e coloração particular; duas dessas formações se distinguem das restantes: a “Grande Mancha Vermelha” (marca rósea situada na zona temperada sul do planeta, observada pela primeira vez em 1665 por Jean-Dominique Cassini, astrônomo francês de origem italiana. Parece tratar-se de uma massa gasosa flutuante na superfície do planeta e sua proporção equivale a mais do dobro do tamanho da Terra) e a “Perturbação Austral” (marca observada pela primeira vez em 1901, localizada nas latitudes austrais do planeta e possuidora de um movimento de rotação superior ao dos outros objetos da mesma região). Júpiter possui ainda um tênue anel e 63 luas (até agora descobertas), das quais 16 se destacam. Ei-las, em ordem de afastamento do planeta: Métis, Adrastéia, Amaltéia, Tebe, Io, Europa, Ganimedes (a maior delas), Calixto, Leda, Himalia, Elara, Lisitéia, Ananque, Carne, Pasífaa e Sinope. Em julho de 1994, o lado de Júpiter onde era noite foi atingido pelo cometa Shoemaker-Levy 9, o que provocou imensos clarões na noite joviana. (O cometa recebeu esse nome porque foi descoberto em 1993 pelo casal de cientistas Carolyn (1929-) e Eugene Shoemaker (1928-1997) e por David Levy (1948-), do Observatório de Monte Palomar, na Califórnia.)



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.22. Saturno, em imagem obtida pela sonda Cassini.

Saturno

O sexto planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol, e o segundo em volume, com diâmetro equatorial de 120.835 quilômetros e diâmetro polar de 107.785 quilômetros, com densidade oito vezes menor que a da Terra. Distingue-se dos demais planetas do Sistema Solar por possuir um vasto sistema de anéis. Sua translação em torno do Sol se completa

em 10.752 dias (cerca de 29 anos terrestres), e a rotação, na zona equatorial, em pouco mais de 10,6 horas (o valor exato é incerto). Saturno possui, até onde se conhece, 56 luas. A maior delas se chama Titã.

Urano

O sétimo planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol e historicamente, o primeiro descoberto pela astronomia moderna. Seu descobridor foi o astrônomo inglês William Herschel, em 13 de março de 1781. De início, Herschel pensou que se tratasse de um cometa. Cinco meses depois, o astrônomo francês Pierre Simon de Laplace constatou que o “cometa” na verdade era um planeta. Em boas condições de visibilidade, Urano é visível a olho desarmado, pois na oposição atinge a magnitude 5,8. Tem um diâmetro equatorial de 51.800 quilômetros, e o polar é de 48.692 quilômetros. Seus movimentos de translação ao redor do Sol e rotação se completam, respectivamente, em 30.687 dias (84 anos terrestres) e 17,2 horas, sendo sua rotação retrógrada. Descobriu-se em 1977 que ele é cercado por vários anéis que lembram os de Saturno, mas são bem mais tênues. Possui 27 luas.

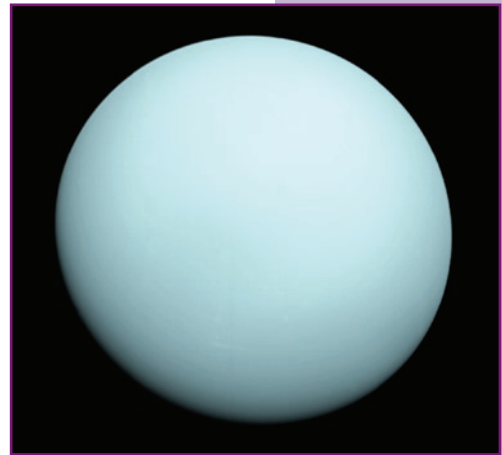


Figura 2.23. Urano, em imagem da sonda Voyager 2.

Wikipédia. www.wikipedia.org/

Netuno

O oitavo e último planeta em ordem de afastamento do Sol, e o segundo descoberto na era moderna. Foi, também, o primeiro descoberto a partir de cálculos, antes de sua observação óptica. Essa descoberta se deve ao astrônomo francês Urbain Jean Joseph Leverrier (1811-1877), que previu corretamente sua existência em 1846,

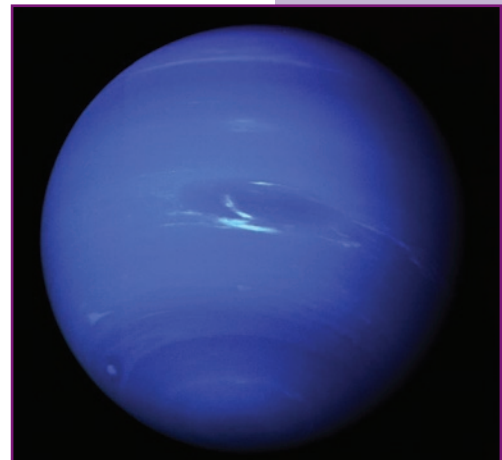


Figura 2.24. Netuno, em imagem obtida pela sonda Voyager 2.

Adler Planetarium & Astronomy Museum.
www.adlerplanetarium.org/

utilizando-se de cálculos baseados nas irregularidades da órbita de Urano. Em 23 de setembro do mesmo ano, o astrônomo alemão Johann Gottfried Galle (1812-1910) encontrou a posição do planeta, que também havia sido fixada pelo inglês John Couch Adams (1819-1892), que não conseguiu mobilizar astrônomos ingleses a procurarem o astro. A atmosfera, composta de hidrogênio, hélio, metano e amoníaco, contém várias características marcantes, como a Grande Mancha Escura, a Pequena Mancha Escura e a Patineta. A translação se completa em 60.190 dias (164,8 anos terrestres), enquanto a rotação em 15 horas e 48 minutos. Possui 13 luas conhecidas, das quais a maior é Tritão.

O excluído: Plutão

Até meados de 2006, Plutão era oficialmente tido como o nono planeta do Sistema Solar. O “rebaixamento” aconteceu em 24 de agosto de 2006, quando a União Astronômica Internacional (IAU) votou uma nova definição de planeta, que só considerava um objeto como tal se ele estivesse relativamente sozinho na região de sua órbita. Como Plutão é apenas um dos muitos objetos do chamado cinturão de Kuiper, a IAU optou por reclassificá-lo, dando a ele o *status* de “planeta anão”.

