

Capítulo 1

ASTRONOMIA NO DIA A DIA

André de Castro Milone*

* e-mail: andre.milone@inpe.br

ASTRONOMIA NO DIA A DIA

LISTA DE FIGURAS	1-5
LISTA DE TABELAS	1-7
1.1 INTRODUÇÃO	1-9
1.2 NASCIMENTO DA ASTRONOMIA	1-9
1.2.1 PRÉ-HISTÓRIA	1-9
1.2.2 MUNDO ANTIGO	1-10
1.3 PERCEÇÃO E CONTAGEM DO TEMPO	1-11
1.3.1 ANO SOLAR E LUNAÇÃO	1-13
1.3.2 HISTÓRIA DOS CALENDÁRIOS OCIDENTAIS	1-13
1.3.3 CALENDÁRIO VIGENTE	1-14
1.4 DIAS E NOITES	1-16
1.4.1 DIA SOLAR E DIA SIDERAL	1-16
1.4.2 ESFERICIDADE E MOBILIDADE DA TERRA	1-18
1.4.3 ESFERA CELESTE E ROTAÇÃO DA TERRA	1-20
1.4.4 HORA SOLAR E FUSOS HORÁRIOS	1-23
1.4.5 ASPECTOS DO CÉU EM DIFERENTES LATITUDES	1-24

1.5	ESTAÇÕES DO ANO	1-28
1.5.1	MOVIMENTO ANUAL DO SOL E ECLÍPTICA	1-28
1.5.2	SOLSTÍCIOS E EQUINÓCIOS	1-29
1.5.3	INCLINAÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO DA TERRA	1-32
1.5.4	GEOCENTRISMO, HELIOCENTRISMO E TRANSLAÇÃO	1-33
1.5.5	ASPECTOS DO CÉU EM DIFERENTES ESTAÇÕES	1-35
1.6	FASES DA LUA	1-41
1.6.1	ASTROS LUMINOSOS E ILUMINADOS	1-42
1.6.2	TRANSLAÇÃO DA LUA	1-42
1.6.3	ROTAÇÃO DA LUA E SUA FACE OCULTA	1-44
1.6.4	ASPECTOS DAS FASES LUNARES	1-44
1.7	ECLIPSES DA LUA E DO SOL	1-46
1.7.1	DISTÂNCIAS E DIMENSÕES DO SISTEMA SOL-TERRA-LUA	1-46
1.7.2	TIPOS DE ECLIPSES	1-49
1.7.3	DURAÇÃO E PERIODICIDADE DOS ECLIPSES	1-50
1.8	MARÉS DOS OCEANOS	1-51
1.8.1	INTERAÇÕES SOL-TERRA-LUA	1-52
1.8.2	PERIODICIDADE DAS CHEIAS E VAZANTES	1-52
1.9	BIBLIOGRAFIA	1-55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - MEDIÇÃO DO RAI0 TERRESTRE POR ERATÓSTENES (240 A.C.). O PONTO A DESIGNA ALEXANDRIA, S, SIENA ONDE UM POÇO É ESQUEMATIZADO E C, O CENTRO DA TERRA. O RAI0 POLAR DA TERRA É DESIGNADO POR R.	1-19
FIGURA 1.2 - A ESFERA CELESTE: UMA VISÃO GEOCÊNTRICA DO UNIVERSO.	1-21
FIGURA 1.3 - FUSOS HORÁRIOS DA TERRA.	1-24
FIGURA 1.4 - VISÃO TOPOCÊNTRICA DA ESFERA CELESTE A PARTIR DO EQUADOR.	1-25
FIGURA 1.5 - VISÃO TOPOCÊNTRICA DA ESFERA CELESTE A PARTIR DO PÓLO SUL.	1-26
FIGURA 1.6 - VISÃO TOPOCÊNTRICA DA ESFERA CELESTE A PARTIR DE UM LOCAL ENTRE O EQUADOR E O PÓLO SUL.	1-27
FIGURA 1.7 - OS INÍCIOS DAS ESTAÇÕES DO ANO ATRAVÉS DAS PERSPECTIVAS HELIOCÊNTRICA E GEOCÊNTRICA (A ILUSTRAÇÃO ESTÁ FORA DE ESCALA).	1-30
FIGURA 1.8 - VISÃO TOPOCÊNTRICA PARA O NASCER DO SOL NOS SOLSTÍCIOS E EQUINÓCIOS PARA UM LUGAR TROPICAL DO HEMISFÉRIO SUL DA TERRA.	1-31
FIGURA 1.9 - A TRANSLAÇÃO DA TERRA (VISTA DO NORTE DA ECLÍPTICA), COM OS INÍCIOS DAS ESTAÇÕES DO HEMISFÉRIO SUL ASSINALADOS (ILUSTRAÇÃO FORA DE ESCALA).	1-35
FIGURA 1.10 - MOVIMENTO APARENTE ANUAL DO SOL POR ENTRE AS CONSTELAÇÕES ZODIACIAS DEVIDO À TRANSLAÇÃO DA TERRA (ILUSTRAÇÃO FORA DE ESCALA). ...	1-36
FIGURA 1.11 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DO VERÃO.	1-39

FIGURA 1.12 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DO OUTONO.	1-39
FIGURA 1.13 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DO INVERNO.	1-40
FIGURA 1.14 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DA PRIMAVERA.	1-40
FIGURA 1.15 - A LUA EM FASES DISTINTAS (FOTOS DE ANDRÉ MILONE, NO OBSERVATÓRIO DO VALONGO/UFRJ, RIO DE JANEIRO, 1988).	1-41
FIGURA 1.16 - A TRANSLAÇÃO DA LUA: SUAS FASES PRINCIPAIS COMO SÃO VISTAS DO HEMISFÉRIO SUL DA TERRA (ILUSTRAÇÃO FORA DE ESCALA).	1-43
FIGURA 1.17 - A FACE OCULTA DA LUA VISUALIZADA EM DUAS IMAGENS. REPRE QUE A LUA ESTÁ NA SUA FASE NOVA!	1-46
FIGURA 1.18 - CÁLCULO DA DISTÂNCIA TERRA-SOL FEITO POR ARISTARCO (300 A.C.).	
.....	1-47
FIGURA 1.19 - ILUSTRAÇÃO EM ESCALA DE UM ECLIPSE TOTAL DA LUA.	1-48
FIGURA 1.20 - ILUSTRAÇÃO DE UM ECLIPSE TOTAL DO SOL (FORA DE ESCALA) COM FOTOGRAFIA FEITA A PARTIR DO PONTO B DONDE É AVISTADO COMO PARCIAL (FOTO DE ANDRÉ MILONE, NO OBSERVATÓRIO DO VALONGO/UFRJ, RIO DE JANEIRO, 1987).	
1-50	
FIGURA 1.21 - ILUSTRAÇÃO DO EFEITO DE MARÉ TOTAL SOBRE OS OCEANOS DA TERRA NA OCASIÃO DA LUA CHEIA (VISÃO DO NORTE DA ECLÍPTICA, FORA DE ESCALA).	1-53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - CONSTELAÇÕES VISÍVEIS POR ESTAÇÃO DO ANO PARA O HEMISFÉRIO SUL.

..... **1-38**

TABELA 1.2 - ALGUNS DADOS FÍSICOS DO SOL, TERRA E LUA. 1-47

1.1 INTRODUÇÃO

É marcante o fascínio que as pessoas sentem pelo céu. Quem nunca admirou um pôr do Sol ou ficou impressionado com uma tempestade? Todavia, ainda hoje, os fenômenos celestes e atmosféricos que fazem parte de nosso cotidiano não são compreendidos por grande parte da humanidade. Inclusive, ainda ocorre a mitificação desses fenômenos naturais.

Este capítulo pretende, dentro de certas limitações, apresentar aos educadores e estudantes universitários uma introdução aos fenômenos celestes presentes no nosso dia a dia muito embora passem despercebidos pela maioria. Os fenômenos relacionados exclusivamente à dinâmica da atmosfera de nosso planeta não serão abordados. A influência da atmosfera terrestre na observação científica dos astros é enfocada no Capítulo 2.

1.2 NASCIMENTO DA ASTRONOMIA

Na época atual, é cada vez mais difícil admirar um céu noturno escuro e estrelado, principalmente para quem vive num centro urbano. A poluição luminosa da cidade ofusca o brilho da maioria dos astros. Além do mais, quem consegue reservar um intervalo de tempo para essa tarefa tendo que cumprir tantos compromissos profissionais, familiares e pessoais?

