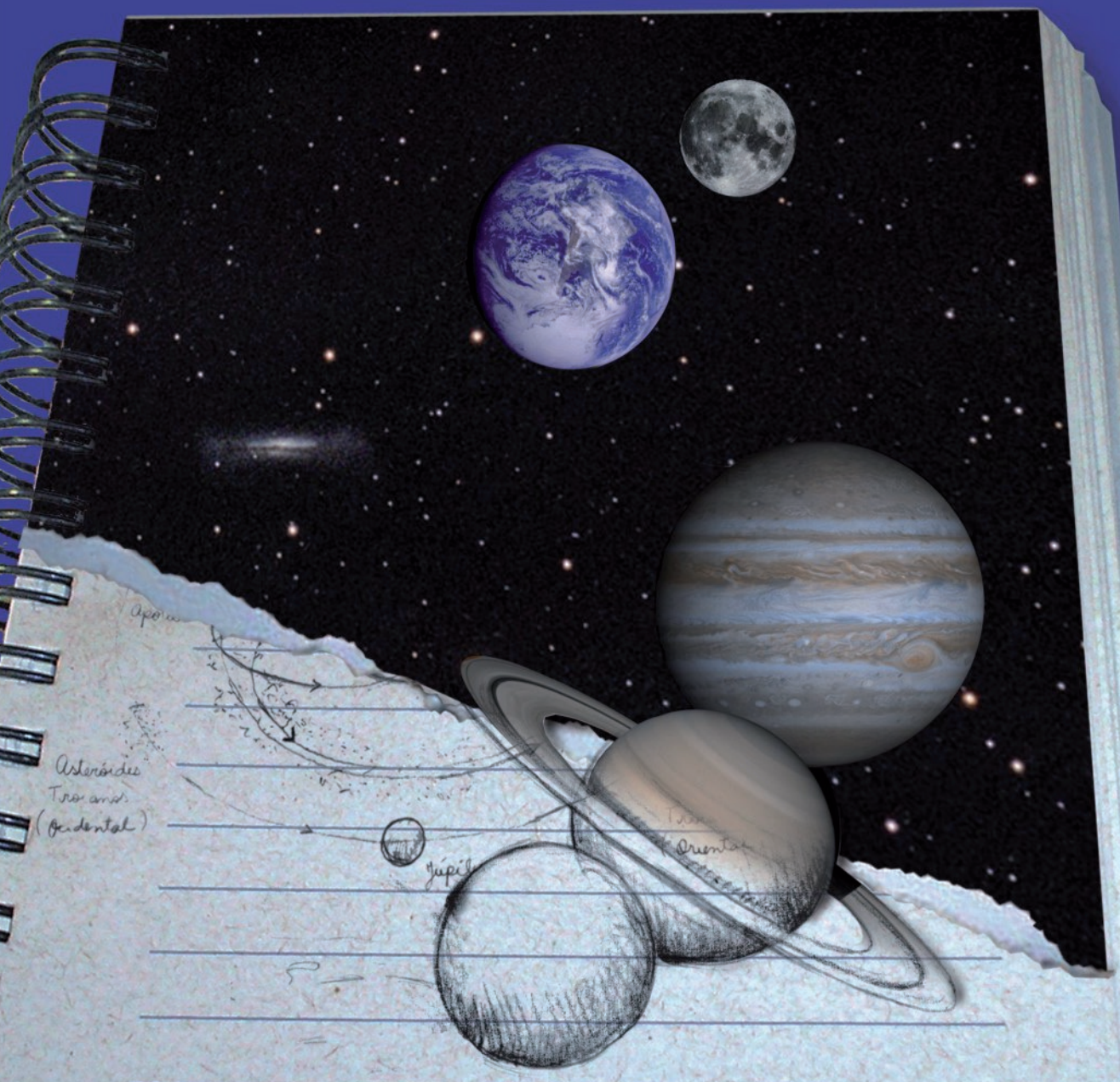
COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

ASTRONOMIA



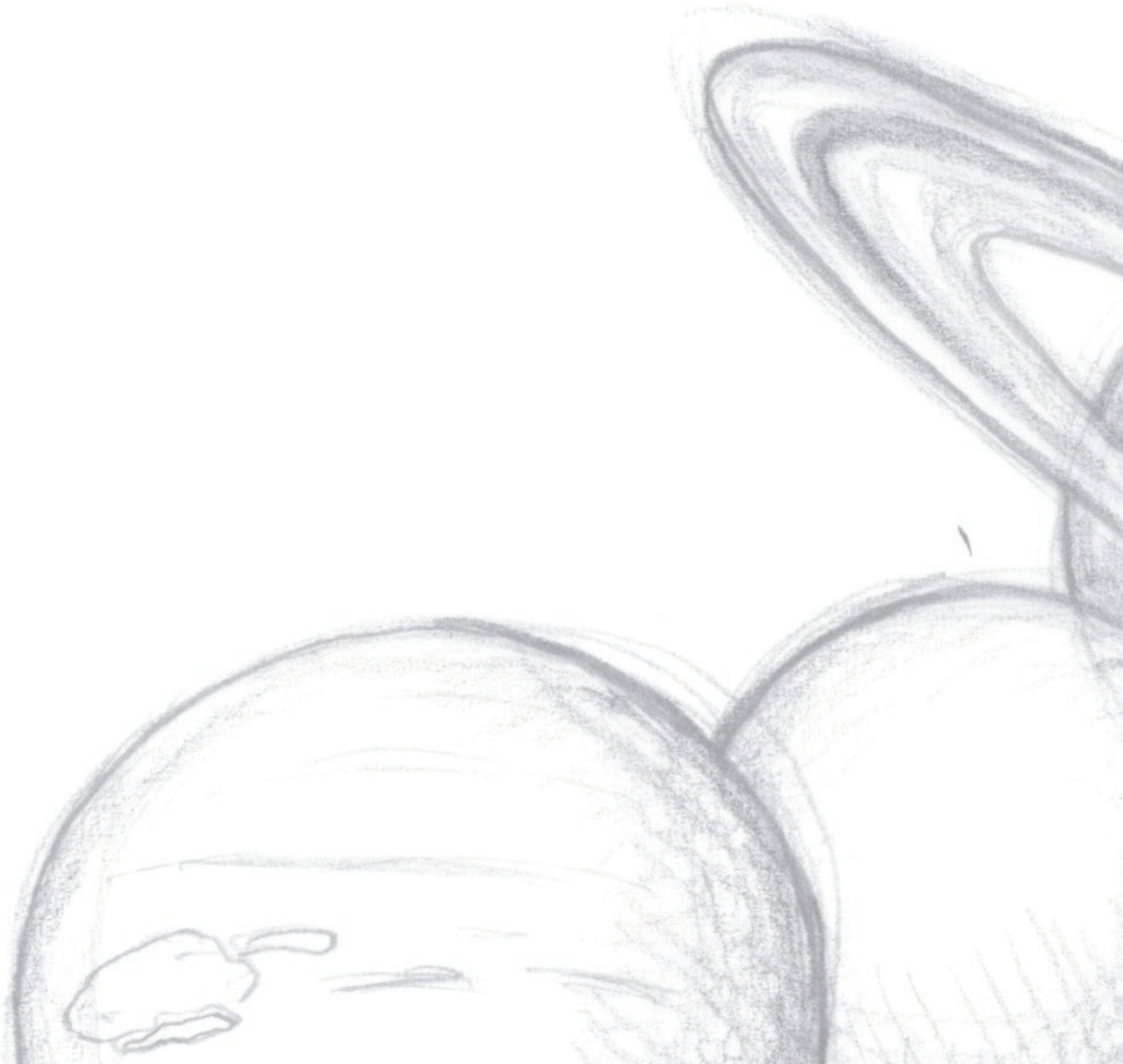
Fronteira Espacial - Parte 1

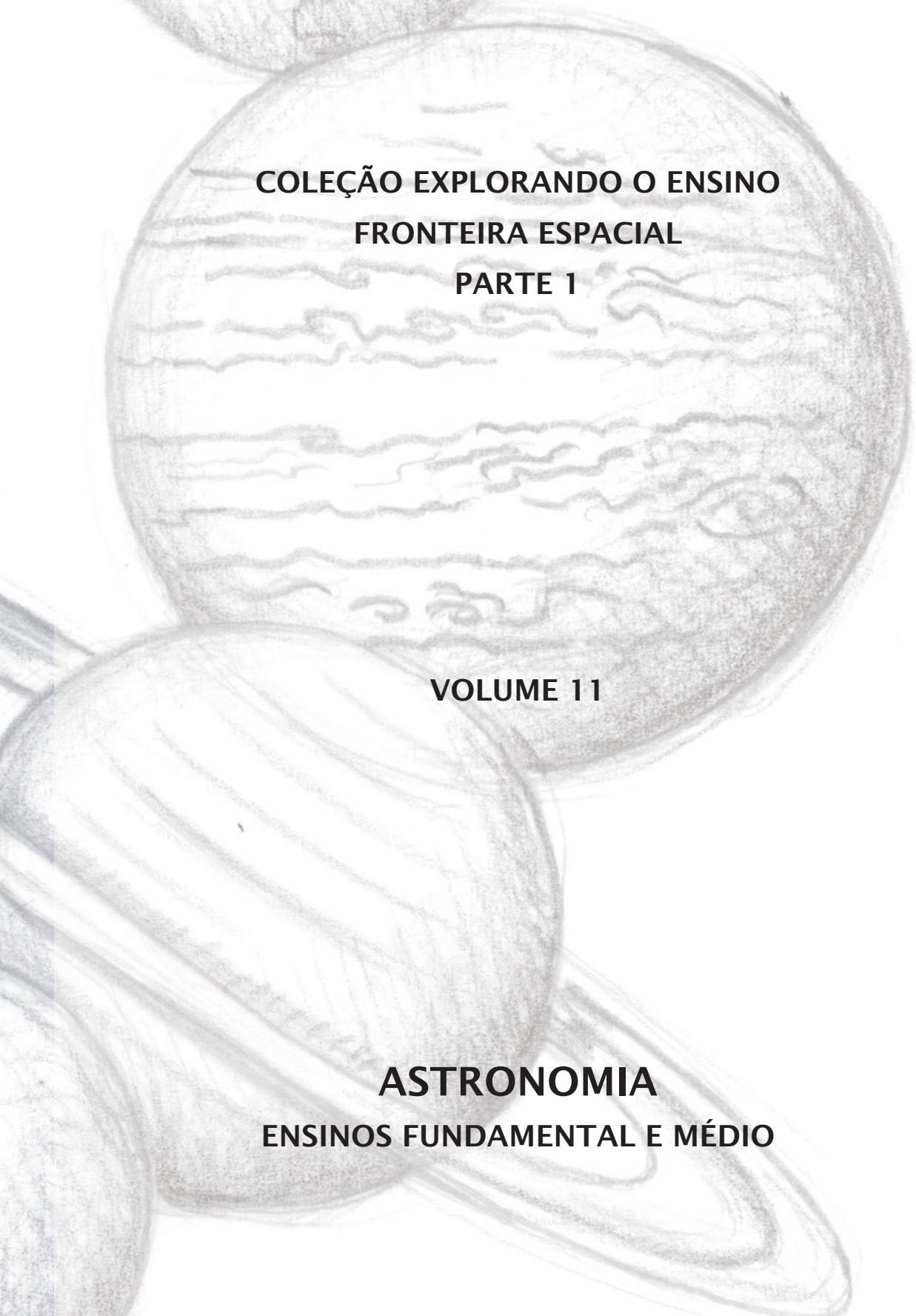
11
VOLUME

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA





COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

FRONTEIRA ESPACIAL

PARTE 1

VOLUME 11

ASTRONOMIA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO
Vol. 1 – Matemática (Publicado em 2004)
Vol. 2 – Matemática (Publicado em 2004)
Vol. 3 – Matemática: Ensino Médio (Publicado em 2004)
Vol. 4 – Química
Vol. 5 – Química
Vol. 6 – Biologia
Vol. 7 – Física
Vol. 8 – Geografia
Vol. 9 – Antártica
Vol. 10 – O Brasil e o Meio Ambiente Antártico

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

Nogueira, Salvador.
Astronomia : ensino fundamental e médio / Salvador Nogueira, João Batista Garcia Canalle.
Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009.
232 p. : il. – (Coleção Explorando o ensino ; v. 11)

ISBN 978-85-7783-015-2

Na capa: Fronteira Espacial – Parte 1

1. Astronomia. 2. Ensino fundamental. 3. Ensino médio.
I. Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica.
II. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. III. Agência Espacial Brasileira. IV. Título.

CDU 52

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

ASTRONOMIA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

BRASÍLIA
2009

Secretaria de Educação Básica

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

Diretoria de Concepções e Orientações Curriculares para Educação Básica

Coordenação-Geral de Materiais Didáticos

Coordenação-Geral de Ensino Médio

Agência Espacial Brasileira

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

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

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

AUTORIA
Salvador Nogueira

CO-AUTORIA E REVISÃO TÉCNICA
João Batista Garcia Canalle (Uerj)

COLABORAÇÃO
Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj)
Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira
Cássio Leandro Dal Ri Barbosa (Univap)
Luiz Bevilacqua (UFABC)
Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj)
Rodolpho Caniato
Thaís Mothé Diniz (Observatório Nacional)

REVISÃO GERAL
Adilson J. A. de Oliveira (Consultor Ad. do MEC)
Angélica Di Maio (IG/UFF)
Ayrton Lugarinho (SEE/DF)
José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA)
Kátia Chagas Lucio (Formata)
Petrônio Noronha de Souza (Inpe)

REVISÃO ORTOGRÁFICA
Cely Curado
Yolanda Ribeiro da Silva Souza (Inpe)

PROJETO EDITORIAL
Kátia Chagas Lucio (Formata)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola)

CAPA
Leonardo Nemmer (AEB/Programa AEB Escola)

Tiragem 73.634 exemplares

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA
Esplanada dos Ministérios, Bloco L, Sala 500
CEP: 70047-900 Brasília – DF
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010
http://www.mec.gov.br

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA
Setor Policial Sul (SPO), Quadra 3, Bloco A
CEP: 70610-200 Brasília – DF
Tel. (61) 3411-5024 / 3411-5678
http://www.aeb.gov.br

SUMÁRIO

Parte 1: ASTRONOMIA

APRESENTAÇÃO | 9

INTRODUÇÃO | 17

CAPÍTULO 1

BEM-VINDOS AO UNIVERSO | 21

REVOLUÇÃO AGRÍCOLA | 25

A CAMINHO DO COSMOS GEOCÊNTRICO | 27

INTERRUPÇÃO CIENTÍFICA | 32

ENTRA EM CENA O HELIOCENTRISMO | 34

A GRANDE SÍNTESE | 42

UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO | 46

LEITURA COMPLEMENTAR | 55

ATO DE FÉ OU CONQUISTA DO CONHECIMENTO? | 55

ATIVIDADES | 62

O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL | 62

RELÓGIO DE SOL | 71

DESENHANDO ELIPSES DE QUALQUER EXCENTRICIDADE | 78

COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL | 81

DESAFIOS | 87

PARTE I | 87

PARTE II | 90

SALA DE PESQUISA | 92

CAPÍTULO 2

APENAS UM LUGAR, DE MUITOS | 97

CONEXÃO SOL-TERRA | 100

CONEXÃO TERRA-LUA | 109

A AMEAÇA QUE VEM DO ESPAÇO | 115

UMA COLEÇÃO DE PLANETAS | 122

LEITURAS COMPLEMENTARES | 128

A QUESTÃO PLUTÃO – RESOLUÇÃO DA UNIÃO ASTRONÔMICA INTERNACIONAL DE 2006 | 128

O SISTEMA SOLAR | 131

ATIVIDADE | 138

EXPLICANDO ASTRONOMIA BÁSICA COM UMA BOLA DE ISOPOR | 138

DESAFIOS | 159

PARTE I | 159

PARTE II | 160

SALA DE PESQUISA | 163

CAPÍTULO 3

OBSERVADORES NO TERCEIRO PLANETA | 167

MENSAGENS SIDERAIS | 173

LUZ INVISÍVEL | 181

ADAPTAÇÃO À ATMOSFERA | 184

LEITURA COMPLEMENTAR | 187

RECONHECENDO OS PLANETAS E AS ESTRELAS | 187

ATIVIDADES | 191

SIMPLIFICANDO A LUNETA COM LENTES DE ÓCULOS | 191

ESPECTROSCÓPIO SOLAR | 201

DESAFIOS | 207

PARTE I | 207

PARTE II | 210

SALA DE PESQUISA | 212

CONCLUSÃO | 215

REFERÊNCIAS | 219

APÊNDICE | 229

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA (OBA) | 229

APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Educação Básica (SEB) do Ministério da Educação (MEC) e a Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT), por meio do Programa AEB Escola, apresentam aos educadores dos Ensinos Fundamental e Médio mais um volume da Coleção Explorando o Ensino, iniciada com os volumes de matemática. A presente obra Fronteira Espacial: volume 11 – Astronomia e volume 12 – Astronáutica tem o objetivo de apoiar o trabalho do educador em sala de aula, oferecendo um rico material didático-pedagógico sobre estas ciências.

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

Os temas desses dois volumes são uma seqüência natural da evolução da ciência e da tecnologia, por isso fizemos questão de desenvolver ambos em conjunto. Pois, enquanto a astronomia é considerada uma das mais antigas das ciências, a Astronáutica é justamente o oposto, ou seja, uma das mais jovens. Observe que enquanto as naves espaciais viajam com motores desligados elas estão submetidas somente às forças gravitacionais, as quais também regem os movimentos dos planetas. Por outro lado, a bordo das naves seguem telescópios, câmeras e outros equipamentos que ajudam os astrônomos a conhecerem melhor o universo em que vivemos. Ou seja, estas duas ciências estão evoluindo de "mãos dadas".

Nos primórdios da civilização o ser humano se encantava com a beleza do céu estrelado, a passagem dos cometas ou com as constantes "estrelas cadentes". Mais recentemente já sabemos que admiravam a Lua e o Sol, os quais consideravam "deuses" e que suas vidas dependiam deles. Assombravam-se com os eventos extraordinários, tais como eclipses, auroras, e com os fenômenos atmosféricos, os quais estão na origem de inúmeros mitos, religiões e filosofias antigas.

Porém, com o passar do tempo começaram a perceber que havia uma regularidade enorme nos céus e que o que acontecia no céu afetava o que ocorria no seu meio ambiente. Perceberam a existência de algumas "estrelas errantes" (os planetas). Faziam festas para comemorar o solstício de inverno, quando então o Sol "parava" de passar cada vez mais "baixo" no céu e voltava a "subir", aquecendo seus dias, o que era fundamental para sua sobrevivência. Esta festa do solstício foi modificada ao longo do tempo e hoje a chamamos de natal. Não seria possível num único livro contar todas as lendas e mitos de todos os povos, inclusive dos nossos indígenas, que também sabiam "ler" o céu, e nem este é nosso objetivo principal aqui.

Em sua racionalidade e curiosidade, a humanidade busca compreender e explicar o que acontece no céu. Muitos pensadores propuseram explicações, erradas ou certas, pois é assim que evolui a ciência e o conhecimento humano.

O estudo da astronomia é sempre um começo para retornarmos ao caminho da exploração. E é por meio da educação, do contínuo exercício da reflexão e da curiosidade, natural nos jovens e crianças, que podemos compreender e interagir com essa realidade que nos cerca e adquirir os instrumentos para transformá-la para melhor.

A presente obra busca, justamente, colocar nas mãos do professor um instrumento para acompanhá-lo em sua missão de construir a sociedade por meio do conhecimento, iniciando pela história da astronomia e daqueles que deixaram sua marca para a civilização. O livro aborda de maneira simples e didática,

mas sem concessões quanto ao rigor matemático e científico, o Sistema Solar, seus planetas e as estrelas, apresentando uma imensa riqueza de ilustrações e informações detalhadas, exercícios e introdução a cálculos astronômicos que se valem dos conhecimentos de matemática, física e geometria geralmente incluídos nos currículos escolares.