Plutão teve sua descoberta anunciada em 13 de março de 1930 por Clyde Tombaugh, astrônomo americano, após a série de pesquisas iniciada pelo astrônomo Percival Lowell. Embora no início os astrônomos pensassem que ele fosse muito maior, hoje sabe-se que tanto o diâmetro como a massa de Plutão são inferiores aos da Lua. Sua translação em torno do Sol se realiza em 90.553 dias (cerca de 248 anos terrestres), e a rotação em 6,3 dias, em sentido retrógrado. Em certas épocas, Plutão invade a órbita de Netuno. No periélio, Plutão dista 4,5 bilhões



Figura 2.25. Plutão e suas três luas, em imagem do Telescópio Espacial Hubble.

de quilômetros do Sol, e no afélio, 7,5 bilhões de quilômetros. O objeto possui três luas: Caronte, descoberta em 1978, e Nix e Hidra, descobertas em 2005.



Os planetas em números

ASTRO	MERCÚRIO	VÊNUS	TERRA	MARTE	JÚPITER	SATURNO	ÚRANO	NETUNO
Massa (Terra = 1)	0,055	0,81	1	0,11	318	95,18	14,15	17,14
Diâmetro equatorial (km)	4.878	12.103	12.756	6.786	142.984	120.536	51.118	49.528
Volume (Terra = 1)	0,056	0,86	1	0,15	1.323	744	67	57
Densidade média (g/cm ³ ; água = 1g/cm ³)	5,42	5,25	5,52	3,94	1,33	0,69	1,27	1,71
Gravidade superficial equatorial (Terra = 1)	0,38	0,86	1	0,38	2,5	1,1	1,1	1,1
Velocidade equatorial de escape (km/s)	4,3	10,3	11,2	5	59,5	35,6	21,2	23,6
Inclinação axial (graus)	2	2	23,4	24	3,1	26,7	97,9	28,8
Período rotacional (duração do dia)	58,65 d	243,01 d*	23,93 h	24,62 h	9,92 h	10,67 h	17,23 h*	16,12 h
Temperatura superficial média (°C)	-170 a 430	464	15	-40	-120	-180	-210	-220
Número de luas	0	0	1	2	63	56	27	13
Magnitude máxima aparente	-1,4	-4,4	-	-2,8	-2,8	-0,3	5,5	7,8
Afélio (milhões de km)	69,7	109	152,1	249,1	815,7	1.507	3.004	4.537
Periélio (milhões de km)	45,9	107,4	147,1	206,7	740,9	1.347	2.735	4.456
Distância média do Sol (milhões de km)	57,9	108,2	149,6	227,9	778,3	1.427	2.869,6	4.496,6
Velocidade orbital média (km/s)	47,89	35,03	29,79	24,13	13,06	9,64	6,81	5,43
Inclinação orbital (graus)	7	3,39	0	1,85	1,3	2,49	0,77	1,77
Período orbital (duração do ano) / (a = ano terrestre; d = dia terrestre)	87,97 d	224,7 d	365,26 d	1,88 a	11,86 a	29,46 a	84,01a	164,79 a

* = rotação retrógrada



ATIVIDADES

EXPLICANDO ASTRONOMIA BÁSICA COM UMA BOLA DE ISOPOR

João Batista Garcia Canalle (Uerj). Trabalho publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 16, nº 3, p. 314 – 331, 1999.

Apresentação

Neste trabalho mostramos como usar uma bola de isopor para explicar os fenômenos astronômicos básicos, tais como: 1) dia e noite, 2) duração do dia e da noite, 3) estações do ano, 4) eclipses e 5) fases da Lua. Estes fenômenos, normalmente, são explicados nos livros didáticos de ciências e ou geografia do Ensino Fundamental, porém raramente sugerem o uso de algum material didático. Mostramos, então, que uma simples bola de isopor tem muito mais utilidades didáticas do que as figuras que acompanham as explicações dos livros didáticos.

Com as atividades aqui propostas, usando sempre a participação ativa dos alunos, materiais de baixo custo e disponíveis com facilidade no comércio, oferecemos aos professores uma alternativa para ensinar os conceitos básicos de astronomia de uma forma mais realista, correta e motivadora para o aluno.

Objetivos

Propor atividades simples que auxiliam na tarefa de explicar os seguintes fenômenos astronômicos: 1. surgimento do dia e noite; 2. visualização da duração da parte diurna e noturna do dia em função da latitude; devido à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao seu plano orbital; 3. demonstração sobre como ocorrem as estações do ano; 4. ilustrar a ocorrência dos eclipses solares e lunares; e 5. explicar o surgimento das fases da Lua.

Sugestão de problematização

Temos várias propostas de problematização nesta atividade. Na atividade sobre o dia e a noite e sua duração, em função da faixa etária na qual ela for usada, pode-se pedir aos alunos que exponham como explicam a alternância entre os períodos diurnos e noturnos e se acertarem, então vem o desafio seguinte: mas por que há períodos em que os “dias” são mais curtos do que as “noites”? Claro que antes pode ser perguntado se já perceberam esta diferença. Dependendo da latitude do lugar, por exemplo, locais mais ao sul ou sudeste do Brasil as estações do ano são bem distintas. Neste caso o primeiro passo é ouvir quais explicações os alunos possuem para este fenômeno. Ouvir as explicações “intuitivas, espontâneas ou populares” sempre é muito importante, pois deve-se então questionar sobre a correção das mesmas e gradativamente introduzir a versão correta. Quanto aos eclipses lunares pode-se perguntar por quem já observou um, se a Lua desaparece mesmo, qual a explicação que os alunos fornecem para o fenômeno, além de questioná-los sobre o por quê de não ocorrer um eclipse lunar e outro solar todo mês. Por fim, um fenômeno observável toda noite (e dia), mas de não tão trivial compreensão, ou seja, as fases da lua. Pode-se perguntar quantas fases tem a Lua, qual a duração delas, como explicam este fenômeno, observável toda noite.

Materiais

- 1 bola de isopor de 20 ou 25 cm de diâmetro
- 1 lâmpada de 60 watts
- 3 m de fio paralelo branco de 0,5 mm de diâmetro
- 1 soquete
- 1 plugue macho
- 1 quadrado de madeira de 10 cm x 10 cm x 2 cm (ou similar)
- 1 parafuso para fixar o soquete ao quadrado de madeira
- 1 chave de fenda
- 1 rolo de fita isolante pequeno

- 1 vareta de solda
- 1 estilete ou tesoura
- 1 cartolina preta
- 1 pedaço de papel alumínio de 5 cm x 5 cm

Procedimentos

Atividade 1 – Estações do Ano

Este fenômeno, geralmente explicado em livros tanto de ciências como de geografia do Ensino Fundamental, é fonte de muitas incompreensões e erros (CANALLE et al., 1997, TREVISAN et al., 1997 e BIZZO et al., 1996). O erro mais grave é explicá-lo como sendo devido às variações da distância da Terra ao Sol (no verão a Terra fica mais próxima do Sol e no inverno mais longe). Como é muito comum encontrar nos livros didáticos, alguns estão listados nas referências de Canalle et al., 1997. Esquecem, contudo, aqueles que assim concluem, que esta não deve ser a explicação, porque enquanto é verão num hemisfério é inverno no outro e ambos pertencem ao mesmo planeta, portanto, ambos estão à mesma distância do Sol.