1.2.1 PRÉ-HISTÓRIA

Imagine-se agora em um passado muito remoto, mais precisamente na pré-história (de 100 mil anos atrás até cerca de 8 mil a.C.), quando o ser humano vivia em pequenos grupos nômades. A preocupação com a sobrevivência num ambiente natural e hostil era crucial. Caçar, pescar, procurar frutas e raízes comestíveis, fugir de animais perigosos e abrigar-se das variações climáticas faziam parte do cotidiano do homem pré-histórico. O homem dessa época tinha que se adaptar à alternância do claro-escuro e à mudança das estações. Certamente, o Sol foi o primeiro astro a ser notado. As razões são óbvias: é o

Sol que proporciona a mais evidente alternância de claro-escuro da natureza (o dia e a noite) e que atua como a principal fonte de calor para nós. A Lua foi o segundo astro a ser percebido, visto que ilumina a escuridão da noite, especialmente em sua fase cheia. As estrelas devem ter sido notadas em seguida, como pontos brilhantes em contraste a um céu bastante escuro. Os outros cinco astros errantes (significado original da palavra planeta, de origem grega) visíveis a olho nu só foram notados, quando a observação do céu se tornou persistente noite após noite. Esse tipo de investigação da natureza já necessitava de um pouco mais de inteligência por parte de nossos ancestrais. Há desenhos rupestres (inscritos em rochas) que incluem figuras de astros. Tanto os astros, como os animais, as montanhas, as florestas, os desertos e a água eram tidos como divindades porque não eram inteiramente compreendidos.

1.2.2 MUNDO ANTIGO

Após a última glaciação, a agricultura e a domesticação de animais tornaram-se atividades importantes para a sobrevivência do homem em nosso planeta. Começaram a aparecer os primeiros vilarejos e povoados. As primeiras civilizações mais notáveis surgiram a partir de 5.500 anos atrás, em quatro regiões hidrográficas distintas do planeta: nas bacias dos rios Tigre e Eufrates (Mesopotâmia, região atual do Irã e Iraque), por volta do ano 3500 a.C., com os sumerianos; ao longo do rio Nilo (atual Egito) em torno de 3100 a.C.; nas margens do rio Indus (atual Índia) por volta de 2500 a.C.; e em torno do rio Amarelo (atual China) em cerca do ano 2000 a.C. As sociedades da Mesopotâmia, Indu e do Antigo Egito influenciaram umas às outras devido à proximidade entre elas, inclusive marcando o desenvolvimento de outras posteriores como a da Antiga Grécia.

O desenvolvimento da escrita e, posteriormente, o da matemática, foram essenciais para o crescimento cultural e científico das primeiras civilizações, inclusive no campo da Astronomia. Certamente, a Astronomia é uma das ciências mais antigas da Humanidade. Nas civilizações antigas, o homem ainda continuava a associar divindades aos fenômenos naturais (astronômicos ou não). Os homens pré-histórico e antigo buscavam encontrar explicações mitológicas para vários fenômenos celestes observados, entre os quais: os dias, as noites, os eclipses da Lua e do Sol, as fases da Lua, o deslocamento dos planetas por entre as estrelas, os cometas e as estrelas

cadentes. Além do mais, nossos antepassados buscavam associar os fenômenos celestes aos terrestres e vice-versa.

Das quatro civilizações citadas, a mais antiga é sem dúvida, aquela que surgiu na Mesopotâmia, reunindo várias cidades bem estruturadas nas bacias férteis dos rios Tigre e Eufrates. Uma das cidades-estado foi a Babilônia, cuja supremacia durou uns 300 anos. Os babilônios foram um dos primeiros povos a registrar a presença dos cinco planetas visíveis a olho nu (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), certamente sob a influência cultural dos sumerianos. Os deuses, os heróis e os animais desse povo eram associados aos astros observados. Na mitologia babilônica, a água líquida era a Mãe da natureza e sustentadora da Terra. O céu era representado por uma cúpula azul feita de rocha onde as estrelas estavam incrustadas, sendo a mesma sustentada pelas altas montanhas terrestres. Os babilônios buscavam entender as vontades dos deuses observando os astros no céu, as quais se refletiam de algum modo nos fatos terrestres. Assim, a Astrologia e a Astronomia nascem juntas, como uma única forma de conhecimento. A palavra desastre significa, primordialmente, um fato que contraria os astros. Conceberam as primeiras constelações, que eram apenas representações de figuras de deuses, animais e objetos “desenhadas” pelas estrelas. As constelações do Zodíaco são um exemplo.

1.3 PERCEPÇÃO E CONTAGEM DO TEMPO

O homem começou a perceber o “caminhar” do tempo, que acontece em uma única direção e flui sem interrupção (conceitos de unidirecionalidade e continuidade do tempo clássico), por meio da observação de fenômenos naturais. São exemplos: o germinar e crescimento de uma planta, o desabrochar de uma flor, o crescimento de um animal doméstico, o envelhecimento de uma pessoa, o deslocamento do Sol no céu durante um dia, a mudança do aspecto da Lua ao longo de um mês, a mudança cíclica das estações do ano e, até mesmo, a alteração do aspecto do céu noturno ao longo de um ano.

As primeiras organizações sociais humanas precisavam medir a passagem do tempo em inúmeras atividades práticas, tais como: saber a época certa para plantar uma determinada cultura, antecipar as estações de cheia e vazante de um rio e conhecer as

datas das celebrações religiosas. Por incrível que pareça, a primeira marcação de tempo ocorreu para períodos longos (meses e anos) e não para intervalos curtos (dias e horas).

Os povos antigos necessitavam também conhecer o espaço geográfico local, com a finalidade de se deslocarem quando necessário (sempre com um rumo definido). Além do mais, quando a pesca, a caça e o comércio envolviam grandes distâncias, a necessidade de conhecer o caminho de ida-e-volta era óbvia.

O QUE SÃO CONSTELAÇÕES?

Constelação é uma região da esfera celeste onde existe uma certa configuração projetada de estrelas. Os antigos astrônomos costumavam associar figuras de objetos, heróis ou deuses a tais configurações de estrelas. Muitas sociedades herdaram as constelações de outras enquanto que algumas conceberam suas próprias constelações como aquelas do grupo indígena tupi-guarani. O termo constelação vem do vocábulo latino *constellatio*, que significa reunião de astros, muito embora as estrelas de uma constelação não estejam fisicamente reunidas pela gravitação em função das enormes distâncias que as separam. As 48 constelações clássicas foram compiladas pelo grego Ptolomeu em 137 d.C., inclusive as zodiacais. Parte das constelações clássicas simboliza estórias e mitologias herdadas dos povos antigos da Mesopotâmia e Egito. Em 1929, a União Astronômica Internacional estabeleceu uma cartografia completa da esfera celeste contendo 88 constelações no total. As 40 outras, acrescentadas na era moderna, foram definidas principalmente na época das grandes navegações oceânicas. Elas simbolizam essencialmente animais pertencentes às novas terras “descobertas” pelos europeus, e objetos usados na navegação da época. A maioria das constelações “recentes” situa-se no hemisfério sul do céu.

O QUE É NAVEGAÇÃO CELESTE?

Um dos tipos mais antigos de orientação no espaço e no tempo, utilizados pelo homem para se movimentar pela superfície terrestre, é a navegação por meio da posição das estrelas no céu. A navegação celeste é mais comumente aplicada para navegações marítimas. A partir da observação da posição de determinadas estrelas com relação ao Meridiano Celeste Local e ao Horizonte, pode-se calcular a posição geográfica correta de um lugar.

1.3.1 ANO SOLAR E LUNAÇÃO

A observação sistemática do deslocamento do Sol no céu permitiu ao homem perceber dois fatos notáveis: (i) tanto o nascer do Sol como o pôr do Sol não ocorrem diariamente nos mesmos pontos do Círculo do Horizonte, (ii) a duração desse deslocamento é diferente dia após dia. O mais incrível foi notar que esses fatos ocorrem de forma cíclica, cujo período é denominado de ano solar ou trópico. O ano solar tem 365,2422 dias (365 dias, 5 horas, 48 minutos e 46,08 segundos).

A observação persistente da mudança do aspecto da Lua fez notar que o intervalo de tempo entre duas fases iguais e consecutivas corresponde a 29,53059 dias. Esse período lunar é denominado de lunação (ou período sinódico da Lua). O conceito de mês surgiu desse fato astronômico. Muitas sociedades antigas utilizaram e algumas ainda adotam o ano lunar, que possui 12 meses lunares, ou seja, 354,36708 dias (354 dias, 8 h, 48 min e 35,71 s). Os povos árabes do oriente médio usam um calendário baseado no mês lunar. Já os judeus utilizam um calendário lunissolar. O mundo ocidental contemporâneo usa um calendário solar que sofreu influência do calendário lunar, isto é, adotamos um ano com 12 meses, originários das 12 lunações.