Dignas de nota são as atividades propostas, fruto da longa experiência dos autores no ensino da astronomia, que propõem, com materiais de fácil aquisição e montagens simples e robustas, atividades práticas superinteressantes. Trata-se de um verdadeiro arsenal de experiências que, certamente, trarão imensa satisfação aos professores e alunos que as colocarem em prática. Talvez seja neste ponto que este livro se diferencie dos demais já publicados sobre astronomia. Ele não foi escrito para especialistas e sim para auxiliar os professores dos ensinos fundamental e médio em suas atividades de ensino. Como sabemos que o ensino se torna mais prazeroso quando feito com o auxílio de atividades práticas e desafios, fizemos questão de oferecer esses componentes no livro.

No final do capítulo um, por exemplo, há uma proposta para se representar o Sistema Solar em movimento, com a ajuda dos alunos, os quais representariam os planetas, cometas e até mesmo o Sol que gira sobre si e leva todo o sistema solar consigo. Além disso, em cada atividade prática expomos quais são seus objetivos e damos sugestões de problematização para o professor.

Sabendo das dificuldades que qualquer pessoa tem para visualizar as enormes distâncias entre os planetas e o Sol, é apresentado um modo bem simples de representar, ao longo de uma tira de papel, as distâncias dos planetas ao Sol, utilizando-se uma escala.

Com o mesmo intuito, há outra proposta de atividade para se representar os tamanhos dos planetas comparados ao Sol, simplesmente amassando-se papel alumínio (ou similar) para fazer bolas representando os planetas e com um enorme balão representamos o Sol na mesma escala dos planetas. É espantoso o efeito que esta

atividade exerce sobre quem a observa, pois, mesmo sabendo-se os números que definem estas proporções, não se imagina o quanto o Sol é tão grande, se comparado aos planetas. Mostraremos, também, fotos fantásticas comparando os volumes dos planetas; estas, porém, não impressionam tanto quanto "ao vivo".

Outra atividade proposta é a construção de um simples relógio de Sol utilizando-se papelão e palito de dente. Claro que para ele funcionar é preciso estar sob o Sol, mas orientado ao longo da direção norte-sul, e para tanto também é ensinado como se determina esta direção corretamente. Ainda no capítulo um é proposto que se desenhem as elipses referente às órbitas dos planetas com o correto "achatamento", pois em geral se pensa que as órbitas dos planetas são bastante ovaladas, e na verdade não são.

Na sessão "Leituras complementares" do capítulo dois, são apresentadas as razões pelas quais os astrônomos reclassificaram Plutão como um planeta anão. Neste capítulo, há uma atividade prática, em que são apresentadas várias demonstrações que podem ser feitas utilizando-se apenas uma bola de isopor, para melhor compreender fenômenos básicos como dia e noite, eclipses, estações do ano e fases da Lua.

Uma atividade bastante interessante, apresentada no capítulo três, é a construção de uma luneta com uma simples lente de óculos e canos de PVC, ao mesmo tempo em que se experiencia os conceitos de reflexão e refração de imagens. Tendo sua própria luneta, o professor e seus alunos poderão observar as crateras da Lua. Como toda atividade experimental, esta também requer cuidados, pois não se pode observar o Sol, sob o risco de cegar a pessoa.

Enfim, muito cuidado foi tomado com a qualidade do texto e do registro de linguagem utilizado, com a transposição didática dos conteúdos técnicos e com os tópicos para aprofundamento, separados em "caixas de texto" para facilitar o fluxo da leitura e das idéias principais.

Espera-se que tal esforço possa render frutos expressivos nas mãos do professor que se dedica ao conhecimento e à sua transmissão às gerações que nos sucederão rumo às fronteiras do espaço.

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

Para facilitar sua viagem, o volume está dividido em três capítulos, enriquecidos com imagens, ilustrações e recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Além da seção temática é oferecido um conjunto de outras sessões que procuram favorecer a interação, bem como de facilitar e tornar dinâmicas a leitura e a busca de informações. A seguir, apresentamos uma breve descrição da sistemática utilizada:

Estrutura de cada capítulo

1ª Seção – Temática

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

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

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

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

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

2ª Seção – Leituras complementares

Traz textos de autores diversos que ampliam a abordagem desenvolvida na seção temática. Nesta seção, também são utilizados os recursos didáticos apresentados na seção anterior.

3ª Seção – Atividades

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

4ª Seção – Desafios

Traz desafios elaborados por especialistas particularmente para o volume e outros, selecionados das várias versões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). A idéia desta seção é divulgar uma estratégia didática que apóia a aprendizagem e estimula os alunos. Apenas alguns desafios têm respostas, de modo que o professor e seus alunos devem procurar resolver os desafios por si só. A equipe do Programa AEB Escola e o sítio da OBA serão seus aliados para essa busca. Caso não consiga resolver, faça contato com a AEB.

5ª Seção – Sala de pesquisa

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

Referências

Ao final do volume, o leitor conta ainda com uma lista de referências consultadas ou utilizadas pelo autor da seção temática e colaboradores.

Apêndice

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) – Apresenta informações sobre como a OBA funciona e como as escolas podem dela participar.

Disciplinas que podem ser trabalhadas na escola com o apoio do volume "Astronomia":

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 1	**Temática**	
	Bem-vindos ao Universo	Geografia, física, história, ciências
	Leitura Complementar	
	Ato de fé ou conquista do conhecimento?	Ética, didática, geografia, matemática, física, história, ciências
	Atividades	
	O Sistema solar numa representação teatral	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Relógio de Sol	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desenhando elípses de qualquer excentricidade	Geografia, física, artes, matemática, ciências
	Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desafios	Geografia, física, matemática, ciências
Capítulo 2	**Temática**	
	Apenas um lugar, de muitos	Geografia, física, história, matemática, ciências
	Leituras Complementares	
	A questão Plutão – Resolução da União Astronômica Internacional de 2006	Geografia, física, história, matemática, ciências
	O Sistema Solar	Geografia, física, história, matemática, ciências, química
	Atividade	
	Explicando astronomia básica com uma bola de isopor	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências, química
	Desafios	Geografia, física, história, matemática, ciências, química

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 3	**Temática**	
	Observadores no terceiro planeta	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Leitura Complementar	
	Reconhecendo os planetas e as estrelas	Geografia, física, história, matemática, ciências
	Atividades	
	Simplificando a luneta com lente de óculos	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Espectroscópio solar	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desafios	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências

INTRODUÇÃO

O estudo dos astros – ou seja, a **astronomia** – foi a atividade que abriu as portas do mundo da ciência para os seres humanos. No firmamento, os primeiros homens e mulheres, ainda na pré-história, perceberam a existência de mecanismos e ciclos específicos que se refletiam em suas atividades terrenas e eram marcados pela posição das estrelas.

O Sol, a cada dia, criava a divisão entre o dia e a noite. A Lua, a cada volta dada ao redor da Terra, marcava o período conhecido como mês. A posição de determinados agrupamentos de estrelas ao longo do tempo parecia indicar os melhores períodos para plantio e colheita – pistas fundamentais para a sobrevivência dos primeiros agricultores, dezenas de milhares de anos atrás. Finalmente, alguns astros pareciam não seguir o mesmo movimento dos demais, surgindo em variadas posições a cada momento – às vezes até pareciam caminhar para trás durante algumas noites, para depois seguir sua trajetória normal.

O céu era – e é – bem movimentado, mas, ainda assim, inspirava uma certa noção de ordem, de mecanicismo. Não é à toa que deu à luz a percepção de que o mundo podia evoluir a partir de certas regras pré-determinadas – leis da natureza, por assim dizer. Partindo dessa premissa, os antigos puderam travar seu primeiro contato com a noção de ciência. Ainda que de maneira primitiva, esse processo exigia a combinação de observação e criação de hipóteses, fornecendo as bases para o desenvolvimento científico moderno (a despeito dos percalços contra essa forma de interpretar o mundo durante todo o caminho desde a Idade Antiga).

Ao se colocar na base da ciência, a **astronomia** fez sentir sua influência em praticamente todos os ramos do conhecimento

científico. Mas, com a crescente repartição do saber em gavetas estanques (como, por exemplo, as disciplinas lecionadas separadamente em todas as escolas), as noções astronômicas também foram diluídas, e sua importância aparente no ensino decresceu de forma extremada.

Não é difícil perceber os efeitos desse processo. Basta notar que as noções básicas sobre o Sistema Solar são dadas nas aulas de geografia, as leis de movimentos dos planetas estão no curso de física, o andamento da corrida espacial no século 20 está na disciplina de história, e as descobertas mais sofisticadas sobre a origem do universo, pasme, não estão em lugar algum.

Com essa diluição, não só perde o ensino da **astronomia**, mas também o próprio professor, que se vê sem uma poderosa ferramenta de ensino. Uma das coisas que desmotivam os alunos é o fato de que a eles são transferidas indiscriminadamente imensas doses de conhecimentos, mas pouco se fala sobre o porquê de tudo aquilo. O que levou uma considerável parcela das pessoas mais inteligentes do mundo em todos os tempos a desenvolver todas aquelas idéias, hoje transmitidas de forma pouco atraente em sala de aula? Quais as motivações? "Para que serve isso?", é uma pergunta que pode aparecer com freqüência entre os alunos.

Em muitos casos, aquele saber foi produzido na busca ancestral da humanidade de entender sua posição no universo, o velho clichê "de onde viemos e para onde vamos". A despeito de ser uma frase batida, é inegável que nela está embutida uma das principais características humanas – a inabalável curiosidade.

Quando um professor fala de espaço com seus alunos, ele está evocando esse tipo de curiosidade inata. Ao mencionar novos mundos e a busca por vida extraterrestre, ele desperta todo tipo de interesse romântico associado à pesquisa espacial. É o mesmo sentimento que impulsionou o ser humano para a ciência, em um primeiro momento. Ou seja, é uma excelente maneira de "fisgar" os/as alunos/as a se interessarem pelos avanços científicos – pré-requisito indispensável para o desenvolvimento da cidadania nos dias de hoje – e, mais que isso, motivá-los aos estudos.

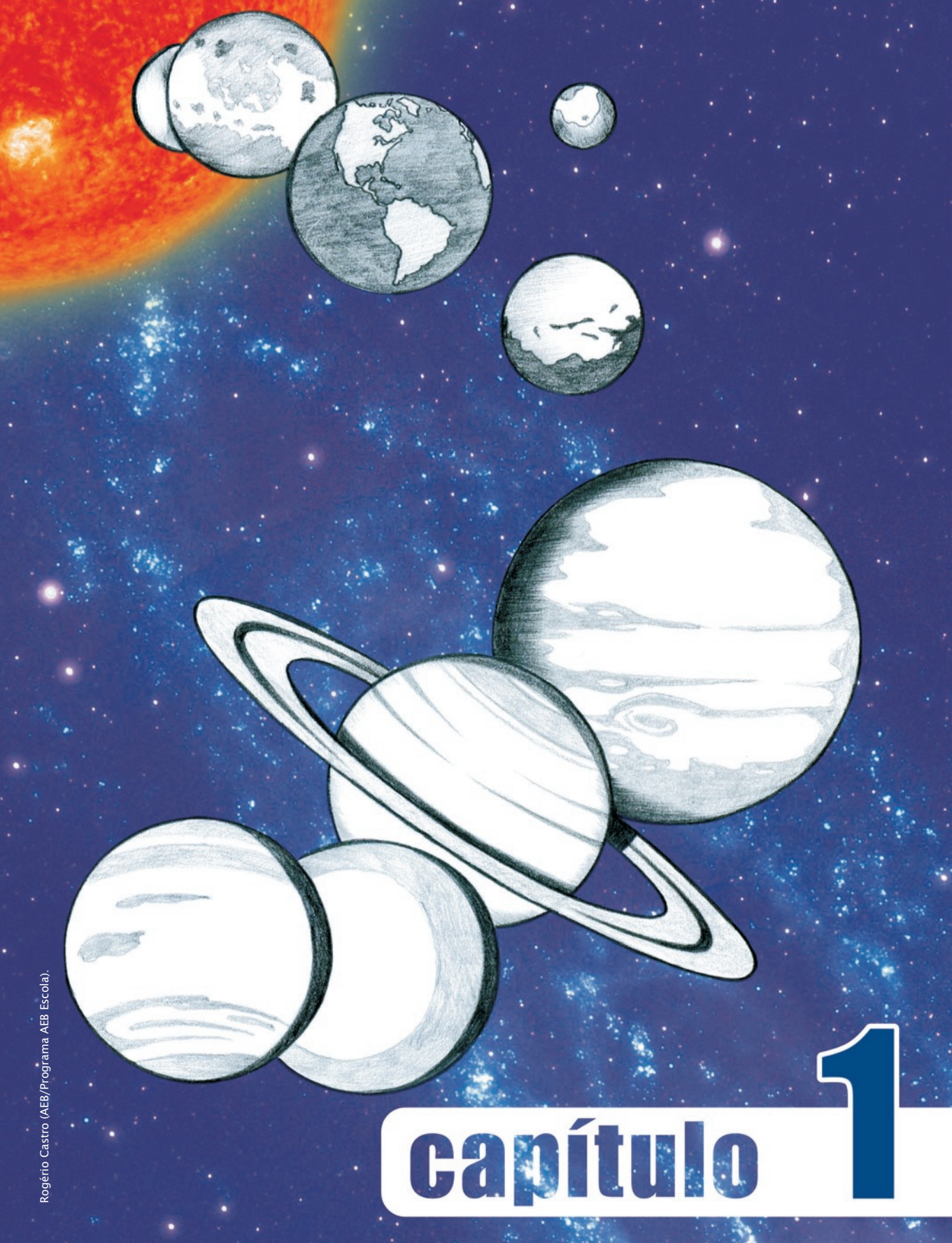
O principal objetivo deste volume é apresentar idéias que possam ser usadas por professores em suas aulas – seja qual for a disciplina – com o objetivo de resgatar esse interesse perdido com a agressiva compartimentalização da ciência. A inspiração e a base deste trabalho está calcada no Programa AEB Escola, da Agência Espacial Brasileira (AEB), que almeja conscientizar os jovens da importância crescente e do caráter indispensável das atividades espaciais, enquanto fornece aos professores meios de fomentar o interesse de seus alunos pela ciência e pela tecnologia.

Aqui, falaremos de como evoluiu o pensamento astronômico, cosmológico e espacial ao longo do tempo. Também traremos, com artigos de especialistas, maneiras de tratar esses assuntos em sala de aula com atividades interativas, elaboradas com criatividade à lá "Professor Pardal", o que implica, necessariamente, praticidade e baixo custo – outro ponto nevrálgico da educação no Brasil.

Uma noção muito comum entre professores é a de que falar de **astronomia** acaba sendo complexo demais – dispendioso demais – para os potenciais benefícios. Uma das idéias que motivaram a redação deste livro é a de que essa complexidade é, em primeiro lugar, em grande parte lendária; em segundo lugar, administrável, e, em terceiro, desejável, no sentido de estimular os alunos a desenvolverem raciocínios mais amplos e relacionarem idéias mais distantes, que em um primeiro momento, parecem não ter ligação.

Os conteúdos aqui apresentados não esgotarão o assunto, mas servirão como ponto de partida para que se possa retomar essa velha e salutar tradição humana, infelizmente caindo em desuso, de falar, refletir, especular e estudar o que acontece no céu. Introduzir noções do que acontece no espaço permite que os/as alunos/as, de forma metafórica, recuperem todo o processo de conhecimento do mundo pelo qual passou o ser humano ao longo dos tempos. Eles entenderão de onde veio a nossa sede científica e, acima de tudo, estarão sendo preparados para a iminente ascensão da humanidade como civilização planetária.

Vamos?

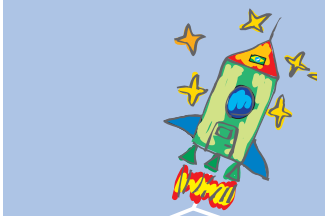


Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

capítulo 1

BEM-VINDOS AO UNIVERSO

Salvador Nogueira



Etólogo: cientista que estuda o comportamento animal.

Deixando de lado as frases feitas, é realmente difícil saber o que diferencia o ser humano dos outros animais. Fala-se de "inteligência", mas os **etólogos** hoje sabem muito bem que esse conceito, além de ser de difícil definição, pode ser percebido de diferentes maneiras em inúmeras espécies animais. Podemos até estar no topo da escala, mas, definitivamente, inteligência não é exclusividade do ser humano.

Outro item corriqueiramente utilizado para fazer essa diferenciação é a "autopercepção", que nada mais é do que a capacidade de saber quem você é, no contexto do mundo, e ter a consciência de que você é você. Gatos, como é fácil de constatar, têm dificuldades com isso. Ao se olharem no espelho, eles pensam estar vendo outro gato, e não seu próprio reflexo. Já os elefantes possuem uma autopercepção mais aguda, e o truque do espelho não os engana. Chimpanzés também não têm problemas com isso, e golfinhos parecem até dar nomes a cada indivíduo – o que provavelmente se qualifica como uma prova contundente de que eles se reconhecem cada um como uma "pessoa". Além disso, essa atitude demonstra que a capacidade de "comunicação" – outra palavra que, invariavelmente, aparece na lista das candidatas a diferencial do *Homo sapiens* – não é exclusividade humana.

Para o britânico Lewis Wolpert (1929-), biólogo do *University College de Londres*, a principal diferença, a verdadeira fronteira que separa o ser humano de seus colegas menos intelectualizados do reino animal, é a noção de causa e efeito. Para ele, o ser humano é a única espécie da Terra capaz de entender que certas coisas podem

provocar outras. Mas essa é uma posição extremamente discutível. Muitos etólogos, entre eles Jonathan Balcombe, grande defensor dos direitos dos animais e membro do Physicians Committee for Responsible Medicine [Comitê Clínico para Medicina Responsável], em Washington, nos Estados Unidos, argumentam que há, sim, entre os bichos essa percepção de causa e efeito. Um cão domesticado, por exemplo, com o tempo é capaz de "prever" que, se tiver um comportamento que não é aceito ou esperado, ficará trancado de castigo e sozinho.

É verdade que esse é o tipo de padrão passível de ser obtido pelo mero condicionamento, sem que o animal saiba algo sobre causas e efeitos. Mas, Balcombe lembra que existem comportamentos muito mais sofisticados, que só não podem confirmar definitivamente essa percepção abstrata avançada em outros animais porque somos incapazes de entrar em suas cabeças e saber o que de fato eles estão pensando.

É provável que, no fim das contas, os humanos não tenham de fato nada que os outros animais também não tenham. Com menos arrogância e mais realismo, a diferença pode estar na quantidade desses fatores – autopercepção, inteligência, comunicação, abstração – em vez de na qualidade.

A ciência é a prática que pode ser resumida como a tentativa de desvendar e confirmar por observação os mecanismos que regem a natureza.

Ainda assim, Wolpert toca num ponto crucial dessa constelação de fatores. Pois a noção de que o mundo é composto de causas e efeitos foi o passaporte da humanidade para a ciência.

Definitivamente, ainda que o ser humano não tenha nenhuma característica que outros animais não tenham, em maior ou menor grau, a atitude de fazer ciência é algo próprio e exclusivo do ser humano.

Pensando nesse contexto, não é difícil perceber como essa sofisticada capacidade de estabelecer hipóteses de causa e efeito

levou ao início das especulações científicas, estimuladas pela observação sistemática do céu.