Outras explicações são incorretas e induzem a erros, como, por exemplo, a afirmativa de que “as estações do ano ocorrem devido à órbita elíptica da Terra”. Como a órbita à qual é feita a referência, geralmente, é exageradamente elíptica, fica a associação automática: verão/inverno = Terra mais/menos próxima do Sol.

Outra explicação incompleta é a seguinte: “as estações ocorrem devido à inclinação do eixo da Terra e de seu movimento de translação”. Apesar de não estar errada a frase, é incompreensível para o aluno, além de não especificar que a inclinação do eixo de rotação da Terra é em relação à perpendicular ao plano da órbita.

Contudo, existem livros didáticos que esclarecem, corretamente, que as estações do ano não são devidas à maior/menor distância

da Terra ao Sol, mas, infelizmente, “ilustram” estas explicações com desenhos nos quais a órbita da Terra é exageradamente excêntrica (“achatada”), o que induz à conclusão de que verão/inverno estão relacionados com a menor/maior distância da Terra ao Sol. E como as figuras se fixam mais do que as palavras escritas, o aluno fica com a “explicação” errada.

Uma típica imagem usada pelos livros didáticos para auxiliar a explicação das estações do ano é mostrada na Figura 2.26.

Neste tipo de figura, fica muito difícil o aluno ver que ocorre diferença de iluminação nos dois hemisférios da Terra durante parte de sua trajetória e, também, não fica evidente a importância da constância da inclinação do eixo de rotação da Terra para a ocorrência das estações do ano.

Como característica geral, nos livros didáticos inexistem sugestões de demonstrações práticas para este fenômeno, com raras exceções, como, por exemplo, no livro de Beltrame et al., 1996, cujo procedimento não funciona, como explica Canalle et al., 1997.

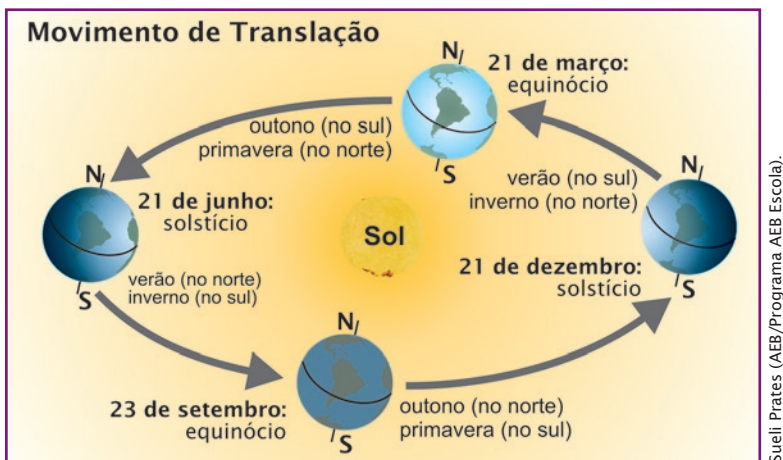


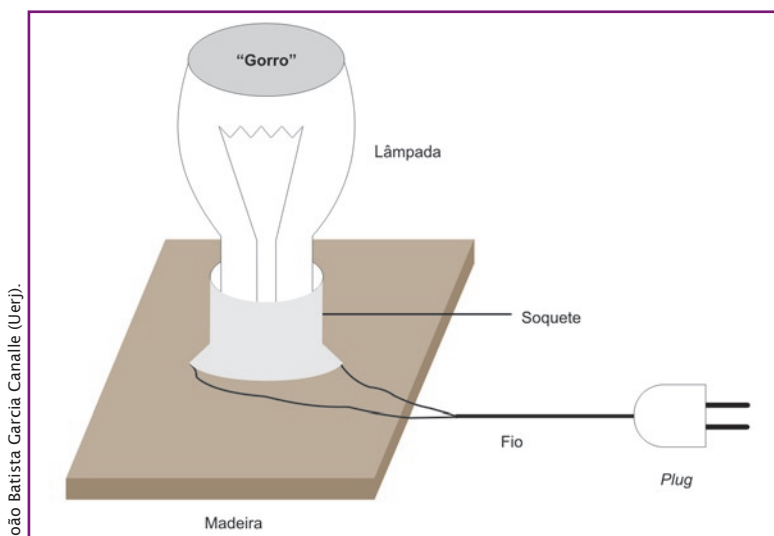
Figura 2.26. Típica figura encontrada em livros didáticos para ilustrar a explicação das estações do ano.

Diante deste quadro caótico de explicações erradas ou de induções a erros, por que não usar um simples experimento, tal qual uma bola de isopor e uma lâmpada para explicar os fenômenos?

É o que sugerimos a seguir.

1. A lâmpada

Sugerimos usar uma lâmpada de 60 W (127 V ou 220 V, dependendo de onde ela vai ser usada), conectada a um soquete fixo a uma madeira de, por exemplo, 10 cm x 10 cm x 2 cm, com um fio paralelo (nº 14) com cerca de 3 m de comprimento. Sobre a lâmpada deve-se colocar um disco de papel alumínio (um “gorro”) com cerca de 5 cm de diâmetro, cuja finalidade será apenas a de evitar que a lâmpada ofusque aqueles que estiverem à sua volta. Veja um esquema na Figura 2.27.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.27. Esquema da montagem da lâmpada no suporte de madeira.

2. A bola de isopor

Sugerimos usar uma bola de isopor* com 20 cm ou 25 cm de diâmetro, atravessada por um eixo que pode ser uma vareta de pipa, vareta de churrasco, vareta de bambu, ou algo similar e que sirva a este propósito.

*Na verdade, isopor é o nome de um dos fabricantes. O nome correto é poliestireno expandido.

3. O ambiente

Para a realização desta atividade será necessário um ambiente escuro ou pelo menos escurecido, uma mesa sobre a qual apoiar a lâmpada e alguns livros (ou caixa de sapato) para serem colocados sob a lâmpada, de tal forma que o filamento desta fique, aproximadamente, na mesma altura do centro da bola de isopor (que, por sua vez, estará na mão da pessoa que apresentará a atividade).