1.3.2 HISTÓRIA DOS CALENDÁRIOS OCIDENTAIS

Os primeiros calendários da Roma Antiga (750 a.C. - 476 d.C.) eram caracterizados a bel prazer pelos próprios imperadores vigentes, baseados inclusive em superstições. O calendário do imperador Rômulo (753-717 a.C.) apresentava 304 dias com 10 meses de duração variável e o calendário de Numa Pompilo (717-673 a.C.) possuía 355 dias divididos basicamente em 12 ou 13 meses (de 29 ou 31 dias). O calendário de Pompilo aplicava uma correção ao ano solar de modo mais satisfatório do que o de Rômulo, porém era ainda muito complicado. Os nomes dos meses adotados por nós são originários desses calendários romanos. O imperador Júlio César (100-44 a.C.) decidiu adotar um calendário solar com 365 dias dispostos em 12 meses, de modo que a cada quatro anos o ano teria 366 dias. O primeiro mês do calendário juliano passou a ser *Januarius* e o dia excedente era acrescentado ao mês *Februarius* dando origem ao nosso ano bissexto. Por curiosidade, o nome do sétimo mês do nosso calendário, Julho, vem de uma homenagem a esse imperador romano após sua morte. A palavra calendário

provém da nomenclatura latina usada pelos antigos romanos para a designação da primeira parte de um mês: *kalendae*. As outras duas partes de um mês eram denominadas de *nonas* e *idus*.

Apesar de todos os ajustes efetuados na Roma Antiga, o ano juliano tinha em média 365,25 dias (ou 365 dias e 6 horas), sendo ligeiramente diferente do ano solar. A correção referente aos anos bissextos a cada quatro anos não foi suficiente. Ao longo de muitos anos, a diferença tornava-se cada vez maior, acrescentando um dia extra a cada intervalo de 128 anos, aproximadamente. Somente em 1582, o papa Gregório XIII (1512-1586) estabeleceu uma reforma crucial ao calendário ocidental. Assim foi a reforma gregoriana: (i) suprimiu 10 dias acumulados, para que o início de cada estação ocorresse na época certa; (ii) eliminou a ocorrência de anos bissextos durante três anos seculares para cada período de 400 anos, de modo que o ano 1600 foi bissexto, os anos 1700, 1800 e 1900 não o foram, 2000 foi bissexto, 2100 não o será e assim sucessivamente (somente os anos seculares divisíveis por 400 são bissextos); (iii) a contagem dos dias do mês passou a ser caracterizada por números cardinais (1, 2, 3, ..., 31) e não mais pela ordenação de *kalendae*, *nonas* e *idus*.

No entanto, ainda assim, resta uma diferença residual entre o ano solar e o ano gregoriano, que causa o acréscimo de um dia para cada período de 3.333,3333... anos. Desta maneira, o ano 4000 não deverá ser bissexto.

Alguém poderia propor mais uma reforma ao nosso calendário, fazendo um ano composto por 13 meses de 28 dias, porém isto é bem improvável.

1.3.3 CALENDÁRIO VIGENTE

Um modo de entender o calendário ocidental atual (gregoriano modificado) é expressar a duração do ano solar por uma soma de dias inteiros e fracionários.

$$365,2422 \text{ dias} \cong 365 + 1/4 - 1/100 + 1/400 - 1/3.300 \text{ dias}$$

O termo à esquerda da quase-igualdade representa a duração do ano solar. O lado direito é composto por cinco termos:

(a) o primeiro é a duração do ano padrão;

(b) a adição da fração $1/4$ corresponde à soma de um dia a cada quatro anos (os anos bissextos, que ocorrem em anos divisíveis por 4);

(c) a subtração de $1/100$ mostra a necessidade de não incluir um dia a cada 100 anos;

(d) a adição de $1/400$ indica a necessidade da ocorrência de um ano bissexto a cada 400 anos;

(e) a última fração à direita diz que se deve suprimir a inclusão de um dia a cada 3.300 anos, aproximadamente.

De acordo com os itens (c) e (d), o ano 2000 foi bissexto, mas os anos 2100, 2200 e 2300 não o serão.

ORIGEM DA SEMANA

O vocábulo semana provém do latim *septimana*, que significa sete manhãs (usado na Roma Antiga). O conceito de semana de 7 dias originou-se da duração de cada período lunar marcante ou do culto diário aos sete astros errantes pelos babilônios. O domingo era dedicado ao Sol, segunda-feira à Lua, terça a Marte, quarta a Mercúrio, quinta a Júpiter, sexta a Vênus e sábado a Saturno. As nomeações dos dias da semana em várias línguas modernas (ex. espanhol, francês, inglês e alemão) originaram-se dos nomes em latim desses astros (*Solis*, *Lunae*, *Martis*, *Mercurie*, *Jovis*, *Veneris* e *Saturni* respectivamente). A língua portuguesa não seguiu essa denominação para os dias da semana porque sofreu influência do cristianismo. As comemorações da Páscoa Cristã originalmente duravam uma semana de orações. Os dias da Páscoa eram denominados *feriaes* em latim, significando feriados. O domingo era nomeado por *feria-prima*, a segunda-feira era *feria-segunda* e assim por diante. O sábado vem do vocábulo latino *Shabbath*, que correspondia ao dia de descanso dos hebreus. A denominação domingo usada pelos povos latinos origina-se da substituição de *feria-prima* (ou *dies Solis*) por *dominica* imposta pelo imperador Flávio Constantino (Roma antiga, 280-337 d.C.), a qual significa dia do Senhor, quando da sua conversão ao cristianismo.

DÉCADA, SÉCULO E MILÊNIO

Quando se deu o início da contagem dos anos no calendário ocidental atual e quando ocorre a mudança de década, século e milênio?

O calendário juliano adota a época da fundação de Roma (753 a.C.) para o início da contagem, e o calendário gregoriano, que é essencialmente cristão, considera o nascimento de Jesus Cristo. Contudo, parece que Cristo nasceu no ano 4 a.C. e não no ano 1 d.C. como se pensa. Além do mais, não existiu o ano 0 (zero), de modo que o primeiro período de 10 anos (uma década) começou no ano 1 terminando no ano 10, assim como o primeiro século que terminou no ano 100 e o primeiro milênio, que findou no ano 1000. Consequentemente, o século XXI e o 3º milênio começaram em 2001, e não em 2000, como muita gente pôde imaginar.

1.4 DIAS E NOITES

Muitas civilizações antigas elaboraram explicações míticas para o movimento do Sol no céu durante o dia, assim como seu reaparecimento após a escuridão da noite. Como exemplos, os antigos babilônios pensavam no deslocamento noturno do Sol por debaixo do solo que era a morada dos mortos e os antigos egípcios (3200 a.C.) imaginavam o transporte do Sol no céu (corpo da deusa *Nut*) por um barco que durante a noite percorria um rio subterrâneo. Na Grécia clássica (600 a.C.), muitos afirmavam que a Terra era imóvel de modo que o Sol, deus *Helios*, percorria o céu numa grande carruagem.

1.4.1 DIA SOLAR E DIA SIDERAL

No transcorrer de um dia, atualmente dividido em 24 horas, nossos ancestrais faziam poucas divisões: manhã, meio do dia, tarde, início da noite, meio da noite e fim da noite. A observação do deslocamento do Sol era adotada na parte clara do dia. O deslocamento das estrelas mais brilhantes era aplicado para a subdivisão da noite.

A primeira definição de dia veio da observação do Sol, que corresponde ao Dia Solar. Além do mais, por questões práticas, o homem sentiu a necessidade de criar uma

ordenação matemática para o dia/noite, visto que nós possuímos um relógio biológico interno, completamente adaptado ao ciclo diário do Sol. O Dia Solar corresponde ao intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas do Sol pelo Meridiano Celeste do lugar, uma linha imaginária no céu que une os Pontos Cardeais Norte e Sul passando pelo Zênite (ponto imaginário no céu diametralmente oposto ao centro da Terra). O Dia Solar é dividido por definição em 24 horas solares.

Uma outra referência astronômica para definir o dia é representada pelas estrelas. É o dia sideral. Corresponde ao intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas de uma determinada estrela pelo Meridiano Celeste Local. Por convenção, o dia sideral é dividido em 24 horas siderais.

O Dia Solar e o dia sideral são diferentes pela simples razão de que a Terra não é imóvel e sim translada ao redor do Sol. Qual é o mais curto? Pensemos juntos: enquanto a Terra gira em torno do seu eixo ela continua o seu deslocamento ao redor do Sol no mesmo sentido e para que o Sol volte a assumir a mesma posição no céu depois de uma rotação completa da Terra, serão gastos alguns minutos a mais. Portanto, o Dia Solar é mais longo do que o sideral por apenas 3 minutos e 56 segundos em média.