A **astronomia**, como ficou conhecida posteriormente, é a mais antiga das ciências e, ao contrário do que hoje se pode pensar dela, seu surgimento e sofisticação foram derivados não só da fascinação natural que o firmamento exerce sobre qualquer um numa noite estrelada, mas sobretudo, das necessidades práticas humanas quando da época de seu surgimento.

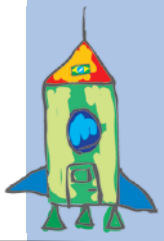
Astronomia: é a ciência que estuda os corpos celestes. Seus ramos mais importantes são a astrometria, que visa à determinação da posição e do movimento dos astros; a mecânica celeste, estudo do movimento dos corpos celestes e determinação de suas órbitas; a astronomia estelar, estudo da composição e do tamanho de sistemas estelares; a astrofísica, estudo das propriedades físicas dos corpos celestes; e a radioastronomia, que investiga o Universo por meio das ondas de rádio.

Contando dias, semanas, meses e anos

A utilidade mais óbvia da observação do céu é a marcação do tempo. Não é difícil notar que, quando o Sol está no céu, o firmamento se torna azul claro, e o ambiente fica iluminado. Foi essa condição que permitiu a locomoção, a caça, a coleta e todas as atividades importantes ao ser humano primitivo, vivendo com dificuldades na África há centenas de milhares de anos. Esmiuçando essas observações, os antigos notaram que, ao longo do tempo, o chamado astro rei parecia fazer uma travessia pelo céu (surgindo na região leste e se pondo para os lados do oeste), e quando ele sumia, em seguida, caía a noite.

A não ser que houvesse nuvens encobrindo a visão, o céu azul claro era trocado por: escuridão, salpicada de um grande número de centelhas de luzes cintilantes. Elas também pareciam fazer uma travessia pelo firmamento ao longo da noite, até que o Sol retornasse e mais uma vez produzisse o clarão do dia.

Cerca de 2.700 dessas "luzes cintilantes" são visíveis a olho nu numa localização com boa visibilidade, e se contarmos todas as estrelas visíveis em ambos os hemisférios, Norte e Sul, podemos chegar a 7.000.



A contagem do tempo em termos desse ciclo é a mais elementar – surge a noção de um dia, período de 24 horas, durante o qual, pela perspectiva daqueles homens e mulheres da pré-história, o Sol voltava à sua posição original depois de atravessar o céu e se esconder "sob o chão". (Leia, na seção de atividades, as orientações

para construir, com facilidade, um relógio de Sol e saber as horas com base na posição do astro no céu.)

A Lua, por sua vez, marcava um ritmo próprio, diferente do solar. Comparando sua posição noite após noite, os primeiros humanos notaram que ela demorava cerca de 30 dias até voltar à mesma posição. Esse ciclo produziu outra noção de tempo, diferente daquela proporcionada pelo Sol, compreendida por períodos que viriam a ser conhecidos como meses.

O aspecto lunar tinha ainda outra peculiaridade: parecia diferente a cada dia. Ora estava com seu brilho máximo, como um disco completo, ora era apenas parcialmente visível, ou simplesmente desaparecia. As fases da Lua – quarto crescente, cheia, quarto minguante e nova – forneciam outra forma de marcação do tempo. Coincidentemente, o período aproximado entre uma fase e outra era de sete dias.

Por conta dessa característica, esses andarilhos celestes – Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno – ganharam dos gregos o nome de "planetas", palavra que quer dizer "astros errantes".

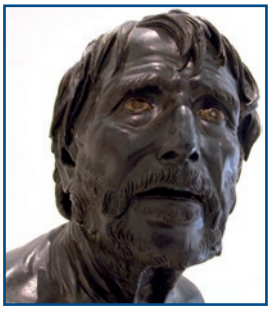
Esse era o mesmo número de astros visíveis no céu (diurno e noturno) que pareciam mudar de posição constantemente, se comparados ao fundo das estrelas fixas. A dupla coincidência, o período entre duas fases e o número de planetas, foi usada para criar outra unidade de marcação do tempo, a semana.

Finalmente, observações atentas revelariam que as estrelas fixas em seu movimento aparente giram ao redor da Terra um pouquinho mais rápido que o Sol – a cada dia, elas nascem exatamente quatro minutos mais cedo. Então, se num dia uma dada estrela aparece no horizonte leste exatamente à meia-noite, no dia seguinte ela aparecerá na mesma posição às 23h56, dois dias depois às 23h52, e assim por diante. Moral da história: levam-se aproximadamente 365 dias e seis horas para que uma estrela volte a nascer exatamente na mesma hora. Surge aí o padrão do ano.

Perceber esses diferentes ciclos ditados pelos movimentos celestes tornou-se extremamente útil quando os humanos primitivos começaram a notar que os diferentes "acontecimentos"

no firmamento correspondiam às situações vivenciadas no chão. Para os caçadores e coletores essa podia ser uma percepção um pouco mais sutil, mas ainda assim muito clara: ao longo do ciclo conhecido por nós como ano, as plantas iam de secas a floridas, o clima ia de mais frio a mais quente, e assim por diante.

REVOLUÇÃO AGRÍCOLA



Massimo Finizio. www.wikipedia.org/

Figura 1.1. Busto localizado no Museu Arqueológico Nacional de Nápoles é uma possível representação do poeta Hesíodo.

Entretanto, é com o surgimento da agricultura, há aproximadamente 13 mil anos, que a observação do céu ganha um valor prático imensurável. Unindo a sofisticada noção humana de causa e efeito às estações do ano, a prática do plantio e da colheita ganha um instrumental extremamente útil.

Hesíodo nos conta em sua obra "Os trabalhos e os dias" como a coisa funcionava:

> Ao despertar das Plêiades, filhas de Atlas, dai início à colheita, e ao seu recolher, à semeadura.
>
> Ordenai a vossos escravos que pisem, em círculos, o trigo sagrado de Deméter, tão logo surja a força de Órion, em local arejado e eira redonda.
>
> Quando Órion e Sírius alcançarem o meio do céu, e que a Aurora dos dedos de rosa conseguir enxergar Arcturo, então, Perseu, colhe e leva para casa todos os cachos das uvas. (SIMAAN e FONTAINE, 2003. p.9).

***Hesíodo** é o mais antigo poeta grego de que se tem notícia com alguma certeza. Viveu por volta do século 7 a.C.*

Plêiades, Órion, Sírius, Arcturo, são todas estrelas ou constelações celestes. Nesse trecho nota-se com grande facilidade a influência que os estudos dos céus tinham nas atividades humanas mais fundamentais, a partir do surgimento da agricultura. Foi graças às técnicas cada vez mais sofisticadas

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 1.2. As Plêiades.

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 1.3. A estrela Sírius, vista pelo Telescópio Espacial Hubble.

de plantio – portanto, graças à agricultura – que a civilização pôde florescer e saltar do estágio da caça e coleta que marcou a humanidade antes da chamada "**revolução neolítica**", ocorrida há cerca de 10 mil anos.

Claro, com poucos conhecimentos é muito difícil distinguir correlações de causas e efeitos. Para os antigos, o momento em que as estrelas nasciam ou se punham não indicava apenas a época em que dados fenômenos aconteciam. Mais que isso, eles acreditavam que as próprias estrelas, naquela posição, provocavam essas ocorrências. Não é à toa que os céus, com sua aparência misteriosa e sua (então) clara capacidade de interferir em acontecimentos terrenos, ganhariam um *status* divino.

Revolução neolítica: termo designado para descrever a transição de certos grupos humanos de caçadores e coletores a agricultores durante a pré-história humana.

Vênus, a deusa do amor; Mercúrio, o mensageiro; Marte, o deus da guerra; Júpiter, o deus dos deuses; Saturno, o "avô" dos deuses, pai de Júpiter.

Os primeiros grandes astrônomos vieram da Mesopotâmia, região entre os rios Tigre e Eufrates onde hoje está o Iraque, e sua influência se fez sentir no mundo ocidental por meio da influência que transmitiram aos gregos.

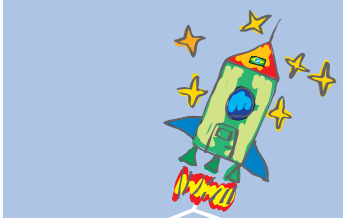
Até onde se sabe, foram os babilônios, um dos povos que habitavam aquela região, que passaram a atribuir a cada um dos planetas o nome de um deus de sua religião politeísta. Vênus era Ishtar; Júpiter era Marduk; e assim por diante. Ao chegar ao mundo helênico, houve uma adaptação dessa tradição, e os deuses babilônios foram trocados por seus equivalentes gregos. No final, o nome que permaneceu foi o dos romanos: Vênus, Mercúrio, Marte, Júpiter e Saturno.

Foi também graças à tradição grega que o firmamento perdeu um pouco de seu caráter divino, e alguns pensadores decidiram dedicar-se à tarefa de decifrar o que significavam todos aqueles movimentos – buscar relações de causa e efeito mais sofisticadas do que as implicadas por um ambiente celeste misturado ao divino,

com ações de deuses caricatos produzindo tudo que se observava na Terra. Neste momento, sim, nascia a astronomia para valer.

A CAMINHO DO COSMOS GEOCÊNTRICO

A influência dos mesopotâmicos e egípcios no conhecimento astronômico da Grécia Antiga foi notável. As **constelações**, por exemplo, vieram de lá. O primeiro a sistematizar essa organização das chamadas "estrelas fixas" em agrupamentos reconhecíveis foi Eudóxio de Cnido (408 a.C.-347 a.C.). Embora a primeira referência conhecida deles remeta ao trabalho desse grego, fica claro que o conhecimento não era originário dele, mas sim de estudiosos da Mesopotâmia – que, no final das contas, não foram os únicos a ter essa idéia. Assim como eles, todos os povos de uma forma ou de outra, cada um a seu próprio tempo, agruparam as estrelas e a elas associaram objetos, deuses, mitos, seres etc., inclusive os índios brasileiros.



Constelações: aparentes agrupamentos reconhecíveis de "estrelas fixas".

Essa, no entanto, era apenas mais uma ação de categorização, sem qualquer pretensão de fornecer explicações de como o mundo estava organizado. O modo de pensar mesopotâmico não permitia avançar muito mais, mas a Grécia, com seus grandes filósofos e uma liberdade maior de pensamento e religião, proporcionaria uma reflexão mais sofisticada dos fenômenos celestes. A começar pela definição da forma da Terra.

Ao contrário do que se costuma pensar, desde muito cedo os pensadores desconfiaram de que o mundo não fosse plano, achatado. Numa civilização de navegantes, como a grega, não era rara a oportunidade de observar um navio se afastando no horizonte. Essa simples observação já indicava que a Terra, a grandes distâncias, possuía uma curvatura – conforme a embarcação se afastava, primeiro a parte inferior do navio desaparecia do horizonte, e a última coisa a sumir era o mastro, no topo, como se a embarcação estivesse "descendo"; na verdade, acompanhava a curvatura terrestre.

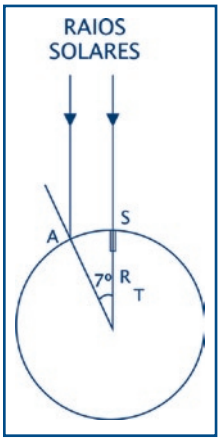
Saiba mais...

Eratóstenes determina o raio da Terra

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Eratóstenes foi um sábio grego nascido em Cirene em 276 a.C. e falecido em Alexandria cerca de 193 a.C. Ele se dedicou a várias áreas do conhecimento: geografia, matemática, geometria, filosofia, poesia etc. Entre seus maiores feitos está a determinação do raio da Terra.

Com base em observações, Eratóstenes sabia que em Siene (S), num certo dia do ano, o Sol ficava a pino (no zênite) e que no mesmo dia, em Alexandria (A), (a oitocentos mil metros de Siene) o Sol ficava a 7º (sete graus do zênite. Veja figura); logo, temos a seguinte regra de 3:



$$\frac{2\pi R_T}{800.000} = \frac{360º}{7º}$$

$2\pi R_T$ é o comprimento do círculo.

Comprimento do círculo:

$$\therefore 2\pi R_T 7º = 800.000 \text{ x } 360º \therefore R_T = \frac{800.000 \text{ x } 360º}{2\pi 7º} = 6.548.000 \text{ m}$$

ou $R_T = 6.548$ km

Esse valor que ele encontrou não é exato, mas muito próximo do valor moderno. Hoje, sabe-se que a Terra tem raio de 6.378 km.

O primeiro a formalizar esse pensamento foi Anaximandro, no século 6 a.C. Partindo dessa observação elementar, ele concluiu que a Terra na verdade era... um cilindro! Somente mais tarde, com a popularização da noção grega clássica de que a esfera é a forma geométrica mais perfeita (em grande parte proporcionada pela atribuição de Pitágoras ao valor da matemática como significado real do mundo), a Terra seria considerada uma esfera – pensamento que predominou desde então, ao menos entre os mais estudados.

Foi com Eudóxio que esse tratamento "esférico" acabou estendido a todo o cosmos. Ele organizou o Universo com a Terra no centro, esférica e imóvel, envolta por diversas outras esferas que explicavam o movimento das estrelas fixas, já mencionado,

e dos sete "planetas" (na concepção geocêntrica do mundo, esse termo incluía também o Sol e a Lua), que se posicionavam, a cada dia, ligeiramente diferentes em relação às estrelas e algumas vezes pareciam fazer ziguezagues difíceis de explicar.

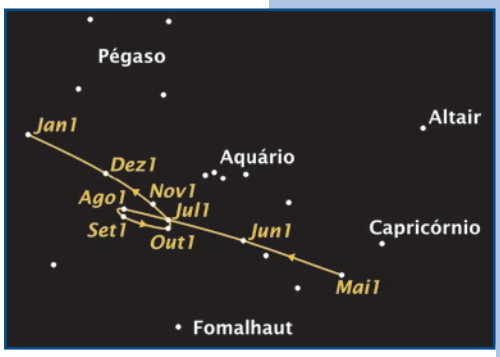


Figura 1.4. Um ziguezague planetário: trajetória de Marte entre maio de 1956 e janeiro de 1957.

Adaptação de imagem publicada nos livros de G.E.R. Lloyd, *Early Greek Science: Thales to Aristotle (EGS)* e *Greek Science after Aristotle (GSA)*, Norton, Nova Iorque, 1970 e 1973, pg. 87. Disponível em www.cfh.ufsc.br/~wfil/cienciagrega.htm/

Uma esfera, é claro, não bastava para esclarecer todos os movimentos planetários, de modo que Eudóxio teve que atribuir quatro esferas para o Sol, quatro para a Lua, e três para os demais planetas conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), mais uma para as estrelas fixas – a última camada do cosmos, visto então como finito. No total, 27 esferas participavam do esquema.

Mas esse modelo jamais foi capaz de explicar satisfatoriamente todas as observações astronômicas. Conclusão natural, portanto, que ele tenha sido gradativamente "aperfeiçoado", com a inclusão de novas esferas, ainda que mantido sobre suas premissas iniciais. Nesse sentido, destacou-se o trabalho de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), filósofo grego que começou como discípulo de Platão, mas logo passou a rivalizar com o antigo mestre.

Raffaello Sanzio. www.wikipedia.org/

Figura 1.5. Platão (esq.) e Aristóteles, imaginados em quadro de Raffaello Sanzio, de 1509.

Platão (427 a.C.-347 a.C.) acreditava que todas as observações à nossa volta eram meras sombras, e que a Verdade, com "vê" maiúsculo, escondia-se num outro plano, o chamado "mundo das idéias". Essa realidade, para ele, era acessível apenas pela razão.

Aristóteles, em contrapartida, acreditava que as observações,

***Aristóteles**, filósofo grego, nasceu em 384 a.C. em Estagira, Macedônia, e morreu em Cálcis, em 322 a.C. Desenvolveu quase todos os ramos de conhecimentos existentes no seu tempo, criou os fundamentos da lógica, da crítica literária e da meteorologia. Sistematizou a astronomia, adotando e desenvolvendo a teoria das esferas concêntricas de Eudóxio.*

combinadas à razão, produziriam uma visão satisfatória da realidade física. Assim interpretado, seu pensamento iniciou o binômio hipótese-observação que serviria de alicerce para a ciência moderna.

No entanto, ao ser o iniciador de tal movimento, Aristóteles ainda faria muitas suposições equivocadas sobre a natureza do mundo.

O modelo aristotélico

Ao construir sua própria visão do cosmos, Aristóteles adotou o modelo de Eudóxio, que pode ser, grosso modo, descrito como uma "cebola", com diversas camadas concêntricas. Mas Aristóteles fez seus próprios aperfeiçoamentos ao modelo, tentando ampliar seu poder preditivo – o que acarretou o aumento do número total de esferas para 56. Havia até esferas sem nenhum astro nelas, chamadas de *anastros*. E a interpretação aristotélica também tornava a idéia da "cebola" mais literal; agora as esferas que comandavam o movimento dos astros não eram apenas um artifício matemático, mas algo real, palpável, que ele chamou de *orbes*.

Mas o mais interessante de todo o trabalho de Aristóteles é o fato de que ele não se contentou em criar um modelo capaz de explicar as observações. E ousou formular hipóteses sobre o porquê de as coisas serem como são. Não seria exagero dizer que, ao tentar explicar o Universo inteiro, o grego deu um pontapé inicial em diversas ciências, como a química, a física e, claro, a cosmologia.

Para Aristóteles, todas as coisas existentes no mundo são compostas por quatro elementos: água, terra, fogo e ar. Cada um desses elementos possuía o que ele chamou de "lugar natural". Assim, terra e água tinham seu lugar natural no centro da Terra – se deixados a seu próprio comando, é para lá que eles rumariam. Já fogo e ar teriam a tendência oposta. Por isso, diz o filósofo grego: "a chama de uma vela parece ir para cima, assim como a fumaça que ela produz, ao passo que a água jorra de uma cachoeira sempre de cima para baixo".

Em meio a essas explicações – que de fato pareciam servir para esclarecer diversos fenômenos, embora hoje estejam totalmente ultrapassadas –, Aristóteles também estabeleceu uma diferença

crucial entre o mundo celeste e o terreno. Para ele, os quatro elementos eram parte apenas da esfera sublunar (abaixo da Lua), uma região "imperfeita", onde havia mudança, transformação. Acima da Lua, na esfera supralunar, os *orbes* e os astros eram compostos pelo famoso "quinto elemento", ou quintessência, também chamado de "éter". Lá, reinavam a organização perfeita e a imutabilidade. Para Aristóteles, o mundo celeste era o que sempre foi e o que sempre será, eterno e livre de transformações.

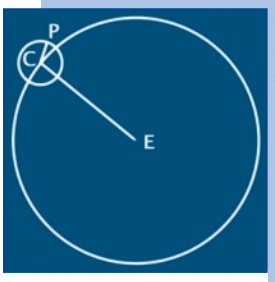
Mesmo com suas 56 esferas, o modelo aristotélico tinha problemas para ser conciliado à observação. Resultado: adicionaram-se mais complicações.

***Cláudio Ptolomeu** foi um astrônomo, geógrafo e matemático alexandrino que viveu entre 90 e 168 Sua principal obra é o grande sistema astronômico, em grego, que ficou conhecido como Almagesto na versão árabe.*

O auge dessa técnica de "correção" ocorreu com o trabalho de Cláudio Ptolomeu (90-168), o grego de Alexandria que, durante o apogeu do Império Romano, produziu a principal obra astronômica da Antiguidade – a "Composição Matemática", que acabou ficando mais famosa pelo seu nome árabe: *Almagesto*.

Wikipedia. www.wikipedia.org/

Figura 1.6. Representação medieval de Cláudio Ptolomeu.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.7. Movimento em epiciclos.