4. A demonstração

Sugerimos começar a explicação definindo o plano da órbita da Terra, o qual, nas condições em que normalmente se realiza essa demonstração, é o plano paralelo à superfície da mesa sobre a qual está a lâmpada e passando pelo centro do Sol, isto é, da lâmpada que o representa. Em seguida, deve-se mostrar qual é a posição do eixo da Terra quando ele estiver perpendicular ao plano da órbita dela. Pode-se começar exemplificando o movimento de translação fazendo a Terra (bola de isopor) girar ao redor do Sol (lâmpada), num movimento circular, o que é muito próximo da realidade. Esta é uma situação hipotética, pois o referido eixo nunca fica perpendicular ao plano da órbita. Enfatizar, neste caso, que ambos os hemisférios da Terra são igualmente iluminados durante todo o movimento de translação e, portanto, não haveria nenhuma razão para haver diferentes temperaturas (verão e inverno, simultaneamente) nos dois hemisférios.

Perguntando-se aos alunos o que se deveria fazer para termos mais iluminação num hemisfério do que em outro, geralmente surge dentre eles a sugestão: inclinar o eixo da Terra. De fato esta condição é necessária apesar de não ser suficiente para termos, simultaneamente, diferente iluminação (usamos aqui iluminação como sinônimo de temperatura – apesar de não serem a mesma coisa, estão relacionadas) nos dois hemisférios e ocorrer a inversão destas diferenças em intervalos de seis meses. É preciso também que a direção do eixo (para onde “aponta”), uma vez inclinado, seja constante.

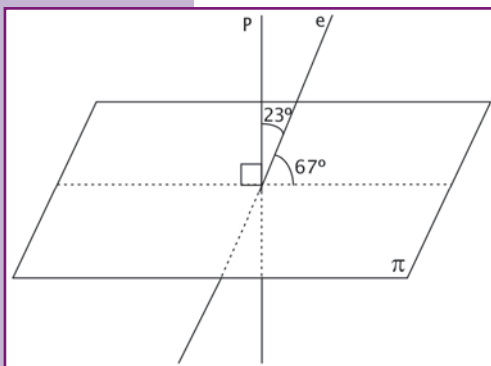


Figura 2.28. Esquema da representação da inclinação do eixo da Terra. A reta "P" representa a perpendicular ao plano da órbita da Terra (plano π) e "e" o eixo de rotação da Terra, inclinado de 23° em relação à perpendicular e 67° em relação ao plano π .

plano da órbita, pois, neste caso, ele estaria quase “deitado” sobre o plano da órbita, o que não é verdade.

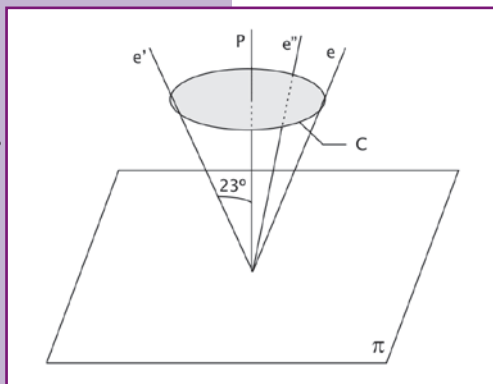


Figura 2.29. O eixo "e", inclinado de 23° em relação à perpendicular, pode apontar para uma direção qualquer (por exemplo e, e', ou e'') sobre a superfície cônica descrita pela superfície C.

Portanto, as razões para termos as estações do ano são duas: 1) constância da inclinação e direção do eixo de rotação da Terra e 2) movimento de translação da Terra ao redor do Sol.

O eixo de rotação da Terra é inclinado de 23° em relação à perpendicular ao plano da órbita (Figura 2.28) e, portanto, de seu complemento (67°) em relação ao plano da órbita. De modo que não se pode dizer (como fazem alguns livros didáticos), que o referido eixo está inclinado de 23° em relação ao

Entendida a questão do ângulo de inclinação, geralmente surge outra: mas, é inclinado para a direita, para a esquerda, para onde? A pergunta procede, afinal, ele, o eixo, pode estar inclinado de 23° em relação à perpendicular e apontar para qualquer direção em 360° , como mostra a Figura 2.29. Alguns livros didáticos respondem pronta e erradamente: inclinado para a direita. Em astronomia não há sentido em apontar direções como esquerda e direita. Em nossa demonstração é, absolutamente, irrelevante a direção

escolhida, mas há uma condição fundamental: uma vez escolhida a direção, que ela não seja alterada durante a translação da Terra (bola de isopor) em torno do Sol (lâmpada), pois é assim que ocorre na realidade. Este eixo é fixo (na verdade não é fixo, mas no tempo de um ano não ocorre nenhuma alteração perceptível).

Então sugerimos: incline o eixo na direção de uma das paredes da sala e permaneça com ele, assim, inclinado durante todo o movimento de translação que fizer com a bola de isopor.

Professores mais metódicos poderão questionar: como determinar a inclinação de 23° em relação à perpendicular ao plano da órbita? Para os objetivos aqui propostos é irrelevante a inclinação exata a ser dada; aliás, recomenda-se até que se exagere um pouco na inclinação para que fique ainda mais facilmente visível a diferença de iluminação entre os dois hemisférios.

Feitos todos esses esclarecimentos, vem a parte mais difícil: transladar a bola ao redor da lâmpada, num movimento circular, sem variar (muito) a inclinação e direção do eixo da Terra. Na Figura 2.30 estão esquematizadas quatro posições sucessivas e diametralmente opostas, para as quais deve-se chamar a atenção dos alunos. Supondo que a demonstração começou na posição A, vê-se que o hemisfério 1 está totalmente iluminado, enquanto o hemisfério 2 fica apenas parcialmente iluminado. Assim sendo, é verão no hemisfério 1 e inverno no hemisfério 2. Isso só pode ocorrer devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da órbita. E, sendo constante esta inclinação, enquanto a Terra gira ao redor do Sol, quando ela estiver passando pelo ponto B é facilmente observável, na demonstração proposta (mas não em figuras tal qual a Figura 2.28 ou a Figura 2.30, apresentada a seguir), que ambos os hemisférios agora estão, igualmente, iluminados. Portanto, o hemisfério 1 passou a receber menos luz (passou de verão para outono) e o hemisfério 2 passou a receber mais luz (passou de inverno para primavera).

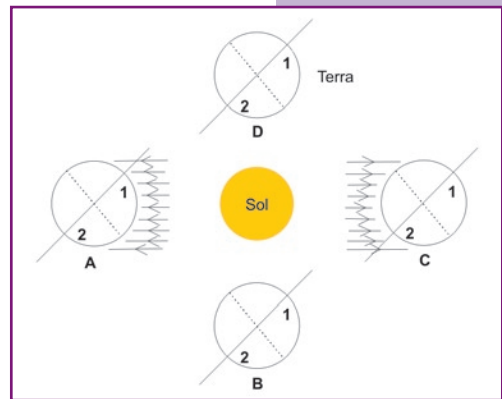


Figura 2.30. Figura esquemática, sem proporções, mostrando o Sol e a Terra em 4 posições (A, B, C, D) diametralmente opostas. Na demonstração prática proposta, fica visível a diferença de iluminação nos hemisférios 1 e 2 esquematizados nas posições A e C pela diferença de raios luminosos que atingem cada hemisfério. Nas posições B e D não é possível representar a igualdade de iluminação nos dois hemisférios, mas é perfeitamente visível na demonstração. O eixo de rotação, nesta figura, está exageradamente inclinado. Esta figura não deve ser usada para se entender o fenômeno. Ela deve ser usada apenas para se entender o manuseio da bola de isopor ao redor da lâmpada.