1 Dia Solar = 24 horas (solares)

1 dia sideral \cong 23 horas, 56 minutos e 4 segundos (solares)

Outra pergunta: Qual é, então, o tempo gasto pela Terra para dar um giro completo em torno de si mesma? O referencial mais adequado para se medir a rotação da Terra é dado pelas estrelas distantes e não pelo Sol. Devido às próprias distâncias das estrelas, que estão muito mais longe do que o Sol, suas posições no céu são praticamente constantes. Portanto, emprega-se o período sideral.

A noite é a parte do dia, de 24 h, quando o Sol está abaixo do plano do Horizonte. Há várias definições de noite. A noite civil começa (e termina) quando o centro do disco solar situa-se a 6 graus abaixo do Horizonte e a noite astronômica, quando o Sol está a 18 graus. Os Dias Civil e Astronômico são os complementos respectivos dessas definições de noite. Durante a noite astronômica, o céu não sofre alteração em brilho

enquanto que no início e fim da noite civil há ainda claridade crepuscular. Entretanto, por todo este capítulo, definimos “dia claro” como sendo a parte do dia em que o Sol está acima do Horizonte e noite como seu complemento.

MEIO-DIA SOLAR E GNÔMON ASTRONÔMICO

Quando o Sol cruza o Meridiano Celeste Local, estamos na metade tanto do “dia claro” como do dia civil e do dia astronômico, o meio Dia Solar. Diz-se que o Sol culminou, de modo que ele atinge sua altura máxima no céu, projetando a menor sombra de qualquer objeto. Se esse objeto for uma haste perpendicular a uma superfície horizontal plana (um gnômon astronômico), sua sombra mínima diária fica sempre alinhada paralelamente à direção norte-sul. O gnômon é o mais antigo instrumento de observação astronômica.

TEMPO ASTRONÔMICO E TEMPO ATÔMICO INTERNACIONAL

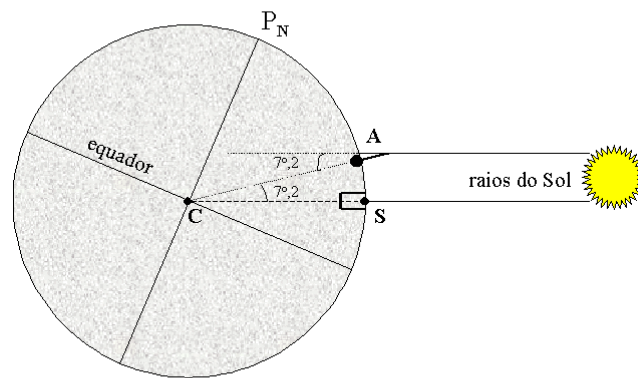
Até meados da década de 50, a unidade básica de tempo, o segundo, era definida pela Astronomia. Um segundo de tempo correspondia a cada uma das 86.400 partes do Dia Solar médio ($1 \text{ segundo} \equiv 1/86.400 \text{ de } 24 \text{ horas solares médias}$). A partir de então, o segundo passou a ser definido como sendo o intervalo de tempo gasto por 9.192.631.770 ciclos de uma transição eletrônica hiperfina do átomo de Césio 133. Essa é a definição do segundo internacional, ou melhor, tempo atômico. Contudo, o padrão de tempo usado por nós é o tempo universal coordenado, que corresponde ao tempo atômico corrigido na origem, toda vez que a diferença com relação ao tempo astronômico ultrapassa um certo valor.

1.4.2 ESFERICIDADE E MOBILIDADE DA TERRA

A idéia de imobilidade da Terra perdurou por muito tempo, até por volta do Renascimento Europeu, com a primeira revolução científica liderada por Nicolau Copérnico (1473-1543), Galileu Galilei (1564-1642) e Isaac Newton (1642-1727). O conceito de esfericidade para o nosso planeta não era totalmente aceito nessa época, embora Aristóteles (600 a.C.) já o tivesse proposto, ao observar eclipses da Lua (a

sombra da Terra era sempre circular quando projetada na Lua), e Eratóstenes (240 a.C.) já tivesse calculado o raio terrestre. Com as grandes viagens de circunavegação, todos tiveram que aceitar tais idéias.

Eratóstenes notou que o Sol não ficava a uma mesma altura no céu, simultaneamente em duas cidades do Egito Antigo (Alexandria e Siena, atual Assuan), situadas aproximadamente no mesmo meridiano terrestre. Ele observou que ao meio dia de um Solstício de Verão, enquanto o Sol iluminava o fundo de um poço d'água em Siena, um gnômon projetava uma pequena sombra em Alexandria, como é mostrado na Figura 1.1. Bastaria, então, conhecer a distância entre as duas cidades e o ângulo de separação entre elas em relação ao centro da Terra. Este ângulo corresponde àquele formado pelo gnômon e o raio de luz vindo do Sol, cujo vértice é a própria extremidade superior do gnômon. Admitindo-se uma distância de 5.000 *stadias* (unidade de comprimento da época; 1 *stadia* \cong 185 m), a estimativa de Eratóstenes para o diâmetro polar da Terra foi de 14.722 km, próximo do valor real de 12.718 km.



$$d(AS) = 5.000 \text{ stadias} = 925 \text{ km} \quad \text{--->} \quad 7,2$$

$$2\pi R \quad \text{--->} \quad 360^\circ$$

$$2R \times \pi \times 7,2 = 925 \times 360 \text{ km}$$

$$2R = 14.722 \text{ km}$$

FIGURA 1.1 - MEDIÇÃO DO RAIO TERRESTRE POR ERATÓSTENES (240 A.C.). O PONTO A DESIGNA ALEXANDRIA, S, SIENA ONDE UM POÇO É ESQUEMATIZADO E C, O CENTRO DA TERRA. O RAIO POLAR DA TERRA É DESIGNADO POR R.

É fácil compreender a idéia de imobilidade da Terra, seja ela esférica ou não. Do ponto de vista de uma pessoa sobre qualquer ponto da superfície terrestre exceto os pólos, observa-se que tanto o Sol como a maioria dos outros astros surgem no Horizonte leste, elevam-se no céu e vão se esconder na parte oeste. Parece, então, que todo o céu está girando em torno de nós. Além do mais, quando jogamos qualquer objeto verticalmente para cima, ele sempre cai em queda livre no mesmo lugar de onde saiu (se não estiver ventando no momento); dando a impressão de que a Terra como um todo não se move como era concebido pela Física Aristotélica admitida até a revolução científica do Renascimento Europeu. Contudo, segundo a Física Newtoniana, o mesmo pode-se afirmar quando repetimos essa experiência dentro de um veículo em movimento retilíneo e uniforme, que em primeira aproximação pode representar o efeito do movimento de rotação da Terra num dado ponto de sua superfície. Foi notório o debate científico entre as idéias revolucionárias de Galileu e o paradigma científico daquela época, transformado em dogma pela Igreja Cristã. As leis de movimento elaboradas por Newton sustentaram a aceitação das idéias de Galileu: a Terra não está imóvel no centro do Universo, mas sim, gira em torno de si mesma e translada ao redor do Sol (leia a seção A EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE O SISTEMA SOLAR do capítulo O SISTEMA SOLAR, para mais detalhes).

A rotação da Terra foi comprovada por medição direta não astronômica, em 1851, através do experimento do pêndulo de Léon Foucault (físico francês). Ele verificou que ao abandonar um pêndulo à ação da gravidade, o plano de oscilação do mesmo gira em torno da vertical do lugar.

1.4.3 ESFERA CELESTE E ROTAÇÃO DA TERRA

Qualquer pessoa ao observar o céu de um local descampado percebe que está no centro de um grande hemisfério celeste. Esse tipo de visualização do céu contribuiu para a concepção do geocentrismo. O céu na Astronomia é idealizado como uma grande esfera, a esfera ou abóbada celeste, que está centrada na Terra (visão geocêntrica: Figura 1.2).

O movimento dos astros no céu, ao longo de um dia ou uma noite, ocorre de leste para oeste. Dizemos que é um movimento aparente, porque não são os astros que se movem, mas sim a Terra que gira de oeste para leste. A Figura 1.2 mostra que a esfera celeste parece girar no sentido contrário ao da rotação da Terra.

A trajetória de um determinado astro durante seu movimento diário aparente ocorre paralelamente ao Equador Celeste, como visto na Figura 1.2. Esse círculo imaginário, que divide o céu em duas metades, nada mais é que uma projeção do Equador Terrestre na abóbada celeste.

A rotação da Terra define um eixo cujas interseções com a superfície terrestre são os pólos geográficos Norte e Sul (pontos imaginários). Os círculos que unem os pólos ao longo de sua superfície (hipoteticamente esférica) e são concêntricos a Terra são os Meridianos Terrestres. Um plano perpendicular ao eixo de rotação, e equidistante de ambos os pólos, divide o globo em dois hemisférios, Norte e Sul. A interseção deste plano com a superfície da Terra define o Equador Terrestre. Os paralelos terrestres são os círculos imaginários paralelos ao Equador.