Além de incluir o catálogo de estrelas "fixas" mais completo do mundo antigo, com 1.022 itens, o livro também apresentava registros de observações abundantes e um sofisticado modelo matemático do cosmos. Na versão ptolomaica do mundo, os planetas giravam não somente em torno da Terra, segundo trajetórias circulares, mas também em circuitos circulares que "circulavam" ao longo de suas órbitas, os chamados epiciclos.

Reprodução de imagem publicada no livro *Selenographia* (1647), de Johannes Hevelius. Disponível em www.hps.cam.ac.uk/starry/copercosmol.html/.

Figura 1.8. Modelo simplificado do Cosmos de Ptolomeu, sem a representação dos epiciclos e deferentes.

Complicado? Basta pensar numa roda-gigante. Enquanto ela gira, as gôndolas penduradas nela precisam também girar, para que as pessoas dentro não fiquem de cabeça para baixo. Esse conjunto de círculos associados a círculos (chamados de epiciclos

e deferentes) era razoavelmente eficiente para "salvar as aparências", ou seja, explicar e prever os movimentos celestes, de forma que passou quase quinze séculos sem ser questionado seriamente.

Mas isso não duraria para sempre.

Rotundidade da Terra: é o grau de esfericidade do planeta. Ela é quase esférica, mas não perfeitamente – é ligeiramente achatada nos pólos, ou seja, tem diâmetro polar menor que o diâmetro equatorial.

INTERRUPÇÃO CIENTÍFICA

Com o fim do Império Romano e sua pilhagem por pequenos reinos bárbaros, o Ocidente perdeu sua tradição científica. Os interesses passaram a se voltar para o cristianismo, que ascendia como religião dominante na região e induzia a um retrocesso no modo leigo de pensar o mundo. Até mesmo a **rotundidade da Terra** passou a ser questionada, e os pensadores cristãos repudiavam a busca do conhecimento – astronômico ou não.

Escreveu Santo Agostinho (354-430), um dos primeiros grandes representantes do pensamento religioso da Idade Média (muito embora ele a preceda em cerca de meio século), em suas "Confissões":

> Outra forma de complexidade ainda mais perigosa (que a da carne [...]) é a vã curiosidade que se esconde sob o nome de conhecimento e ciência. [...] Foi esta doença da curiosidade [...] que nos induziu a perscrutar os misteriosos segredos da natureza exterior a nós, segredos que não adianta conhecer e onde os homens não buscam nada além desse próprio conhecimento. [...] Não me interessa conhecer o curso dos astros. (apud SIMAAN e FONTAINE, 2003, p.p.70-79).

Sob essa argumentação, invalidava-se todo o esforço feito até Ptolomeu para dar explicação aos fenômenos celestes. Com esse combate sistemático às indagações conduzidas até então pela Grécia clássica, muito do que se sabia no mundo ocidental sobre os antigos pensadores seria perdido. Por sorte, no Oriente, um grande império se formava: inspirados pela religião islâmica, os árabes conquistariam vastos territórios, da Ásia ao norte da África e até à Península Ibérica (Espanha).

No Império Árabe, a liberdade de pensamento era maior e a astronomia seguiu evoluindo. Observações mais precisas foram

realizadas, instrumentos aperfeiçoados, e o astrônomo e matemático Ibn El Hhaytam (965-1039), cujo nome ocidentalizado era Alhazen, fez grandes desenvolvimentos no estudo da **óptica**, dando explicações mais convincentes sobre a natureza da luz. Entretanto, ninguém ousou questionar o modelo geocêntrico de Ptolomeu, com a Terra imóvel no centro do Universo.

A partir dos séculos 11 e 12, com as Cruzadas, incursões militares cristãs para ocupar Jerusalém e outras partes da Palestina, e a Reconquista, processo da retomada da Espanha pelos europeus, o conhecimento armazenado no mundo árabe voltou a ter contato com o Ocidente.

A Igreja reduz seu combate ao saber científico e recupera grandes nomes, como Aristóteles, que são reincorporados ao modo de pensar ocidental. O resgate se deve a personagens importantes na filosofia da Idade Média, como Santo Tomás de Aquino (1227-1274). Retoma-se com mais afinco o estudo dos céus, e não é por coincidência que esse período também propicia o desenvolvimento das chamadas "Grandes Navegações".

Óptica: é o ramo da física que estuda o comportamento e as propriedades físicas da luz, incluindo sua interação com a matéria.

O céu, o único ponto de referência

Numa travessia transoceânica, o único ponto de referência possível é o céu, por meio das estrelas, e todas as embarcações necessariamente tinham um astrônomo a bordo. Embora não houvesse meio preciso, na época, de determinar a longitude (ou seja, a posição horizontal em um mapa), os astros serviam como excelente referência para a indicação da latitude (a posição vertical), resolvendo metade do serviço em termos de determinação da posição.

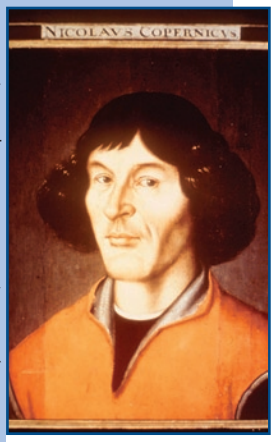
Os conhecimentos astronômicos, aliás, foram essenciais não só para a expansão européia sobre o globo mas para todos os povos que praticaram a navegação com alguma competência. Os chineses, por exemplo, que conceberam frotas avançadíssimas de navios, antes dos europeus, tinham astronomia similarmente desenvolvida. Mas para o Ocidente, esse interesse só se reacendeu no fim da Idade Média.

ENTRA EM CENA O HELIOCENTRISMO

Nicolau Copérnico *foi um astrônomo polonês nascido em Torum (hoje Thorn) às margens do Vístula, em 19 de fevereiro de 1473, e falecido em Frauenburg, em 24 de maio de 1543. Escreveu "Sobre a Revolução dos Orbes Celestes".*

É nesse contexto que surge a figura de Nicolau Copérnico (1473-1543), o polonês que não só ousou colocar o Sol no centro do sistema planetário, como também mostrou capacidade intelectual suficiente para que sua proposta prevalecesse.

Embora sempre tenha sido um apaixonado pela astronomia, Copérnico se viu às voltas com uma carreira monástica. A despeito do repúdio da Igreja pelo pensamento crítico (por vezes perto demais de idéias "heréticas" para ser tolerado), era inegável que as melhores oportunidades de ensino estavam entre os padres, e o polonês tomou vantagem dessa posição para desenvolver suas idéias. Ainda assim, temeroso do que poderia desencadear, foi relutante até o final. Diz-se que sua grande obra, *De revolutionibus orbium coelestium* [Sobre as revoluções dos orbes (corpos) celestes], só foi publicada quando Copérnico estava em seu leito de morte, e com uma introdução que não foi escrita pelo autor, ressaltando que as hipóteses ali apresentadas não deveriam ser levadas como uma descrição da realidade, mas, sim mero artifício matemático para corrigir problemas no modelo ptolomaico. Numa paráfrase do astrônomo Carl Sagan, ela dizia:



Reprodução de pintura de Copérnico de autor desconhecido, que se encontra na Prefeitura Municipal de Torun, Polônia (cidade natal de Copérnico).

Figura 1.9. Nicolau Copérnico, em retrato pintado em sua cidade natal no início do século 16.

> Prezado leitor, quando você ler esse livro, pode parecer que o autor está dizendo que a Terra não está no centro do Universo. Na verdade, ele não acredita nisso. Veja, este livro é para matemáticos. Se você quiser saber onde Júpiter estará dois anos depois da próxima quarta-feira, você pode ter uma reposta precisa tomando como hipótese que o Sol esteja no centro. Mas isso é meramente ficção matemática. Isso não desafia nossa fé sagrada. Por favor, não fique inquieto ao ler este livro. (CARL SAGAN, 2001, p.167).

Copérnico não foi o primeiro a desenvolver um sistema heliocêntrico, ou seja, com o Sol no centro. Na Grécia Antiga, Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.) propôs esquema idêntico, mas na época a idéia não foi bem recebida. Até o século de Copérnico, na verdade, havia grande oposição à idéia heliocêntrica. Em termos religiosos,

porque era inconcebível que Deus não tivesse colocado a Terra no centro do Universo. Em termos práticos, porque o heliocentrismo exigia que a Terra realizasse dois movimentos, um de rotação e outro de translação ao redor do Sol. O primeiro, argumentavam Aristóteles e seu discípulo (Ptolomeu), era claramente falso. Afinal de contas, se a Terra estivesse mesmo girando, quem atirasse uma pedra verticalmente para cima não a veria cair no ponto de partida, e sim mais para trás, uma vez que o planeta teria avançado um pouco em sua rotação. Parece um argumento razoável, quando não se sabe como funciona a lei da inércia.

Figura 1.10. Modelo simplificado do Cosmos de Copérnico.

Reprodução de imagem do livro de Copérnico, "*De revolutionibus orbium cœlestium, Libri VI*", primeira edição, publicada no dia 24 de maio de 1543.

Outro argumento contra o heliocentrismo era o fato de que, se a Terra realmente se deslocasse numa órbita ao redor do Sol, as estrelas fixas deveriam aparecer em diferentes disposições no céu, dependendo de que lado de sua trajetória circular o planeta estivesse. A solução para esse dilema é simples, mas difícil de acreditar com a mentalidade da época: bastava imaginar que as estrelas ditas fixas estavam muito mais longe do que antes se supunha, de modo que a órbita da Terra fosse minúscula se comparada a essas distâncias.

Ciente dessa oposição ferrenha, ainda assim, Copérnico tinha razões para crer que seu modelo era mais razoável. Pois, se a rotação terrestre parecia um desafio, fazer girar a uma velocidade estonteante uma esfera de estrelas fixas muito maior que a Terra parecia ainda mais absurdo. E o modelo heliocêntrico ajuda a explicar os estranhos ziguezagues de alguns planetas no céu.

Víctor Jimenez (AEB/Programa AEB Escola). Adaptação de ilustração publicada no livro "O Despertar na Via Láctea" de Timothy Ferris.

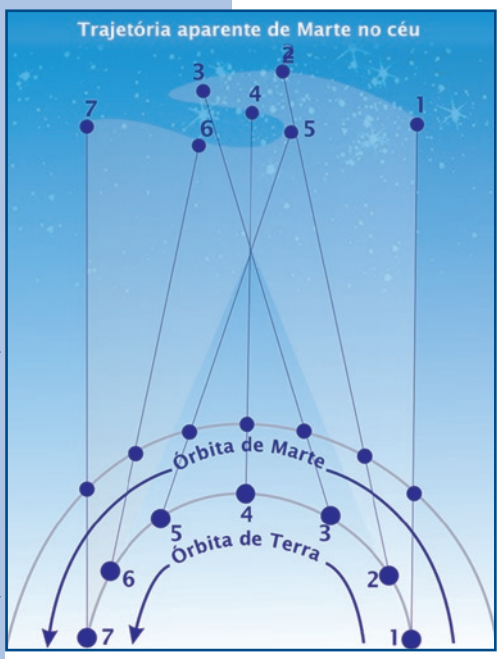


Figura 1.11. A representação do Cosmos com o Sol no centro do Sistema Solar e a Terra como apenas mais um planeta girando em torno dele ajuda a explicar como alguns planetas (com órbitas além da terrestre) podem fazer movimentos aparentes em ziguezague no céu, conforme ambos avançam em suas órbitas.

Nota – Esquematização do sistema híbrido de Tycho Brahe, publicado originalmente em francês.

Com sua obra, o polonês abriu uma porta que jamais voltaria a ser fechada. De fato, o seu modelo heliocêntrico parecia concordar mais com as observações do que o de Ptolomeu, e logo muitos cientistas se entusiasmaram pela novidade. Entre eles, dois dos mais importantes foram o alemão Johannes Kepler (1571-1630) e o italiano Galileu Galilei (1564-1642). Mas o geocentrismo ainda tentaria uma última cartada com o maior astrônomo de seu tempo, o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601).

Muito rico e um encrenqueiro de primeira (conta-se que ele perdeu o nariz, substituído por uma prótese metálica, após um duelo disputado por uma discordância sobre uma equação matemática), o homem construiu na ilha Hven o mais suntuoso observatório da época, Uraniborg. Lá, durante muitos anos, ele fez as medições mais exatas jamais vistas.

Um de seus vários sucessos foi no estudo, em 1572, de uma nova estrela que antes não era vista, mas depois passou a brilhar intensamente no céu, para então voltar a sumir. Hoje, sabemos que o fenômeno está associado à morte de estrelas, mas, aos olhos daqueles homens, parecia ser um novo astro, não um moribundo.

***Johannes Kepler**, astrônomo alemão, nasceu em Wurttemberg a 27 de dezembro de 1571 e faleceu em Ratisbona a 15 de novembro de 1630. Publicou Astronomia Nova (1609). Foi de sua autoria o primeiro tratado de vulgarização dos logaritmos.*

Tycho também teve a chance de coordenar um esforço para determinar a distância de um cometa que surgiu nos céus em 1577, constatando que ele não estava na esfera sublunar. Aristóteles atribuía uma natureza atmosférica aos cometas – tidos supersticiosamente como o anúncio de grandes catástrofes, por seu aparecimento repentino, exuberante e imprevisível. Afinal, para ele, o único lugar para coisas em mutação era abaixo da esfera lunar.

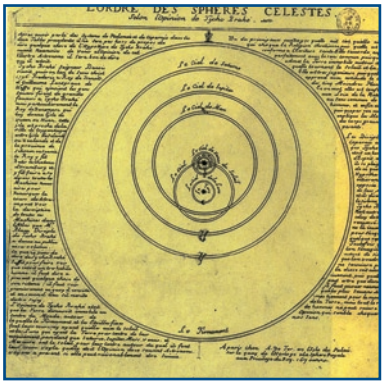
As observações de Tycho da nova estrela e desse cometa derrubariam esse preceito aristotélico. Ainda assim, o dinamarquês era relutante em ir até o final na revolução e dispensar o geocentrismo.

Reprodução de pintura de Tycho que se encontra no Palácio de Frederiksborg, Museu de História Nacional da Dinamarca. É de autoria desconhecida e foi pintada por volta de 1600.

Figura 1.12. Tycho Brahe.

Em vez disso, ele usou suas observações para criar um modelo que era alternativo ao de Aristóteles e Ptolomeu – mas também ao de Copérnico. Praticamente um meio-termo entre eles, o sistema colocava todos os planetas girando em torno do Sol, que por sua vez, com a Lua, girava em torno da Terra, que seguia sendo o centro do Universo. Em termos de predições, o modelo híbrido não funcionava direito. Mas, num mundo em que há três modelos diferentes do cosmos e nenhum deles resolve o problema a contento, Tycho não parecia ficar muito atrás de seus predecessores.

Ainda assim, o dinamarquês tomou o passo decisivo que colocou a humanidade no caminho do heliocentrismo, ao contratar o jovem e promissor Kepler, em 1600, para trabalhar com ele no castelo de Benátky, para onde sua equipe havia se mudado dois anos antes.



Reprodução da esquematização do sistema híbrido de Tycho Brahe, publicado em francês.

Figura 1.13. O modelo híbrido do Cosmos de Tycho Brahe, com a Terra no centro do Universo e os planetas girando ao redor do Sol.

Os dois batiam de frente. Kepler, novo e ambicioso, tinha seus próprios objetivos – provar com observações a correção do sistema copernicano; Tycho, mais experiente, mas, sem os lampejos de seu colega, não queria ver sua utilidade esgotada. Mais de uma vez o alemão ameaçou deixar Benátky, o que acabou encostando o veterano na parede. Tycho então

***Tycho Brahe**, astrônomo dinamarquês que viveu de 1546 a 1601. Sua primeira e mais importante observação foi a descoberta de uma estrela nova em novembro de 1572, na constelação de Cassiopéia, exposta no livro "Sobre a Estrela Nova", de 1576. Foi quem primeiro corrigiu suas observações de refração e redigiu um catálogo de estrelas. As observações do movimento do planeta Marte (dez oposições) efetuadas por Brahe permitiram o estabelecimento das três leis de Kepler, que reformularam toda a astronomia.*

resolveu dar uma tarefa relevante a seu ávido colaborador: determinar com precisão a órbita de Marte.

O dinamarquês sabia o quanto a missão era árdua. Por ser um dos planetas mais próximos da Terra, sua trajetória no céu era bastante conhecida – e não se encaixava em nada com as previsões feitas pelos modelos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho. Resultado: a despeito de sua genialidade, Kepler levou oito anos para decifrar o enigma, que cobrou do astrônomo alemão o sacrifício da única coisa que unia os conceitos cosmológicos de então: a esfera.

Elipse: conjunto de todos os pontos cujas somas das distâncias a dois dados pontos (chamados focos) é uma constante. O círculo é o caso particular da elipse quando os dois focos estão no mesmo lugar.

Os precisos dados observacionais de Tycho revelaram a Kepler o verdadeiro formato da órbita marciana: uma **elipse**, com o Sol posicionado em um de seus focos!

Kepler descobriu que o sistema de Copérnico funcionava perfeitamente se fossem dele retirados os círculos – impregnados no pensar científico desde a adoração às esferas nos tempos gregos como a forma geométrica mais perfeita – e colocados no lugar elipses, com o Sol em um de seus dois focos. Na verdade, a natureza surpreendeu a todos, pois o Sol não está no centro das órbitas elípticas.

A descoberta da órbita elíptica só foi possível graças aos precisos dados observacionais realizados por Tycho Brahe, pois a diferença entre a órbita circular e a elíptica, para o caso de Marte, é muito pequena.

Certamente Kepler, no início, deve ter ficado tentado a atribuir os pontos da órbita que ficavam fora do círculo por conta de erros de observação, mas ele confiava na precisão das medições de Tycho Brahe, de modo que teve mesmo que se render à evidência dos fatos, ou seja, a órbita de Marte não era um círculo e sim uma elipse, com o Sol num dos focos.

Para você ter uma idéia de como as órbitas dos planetas do Sistema Solar são tão próximas de círculos (apesar de em muitos livros didáticos as vermos erradamente como elipses superexcêntricas, ou seja, muito achatadas), veja na Figura 1.15 as órbitas dos oito planetas do Sistema Solar, com sua excentricidade correta.

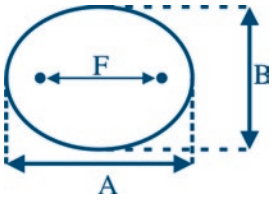
Saiba mais...

A excentricidade da elipse

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Dada uma elipse qualquer, a excentricidade (e) dela é definida pela razão entre a distância entre seus focos, que vamos chamar de F, e o comprimento do seu eixo maior, que vamos chamar de A, ou seja:

$$e = \frac{F}{A}$$



Dada uma elipse qualquer, também podemos determinar a excentricidade (e) dela simplesmente medindo seus eixos maior (A) e menor (B) e usando a equação abaixo:

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

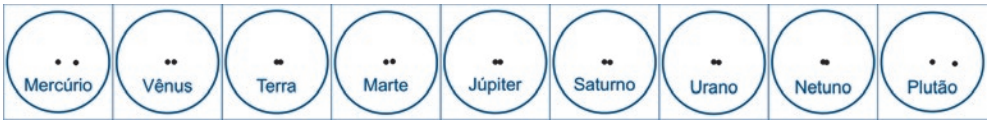
Se você fizer isso para a elipse acima encontrará que e = 0,64. Desta equação é fácil ver que o valor mínimo da excentricidade é zero (e = 0), o que se obtém quando B=A, ou seja, quando temos um círculo. O valor máximo da excentricidade é um, que se obtém justamente quando B tende a zero, ou seja, é a elipse mais achatada possível.

Logo: $0 \leq e \leq 1$

Saiba mais sobre a real forma das órbitas dos planetas.