Continuando a Terra em seu movimento de translação e com seu eixo sempre inclinado da mesma maneira, quando ela passar pela posição C, indicada na Figura 2.30, o hemisfério 1, que tinha perdido iluminação ao passar de A para B (quando passou de verão para o outono), perdeu ainda mais iluminação, passando do outono para o inverno. Justamente o contrário aconteceu com o hemisfério 2, que, quando passou de A para B, ficou mais iluminado (passou de inverno para primavera), agora ficou ainda mais iluminado (como pode-se ver, claramente, na demonstração prática, mas não em figuras, tal qual a Figura 2.28 ou a Figura 2.30), passando de primavera para verão. O processo inverso ocorre indo de C para D e retornando à posição inicial A.

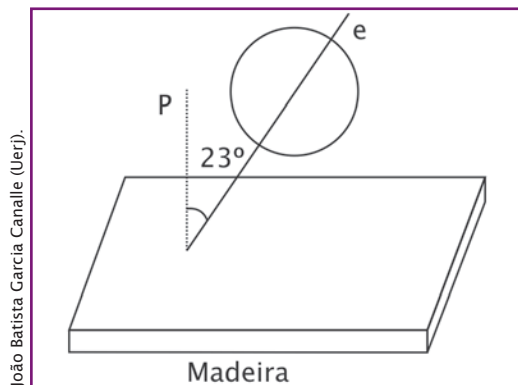
É imprescindível que ao realizar esta experiência os alunos estejam ao redor da mesa sobre a qual está a lâmpada, para que possam ver as diferenças de iluminação entre os hemisférios. Deve-se chamar a atenção para o fato de que, próximo à Linha do Equador – esquematizado na Figura 2.30 linha pontilhada –, quase não há grandes diferenças de iluminação durante todo o movimento de translação da Terra; por isso, lá as estações não são caracterizadas por variação de temperatura.

Também é recomendável que o professor pare a bola nas posições A, B, C e D, e que os alunos caminhem ao redor da mesa para melhor observarem as diferenças de iluminações nos hemisférios 1 e 2 nas posições A e C e a igualdade delas nas posições B e D.

Cuidado: deve-se fixar bem o fio da lâmpada junto ao piso para que não haja acidentes (tropeções), pois o ambiente deve estar pouco iluminado, já que só estará acesa a lâmpada sobre a mesa.

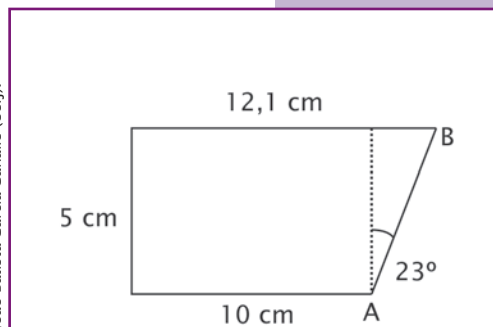
Se o professor não conseguir fazer a translação da bola de isopor mantendo constante a inclinação do seu eixo, sugerimos fixar a vareta do eixo numa base de madeira (Figura 2.31A) e arrastar (sem girar sobre si mesma) essa base de madeira sobre a mesa e ao redor da lâmpada.

Também, pode-se utilizar quatro bolas de isopor, uma em cada posição A, B, C e D. Mas isso, evidentemente, implica quadruplicar custos e trabalho.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.31A. Esquema de como fixar a bola de isopor na madeira (por exemplo, com dimensões de 10 cm x 20 cm x 2cm) para facilitar a demonstração.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.31B. Para fazer o furo na inclinação de 23° , basta recortar um pedaço de papelão com a forma e dimensões mostradas na figura, apoiar o papelão na vertical com o lado de 10 cm apoiado sobre a madeira e bater um prego paralelo ao lado AB do papelão.

Atividade 2 – A duração do dia e da noite

Este fenômeno que atinge a quase todos nós (devemos lembrar que os moradores próximos aos pólos geográficos Norte e Sul não têm o mesmo fenômeno do dia e noite que observam os outros habitantes do planeta), todos os dias, geralmente é explicado na 1ª série do Ensino Fundamental e pode-se usar a montagem apresentada no item anterior para explicá-lo sem maiores dificuldades. Para essa explicação na 1ª série, não é didaticamente aconselhável mencionar a inclinação do eixo de rotação da Terra, por isso pode-se fazê-lo com o eixo na vertical.

Quando o fenômeno das estações do ano for estudado, então, será oportuno explicar que, devido à inclinação do eixo de rotação da Terra, a duração dos dias e das noites varia dependendo da localização do observador sobre a Terra e da época do ano, conforme explicamos na atividade 1.

De posse da montagem anterior, com a bola de isopor fixada na base de madeira (Figura 2.31A), colocada na posição C da Figura 2.30, fica muito fácil explicar, mostrar e, inclusive, “medir”

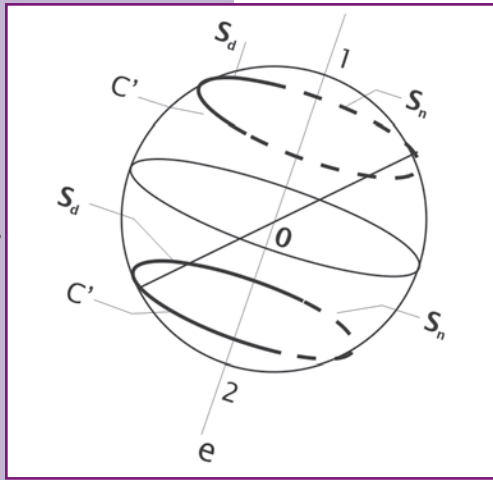


Figura 2.32. Esta figura representa a posição “C” da Figura 2.30. A linha circular C’ paralela à Linha do Equador mostra, no hemisfério 1, quando nele é inverno, o período diurno (arco contínuo) S_d e o período noturno (arco tracejado) S_n , e o mesmo no hemisfério 2 quando é verão.

a duração dos dias e das noites em função da latitude e da posição da Terra em seu movimento de translação.

Na Figura 2.32 mostramos, esquematicamente, como é a divisão dia-noite no hemisfério 1, durante o inverno, e no hemisfério 2, durante o verão.