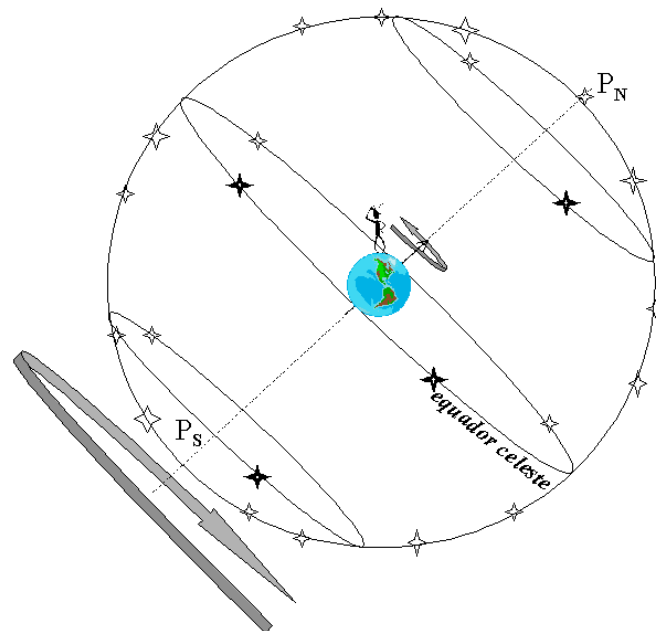


FIGURA 1.2 - A ESFERA CELESTE: UMA VISÃO GEOCÊNTRICA DO UNIVERSO.

Não “sentimos” a rotação da Terra porque a força centrífuga associada a ela é somente 3% da força de gravidade. Se a Terra passasse a girar cada vez mais rápido, chegaríamos ao ponto de ter gravidade zero, ou mesmo de sermos jogados para fora da superfície (de modo análogo a um carrossel). Contudo, a velocidade de rotação não é desprezível. No Equador Terrestre, a velocidade linear de rotação fica por volta de 1.670 km/h. Sobre o Trópico de Capricórnio (latitude aproximada de São José dos Campos), a velocidade de rotação é cerca de 1.500 km/h.

Da mesma forma que na Terra, existem na esfera celeste os pólos Norte e Sul, definidos como sendo as interseções imaginárias do eixo de rotação terrestre com o céu (Fig. 1.2).

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Para localizar uma cidade na Terra, precisamos de duas coordenadas: latitude e longitude. A latitude de um ponto qualquer sobre a superfície da Terra é o ângulo contado a partir do Equador até esse ponto, ao longo do Meridiano do lugar. A latitude vai de -90° (no Pólo Sul), 0° (no Equador) até $+90^\circ$ (no Pólo Norte), por convenção. A longitude é o ângulo medido sobre o Equador a partir de um meridiano de referência até o Meridiano do lugar. O meridiano de referência do Sistema de Coordenadas Geográficas é aquele que passa pelo Observatório de Greenwich (Inglaterra). A longitude é medida em graus ($^\circ$) ou em horas (h), indo de 0° no Meridiano de Greenwich até $+180^\circ$ (ou +12 h) quando contamos para leste a partir de Greenwich, e até -180° (ou -12 h) quando contamos para oeste (é comum nomear como longitude leste ou oeste).

COORDENADAS CELESTES EQUATORIAIS

As coordenadas celestes equatoriais são definidas de maneira análoga às geográficas, sendo aplicadas à localização dos astros no céu. Precisamos, novamente, de duas coordenadas: declinação e ascensão reta. A declinação é contada a partir do Equador Celeste, usando-se a mesma convenção: de 0° a $+90^\circ$ para norte e 0° a -90° para sul. A ascensão reta é contada sobre o Equador Celeste desde o Ponto Gama ou Vernal até o meridiano do astro no sentido de oeste para leste (o mesmo da rotação da Terra), variando de 0 a 24 h. O Ponto Gama é uma das interseções da Eclíptica (trajetória anual do Sol no céu) com o Equador Celeste, marcando a passagem do Sol do hemisfério celeste sul para norte (início da Primavera Boreal).

REGRA DA MÃO DIREITA E SENTIDO DA ROTAÇÃO TERRESTRE

Com a finalidade de visualizar o movimento de rotação da Terra no espaço, basta aplicarmos a regra da mão direita. Dispõe-se a mão direita com o dedo polegar para cima, o qual representaria o Pólo Norte. O sentido da rotação terrestre é o mesmo daquele usado para o fechamento da mão (veja a Figura 1.2).

1.4.4 HORA SOLAR E FUSOS HORÁRIOS

O Sol culmina no céu sempre ao meio-Dia Solar. Porém, isto ocorre em tempos diferentes para cada meridiano terrestre, conforme a Terra vai girando em torno de si mesma. Enquanto em um determinado lugar o Sol está culminando, em outros o Sol já culminou ou ainda vai culminar. Do mesmo modo, enquanto em alguns lugares o Sol está surgindo no Horizonte, em outros o Sol está se pondo. Portanto, a hora solar é local e é fornecida diretamente por um relógio solar.

Além disso, o Sol não se desloca com a mesma velocidade ao longo de sua trajetória anual aparente (ao redor da Terra). Para corrigir esse efeito, criou-se a hora solar média, a partir do movimento uniforme de um Sol fictício. A diferença entre a hora solar média e a hora solar verdadeira é definida como sendo a Equação do Tempo, e pode resultar em até 15 (quinze) minutos a mais ou a menos. A equação do tempo decorre do fato de que a velocidade da Terra em torno do Sol não é constante (translação numa órbita elíptica).

Um fuso horário corresponde a uma faixa de longitude terrestre com 15° (ou 1 h) de largura, na qual se adota a hora solar média do seu meridiano central como sendo sua única hora: a hora civil ou legal. O meridiano de origem (longitude = 0 h) dos fusos horários é aquele que passa pelo Observatório de Greenwich, adotado por questões históricas. A Figura 1.3 mostra os fusos horários adotados no mundo. O Brasil possui quatro fusos horários: o fuso de -2 horas para Fernando de Noronha e Ilhas Oceânicas, -3 horas para Brasília e a maioria dos estados, -4 horas para os estados de RO, RR, MS, MT, parte oeste do Pará e a parte leste do Amazonas e -5 horas para o Acre e o extremo oeste do Amazonas. O horário de Brasília está em atraso com relação aos europeus, e adiantado em relação aos dos EUA.

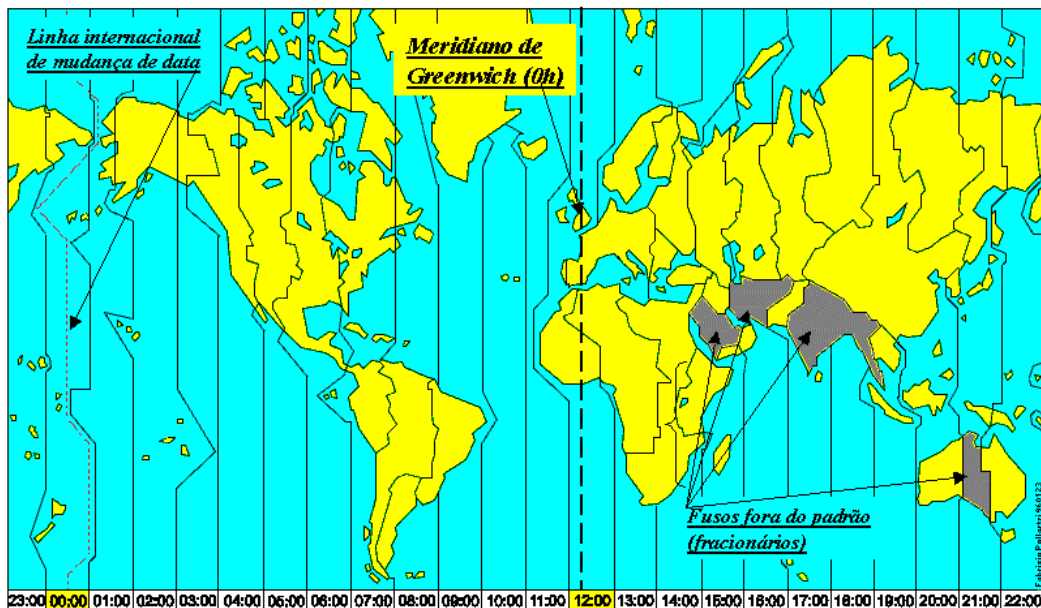


FIGURA 1.3 - FUSOS HORÁRIOS DA TERRA.