Os astrônomos determinaram com exatidão a excentricidade das órbitas dos oito planetas do Sistema Solar, inclusive do planeta anão Plutão. Veja a tabela:

Planeta	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno	Plutão
Excentricidade	0,2	0,007	0,02	0,09	0,05	0,06	0,05	0,009	0,25

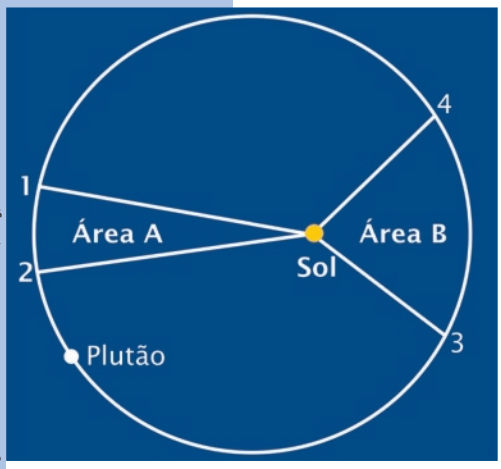


Elipses das órbitas dos oito planetas e de Plutão (planeta anão) desenhadas com o mesmo eixo maior. O ponto central é o centro da elipse e o ponto da direita é a posição de um dos focos, o qual é ocupado pelo Sol.

Na seção de atividades você encontra orientações para desenhar a órbita de qualquer planeta. Neste quadro incluímos Plutão, o planeta anão, para mostrar que ele tem a órbita mais excêntrica do que a de qualquer um dos planetas.

E o alemão foi ainda mais longe. Em 1609, ele descobriu que os planetas não giram ao redor do Sol em velocidade constante, como antes se supunha, mas aceleravam e desaceleravam. E seu ritmo guardava uma relação com sua órbita. Segundo Kepler, a linha Sol-planeta varria áreas iguais na elipse em iguais intervalos de tempo.

Para ilustrarmos a segunda lei de Kepler, vamos usar a órbita de Plutão, que até recentemente era considerado planeta e foi em 2006 rebaixado à categoria de planeta anão. Como todos os objetos, planetas ou não, que orbitam o Sol obedecem às leis de Kepler, o exemplo continua sendo válido, mesmo após a reclassificação. E o melhor de tudo é que Plutão tem uma órbita muito mais excêntrica (achatada) do que a dos planetas, o que facilita a visualização.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.14. A órbita de Plutão, que é muito mais excêntrica (elíptica) do que as dos planetas do Sistema Solar.

O período de translação de Plutão tem quase 250 anos terrestres, ou seja, a Terra gira ao redor do Sol 250 vezes enquanto Plutão gira apenas uma vez. Vamos supor que entre os pontos 1 e 2 ele tenha gasto 50 anos, e entre os pontos 3 e 4 ele também tenha gasto 50 anos. Então, pela segunda lei de Kepler, a área A é igual à área B. Isso somente é possível em virtude da variação da velocidade do planeta em seu movimento de translação. Quando perto do Sol ele se move mais rapidamente do que quando mais longe.

Finalmente, em 1619, o astrônomo alemão faria novo avanço, ao determinar que a razão entre o quadrado do tempo (T) que um planeta leva para completar uma órbita e o cubo da distância média (D) do planeta ao Sol é uma constante, ou seja:

$$\frac{T^2}{D^3} = k$$

O valor de k depende das unidades usadas para o período (T) e a distância (D).

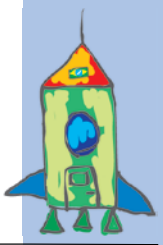
Embora possa não parecer muito impressionante, a terceira lei de Kepler foi uma das coisas que permitiram ao inglês Isaac Newton (1642-1727) o desenvolvimento da teoria da gravitação universal.

Resumindo, Kepler desenvolveu três leis:

1ª lei: os planetas giram em órbitas elípticas, com o Sol num de seus focos.

2ª lei: uma linha que ligue o planeta ao Sol cobre áreas iguais na elipse em iguais intervalos de tempo.

3ª lei: $\frac{T^2}{D^3} = k$



Essa lei de Kepler na verdade é uma solução aproximada bem eficiente das equações newtonianas, e é extremamente útil falar dela.

Como a equação é bem simples, trata-se de algo que se pode manipular em sala de aula. Além do mais, vale ressaltar que o cálculo não serve apenas a esforços educacionais. Até hoje, como forma de aproximação, ao estudar órbitas de estrelas binárias (compostas por dois astros, ambos girando em torno de um centro de gravidade comum), os astrônomos aplicam a terceira lei kepleriana!

Com seu trabalho, Kepler finalmente concluiu a busca que começou no início dos tempos de explicar os movimentos vistos no céu. Mas caberia a um contemporâneo seu, Galileu, dar um novo rumo à astronomia. Embora não tenha inventado a luneta, como alguns dizem, o italiano foi um dos grandes responsáveis pelo aperfeiçoamento desse aparelho. Foi também o primeiro a realizar observações astronômicas sérias com ele. Um novo Universo, invisível a olho nu, se revelou.

Galileu descobriu, por exemplo, ao examinar o planeta Júpiter, que este era cercado por quatro pequenos satélites que giravam em torno dele – logo nem tudo orbitava a Terra como acreditavam Aristóteles e Ptolomeu.

Com o advento do telescópio, o Sistema Solar foi ampliado com a aquisição de mais dois planetas. Urano, encontrado por Sir William Herschel (1738-1822) da Inglaterra, em 1781; e Netuno, observado pela primeira vez pelo Observatório de Berlim em 1846. Plutão, achado pelo astrônomo americano Clyde William Tombaugh (1906-1997)

*O inglês **Isaac Newton** (1642-1727) é tido como o pai da física moderna. Excêntrico e genial, ele só pode ser comparado a Albert Einstein no quesito façanhas individuais. Formulou a Lei da Gravitação Universal, criou uma teoria da luz que a via como partículas, fez grandes avanços em óptica e inventou a técnica matemática conhecida como cálculo (desenvolvida independentemente por Wilhelm Leibniz).*

*O alemão naturalizado inglês **William Herschel** (1738-1822) foi o maior astrônomo do século 18. Além da descoberta da radiação infravermelha, ele foi o descobridor de Urano, o sétimo planeta, visível apenas com o auxílio de telescópios, e realizou grandes mapeamentos de estrelas nunca antes catalogadas.*

em 1930, chegou a ser categorizado como planeta, mas foi "rebaixado" a planeta anão em 2006.

Depois de resolvido o mistério dos movimentos planetários, uma boa forma de ilustrá-los para os alunos é por meio de uma representação teatral. Veja como fazer isso na seção de atividades.

A GRANDE SÍNTESE

Embora desde Kepler os movimentos planetários tenham se tornado razoavelmente preditíveis, o principal paradigma do estudo do céu ainda não havia caído: o de que as regras que operavam lá, fossem quais fossem, não correspondiam às regras que operavam aqui no chão. De um ponto de vista filosófico, céu e Terra continuavam tão separados quanto estavam na época de Aristóteles, com sua misteriosa quintessência de um lado e os quatro elementos terrestres (fogo, ar, água e terra) de outro.

O responsável por derrubar esse ranço do pensamento aristotélico foi o britânico Isaac Newton, tecnicamente um sucessor intelectual de Kepler e Galileu, mas na prática muito mais audaz do que eles. Newton é hoje considerado por muitos como a mais poderosa mente que já surgiu na ciência, e não há como ignorar a atuação fundamental desse físico e matemático na reformulação das bases da astronomia.

Seu sucesso mais famoso, como mencionamos há pouco, é a criação da teoria da gravitação universal. E o que é mais especial a respeito dela, ao contrário do que se possa pensar, não é que ela fala de "gravitação", mas sobretudo o fato de ser universal.

Com ela, Newton estabelece uma lei da natureza que não faz distinção entre o mundo celeste e o mundo terreno. A mesma gravidade que faz a maçã cair também faz a Lua girar ao redor da Terra e a Terra girar ao redor do Sol.

É a visão de Newton que dá verdadeiro sentido aos sucessos de Kepler e Galileu; o alemão e o italiano já haviam feito grandes

coisas para explicar o movimento dos astros e a ação da gravidade terrestre, mas nenhum dos dois conseguiu costurar tudo e enxergar mais longe, percebendo que o universo lá fora e o mundo aqui embaixo são ambos partes de um todo, que obedece às mesmas leis naturais. Modesto e gracioso com seus predecessores, Newton disse que só conseguiu ver isso porque estava "sobre os ombros de gigantes".

Com esse passo precioso, Newton estabeleceu as bases para a ciência moderna. Isso, não só por demonstrar seu caráter literalmente universal (ou seja, que abarca todos os espaços observáveis pelo ser humano), mas também por criar um novo formalismo científico. Sua obra-prima, chamada *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* [Princípios Matemáticos da Filosofia Natural], é tida como um dos primeiros livros a adotar o rigor e a precisão das narrativas científicas modernas. Na função de brilhante pioneiro, Newton fez escola e lançou os alicerces de um novo modo de se fazer ciência. De quebra, resolveu todas as minúcias dos movimentos planetários.

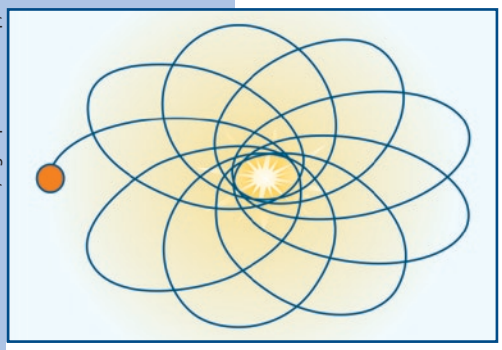
Bem, nem todas, na verdade.

O último enigma

Apenas um mistério sobre os movimentos dos planetas permanecia sem resposta – uma estranha **precessão** da órbita de Mercúrio, o astro mais próximo do Sol. Não é difícil imaginar o fenômeno. Como as órbitas planetárias são elípticas (ainda que muito próximas de um círculo perfeito), há um ponto em que o planeta atinge a distância máxima do Sol, denominado afélio, e outro em que ele está o mais próximo possível, o periélio. No caso de Mercúrio, conforme ele completa voltas e mais voltas ao redor do Sol, esses pontos de aproximação e afastamento máximos mudam de ano para ano – ocorre a dita precessão: a própria órbita gira em torno do Sol.

Ocorre que as equações da gravitação de Newton aplicadas aos planetas pareciam acertar em cheio em todos os casos, exceto

Precessão da órbita de um planeta: é o giro da própria órbita do planeta em torno da estrela central, de modo que o periélio (ponto da órbita em que o planeta está mais próximo do Sol) ocorre a cada volta numa posição ligeiramente diferente da anterior.



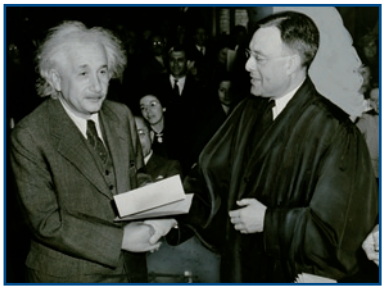
Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola). Adaptação de imagem publicada no sítio www.blazelabs.com/f-g-superluminal.asp/

Figura 1.15. A precessão: não só o planeta gira, mas, a órbita dele também, como no desenho acima (com elipses exageradas para deixar o efeito mais claro).

nesse. Houve quem especulasse sobre a existência de um outro planeta, ainda mais próximo do Sol do que Mercúrio, responsável pelo efeito. Mas, no final, a solução só veio mesmo quando o alemão Albert Einstein (1879-1955) apresentou sua nova teoria da gravidade, mais conhecida como a teoria da relatividade geral, em 1915.

Uma substituta à gravitação de Newton (assim como esta última superou as leis de Kepler), a gravidade einsteiniana traria algumas novidades. A mais óbvia delas era a explicação correta para o movimento de Mercúrio, dispensando a existência de um outro planeta (o próprio Einstein só se convenceu de que sua teoria estava correta depois de efetuar os cálculos e se certificar de que ela explicava a misteriosa precessão). Outra, muito mais surpreendente, era a de que, uma vez que a relatividade tratava a gravitação como uma curvatura no espaço e no tempo (vistos como uma única entidade indivisível, o espaço-tempo), o Universo passaria a ser encarado como algo dinâmico, tendo sua história regida pela ação da gravidade ao longo do tempo. Moral da história: com a relatividade geral seria possível especular de forma mais concreta sobre as origens do Universo!

***Albert Einstein** foi possivelmente o mais importante físico do século 20. Nascido na Alemanha, o cientista realizou seus trabalhos mais famosos enquanto trabalhava num escritório de patentes em Berna, na Suíça. Einstein descobriu que o espaço e o tempo não são fixos e imutáveis, como dizia Isaac Newton, mas sim flexíveis, e influenciados pela presença de matéria e energia numa dada região do espaço. Essas conclusões, incorporadas em suas duas versões da teoria da relatividade (especial e geral), mudaram as perspectivas dos estudos sobre a origem do Universo.*

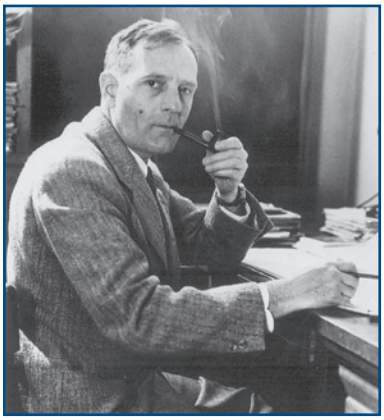


Biblioteca do Congresso dos EUA/AI Aumuller.

Figura 1.16. Albert Einstein recebe a cidadania americana, em 1940.

Einstein relutou em fazer isso. Por suas concepções religiosas e filosóficas, o alemão entendia que o Universo deveria ser eterno e estático, enquanto suas equações sugeriam que essa condição era impossível – um universo regido pela gravidade precisaria, necessariamente, estar em expansão ou em contração. Para solucionar o dilema, ele modificou suas equações, incluindo

em 1917 uma "constante cosmológica" – destinada justamente a manter o Universo estático ao longo do tempo.



Instituição Carnegie de Washington. www.wwu.edu/

Figura 1.17. Edwin Hubble.

*Com seu porte atlético (ele foi lutador de boxe), **Edwin Hubble** foi o brilhante astrônomo que descobriu que as galáxias estavam todas se afastando umas das outras e que o Universo estava em expansão. Seu feito, em 1929, revolucionou o entendimento do Cosmos.*

Qual não foi sua surpresa quando o grande astrônomo americano Edwin Hubble (1889-1953) descobriu em 1929, por observações astronômicas, que as galáxias pareciam estar todas se afastando umas das outras, e quanto mais distante estava uma galáxia, mais rapidamente ela parecia se afastar (aliás, nossa representação moderna de Universo data de 1924, quando Hubble demonstrou que a Via Láctea não era a única galáxia no cosmos). Essa recessão de galáxias foi imediatamente reconhecida como o sinal de que o Universo de fato estava em processo de expansão. Após a publicação desses resultados, Einstein lamentou não ter acreditado no que suas equações lhe diziam havia mais de uma década e repudiou sua constante cosmológica, considerando-a o maior erro de sua carreira.

Ora, se o Universo estava em expansão, ao rebobinarmos a fita, constataríamos sem demora que ele esteve numa condição muito mais compacta no passado. Então, se fosse possível voltar ao início dos tempos, será que o cosmos inteiro estaria condensado num único ponto? Foi essa a suposição que o padre belga Georges Lemaître (1894-1966) fez ainda em 1927, sem as observações de Hubble para apoiá-lo. Era o início da chamada teoria do *Big Bang*, que seria posteriormente mais trabalhada pelo russo-americano George Gamow (1904-1968). Além de desenvolver alguns detalhes de como se teria procedido essa "grande explosão" inicial, o físico fez uma previsão: se a teoria estivesse correta, deveria existir, emanando de todas as partes do cosmos, um "eco" desse evento primordial.

Essa radiação, hoje conhecida como radiação cósmica de fundo de microondas, foi descoberta em 1965, por acidente, por Arno Penzias (1933-) e Robert Wilson (1936-), trabalhando para os Laboratórios Bell, nos Estados Unidos. Dali em diante, a origem do Universo parecia um problema, ao menos parcialmente, resolvido – embora os detalhes e as implicações desse começo muito quente e denso ainda estejam por ser totalmente decifrados.

Após séculos e séculos de especulação e reflexão, hoje a humanidade pode se orgulhar de ter uma visão razoável de como o Universo nasceu e evoluiu. Vamos a ela.

UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO

Big Bang *é a explosão de uma região infinitamente pequena em que toda a matéria e a energia do Universo estariam reunidas antes do início da expansão.*

A famosa teoria do *Big Bang*, acredite se quiser, nada diz sobre o *Big Bang* em si. Ela é extremamente eficiente em explicar como o Universo evoluiu desde aquele momento singular até hoje, e extrapolações dela permitem imaginar como o cosmos será daqui a muitos trilhões de anos, mas o chamado instante t=0, aquele em que tudo começou, permanece firmemente postado além de nossa compreensão.

A razão disso é que a nossa física hoje é fraturada em dois grandes mundos. De um lado, a teoria quântica, que descreve o funcionamento das coisas muito, muito pequenas, e explica com incrível precisão como funcionam três das quatro grandes forças conhecidas da natureza. São elas: a força nuclear forte, que mantém os prótons grudados dentro dos núcleos atômicos a despeito da repulsão existente entre essas partículas de carga positiva; a força nuclear fraca, que explica certos processos de decaimento radioativo; e a força eletromagnética, que está ligada, como o nome já diz, aos campos elétricos e magnéticos e às propriedades da luz, em suas diferentes variedades (que vão do rádio aos raios

gama, passando pelas microondas, pelo infravermelho, pela luz visível, pelo ultravioleta e pelos raios X).

De outro lado, existe uma força que se recusa a receber "tratamento" quântico: a gravidade. Sua melhor explicação teórica hoje vem da teoria da relatividade geral de Einstein, que interpreta os campos gravitacionais como curvaturas num espaço-tempo quadridimensional (composto pelas três dimensões espaciais mais o tempo). Sendo esta a menos intensa das quatro forças conhecidas (embora seja a que percebemos e compreendemos com maior facilidade), a gravidade se faz sentir mais intensamente quando falamos de grandes escalas. Não é à toa que a cosmologia moderna – o estudo do Universo como unidade – nasceu com a teoria einsteiniana, e os sucessos até hoje obtidos na explicação da evolução do cosmos atestam o grande sucesso das idéias do físico alemão.

Ocorre que, quando estamos falando do *Big Bang* em si, a relatividade não basta. É preciso incluir também as influências geradas pelas outras três forças da natureza, descritas pela mecânica quântica. O drama é que essas duas grandes teorias físicas – a relatividade e a teoria quântica – são incompatíveis entre si. Elas apresentam diferentes perspectivas a respeito da natureza e suas equações são impossíveis de se combinar.

A busca por uma teoria que explique o que aconteceu no momento do Big Bang

Alguns sucessos parciais no esforço de agrupar a relatividade e a teoria quântica foram obtidos pelo físico britânico Stephen Hawking (1942-), que combinou as duas teorias para explicar, por exemplo, como buracos negros emitem radiação. No entanto, a reunião final de toda a física elementar numa única teoria ainda não aconteceu, de modo que é impossível interpretar exatamente o que ocorreu no *Big Bang*. A busca por essa "teoria de tudo", que começou com o próprio Einstein, continua, mas, enquanto ela não termina, temos de aceitar que não há arcabouço teórico capaz de nos dizer o que teria acontecido no momento do *Big Bang*.

Em compensação, se passamos por cima disso sem grandes traumas, somos brindados com detalhes riquíssimos sobre a evolução do Universo.