A linha circular paralela ao equador mostra a duração do dia (na parte contínua da linha – S_d). Sugerimos que se desenhe tal curva na bola de isopor e se meça com uma fita métrica o comprimento dos arcos tracejados e contínuos da linha circular paralela à do equador, por exemplo, do hemisfério 1. Seja S_d e S_n o comprimento do arco para a parte diurna e noturna, respectivamente.

Sabemos que a soma de S_d e S_n é equivalente a 24 horas e, portanto, S_d é proporcional à duração do dia (T_d) e S_n é proporcional à duração da noite (T_n). Assim, vale a regra de três:

$$\frac{S_d + S_n}{24} = \frac{S_d}{T_d} \Rightarrow T_d = \frac{S_d}{S_d + S_n} 24 \text{ h}$$

e equivalentemente

$$T_n = \frac{S_n}{S_n + S_d} 24 \text{ h}$$

Conforme é visível na montagem, a duração do dia e da noite é diferente, porém, complementar, isto é, se o dia dura 13 horas, a noite (naquele mesmo hemisfério e latitude) dura 11 horas e o oposto ocorre no outro hemisfério e na mesma latitude. Na posição C indicada na Figura 2.30, os dias do hemisfério 1 são curtos e as noites longas, enquanto o oposto ocorre com o hemisfério 2. As duas expressões acima, obviamente, são apenas aproximadas. Pode-se observar, também, que aumentando-se a latitude ($\theta \rightarrow 90^\circ$), o segmento S_d vai diminuindo e S_n vai aumentando, ou seja, quanto

mais próximo do pólo geográfico do hemisfério 1, menor o dia (no inverno) e maior a duração da noite, tal que, bem próximo deste pólo, na posição C (Figura 2.30), o segmento S_a vai a zero (desaparece) e toda a curva C' seria tracejada, indicando noite de 24 horas, isto é, no inverno do hemisfério 1, o Sol fica abaixo do horizonte o dia todo. Na mesma posição C da Figura 2.32, o oposto ocorre para o hemisfério 2 quando muito próximo do pólo geográfico 2, indicando dia de 24 horas. Neste caso, vê-se o Sol à meia noite, no horizonte local. Por outro lado, no equador a duração do dia e da noite é, praticamente, idêntica o ano todo, em quaisquer das posições A, B, C ou D.

Atividade 3 – As fases da Lua

Este também é um fenômeno que causa muita confusão. O principal erro é colocar a Lua girando ao redor da Terra no mesmo plano em que esta gira ao redor do Sol (Figura 2.33). Ao fazer isto, causam-se, obrigatoriamente, dois eclipses por mês lunar (ou mês sinódico – 29,5 dias – que é o intervalo de tempo entre duas fases iguais e consecutivas da Lua), sendo um eclipse lunar e outro solar. Uma figura típica encontrada nos livros didáticos está esquematizada na Figura 2.33.

Depreende-se do que está esquematizado na Figura 2.33 que, toda vez que a Lua estiver na posição 1, haverá eclipse solar e, toda vez que passar pela posição 3, haverá eclipse lunar. Como não observamos dois eclipses a cada 29,5 dias, algo deve estar errado com essa figura. Explicaremos os eclipses mais adiante.

A bola de isopor usada nas atividades anteriores, representando a Terra, agora representará a Lua. Sugerimos fixar (espeter) um quadrado de cartolina preta (por exemplo, 5 cm x 5 cm) sobre a superfície da bola de isopor, próximo ao equador (ou seja, a cartolina ficará

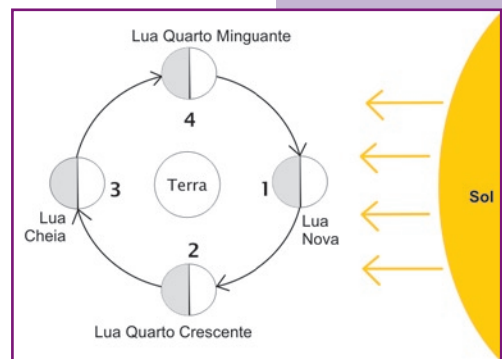
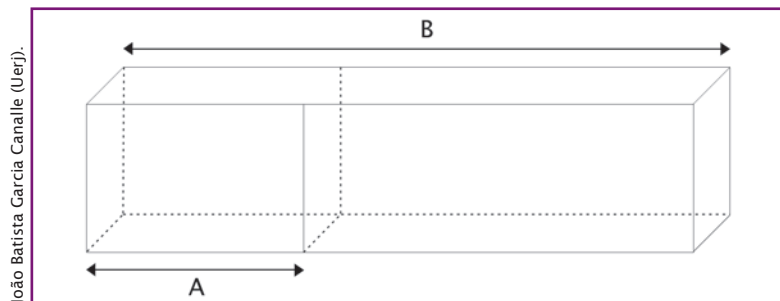


Figura 2.33. Típica figura encontrada em livros didáticos para explicar as fases da Lua.

tangente a algum ponto próximo ao equador lunar). Este quadrado indicará o “São Jorge”, ou seja, a face que está sempre voltada para nós. O esquema utilizado para a explicação, que se segue, das fases da Lua encontra-se na Figura 2.35.

O Sol será representado pela lâmpada, coberta com um tubo de papel alumínio (Figura 2.34) para direcionar, horizontalmente, o feixe de luz sobre a Lua. Para fazer isso, a lâmpada será segurada por um aluno (aluno S, Figura 2.35), que apontará seu feixe sempre para a Lua.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.34. No segmento A está representada a embalagem comercial da lâmpada (um paralelogramo sem fundo ou tampa feito de papelão). Ao redor desta embalagem colocamos uma folha de papel alumínio com comprimento de 40 cm, formando o tubo de papel alumínio indicado pelo segmento B.

A Terra será representada pela própria cabeça de um aluno (aluno T, Figura 2.35), que fará as observações. A Lua será carregada ao redor da Terra por outro aluno (aluno L, Figura 2.35), mas de tal forma que o quadrado preto (“São Jorge”) esteja sempre voltado para a Terra. O aluno Terra (T) apenas girará sobre si mesmo sem se transladar.

Com esta montagem, sugerimos começar a atividade reproduzindo o erro do livro didático, isto é, faça a Lua girar em torno da Terra num plano paralelo ao chão e passando pelo centro da Terra (cabeça do aluno). Estando o Sol no mesmo plano da Terra e da Lua, quando a Lua estiver na posição 1 das Figuras 2.33 ou 2.35, haverá eclipse solar, e quando estiver na posição 3 das mesmas (Figura 2.33 ou 2.35), haverá eclipse lunar. E isso se repetiria a cada mês sinódico.

Logo, algo está errado. Como resolver o problema? Existem duas soluções.