O QUE É HORÁRIO DE VERÃO?

O horário de Verão é simplesmente a hora civil acrescida de uma ou mais unidades, com a finalidade de se aproveitar a claridade do começo e fim do dia civil, economizando assim energia elétrica. O início e o término do horário de Verão estão condicionados à data do Solstício de Verão (em torno de 22/12 para o hemisfério sul), quando a duração do “dia claro” é máxima. Na prática, o meio do período do horário de Verão deve se situar próximo a essa data.

1.4.5 ASPECTOS DO CÉU EM DIFERENTES LATITUDES

Quando nos deslocamos em latitude na Terra, podemos perceber que o aspecto do céu noturno vai mudando ligeiramente. Certas estrelas e constelações deixam de ser vistas e outras passam a ser avistadas por nós. O Sol também começa a mudar de trajetória diurna, fazendo com que a duração do dia civil aumente ou diminua.

Para uma pessoa que está exatamente sobre o Equador da Terra (latitude 0° e longitude qualquer), ambos os hemisférios do céu podem ser observados por completo. Nesse caso singular, o plano do Equador Celeste está disposto perpendicularmente ao plano do Horizonte, e é representado pelo círculo que cruza o Zênite e une os Pontos Cardeais Leste e Oeste (Figura 1.4). No Equador Terrestre, as trajetórias diárias dos astros ocorrem em planos perpendiculares ao plano do Horizonte, de modo que, diariamente, todos os astros ficam metade do tempo acima do Horizonte e metade do tempo abaixo, como pode ser visualizado na Figura 1.4. Conseqüentemente, os “dias claros” e as noites tem a mesma duração de 12 horas, em média, ao longo de todo o ano. Os Dias Cívicos duram, em média, 12 h e 48 min (noites civis de 11 h e 12 min) e os Dias Astronômicos, 14 h e 24 min (noites astronômicas de 9 h e 36 min).

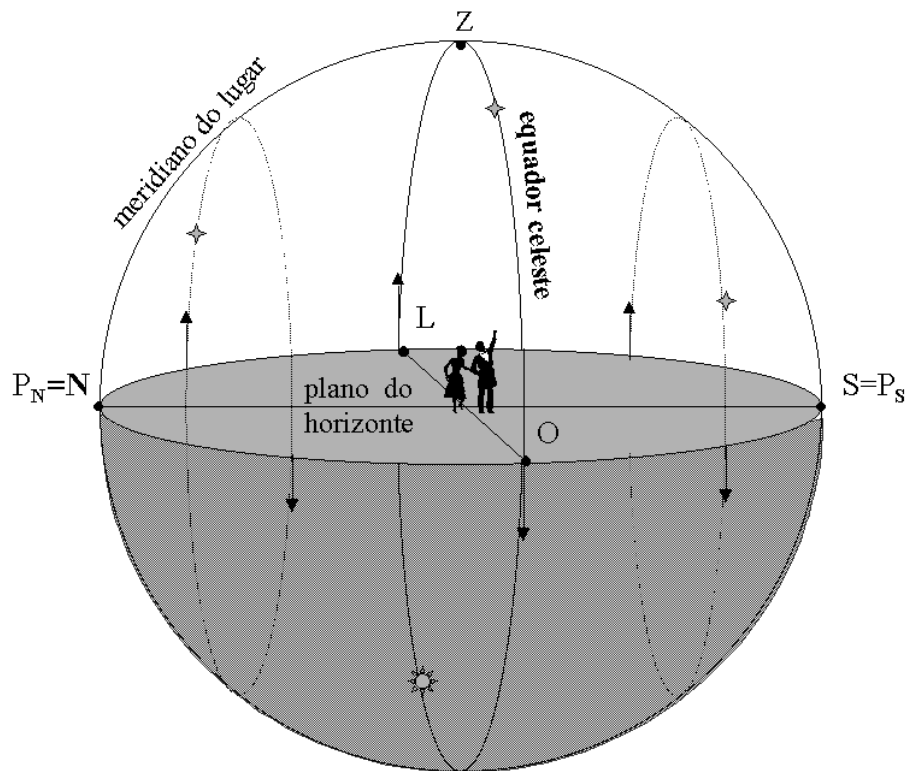


FIGURA 1.4 - VISÃO TOPOCÊNTRICA DA ESFERA CELESTE A PARTIR DO EQUADOR.

Se alguém se situar exatamente em um dos pólos de rotação da Terra (latitude $+90^\circ$ ou -90° e longitude indeterminada), a visão do céu será completamente diferente da anterior. Nessa situação extrema, o círculo do Equador Celeste coincide com o do Horizonte e o pólo celeste respectivo com o Zênite (Z). As trajetórias dos astros no céu ocorrem de modo paralelo ao plano do Horizonte, como é visualizado na Figura 1.5. Somente um hemisfério celeste é observado. Se estivermos no Pólo Sul, avistaremos somente a metade sul do céu como é o caso da mesma figura. Os astros situados nesse hemisfério celeste nunca se “escondem” abaixo do plano do Horizonte. Há noites de 24 horas (quando o Sol estiver abaixo do Horizonte) e vice-versa no caso dos “dias claros”, quando ocorre o chamado sol da meia-noite. Os Dias Cívicos são de 24 h durante toda a Primavera local, todo o Verão, início do Outono e fim do Inverno, de modo que as noites civis de 24 h ocorrerão no restante do ano. Os Dias Astronômicos abrangem períodos maiores do início do Outono local e fim do Inverno, além de toda a Primavera e Verão.

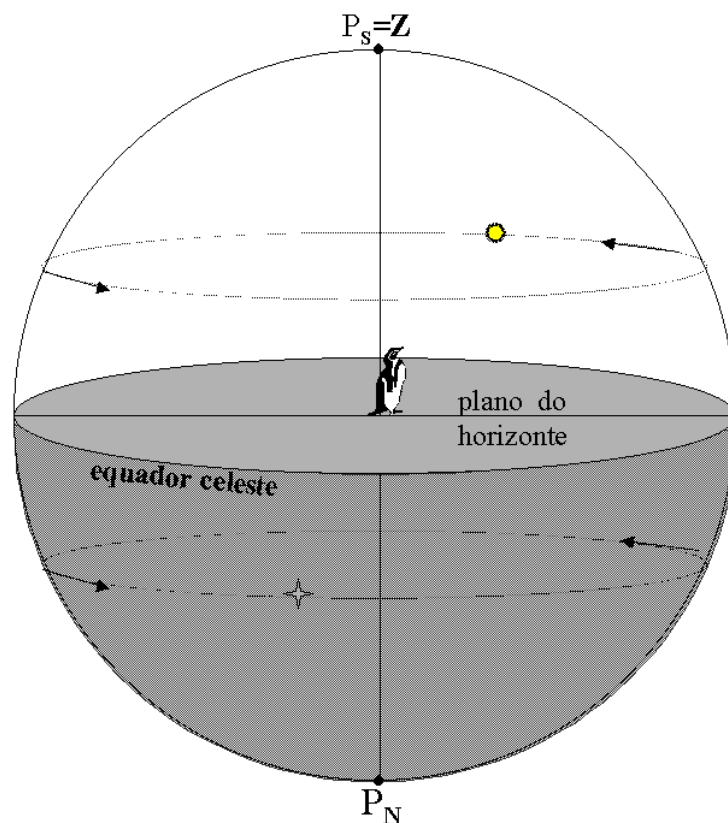


FIGURA 1.5 - VISÃO TOPOCÊNTRICA DA ESFERA CELESTE A PARTIR DO PÓLO SUL.

No caso intermediário (Figura 1.6), se estivermos fora do Equador ou de um dos pólos terrestres (como é o caso de São José dos Campos), perceberemos que as trajetórias aparentes diárias dos astros ocorrem em planos oblíquos ao plano do Horizonte. O plano do Equador Celeste apresentar-se-á também com a mesma obliquidade relativa ao Horizonte. O pólo celeste, correspondente ao hemisfério onde a pessoa se situa, fica elevado no céu, e o outro, abaixo do Horizonte. Os astros ficam uma parte do dia visíveis acima do plano do Horizonte e a outra parte abaixo do mesmo, em períodos desiguais. Certos astros próximos do pólo celeste elevado ficam sempre acima do Horizonte (aparentemente girando em torno desse pólo) e uma parte do céu próxima ao outro pólo celeste nunca é visível.