Por exemplo, muito antes que um segundo tivesse decorrido desde o *Big Bang*, sabemos que o cosmos provavelmente sofreu um aumento radical de tamanho, numa velocidade maior que a da luz! Esse processo de crescimento descontrolado e rápido é chamado de inflação, e foi graças a ele que o Universo não voltou a entrar em colapso logo no início, implodindo sobre si mesmo. Quando a gravidade se deu conta do que estava acontecendo, era tarde demais para reunir toda a matéria e energia no ponto em que ela estava originalmente – o Universo havia nascido.

Ainda assim, naquele momento o cosmos estava muito quente, composto apenas pelas partículas mais simples. Eram os quarks – que hoje existem como componentes dos prótons e nêutrons –, os elétrons – velhos conhecidos –, e os fótons – partículas de luz. Àquela temperatura altíssima do início do Universo, eles não conseguiam combinar uns com os outros. A única coisa que ocorreu naquele momento foi aniquilação de matéria. Assim como surgiram logo de cara os quarks, surgiram também os chamados antiquarks – partículas com propriedades em tudo similares, mas com carga oposta. E para acompanhar os elétrons, surgiram os antielétrons, também chamados de pósitrons. Quando partículas idênticas de matéria e antimatéria se encontram, elas se destroem mutuamente, produzindo fótons (energia). Foi o que aconteceu naquele momento. As partículas estavam em altíssima temperatura, muito agitadas, e encontravam seu fim ao se chocar com suas antipartículas equivalentes.

A sorte – e a razão para estarmos aqui – é que, segundo a teoria mais aceita (embora ainda não se tenha comprovação dela), o Big Bang, *por algum motivo, produziu uma quantidade um pouquinho maior de partículas de matéria do que de antimatéria.*

Ao final desse processo de aniquilação mútua, havia um mar imenso de fótons e umas poucas partículas de matéria que ficaram

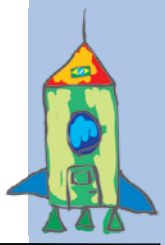
sem par – foi delas que o Universo tirou a matéria-prima para construir tudo que apareceu depois.

Note que tudo isso, a inflação e a aniquilação de matéria com antimatéria, aconteceu antes que decorresse o primeiro segundo. Muita ação e emoção para um Universo-bebê!

Até que o primeiro segundo chegou. Conforme a expansão continuava – agora não mais em ritmo inflacionário – a temperatura geral do cosmos baixava. Estava em cerca de 10 bilhões de graus Celsius (aproximadamente mil vezes a temperatura no centro do Sol) quando os quarks remanescentes conseguiram começar a se juntar em prótons e nêutrons. E, durante cerca de três minutos, o Universo iniciou a fabricação de seus principais elementos químicos. Nessa fase, os prótons e nêutrons começaram a se grudar, formando núcleos atômicos. Esse processo, conhecido como fusão nuclear, fabricou muitos núcleos de hélio (compostos por dois prótons e um ou dois nêutrons) e alguns de lítio (com três prótons). Mas três minutos depois a expansão já havia diluído suficientemente o conteúdo do cosmos para interromper o processo. Resultado: de todos os prótons recém-formados pelos quarks que sobraram da aniquilação, apenas 25% foram "reprocessados" pela fusão para formar hélio, mais uma quantidade residual de lítio. Uns 75% deles permaneceram intocados, compondo a principal matéria-prima do Universo em evolução, o hidrogênio. Trata-se do núcleo mais simples, composto por um único próton, com ou sem nêutron para acompanhá-lo.

Dali em diante, não muita coisa iria acontecer de imediato. O cosmos continuaria se esfriando, como um mar de elétrons, fótons e núcleos atômicos livres. A ação só iria voltar a se intensificar dali a 300 mil anos. A temperatura global baixou

Qualquer pessoa pode observar a radiação cósmica de fundo ao sintonizar a tevê num canal que não esteja transmitindo: daquele chiado tremeluzente captado pelo aparelho, cerca de 1% é causado pela radiação cósmica de fundo.

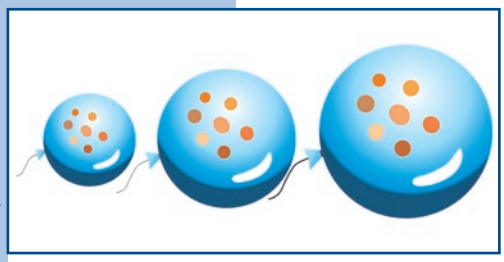


até uns 3.000 graus, e a essa altura os elétrons já não estavam suficientemente agitados para fugir dos núcleos atômicos – surgiriam os primeiros átomos estáveis, com prótons e nêutrons no núcleo e elétrons ao seu redor.

Quando isso aconteceu, foi um ato de libertação para os fótons daquele mar primordial de partículas. Os fótons deixaram de perturbar os elétrons e passaram a circular livremente pelo cosmos. Diz-se que o Universo se tornou "transparente", e esses fótons primordiais são exatamente os que são detectados na radiação cósmica de fundo, na forma de microondas.

Hoje, observações detalhadas dessas microondas nos dão uma porção de informações sobre como tudo começou. Foi principalmente a partir delas que conseguimos estimar com muita precisão em que momento do passado aconteceu o *Big Bang*. Segundo as últimas observações, feitas com o satélite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) [Sonda Wilkinson de Anisotropia de Microondas], o Universo hoje tem cerca de 13,7 bilhões de anos. E o fato de que a radiação vem de todas as direções ajuda a esclarecer um engano muito comum – pensar que o *Big Bang* foi uma explosão no sentido convencional, de onde a matéria e a energia se espalharam por um espaço vazio previamente existente.

Não é nada disso. Na verdade, o *Big Bang* aconteceu em todo o Universo, inclusive no lugar em que você está agora. Ocorre que o lugar em que você está agora, 13,7 bilhões de anos atrás, era muito menor, e estava compactado junto com todos os outros lugares do Universo atual. A melhor forma de visualizar esse efeito é imaginar que o Universo inteiro fosse a superfície bidimensional de uma bexiga. Você pode pintar vários pontinhos nesse balão, e, ao inflá-lo, notará que os pontos se afastam uns dos outros – como as galáxias se afastam umas das outras –, mas o Universo continuará sendo o que sempre foi, a superfície da bexiga. Ocorre



Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.18. A expansão do Universo pode ser imaginada como uma bexiga sendo inflada.

que agora ela está mais esticada, inflada, de modo que as distâncias entre os objetos são maiores.

O fato de que a radiação cósmica vem de toda parte ajuda a entender que o *Big Bang* aconteceu em toda parte!

Essas microondas originárias de quando o Universo tinha apenas 300 mil anos também nos dão pistas do que viria depois. Isso porque a radiação é muito homogênea em todas as direções, denotando hoje uma temperatura de cerca de 2,73 Kelvin (cerca de 270 graus Celsius negativos), mas não exatamente; há pequeninas variações, que indicavam uma distribuição ligeiramente heterogênea lá no começo, provavelmente, antes da era inflacionária. Foi dessas "sementes" mais densas que nasceram as primeiras galáxias. A diferença de densidade "facilitou" o trabalho da gravidade mais para frente, repartindo o Universo em regiões relativamente mais ricas em hidrogênio, hélio e lítio, e outras quase completamente vazias.

Berçário das estrelas

As galáxias começaram basicamente como nuvens gasosas, e foi nelas que nasceram as primeiras estrelas. Conforme o gás começa a se agregar por conta da gravidade, passa a se compactar. A compactação segue em ritmo crescente até que, em seu núcleo, a pressão leva à realização de fusão nuclear – nasce uma estrela.

Hoje, na Via Láctea, o Sol é apenas uma de 200 bilhões de estrelas. E a Via Láctea é apenas uma galáxia, de centenas de bilhões existentes só no Universo observável. Ela pertence a um agrupamento de galáxias conhecido como Grupo Local, do qual o maior membro é a galáxia de Andrômeda (também conhecida como M31). Essas galáxias próximas dançam ao redor de um centro de gravidade conjunto, pela força da gravidade, ao longo de bilhões de anos. Por vezes se chocam, dando origem a galáxias maiores. A Via Láctea, por exemplo, vai colidir com Andrômeda em mais ou menos 6 bilhões de anos. E colisões menores, com as chamadas galáxias-satélites, parecem ocorrer com freqüência maior.

Dando um novo salto de escala, descobrimos que o Grupo Local pertence a um conjunto ainda maior de galáxias, chamado de Aglomerado de Virgem. E, saltando mais uma vez, percebemos que o Aglomerado de Virgem está agrupado com outros aglomerados para formar o Superaglomerado de Virgem. Os astrônomos agora investigam para saber se há outro nível de organização, além dos superaglomerados.

E olhe que estamos falando apenas do Universo observável, com seus 13,7 bilhões de anos-luz de raio, a contar da Terra! (Como o Universo só tem 13,7 bilhões de anos, a luz mais distante que conseguiu chegar até nós e ser observada só pode ter vindo de uma distância de 13,7 bilhões de anos-luz; 1 ano-luz é a distância que a luz atravessa em um ano, cerca de 9,5 trilhões de quilômetros.) Além disso, segundo a teoria, deve haver muito mais que não podemos ver, meramente, porque ainda não deu tempo!

A teoria do *Big Bang*, com sua incrível sofisticação, deu uma explicação bem interessante sobre a evolução do Universo. Mas um mistério permaneceu. Se tudo que o cosmos fabricou em seu princípio foi hidrogênio, hélio e lítio, de onde vieram os elementos que nos compõem hoje, como carbono, oxigênio e ferro? A resposta tinha de estar em outro lugar, e levou algum tempo para que se descobrisse de onde veio a matéria-prima da Terra e de todas as criaturas que a habitam.

Fábrica de sonhos

A fabricação dos elementos químicos (ou nucleossíntese, como é chamada) começou com o *Big Bang*, mas o mundo seria muito sem graça se só houvesse hidrogênio, hélio e lítio. Felizmente, a arquitetura das estrelas permite a elas complementarem o serviço da "grande explosão". Foi no núcleo das primeiras estrelas que apareceram os primeiros átomos mais pesados, como carbono e oxigênio.

A fusão nuclear se dá no interior das estrelas primeiro usando o hidrogênio como combustível. Ao cabo de milhões ou bilhões de anos

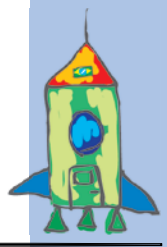
(dependendo do porte da estrela: quanto mais massa, mais rapidamente ela gasta seu combustível), o hidrogênio se torna escasso e ela passa a fundir hélio, convertendo-o em carbono; dali, o carbono será fundido em átomos diversos, como neônio, oxigênio, sódio e magnésio. Finalmente, se tiver massa suficiente, a estrela fundirá esses átomos em ferro.

A fusão é a maneira que as estrelas encontram para defender sua estabilidade. Ao fundir elementos em seu núcleo, elas produzem uma pressão de radiação na direção de dentro para fora, que compensa a pressão exercida por sua própria gravidade, de fora para dentro. Ocorre que, quando se chega no ferro, há um impasse. O processo de fundi-lo, em vez de produzir mais energia, exige que mais energia seja depositada no processo – energia que a estrela não tem de onde tirar. Ou seja, é um beco sem saída para o astro, que, sem poder combater a força da gravidade, implode.

Se sua massa for algumas vezes maior que a do Sol, ela explodirá na forma de uma supernova. É o urro final de uma estrela moribunda de grande massa. Após esgotar todas as possibilidades de fazer fusão, ela explode suas camadas exteriores. No instante inicial, ela brilha mais que a galáxia inteira em que reside. Ao longo de dias e semanas, seu brilho se torna mais intenso do que o de todas as estrelas de sua galáxia de origem. É um evento literalmente celestial.

Nesse processo violento são produzidos os elementos mais pesados que o ferro – é da supernova que vem a energia extra requerida para a produção de átomos como os de urânio e plutônio. E o espalhamento desses materiais pelo cosmos após a explosão faz com que aquela região do espaço seja semeada com todos esses elementos pesados. Com o tempo, uma nuvem de gás se condensará ali e dará origem a futuras estrelas, que terão incorporados em si os restos de suas antepassadas.

Hoje, o Sol ainda não fabrica mais que hélio em seu núcleo, mas já possui quantidade detectável de carbono e ferro, graças a supernovas que abasteceram a nuvem gasosa a partir da qual ele se formou.



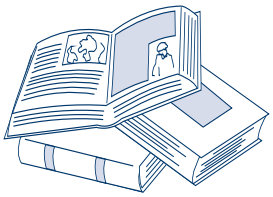
Foi graças a esse processo que o Sol, uma estrela comum

pertencente à terceira geração de astros desse tipo, formada cerca de 4,7 bilhões de anos atrás, obteve seus elementos mais pesados.

Da mesma maneira, foi essa presença marcante que permitiu o surgimento de planetas como a Terra, cujo interior é rico em ferro. A vida, como a conhecemos, é baseada em compostos complexos estruturados em cadeias de carbono. Cada átomo de carbono em nossos corpos um dia foi forjado no coração escaldante de uma estrela que nem existe mais.

Com essa assombrosa constatação, a humanidade encontrou um elo profundo com o Universo. Não fosse por todos os processos violentos que têm ocorrido cosmos afora nos últimos 13 bilhões de anos, não haveria como estarmos aqui. Fecha-se o elo entre a busca humana por origens e a própria história do Universo. Como gostava de dizer o astrônomo e divulgador de ciência americano Carl Sagan, "somos todos poeira de estrelas".

Mas, longe de ser o final, este é apenas o começo da aventura.



LEITURA COMPLEMENTAR

ATO DE FÉ OU CONQUISTA DO CONHECIMENTO?

Um episódio na vida de Joãozinho da Maré

Professor Rodolpho Caniato. Publicado no Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, ano 6, número 2, abril/junho de 1983, páginas 31 a 37.

O Joãozinho de nossa história é um moleque muito pobre que mora numa favela sobre palafitas espetadas em um vasto mangue. Nosso Joãozinho só vai à escola quando sabe que vai ser distribuída a merenda, uma das poucas razões que ele sente para ir à escola. Do fundo da miséria em que vive, Joãozinho pode ver bem próximo algumas das conquistas de nossa civilização em vias de desenvolvimento (para alguns). Dali de sua favela, ele pode ver bem de perto uma das grandes Universidades onde se cultiva a inteligência e se conquista o conhecimento. Naturalmente, esse conhecimento e a ciência ali cultivados nada têm a ver com o Joãozinho e outros milhares de Joãozinhos pelo Brasil afora.

Além de perambular por toda a cidade, Joãozinho, de sua favela, pode ver o aeroporto internacional do Rio de Janeiro. Isso certamente é o que mais fascina os olhos de Joãozinho. Aqueles grandes pássaros de metal sobem imponentes com um ruído de rachar os céus. Joãozinho, com seu olhar curioso, acompanha aqueles pássaros de metal até que, diminuindo, eles desapareçam no céu.

Talvez, por freqüentar pouco a escola, por gostar de observar os aviões e o mundo que o rodeia, Joãozinho seja um sobrevivente de nosso sistema educacional. Joãozinho não perdeu aquela curiosidade de todas as crianças; aquela vontade de saber os "comos" e os "porquês", especialmente em relação às coisas da

natureza; a curiosidade e o gosto de saber que se vão extinguindo, em geral, com a freqüência à escola. Não há curiosidade que agüente aquela "decoreba" sobre o corpo humano, por exemplo.

Sabendo por seus colegas que nesse dia haveria merenda, Joãozinho resolve ir à escola. Nesse dia, sua professora se dispunha a dar uma aula de ciências, coisa que Joãozinho gostava. A professora havia dito que nesse dia iria falar sobre coisas como o Sol, a Terra e seus movimentos, verão, inverno etc.

A professora começa por explicar que o verão é o tempo do calor, o inverno é o tempo do frio, a primavera é o tempo das flores e o outono é o tempo em que as folhas ficam amarelas e caem.

Em sua favela, no Rio de Janeiro, Joãozinho conhece calor e tempo de mais calor ainda, um verdadeiro sufoco, às vezes.

As flores da primavera e as folhas amarelas que caem ficam por conta de acreditar. Num clima tropical e quente como o do Rio de Janeiro, Joãozinho não viu nenhum tempo de flores. As flores por aqui existem ou não, quase que independentemente da época do ano, em enterros e casamentos, que passam pela Avenida Brasil, próxima à sua favela.

Joãozinho, observador e curioso, resolve perguntar porque acontecem ou devem acontecer tais coisas. A professora se dispõe a dar a explicação.

– Eu já disse a vocês numa aula anterior que a Terra é uma grande bola e que essa bola está rodando sobre si mesma. É sua rotação que provoca os dias e as noites. Acontece que, enquanto a Terra está girando, ela também está fazendo uma grande volta ao redor do Sol. Essa volta se faz em um ano. O caminho é uma órbita alongada chamada elipse. Além dessa curva ser, assim, alongada e achatada, o Sol não está no centro. Isso quer dizer que, em seu movimento, a Terra às vezes passa perto, às vezes passa longe do Sol. Quando passa perto do Sol é mais quente: é VERÃO. Quando passa mais longe do Sol recebe menos calor: é INVERNO.

Os olhos de Joãozinho brilhavam de curiosidades diante de um assunto novo e tão interessante.

– Professora, a senhora não disse antes que a Terra é uma bola e que está girando enquanto faz a volta ao redor do Sol?

– Sim, eu disse. – respondeu a professora com segurança.

– Mas, se a Terra é uma bola e está girando todo dia perto do Sol, não deve ser verão em toda a Terra?

– É, Joãozinho, é isso mesmo.

– Então é mesmo verão em todo lugar e inverno em todo lugar, ao mesmo tempo, professora?

– Acho que é, Joãozinho, vamos mudar de assunto.

A essa altura, a professora já não se sentia tão segura do que havia dito. A insistência, natural para o Joãozinho, já começava a provocar uma certa insegurança na professora.

– Mas, professora, – insiste o garoto – enquanto a gente está ensaiando a escola de samba, na época do Natal, a gente sente o maior calor, não é mesmo?

– É mesmo, Joãozinho.

– Então nesse tempo é verão aqui?

– É, Joãozinho.

– E o Papai Noel no meio da neve com roupas de frio e botas? A gente vê nas vitrinas até as árvores de Natal com algodão. Não é para imitar a neve? (A 40º no Rio).

– É, Joãozinho, na terra do Papai Noel faz frio.

– Então, na terra do Papai Noel, no Natal, faz frio?

– Faz, Joãozinho.

– Mas então tem frio e calor ao mesmo tempo? Quer dizer que existe verão e inverno ao mesmo tempo?

– É, Joãozinho, mas vamos mudar de assunto. Você já está atrapalhando a aula e eu tenho um programa a cumprir.

Mas Joãozinho ainda não havia sido domado pela escola. Ele ainda não havia perdido o hábito e a iniciativa de fazer perguntas e querer entender as coisas. Por isso, apesar do jeito visivelmente contrariado da professora, ele insiste.

– Professora, como é que pode ser verão e inverno ao mesmo tempo, em lugares diferentes, se a Terra, que é uma bola, deve estar perto ou longe do Sol? Uma das duas coisas não está errada?

– Como você se atreve, Joãozinho, a dizer que a sua professora está errada? Quem andou pondo essas idéias em sua cabeça?

– Ninguém, não, professora. Eu só tava pensando. Se tem verão e inverno ao mesmo tempo, então isso não pode acontecer porque a Terra tá perto ou tá longe do Sol. Não é mesmo, professora?

A professora, já irritada com a insistência atrevida do menino, assume uma postura de autoridade científica e pontifica:

– Está nos livros que a Terra descreve uma curva que se chama elipse ao redor do Sol, que este ocupa um dos focos e, portanto, ela se aproxima e se afasta do Sol. Logo, deve ser por isso que existe verão e inverno.