A primeira é deslocar o plano da órbita da Lua para cima ou para baixo da cabeça do aluno, mas isso é irreal, pois, o plano da órbita da Lua deve passar pelo centro da Terra. Eliminada esta solução, a outra, que é a correta e evita os dois eclipses mensais, é inclinar o plano da órbita da Lua. Inclinar o plano da órbita da Lua significa que, partindo a Lua da posição 1, ele deve estar abaixo da linha definida pela direção Terra-Sol, chegará à posição 3 acima do feixe da sombra da cabeça do aluno que representa a Terra (não esquecendo que o plano da órbita da Lua passa pelo centro da Terra).

Com isto evitam-se os dois eclipses mensais e esta é a situação real, ou seja, a Lua não gira ao redor da Terra no mesmo plano que esta gira ao redor do Sol. A inclinação entre os dois planos é de aproximadamente 5° .

Observe, contudo, que os pontos 2 e 4 da Figura 2.35 pertencem tanto ao plano da órbita da Lua quanto ao plano da órbita da Terra. Este fato será muito importante quando se estudar os eclipses.

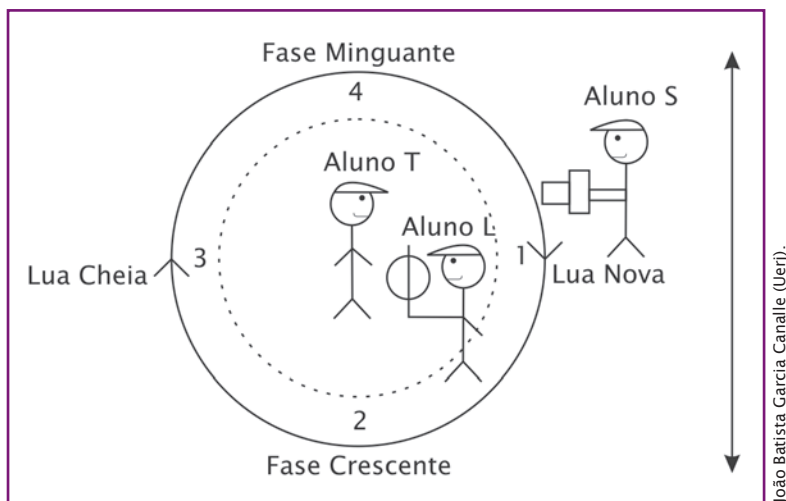


Figura 2.35. Esquema do Sistema Sol-Terra-Lua.

No esquema mostrado na Figura 2.35, o aluno que segura a lâmpada deve ficar a uns 2 ou 3 metros da Terra, apontando seu feixe de luz sempre para a Lua. O aluno que carrega a Lua deve girar ao redor da Terra a cerca de 1 m ou 1,5 m, mas, trasladando a Lua num plano tal que na posição 1 a Lua passe abaixo da linha Terra-Sol, nas posições 2 e 4 cruze o plano da órbita da Terra ao redor do Sol, isto é, fica na mesma altura dos olhos do aluno Terra; e na posição 3 passe acima da linha Terra-Sol.

Observação: No esquema as linhas circulares são vistas de cima e os bonecos representam alunos caminhando sobre o círculo pontilhado e o círculo contínuo foi usado para marcar as fases crescentes, minguantes, cheia e nova.

Quando se evita o problema dos eclipses, define-se, simultaneamente, a inclinação do plano da órbita da Lua em relação ao plano de órbita da Terra. Na posição 1 a Lua da Figura 2.35 está abaixo da linha Terra-Sol; na posição 2 está na mesma altura da cabeça do aluno Terra (seria quando ela estaria cruzando o plano da órbita da Terra); e na posição 3 ela está passando acima da linha Terra-Sol; na posição 4 é a mesma situação da posição 2 e recomeça o ciclo na posição 1.

Lua nova

É aquela que não se vê, pois ela está na posição 1 (abaixo da linha Terra-Sol), logo, o lado voltado para a Terra não está iluminado, além de estarmos olhando na direção do Sol, que nos ofusca a visão. Nesta situação dizemos que a Lua nasce junto com o Sol e se põe junto com ele, mas, na noite seguinte (o aluno que segura a Lua deve se deslocar cerca de 1 ou 2 passos na direção do ponto 2), ela vai se pôr um pouco depois do Sol. Assim, logo que o Sol se põe, vemos a Lua bem próximo do horizonte oeste, mas, como ela está quase na mesma direção do Sol, vemos apenas uma estreita borda iluminada (que lembra uma banana).

Nesta situação já devemos dizer que a Lua está no seu período crescente ou se preferirem: fase (= aparência) crescente, conforme

define Mourão (1987) em seu Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica. A reflexão da luz da lâmpada sobre a bola de isopor imita muito bem o que se vê no céu, mas só para o(s) aluno(s) que representa(m) a Terra. Os outros alunos vêem situações completamente diferentes dependendo de onde estiverem, por isso é muito importante repetir a atividade com todos os alunos (em grupos) ocupando o lugar da Terra.

Lua quarto crescente

Na medida em que o aluno que segura a bola de isopor se desloca para o ponto 2, vai se vendo uma porção maior da Lua iluminada, pois, afinal, estamos na fase crescente. Quando a Lua chega na posição 2, os alunos que representam a Terra verão, exatamente, um quarto da superfície da Lua iluminada; por isso, nessa noite em especial, a Lua é chamada de Lua do quarto crescente. Na noite seguinte ela já não tem mais a mesma aparência, por isso, não devemos mais chamá-la de quarto crescente, afinal mais que um quarto de sua superfície é visível. Entretanto, ela continua no seu período crescente ou fase crescente.

Lua cheia

É o nome dado à Lua quando ela está na posição 3. Conforme definido anteriormente, ela está passando acima da linha Terra-Sol. Todo o disco iluminado é visível da Terra. Note também que o Sol se pôs a oeste e a Lua está “nascendo” a leste, portanto a Terra está entre ambos. A Lua cheia parece maior quando está nascendo do que quando está sobre nossas cabeças, mas isso é uma ilusão: basta olhá-la por um tubo estreito ou por um simples buraquinho através da nossa mão quando a fechamos, de modo a não vermos o relevo do horizonte, que veremos a Lua do mesmo tamanho que quando ela passa sobre nossas cabeças. Com a Lua cheia termina a fase crescente. Na noite seguinte a Lua já não é mais cheia e começa, então, o período ou fase da lua minguante.

Lua quarto minguante

Cerca de sete noites após a lua cheia veremos novamente um quarto da superfície da Lua iluminada; por isso, essa noite, em particular, é chamada de Lua quarto minguante, quando então ela estará passando pelo ponto 4. Note que as noites seguintes não devem ser chamadas de Lua quarto minguante, pois a palavra “quarto” refere-se a um quarto da superfície iluminada e visível da Terra, o que ocorre só em duas noites particulares, sendo uma na fase crescente e outra na fase minguante.