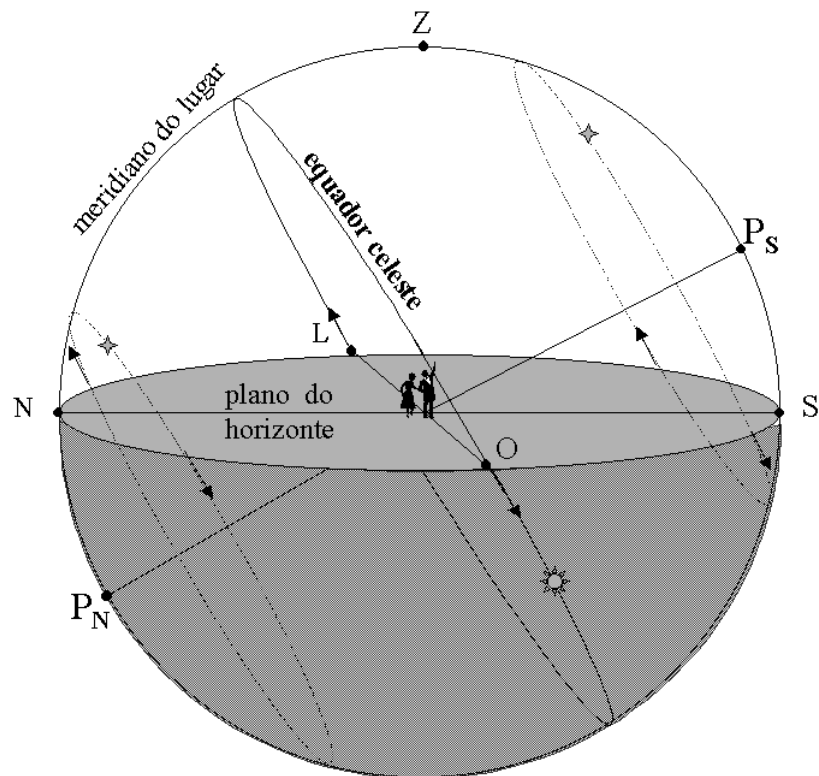


FIGURA 1.6 - VISÃO TOPOCÊNTRICA DA ESFERA CELESTE A PARTIR DE UM LOCAL ENTRE O EQUADOR E O PÓLO SUL.

O QUE É ZÊNITE?

O Zênite nada mais é que o ponto imaginário no céu exatamente acima de nossa cabeça. Quando falamos que o Sol ou qualquer astro está a pino, ele está cruzando o Zênite do lugar. Para determinarmos a direção do Zênite, basta estendermos o fio de prumo (usado em construção civil), imaginando que o prolongamento desse fio interceptará a esfera celeste no Zênite. O gnômon astronômico aponta simultaneamente para o Zênite e para o centro da Terra.

1.5 ESTAÇÕES DO ANO

1.5.1 MOVIMENTO ANUAL DO SOL E ECLÍPTICA

Os primeiros astrônomos começaram a perceber que o Sol se movia lentamente contra o fundo do céu, definido pelas estrelas e constelações. Faziam isso observando as constelações que são vistas, na direção do poente, logo após o pôr do Sol (antes de se “porem”) e aquelas que são ofuscadas pelo brilho solar um pouco antes do nascer do Sol na direção do nascente. Notaram que, gradualmente, as constelações situadas a leste do Sol deixam de ser vistas devido ao ofuscamento pela claridade solar e que as constelações a oeste do Sol passam a ser visualizadas. Como as estrelas eram consideradas fixas na esfera celeste (o que só é válido em primeira aproximação), eles concluíram que era o Sol que se movimentava. Esse movimento, denominado movimento anual aparente do Sol, faz com que este se desloque cerca de 1 grau por dia (de oeste para leste). Daí a origem do círculo geométrico de 360° (provavelmente no Egito Antigo).

O movimento anual do Sol define no céu uma trajetória circular, a qual foi denominada Eclíptica, porque é onde a Lua se situa na ocasião de um eclipse (veja a Figura 1.10). O plano dessa trajetória circular anual do Sol é inclinado em relação ao plano do Equador Celeste, em cerca de $23^\circ,5$ (veja a Figura 1.7). O plano da Eclíptica define o plano da órbita da Terra em torno do Sol. O círculo da Eclíptica é, simplesmente, a projeção de seu respectivo plano na esfera celeste. Ao longo da direção da Eclíptica no céu foram

concebidas, pelos povos antigos da Mesopotâmia, as constelações do Zodíaco, associadas a lendas e mitos desses povos (leia também ANO SOLAR E LUNAÇÃO, na seção PERCEPÇÃO E CONTAGEM DO TEMPO).

1.5.2 SOLSTÍCIOS E EQUINÓCIOS

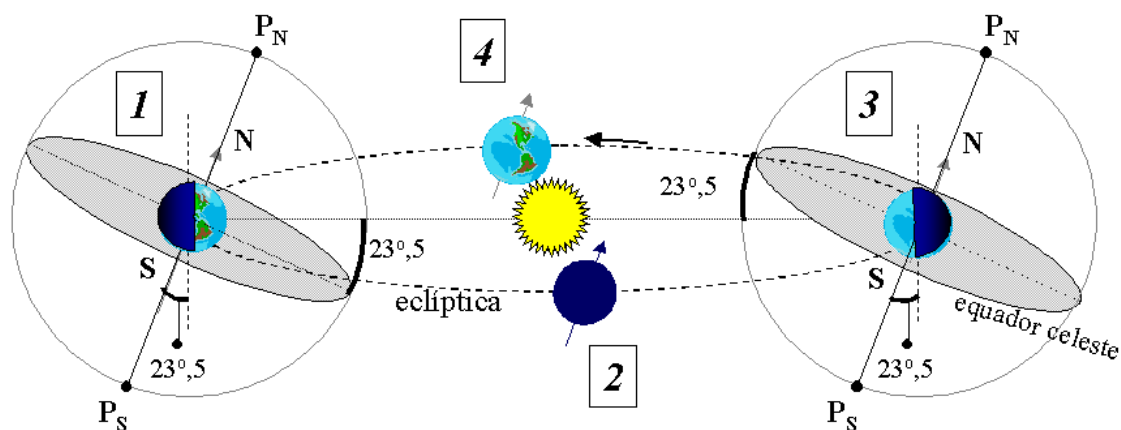
O movimento anual aparente do Sol na esfera celeste pode ser entendido através da translação da Terra em torno do Sol (visão heliocêntrica em conjunto com a visão geocêntrica), ou da observação do pôr do Sol (visão topocêntrica).

A Figura 1.7 mostra a Terra em quatro ocasiões especiais de sua órbita ao redor do Sol. São os dias em que ocorrem os Solstícios e Equinócios. Tomemos como referência o hemisfério sul da Terra. Na posição 1, fixando nossa visão a partir da Terra, o Sol está na distância angular máxima ao norte do plano do Equador Celeste, parecendo parar na esfera celeste para depois retroceder, para o sul, em seu movimento anual aparente. Os raios solares, nessa época do ano, incidem mais obliquamente sobre a superfície do hemisfério sul da Terra, de forma que a incidência de calor é menor. Esse dia é denominado Solstício do Inverno Austral (Solstício significa Sol parado; em latim: *solstitium*), o qual ocorre por volta de 22 de junho. A noite do Solstício do Inverno Austral é a mais longa do ano. A partir do Solstício de Inverno, tanto os “dias claros” como os Dias Cívicos e Astronômicos voltam a aumentar de duração, lentamente.

De modo análogo, na posição 3 da Figura 1.7, quando ocorre o “dia claro” mais longo do ano para o hemisfério sul, o Sol atinge a posição angular mais ao sul do Equador Celeste. É o dia do Solstício do Verão Austral, que ocorre por volta de 21 de dezembro. No Verão, a incidência dos raios solares acontece de forma menos oblíqua à superfície. Em lugares próximos ao Trópico de Capricórnio, a incidência é quase perpendicular. Portanto, a insolação é maior. Após o Solstício de Verão, os “dias claros” se tornam cada vez mais curtos novamente.

Em duas ocasiões especiais intermediárias (posições 2 e 4 da Figura 1.7), o “dia claro” e a noite têm a mesma duração (isso ocorre para todo o globo terrestre). São os dias dos Equinócios de Primavera e Outono, que ocorrem, respectivamente, em torno de 22 de setembro e 21 de março no hemisfério sul. A palavra Equinócio, de origem latina, significa noites de iguais duração. Os Equinócios ocorrem quando o Sol está sobre o

círculo do Equador Celeste, deslocando-se do hemisfério celeste norte para o sul, no caso do Equinócio da Primavera Austral, e fazendo o caminho inverso, no Equinócio do Outono Austral. Nesses dias, ambos os hemisférios terrestres recebem a mesma quantidade de insolação. Entre o início do Outono Austral e o fim do Inverno, os “dias claros” são mais curtos do que as noites (a noite mais longa ocorre no início do Inverno), e entre o início da Primavera e o fim do Verão, a situação se inverte (o dia mais longo ocorre no início do Verão).