Sem dar conta da irritação da professora, nosso Joãozinho lembra-se de sua experiência diária e acrescenta:

– Professora, a melhor coisa que a gente tem aqui na favela é poder ver avião o dia inteiro.

– E daí, Joãozinho? O que tem a ver isso com o verão e o inverno?

– Sabe, professora, eu acho que tem. A gente sabe que um avião tá chegando perto quando ele vai ficando maior. Quando ele vai ficando pequeno, é porque ele tá ficando mais longe.

– E o que tem isso a ver com a órbita da Terra, Joãozinho?

– É que eu achei que se a Terra chegasse mais perto do Sol, a gente devia ver ele maior. Quando a Terra estivesse mais longe do Sol, ele deveria aparecer menor. Não é, professora?

– E daí, menino?

– A gente vê o Sol sempre do mesmo tamanho. Isso não quer dizer que ele tá sempre na mesma distância? Então verão e inverno não acontecem por causa da distância.

– Como você se atreve a contradizer sua professora? Quem anda pondo "minhocas" na sua cabeça? Faz quinze anos que eu sou professora. É a primeira vez que alguém quer mostrar que a professora está errada.

A essa altura, já a classe se havia tumultuado. Um grupo de outros garotos já havia percebido a lógica arrasadora do que Joãozinho dissera. Alguns continuaram indiferentes. A maioria achou mais prudente ficar do lado da "autoridade". Outros aproveitaram a confusão para aumentá-la. A professora havia perdido o controle da classe e já não conseguia reprimir a bagunça nem com ameaças de castigo e de dar "zero" para os mais rebeldes.

Em meio àquela confusão tocou o sinal para o fim da aula, salvando a professora de um caso maior. Não houve aparentemente nenhuma definição de vencedores e vencidos nesse confronto.

Indo para casa, a professora, ainda agitada e contrariada, lembrava-se do Joãozinho que lhe estragara a aula e também o dia. Além de pôr em dúvida o que ela ensinara, Joãozinho dera um mau "exemplo". Joãozinho, com seus argumentos ingênuos, mas lógicos, despertara muitos para o seu lado.

– Imagine se a moda pega... – pensa a professora. – O pior é que não me ocorreu qualquer argumento que pudesse enfrentar o questionamento do garoto.

– Mas foi assim que me ensinaram. É assim que eu também ensino – pensa a professora. – Faz tantos anos que eu dou essa aula, sobre esse assunto...

À noite, já mais calma, a professora pensa com os seus botões:

– Os argumentos do Joãozinho foram tão claros e ingênuos... Se o inverno e o verão fossem provocados pelo maior ou menor afastamento da Terra em relação ao Sol, deveria ser inverno ou verão

em toda a Terra. Eu sempre soube que enquanto é inverno em um hemisfério, é verão no outro. Então tem mesmo razão o Joãozinho. Não pode ser essa a causa do calor ou frio na Terra. Também é absolutamente claro e lógico que se a Terra se aproxima e se afasta do Sol, este deveria mudar de tamanho aparente. Deveria ser maior quando mais próximo e menor quando mais distante.

– Como eu não havia pensado nisso antes? Como posso ter "aprendido" coisas tão evidentemente erradas? Como nunca me ocorreu, sequer, alguma dúvida sobre isso? Como posso eu estar durante tantos anos "ensinando" uma coisa que eu julgava ciência, e que, de repente, pode ser totalmente demolida pelo raciocínio ingênuo de um garoto, sem nenhum outro conhecimento científico?

Remoendo essas idéias, a professora se põe a pensar em tantas outras coisas que poderiam ser tão falsas e inconsistentes como as "causas" para o verão e o inverno.

– Haverá sempre um Joãozinho para levantar dúvidas? Por que tantas outras crianças aceitaram sem resistência o que eu disse? Por que apenas o Joãozinho resistiu e não "engoliu"? No caso do verão e do inverno a inconsistência foi facilmente verificada. Se "engolimos" coisas tão evidentemente erradas, devemos estar "engolindo" coisas mais erradas, mais sérias e menos evidentes. Podemos estar tão habituados a repetir as mesmas coisas que já nem nos damos conta de que muitas delas podem ter sido simplesmente acreditadas; muitas podem ser simples "atos de fé" ou crendice que nós passamos adiante como verdades científicas ou históricas.

***

Atos de fé em nome da ciência

É evidente que não pretendemos nem podemos provar tudo aquilo que dizemos ou tudo o que nos dizem. No entanto, o episódio do Joãozinho levantara um problema sério para a professora.

Talvez a maioria dos alunos já esteja "domada" pela escola. Sem perceberem, professores podem estar fazendo exatamente

o contrário do que pensam ou desejam fazer. Talvez o papel da escola tenha muito a ver com a nossa passividade e com os problemas do nosso dia-a-dia.

Todas as crianças têm uma nata curiosidade para saber os "comos" e os "porquês" das coisas, especialmente da natureza. À medida que a escola vai ensinando, o gosto e a curiosidade vão se extinguindo, chegando, freqüentemente, à aversão.

Quantas vezes nossas escolas, não só a de Joãozinho, pensam estar tratando de Ciência por falar em coisas como átomos, órbitas, núcleos, elétrons etc. Não são palavras difíceis que conferem à nossa fala o caráter ou *status* de coisa científica. Podemos falar das coisas mais rebuscadas e, sem querer, estamos impingindo a nossos alunos "atos de fé", que nada dizem ou não são mais que uma crendice, como tantas outras. Não é à toa o que se diz da escola: um lugar onde as cabecinhas entram redondinhas e saem quase todas "quadradinhas".

ATIVIDADES

O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL

João Batista Garcia Canalle (Uerj). Texto publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, nº 1, p. 27 – 32, 1994.

Apresentação

Quando os livros abordam o tema "Sistema Solar", geralmente, trazem uma figura esquemática do dito cujo. Essa figura quase sempre é constituída pelo Sol e pelos planetas, totalmente fora de escala – e sem nenhuma referência a esse fato. É impossível, a partir dela, determinar a diferença de diâmetro entre o Sol e os planetas ou mesmo a distância que eles guardam entre si. Em geral, há apenas uma alusão a estas diferenças – os planetas maiores são representados por círculos grandes e os menores por círculos pequenos. E o problema das distâncias nunca é abordado, nem de forma imprecisa. A figura passa a noção errada de que os planetas estão eqüidistantes uns dos outros. Quando o livro tenta ser mais claro, apresenta uma tabela com as distâncias ao Sol. Mas são números enormes, que ninguém consegue imaginar o que significam ou como se traduziriam na distribuição real dos planetas pelo Sistema Solar.

Outro problema implícito nessas figuras esquemáticas é que elas costumam representar os planetas enfileirados, um ao lado do outro. Além de não dar nenhuma idéia dos movimentos dos planetas, a figura permite que as pessoas pensem que os planetas giram ao redor do Sol desta forma, um ao lado do outro, sempre em fila. Este autor já teve a oportunidade de encontrar professores que acreditavam nisso e explicaram que pensavam assim porque "viram a figura nos livros".

Damos, a seguir, uma sugestão de como resolver esses problemas, com a participação dos alunos, em uma atividade de representação teatral.

Objetivos

1. Conhecer as distâncias médias dos planetas ao Sol.
2. Demonstrar como ocorre o movimento destes planetas, das luas e dos cometas ao redor do Sol.

Sugestão de problematização

Como os cientistas fazem para saber as distâncias dos planetas ao Sol e saber como eles giram em torno do Sol?

Materiais/infra-estrutura

- Tiras de papel com, aproximadamente, 7 cm de largura e 6 m de comprimento
- Pincel atômico ou caneta hidrocor
- Rolo de barbante
- 1 pedaço de cabo de vassoura ou outro artefato para enrolar o barbante
- Giz branco
- 1 quadra esportiva ou similar

Procedimentos

Parte 1 – As distâncias dos planetas ao Sol

Para darmos uma idéia correta das distâncias médias dos planetas ao Sol, sugerimos que sejam reduzidas as distâncias envolvidas por meio de uma escala. Por exemplo, se adotarmos a escala de 10 milhões de quilômetros para cada 1 cm de papel, teremos Mercúrio a 5,8 cm do Sol, pois sua distância média ao Sol é de 58 milhões de quilômetros; Vênus estaria a 10,8 cm do Sol, pois sua distância média é de 108 milhões de quilômetros, e assim

para os demais planetas. Veja a tabela nas "Orientações complementares".

É possível desenvolver esta atividade com os alunos da seguinte maneira:

1. Providenciar tiras de papel com, aproximadamente, 7 cm de largura e 6 m de comprimento.
2. Desenhar uma bolinha (com 1 mm ou 2 mm de diâmetro) numa das extremidades da tira para representar o Sol; a partir dessa bolinha desenhar outra a 5,8 cm para representar Mercúrio; Vênus estaria a 10,8 cm do Sol; a Terra fica a 15,0 cm do Sol; Marte fica a 22,8 cm; Júpiter, a 77,8 cm; Saturno, a 143,0 cm; Urano, a 287,0 cm; e, finalmente, Netuno, a 450,0 cm e Plutão, o planeta anão, ficaria a 590 cm do Sol. Colocar o nome do Sol e de cada planeta sobre cada bolinha.
3. Esticando a tira com as marcações, tem-se uma visão exata da distribuição das distâncias médias dos planetas ao Sol.
4. Esta é uma atividade que o aluno pode fazer em casa ou em sala de aula e, é claro, a tira fica com ele, para que possa mostrá-la aos familiares e amigos. Só mesmo fazendo a tira toda percebemos como os planetas mais afastados estão incrivelmente mais distantes do Sol, se comparados a Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Veja nas Figuras 1.19 e 1.20 como pode ficar:

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

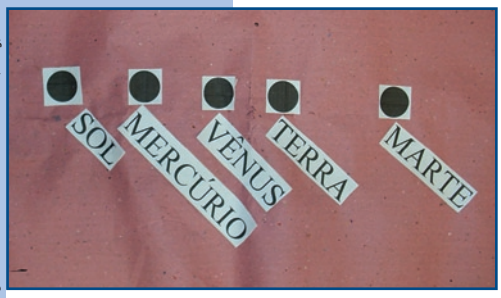


Figura 1.19. Representação em escala da distância de Mercúrio, Vênus, Terra e Marte ao Sol.

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.20. Representação em escala da distância de Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno ao Sol.

Parte 2 – O movimento dos planetas ao redor do Sol

Esta parte da atividade tem o propósito de mostrar que os planetas giram ao redor do Sol (todos no mesmo sentido).

1. Sobre a tira de papel usada na parte 1, colocar um barbante esticado, e dar um nó sobre o Sol e sobre cada planeta.
2. Enrolar o barbante num lápis ou em um cabo de vassoura (de aproximadamente 10 cm de comprimento) ou outro material que desempenhe a mesma função, para não embaralhar o barbante.
3. Posicionar-se no centro de uma quadra de esportes (ou espaço similar) e segurar fixamente o nó que representa o Sol, mantendo esticado o barbante. Segurando um giz no nó que representa Mercúrio, traçar um círculo sobre a quadra.
4. Repetir esse procedimento, traçando um círculo para cada planeta.
5. Depois de traçados os nove círculos no piso da quadra, posicionar um aluno, representando o Sol, sobre o centro dos círculos (onde está o Sol). Posicionar outro aluno para andar sobre o círculo de Marte, outro sobre o círculo de Júpiter, outro para andar sobre o círculo de Saturno e idem para Urano, Netuno e Plutão. Sobre os círculos de Mercúrio, Vênus e Terra, não é possível colocar ninguém, pois eles estão próximos demais do aluno que representa o Sol.

Feito esse posicionamento inicial, sugere-se, a seguir, uma seqüência de passos para ilustrar o movimento dos planetas, seus satélites e cometas.

6. Explicar que a velocidade dos planetas diminui com o aumento da distância deles ao Sol; assim sendo, o aluno que representar Marte deverá correr sobre a órbita (círculo) de Marte, aquele que representar o movimento de Júpiter deverá correr mais devagar, quem representar Saturno apenas andará, e assim sucessivamente, de tal forma que o aluno-Plutão caminhará pé ante pé.

7. Explicar que o tempo gasto pelo planeta (aluno) para dar uma volta ao redor do Sol é chamado de período de translação e representa a duração do ano do planeta. A Terra leva 365,25 dias para fazer este movimento. Os planetas mais próximos do Sol gastam menos tempo que a Terra e aqueles que estão mais distantes gastam mais tempo que a Terra. Pode-se observar do movimento dos alunos que aqueles que estão mais próximos do Sol gastam muito menos tempo para dar uma volta completa do que aqueles que estão mais distantes.

8. Colocar os alunos em movimento, representando o Sistema Solar, e explicar as considerações apresentadas nos dois itens anteriores. Depois de algumas voltas, os alunos devem parar. Explicar que, além de os planetas girarem ao redor do Sol, eles giram ao redor de si mesmos. Pedir então para que os alunos-planeta também façam isso, ou seja, que caminhem sobre os círculos enquanto giram sobre si mesmos. Para que possam combinar os dois movimentos é preciso que transladem todos devagar, evitando choques ou quedas.

9. Explicar, também, que o tempo gasto pelo planeta para girar sobre ele mesmo é chamado de período de rotação. A Terra executa esse movimento em 24 horas. É esse movimento que dá origem ao dia e à noite. Na translação todos os planetas giram no mesmo sentido, horário, digamos, mas na rotação sete planetas giram sobre si no mesmo sentido, horário, e Vênus gira no sentido contrário. Também é preciso lembrar que o eixo de rotação dos planetas não é perpendicular ao plano de sua órbita, ao contrário do que pode se ver na quadra, onde o eixo de rotação dos alunos-planeta forma 90 graus com o chão.

10. Explicar o dia e a noite da seguinte maneira: supondo que a cabeça dos alunos que estão orbitando (circulando) o Sol seja a Terra, quando o aluno está de frente para o Sol é dia no seu rosto e noite na sua nuca, e quando ele está de costas para o Sol é dia na sua nuca e noite no seu rosto, pois ele não está vendo o Sol.

11. Além desses movimentos (translação e rotação), os planetas executam outros movimentos, mas que não são facilmente, representados com o corpo humano.

12. Também é preciso chamar a atenção para o fato de que os planos das órbitas dos planetas não são coincidentes, como ocorre na quadra, mas que na verdade estão, ligeiramente, inclinados uns em relação aos outros.

13. É importante explicar também que as órbitas dos planetas não são exatamente círculos, como desenhados no chão. Na verdade, são órbitas ligeiramente achatadas, chamadas de elipses.

O movimento das luas ao redor dos planetas

Depois dos movimentos de translação e rotação dos alunos-planeta e das explicações feitas anteriormente, pode-se incluir as luas (satélites naturais) nos movimentos do Sistema Solar. Com exceção de Mercúrio e Vênus, todos os demais planetas possuem luas que giram ao redor deles. Vejamos como representar o movimento das luas ao redor dos planetas.

14. Inicialmente, deve-se ilustrar o movimento da Lua ao redor da Terra. Escolher um aluno para representar a Terra. Como a órbita (círculo) da Terra está muito próxima ao pé do aluno que está representando o Sol, deve-se usar o círculo que representa a órbita de Urano. Os demais planetas (alunos) não participam desta atividade, apenas observam. Enquanto o aluno-Terra gira sobre si e ao redor do Sol (muito lentamente), outro aluno, que representa a Lua, deve girar ao redor da Terra, mas sempre olhando para a Terra, pois a Lua sempre mostra a mesma face para a Terra. O aluno-Terra não fica olhando para a "Lua".

Ainda existem pessoas que acreditam que o Ocidente vê uma face da Lua e que o Oriente vê só a outra face da Lua. Outras pessoas não imaginam que a Lua gira sobre si mesma. Esta atividade ajuda a esclarecer tais dúvidas.

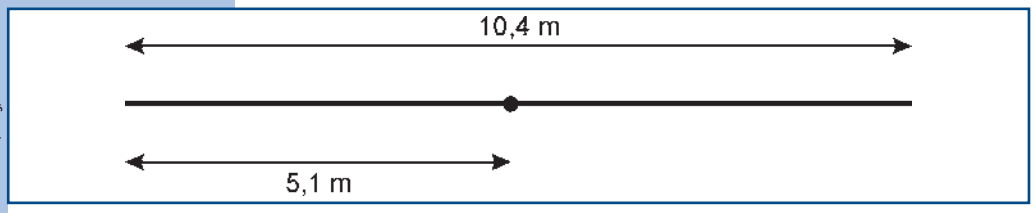
15. Marte tem duas luas, chamadas Fobos e Deimos. Vamos representá-las de modo análogo ao que foi feito para o sistema Terra-Lua. Substituir os alunos Terra e Lua por outros, sendo que um será Marte e outros dois representarão Fobos e Deimos. Marte gira ao redor do Sol e sobre si mesmo, enquanto suas luas giram ao seu redor. Também é preciso usar o círculo que representa a órbita de Urano, pelo motivo exposto no passo 9.

Júpiter é um planeta muito grande e tem muitas luas: 63 já foram descobertas. Por isso, torna-se impraticável representá-las. O mesmo ocorre com Saturno e suas 56 luas, Urano e suas 27 luas, e Netuno e suas 13 luas.

O movimento dos cometas ao redor do Sol

16. Além do Sol, dos planetas e das luas, o Sistema Solar também possui os cometas. Vejamos como é possível representá-los na quadra. Para isso, pode-se usar como exemplo o cometa Halley. Este cometa é periódico e tem órbita bastante excêntrica, isto é, sua órbita é uma elipse bem achatada.

17. Para desenhar a órbita do Halley na mesma escala usada para os planetas, corta-se um barbante com 10,4 m de comprimento e dá-se um nó a 5,1 m de uma das pontas. Veja o esquema na Figura 1.21.

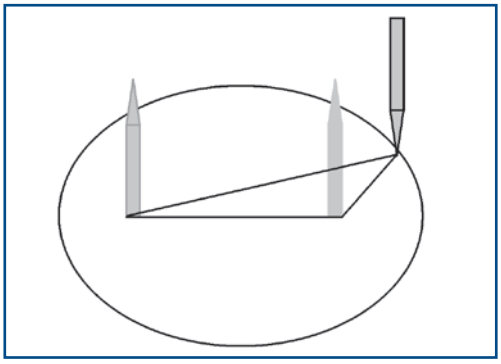


João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.21. Esquema da posição do nó sobre o barbante usado para a construção da elipse do cometa Halley.

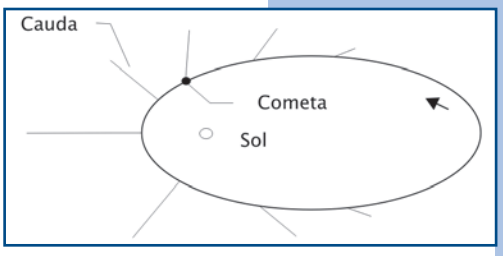
18. Em seguida, amarrar as pontas e pressionar, verticalmente, um lápis ou caneta (ou um pedaço de cabo de vassoura) contra o centro dos círculos (Sol) e outro lápis a 5,1 m do Sol (a distância entre os dois nós do barbante). Colocar

o barbante ao redor dos lápis ou canetas, esticar o barbante e riscar o chão com um giz, conforme ilustra a Figura 1.22. As posições onde estão os lápis (ou canetas) são chamadas de focos da elipse e o Sol está num desses focos, como diz a 1ª lei de Kepler.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.22. Esquema do procedimento usado para desenhar a elipse.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.23. Esquema da cauda do cometa.

19. Para representar, esquematicamente, a cauda do cometa, riscar o chão, conforme ilustra a Figura 1.23. Observe que a cauda é sempre radial ao Sol.