Atividade 4 – A Lua gira ou não gira sobre si?

Muitas pessoas respondem, prontamente, a esta questão: “não gira”! E dizem mais: “pois sempre vemos a mesma face na qual está o “São Jorge”. Nessa montagem é fácil demonstrar que a Lua gira sobre ela mesma.

O aluno que segura o Sol começou esta atividade não vendo o “São Jorge”, quando a Lua estava na posição 1, pois o quadrado negro que está representando o “São Jorge” estava voltado para a Terra. Mas, quando a lua estava na posição 3, o aluno que segura a lâmpada viu o “São Jorge”; logo, a Lua girou sobre ela mesma, senão, isso não seria possível. Todos os outros alunos que estiverem observando a atividade confirmarão o que disse o aluno Sol, pois eles também verão as duas faces da Lua.

Claro que o aluno Terra não está muito convencido de que a Lua gira sobre ela, afinal ele sempre vê o “São Jorge”. Podemos convencê-lo de que a Lua gira sobre si refazendo a demonstração, mas com a Lua, de fato, não girando sobre ela.

Então, começando com a Lua na posição 1, com o “São Jorge” virado para a Terra e, portanto, virado também para a posição 3 e virado, digamos, para a parede que está atrás da posição 3. O aluno que transporta a Lua, deve, então, fazer a Lua girar ao redor da Terra, mas com o “São Jorge” sempre voltado para a mesma parede que está atrás da posição 3. Feito isso, o aluno-Sol e todos

aqueles que estavam ao lado dele sempre observam a mesma face da Lua e garantem que ela não girou. O aluno-Terra, por outro lado, acredita que a Lua não girou sobre ela, mas agora ele viu as duas faces da Lua, ou seja, agora que ficou evidente que a Lua não girou, ele viu as duas faces. Porém, isso não é a realidade. Então, a Lua realmente gira sobre ela. Esta atividade convence a muitos de que a Lua gira sobre si mesma enquanto gira ao redor da Terra, mas não convence a todos. De fato, o movimento de rotação da Lua ocorre no mesmo tempo em que ela gira ao redor da Terra. Por isso, vemos sempre a mesma face, isto é, o mesmo “São Jorge”.

Atividade 5 – Os eclipses solares e lunares

Antes de falar em eclipse é preciso definir e entender o que é sombra e penumbra.

Usando a lâmpada com o tubo de papel alumínio, projete a sombra da bola de isopor na parede. Pode-se ver que há duas regiões distintas de sombra: uma bem escura, no centro, chamada de “sombra” e, ao redor desta, uma região menos escura chamada “penumbra”, conforme ilustra a Figura 2.36.

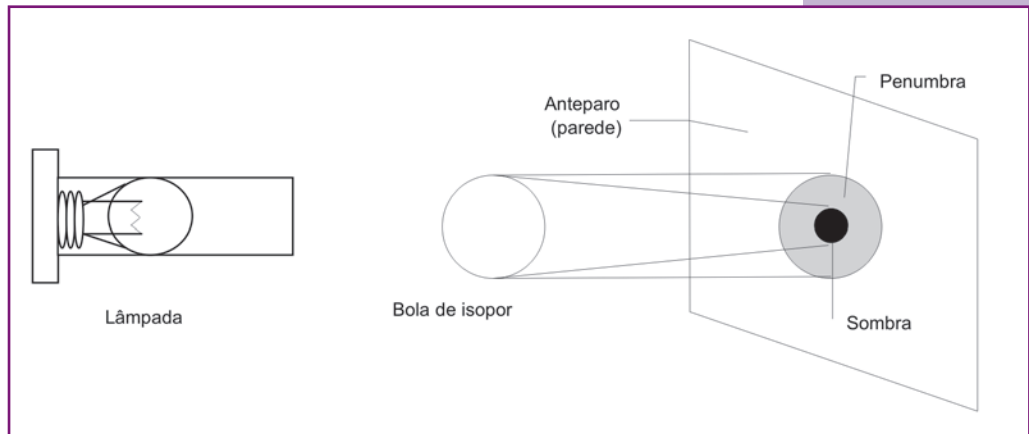


Figura 2.36. Esquema para visualizar a sombra e a penumbra da bola de isopor projetada sobre a parede.

Encostando a bola de isopor na parede, vê-se apenas a sombra, e afastando-se a bola da parede, começa a diminuir o tamanho da sombra e a aparecer a penumbra. A Terra também projeta

uma sombra e uma penumbra. Quando a Lua atravessa apenas a região da penumbra da Terra, dizemos que é um eclipse lunar penumbral, e quando a Lua também atravessa a sombra da Terra, temos o eclipse lunar propriamente, sendo que no penumbral a Lua continua visível, porém ligeiramente escurecida, e no lunar propriamente ela fica visível, mas bem avermelhada. Em ambos os casos pode-se ter eclipse parcial ou total da Lua. Claro que, se a Lua está atravessando a sombra (ou penumbra) da Terra, a Lua está na fase cheia ou muito próxima dela (antes ou depois).

O eclipse solar pode ser parcial, total ou anular (quando a Lua passa, exatamente, na frente do Sol, mas, por estar mais distante da Terra do que em outras circunstâncias, não conseguiu cobrir o disco solar completamente). Se a Lua está entre a Terra e o Sol, é porque é uma lua nova.

O experimento com a bola de isopor não permite ver os eclipses em todas as suas particularidades devido às desproporções entre os volumes da bola de isopor e da Terra e as desproporções entre as distâncias Terra-Lua e Terra-Sol. Contudo, permite simular suas ocorrências, tanto os lunares quanto os solares.

Na Atividade 3, Fases da Lua, a Terra não tinha translação. A Lua passava pela posição 1 (Figura 2.35) abaixo do plano da órbita da Terra (definido como o plano paralelo ao chão e passando pelo centro da cabeça do aluno Terra), cruzava o plano da órbita da Terra na posição 2 (Figura 2.35), passava pela posição 3 (Figura 2.35) acima do plano da órbita da Terra, passava pela posição 4 (Figura 2.35) cruzando de novo o plano da órbita da Terra, e recomeçava o ciclo pela posição 1 abaixo da órbita da Terra.

O plano de translação da Lua ao redor da Terra não muda enquanto esta gira ao redor do Sol. Para simular os eclipses, o aluno Terra descrito na Atividade 1, agora, deverá transladar lentamente ao redor do Sol, que continuará apontando seu feixe de luz para a Lua. Na Figura 2.37 esquematizamos essa atividade. Conforme explicado na Atividade 1, Fases da Lua, a inclinação entre