20. Para representar o movimento do cometa, pedir para um aluno representar o Sol (que fica no centro dos círculos, girando, lentamente, sobre si mesmo) e outro para representar o cometa. O aluno-cometa deve andar, lentamente, quando está longe do Sol, aumentar, gradativamente, sua velocidade enquanto se aproxima do Sol, correr quando passa próximo do Sol e diminuir gradativamente sua velocidade enquanto se afasta do Sol, pois é assim que faz o cometa. A movimentação do aluno-cometa deve ocorrer sobre a elipse desenhada no passo 19.

21. Para finalizar, colocar todos os alunos-planeta, o aluno-Sol e o aluno-cometa para se moverem, simultaneamente, ao redor do Sol. Mas, como o Sol não é uma estrela fixa, o aluno-Sol pode caminhar em direção a um dos cantos da quadra, carregando consigo todo o Sistema Solar.

Orientações complementares

Tabela com as distâncias médias dos planetas ao Sol

Planeta	Distância média ao Sol (km)	Distância ao Sol na escala adotada (cm)
Mercúrio	57.910.000	5,8
Vênus	108.200.000	10,8
Terra	149.600.000	15,0
Marte	227.940.000	22,8
Júpiter	778.330.000	77,8
Saturno	1.429.400.000	142,9
Urano	2.870.990.000	287,1
Netuno	4.504.300.000	450,4
Plutão*	5.900.000.000	590,0

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

Possíveis desdobramentos

Professor/a, a partir desses conhecimentos, você poderá explorar outros temas e atividades, individualmente ou em conjunto com professores de outras disciplinas, como por exemplo:

- Construir os planetas usando diferentes materiais.
- Explorar as estações do ano e eclipses.
- Com o apoio do professor de língua inglesa, realizar pesquisas no sítio da Nasa e de outras agências estrangeiras.
- Com o professor de matemática, explorar conceitos de geometria plana, cálculos de distâncias planetárias, órbitas etc.
- Com o apoio do professor de matemática, explorar a aplicação das proporções entre frações para achar as distâncias mencionadas na tabela acima.
- Com o apoio do professor de história, procurar saber mais sobre quem foi Johannes Kepler.

RELÓGIO DE SOL

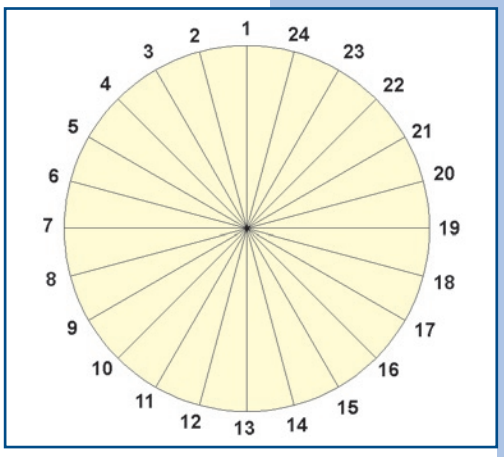
João Batista Garcia Canalle e Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj).

Apresentação

Relógios solares podem ser construídos em diversos modelos. Aqui vamos construir o modelo chamado "Equatorial", no qual o disco com as horas está sempre paralelo ao plano do equador terrestre e o ponteiro fica sempre paralelo ao eixo de rotação terrestre.

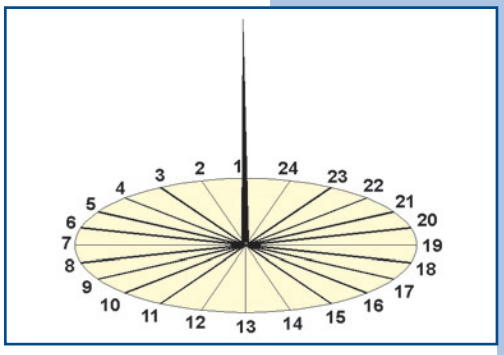
A Terra gira sobre si mesma em 24 horas enquanto gira ao redor do Sol, ou seja, este é o intervalo de tempo para o Sol passar duas vezes seguidas pelo meridiano do observador. Num círculo temos 360 graus e num dia, 24 horas, logo, temos a relação: 360/24 = 15 graus/hora. A base do relógio de Sol equatorial é justamente o conjunto de 24 "linhas horárias" (numeradas de 1 a 24 horas, separadas, entre elas, por 15 graus). O relógio de Sol equatorial é constituído por esta base (Figura 1.24A), sobre a qual coloca-se, perpendicularmente, uma haste (Figura 1.24B), que projeta sua sombra sobre as 24 linhas horárias.

Se colocarmos este relógio exatamente no pólo sul geográfico, no verão deste hemisfério (Figura 1.25), a sombra da haste se projetará, sucessivamente, sobre todas as linhas horárias durante as 24 horas do dia.



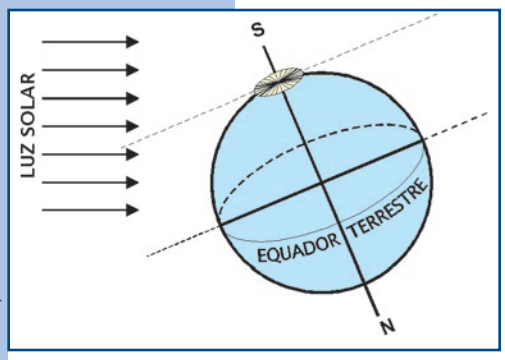
Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.24A. Base do relógio equatorial com suas 24 linhas horárias, vista de cima.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.24B. Base com o ponteiro perpendicular a ela e vista em perspectiva.

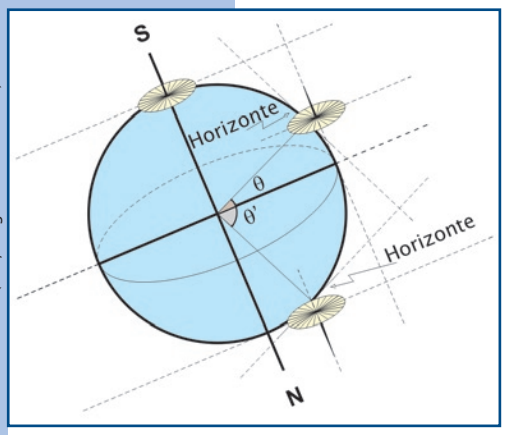


Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.25. Ilustração de como posicionar o relógio de Sol equatorial sobre o pólo sul geográfico.

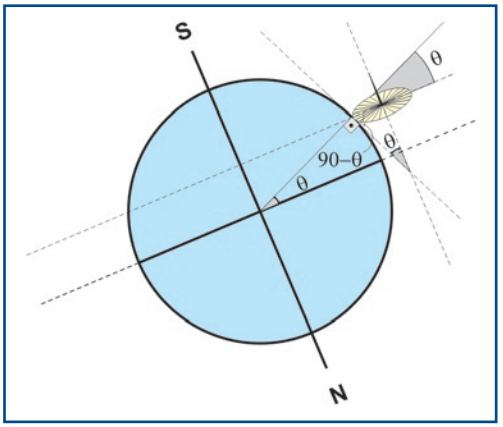
Nesse caso, o ponteiro coincide com o eixo de rotação terrestre (e, portanto, paralelo a ele) e o plano das horas é, necessariamente, paralelo ao equador terrestre.

Para posicioná-lo sobre qualquer outro lugar do globo terrestre, seu eixo deverá ser sempre paralelo ao eixo de rotação terrestre e sua base paralela ao equador terrestre, como ilustra a Figura 1.26A. Na Figura 1.26B destacamos qual é o ângulo de elevação do ponteiro do relógio em relação ao horizonte local, sempre de valor igual à latitude do lugar.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.26A. Orientação do relógio de Sol equatorial quando posicionado num local qualquer do globo cuja latitude seja θ ou θ'.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.26B. Visualização do ângulo de elevação do ponteiro em relação ao horizonte (chão).

Objetivo

Determinar os pontos cardeais e o movimento aparente do Sol, relacionando-o à marcação do tempo solar verdadeiro.

Sugestão de problematização

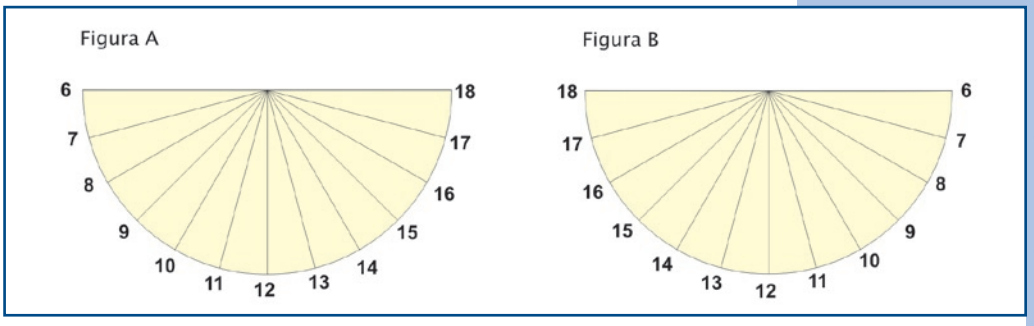
Determinar a elevação do pólo celeste visível, ângulos complementares etc.

Materiais

- 2 folhas de papelão grosso (21 cm x 30 cm)
- 1 palito de dente ou uma vareta similar
- 1 estilete (ou tesoura)
- Cola
- 1 régua
- 1 lápis
- 1 transferidor
- Papel A4

Procedimentos

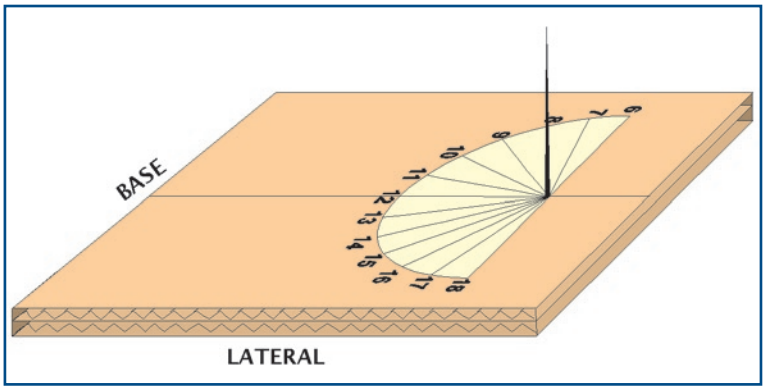
1. Como o Sol é visível apenas cerca de 12 horas por dia no intervalo de latitudes em que o Brasil está compreendido, ao invés de fazermos um círculo com 24 horas (Figura 1.24), faremos dois semicírculos, graduando um de 6 a 18 horas e outro de 18 a 6 horas, cada linha horária separada por 15 graus, conforme ilustram as Figuras 1.27A e 1.27B.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figuras 1.27A e B. Os mostradores do relógio de Sol equatorial quando usados na região intertropical do globo.

2. Em seguida, cola-se um em cada lado de um retângulo de papelão grosso, com dimensões de uma folha A4, ou seja, 21 cm x 30 cm, e atravessa-se um palito de dente (ou outro qualquer) perpendicularmente ao papelão, passando pela origem das linhas das horas de ambos os lados da folha de papelão, conforme mostra a Figura 1.28.

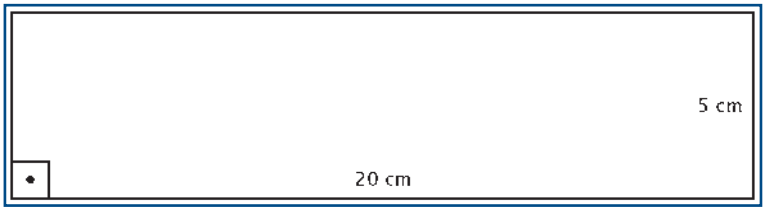


Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.28. A figura mostra uma das linhas das horas (Figura 1.27A) colada no papelão; a outra está "no mesmo lugar", mas do outro lado do papelão. Metade do mostrador (palito de dente) está visível e a outra metade está no outro lado do papelão.

3. Depois, recorta-se um retângulo (use papelão grosso), por exemplo, de 20 cm de comprimento e 5 cm de largura.

4. A seguir, recorta-se deste retângulo um "bico" (triângulo) cujo ângulo seja igual à latitude (θ) do local onde o relógio de sol será usado (veja a Figura 1.29B). Coloca-se em seguida o lado do retângulo do qual se recortou o "bico" na base que contém as linhas das horas (veja a Figura 1.29C).

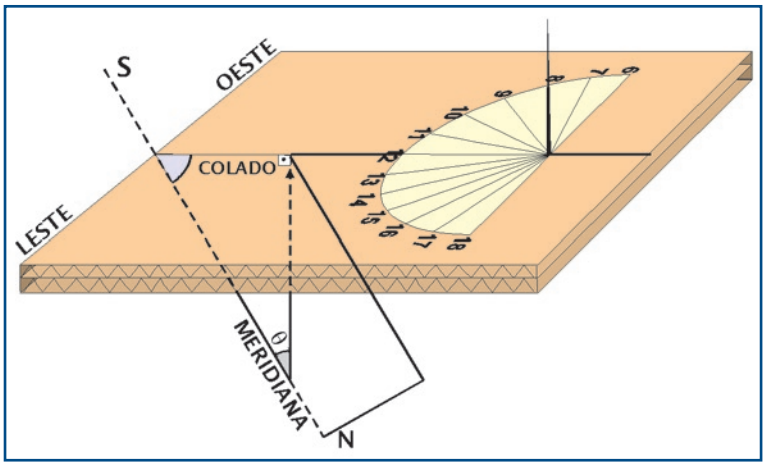


Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.29A. O retângulo de papelão grosso de 5 cm x 20 cm.

Leonardo Nemer (AEB/ Programa AEB Escola).

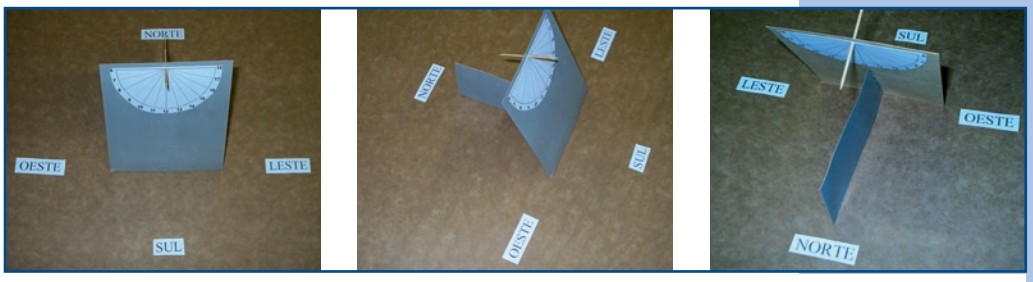
Figura 1.29B. Indicação do "bico", com ângulo θ igual ao da latitude local a ser recortado.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.29C. Relógio de Sol com a indicação de onde colar o retângulo debaixo dele.

A seguir, mostramos três fotos do relógio de Sol já pronto e posicionado com a base (mostrador das horas) ao longo da linha leste-oeste e o trapézio (suporte) ao longo da linha norte-sul.

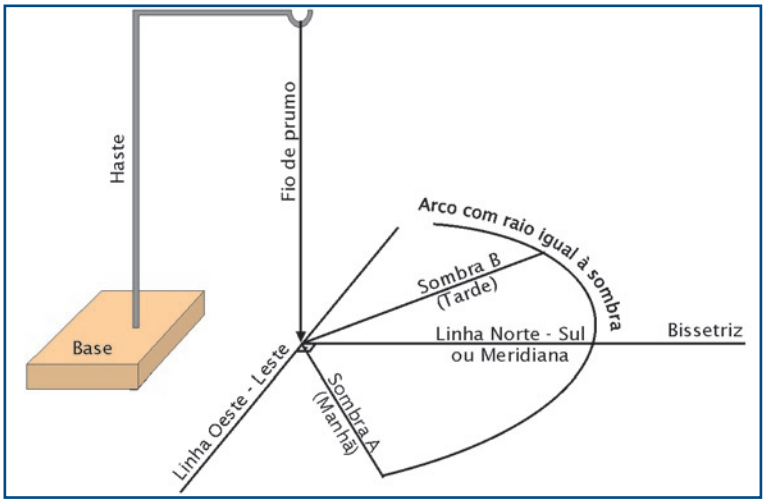


João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.30A. B e C. Fotos de diferentes ângulos do relógio de Sol já montado.

5. Determinação da Meridiana Local.

Antes de usar o relógio de Sol é preciso saber qual é a direção norte-sul geográfica local, ou seja, a meridiana local, a qual divide o céu do observador em duas partes iguais, pois o relógio precisa ficar, exatamente, sobre a meridiana. Para determiná-la precisamos usar a sombra de um fio de prumo. Deixe um barbante de, por exemplo, 30 cm suspenso por meio de um suporte qualquer, quase tocando num chão plano. Veja a Figura 1.31.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.31. (Em perspectiva). Determinação da meridiana local usando duas sombras de mesmo comprimento de um mesmo fio de prumo. A meridiana coincide com a bissetriz destas duas sombras.

Se pendurar um peso (por exemplo, uma chumbada) na extremidade livre do barbante, isso ajuda a evitar que ele seja movido pelo vento. Risque sobre o chão a sombra do barbante, a partir do ponto imediatamente abaixo dele até o ponto em que ele está preso no seu suporte. Usando outro barbante, pressione uma das suas extremidades sobre o início da sombra, estique-o até o final da sombra e, neste ponto, com um giz, trace no chão um grande arco no sentido em que se moverá a sombra. O raio deste arco será do mesmo comprimento da sombra, obviamente. À tarde, observe quando a sombra do mesmo barbante tocar este arco. Quando isso ocorrer, a sombra da tarde será igual à da manhã e definirá um certo ângulo. A bissetriz deste ângulo o dividirá em duas partes iguais e estará sobre a meridiana local.

6. Os pontos cardeais.

A meridiana acima determinada é a direção Norte-Sul geográfica. Para saber onde está o ponto cardeal Sul, fique sobre esta linha de forma que seu lado esquerdo esteja voltado para o nascente (lado leste); neste caso, você estará olhando para o ponto cardeal Sul e às suas costas vai estar o ponto cardeal Norte.

A perpendicular à meridiana define a direção Leste-Oeste.

7. Usando o relógio de Sol

Coloque o triângulo retângulo (Figura 1.29A) sob o relógio sobre a meridiana, de modo que o ponteiro esteja apontado para o Sul (Figura 1.29C).

Automaticamente, o ponteiro do seu relógio de Sol estará paralelo ao eixo de rotação da Terra e a sombra dele projetará sobre um dos semi-círculos horários, a hora solar verdadeira, a qual difere um pouco (em alguns casos extremos, até uma hora) da hora cível (legal), marcada no seu relógio.

Orientações complementares

Para determinar a direção norte-sul pelo método acima, você pode usar a sombra do fio de prumo de qualquer hora da manhã e esperar pela sombra dele de mesmo comprimento à tarde. Obviamente, você pode trocar o fio de prumo por uma haste qualquer (por exemplo, um poste), desde que esteja em local ensolarado e ao redor dele a superfície seja plana. Pode ser até mesmo a sombra de uma pessoa de pé e neste caso, obviamente, à tarde a mesma pessoa deve estar, exatamente, no mesmo local em que estava de manhã para se obter a sombra dela de mesmo tamanho da sombra da manhã.

Possíveis desdobramentos

Faça os alunos observarem que o Sol não nasce obrigatoriamente na direção Leste (ele nasce do lado Leste – uma ampla e imprecisa região) e que no meio dia verdadeiro a sombra de todos os objetos é a menor do dia. Deixe o desafio: Qual é o comprimento da sombra de uma haste qualquer (fincada na vertical, num lugar plano ou inclinado) sobre a linha do trópico de Capricórnio, no dia do solstício de verão do mesmo hemisfério?