1 e 3: solstícios

2 e 4: equinócios

FIGURA 1.7 - OS INÍCIOS DAS ESTAÇÕES DO ANO ATRAVÉS DAS PERSPECTIVAS HELIOCÊNTRICA E GEOCÊNTRICA (A ILUSTRAÇÃO ESTÁ FORA DE ESCALA).

Seqüencialmente, para o hemisfério sul da Terra, tem-se: o Equinócio de Outono em 20 ou 21 de março, o Solstício de Inverno entre 21 e 23 de junho, o Equinócio de Primavera em 22 ou 23 de setembro e o Solstício de Verão entre 21 e 23 de dezembro. As estações do ano acontecem de forma inversa em cada um dos hemisférios terrestres. Enquanto é Verão no hemisfério sul, é Inverno no hemisfério norte.

A fim de complementar o entendimento, vamos pensar na observação do nascer e pôr do Sol nos dias dos Equinócios e Solstícios, como está representado na Figura 1.8, para um local na região tropical do hemisfério sul (entre o Equador e o Trópico de Capricórnio). Somente nos Equinócios o Sol surge no Horizonte exatamente a partir do Ponto Cardeal Leste, deslocando-se ao longo do dia sobre o Equador do céu e escondendo-se, exatamente também, no Ponto Cardeal Oeste (isso ocorre para quase toda a Terra; as exceções são os pólos geográficos). Os Solstícios são os dias quando o Sol mais se distancia dos Pontos Cardiais Leste e Oeste, no nascer e ocaso, respectivamente. No Solstício do Verão Austral, o Sol surge mais ao sul do Ponto Leste e esconde-se, com o mesmo distanciamento, ao sul do Ponto Oeste. No Solstício do Inverno Austral, o Sol nasce com o maior afastamento angular ao norte do Ponto Leste e põe-se, com o mesmo distanciamento, ao norte do Ponto Oeste (veja a Figura 1.8). O distanciamento angular máximo que a direção do Sol pode assumir em relação ao Equador Celeste é exatamente igual à inclinação entre o plano da Eclíptica e o plano do Equador ($\cong 23^\circ,5$). O ângulo entre a direção do Sol e a do Ponto Cardeal Leste, medido sobre o Círculo do Horizonte no momento do nascer do Sol em qualquer dia do ano depende da latitude do lugar e da declinação do Sol, exceto nos Equinócios quando esse ângulo é nulo.

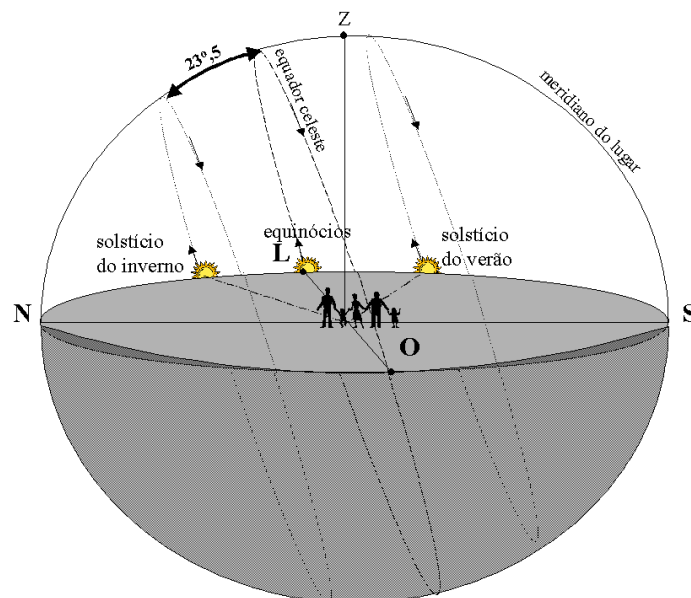


FIGURA 1.8 - VISÃO TOPOCÊNTRICA PARA O NASCER DO SOL NOS SOLSTÍCIOS E EQUINÓCIOS PARA UM LUGAR TROPICAL DO HEMISFÉRIO SUL DA TERRA.

SOL A PINO E TRÓPICOS

Somente na região tropical, o Sol pode ficar a pino ao meio dia (solar). Entre os trópicos isto acontece duas vezes por ano, como no caso da Figura 1.8, e os dias correspondentes são determinados pela latitude do lugar. Para um local no Equador Terrestre, o Sol cruza a pino o Meridiano Local nos dias dos Equinócios. Já para os locais situados exatamente sobre um dos trópicos, o Sol cruza a pino somente uma vez, no Solstício de Verão. Os Trópicos de Capricórnio e Câncer são nomeados desta maneira porque durante os Solstícios, na Antigüidade, o Sol se encontrava na direção dessas constelações zodiacais.

1.5.3 INCLINAÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO DA TERRA

O ângulo formado entre o eixo de rotação da Terra e a perpendicular da Eclíptica é, exatamente, igual à separação angular entre o plano do Equador da Terra e o plano da órbita terrestre (Eclíptica). A Figura 1.7 ilustra essa inclinação do eixo de rotação da Terra.

Na época atual, a inclinação entre o plano do Equador e o da Eclíptica é de aproximadamente $23^{\circ},5$ (precisamente $23^{\circ} 26' 21''$ no ano 2000.0). Se, por acaso, a inclinação fosse 0° , ou seja, a Terra girasse com o seu eixo perpendicularmente ao plano da Eclíptica, todos os “dias claros” e noites teriam sempre a mesma duração (12 h); seria um eterno Equinócio (os planos da Eclíptica e do Equador coincidiriam) e não existiriam as estações do ano.

A inclinação do eixo da Terra muda com o tempo, porque esta se movimenta semelhante a um pião que gira obliquamente ao chão. Um dos movimentos, denominado precessão dos Equinócios, faz o eixo da Terra girar em torno da perpendicular da Eclíptica com um período de cerca de 25.800 anos. Outro movimento, chamado nutação, faz o ângulo dessa inclinação oscilar em torno de um valor médio. Ambos os movimentos são determinados pela interação gravitacional da Lua, Sol e planetas sobre a Terra, em função desta não ser uma esfera perfeita. O movimento de precessão produziria uma modificação lenta e gradual nas datas dos Solstícios e Equinócios, antecipando-as, caso a correção correspondente não fosse aplicada ao Sistema de Coordenadas Celestes Equatoriais. Com relação às observações

astronômicas, esses movimentos alteram lentamente as coordenadas equatoriais dos astros, em virtude de modificarem a direção dos pólos celestes. Hiparco, antigo astrônomo grego (200 a.C.), já havia notado os efeitos da precessão dos Equinócios, ao comparar as suas medidas de posição de estrelas com outras feitas tempos atrás. Para a Astrologia, esses movimentos não são levados em conta, provocando inclusive uma separação gradual entre a posição dos signos e suas respectivas constelações originais. Por exemplo, o autor deste capítulo, que nasceu num certo dia do mês de maio, é do signo de Gêmeos segundo a Astrologia, mas o Sol nessa data está na direção da constelação de Touro.

1.5.4 GEOCENTRISMO, HELIOCENTRISMO E TRANSLAÇÃO

Do ponto de vista terrestre (visão geocêntrica), o Sol parece completar uma volta em torno da Terra em um ano. O mesmo ocorre com a Lua e os planetas, só que em períodos distintos. Todos esses astros possuem movimentos anuais aparentes com trajetórias próximas à trajetória do Sol, no mesmo sentido do movimento solar (de oeste para leste). Daí a origem do modelo geocêntrico, que tentou explicar os movimentos desses astros errantes por entre as constelações zodiacais; todos deslocando-se em torno da Terra imóvel. O geocentrismo perdurou até surgir o heliocentrismo, que explicava de forma mais simples alguns movimentos “estranhos” que os planetas realizavam no céu. Esses movimentos peculiares dos planetas faziam os mesmos retrocederem na sua trajetória padrão oeste-leste, alguns deles traçando até mesmo pequenas trajetórias em forma de laços. Além do mais, o heliocentrismo de Copérnico foi sustentado pela Teoria da Gravitação Universal elaborada por Newton (leia mais no Capítulo 3).

O modelo heliocêntrico associado à Gravitação Universal explicou como a Terra e os demais planetas orbitam em torno do Sol. Esse movimento é denominado translação (ao redor do Sol). O movimento de translação da Terra acontece num plano, aquele da Eclíptica. A órbita da Terra não é um círculo perfeito, mas sim uma elipse pouco excêntrica (quase circular). Em primeira aproximação, o Sol ocupa um dos focos da elipse, como representado na Figura 1.9. Na verdade, a Terra translada em torno do centro de massa do Sistema Solar (leia o Capítulo 3 e a caixa de texto O QUE É CENTRO DE MASSA? da seção seguinte). A translação da Terra pode ser chamada de movimento

orbital. A velocidade média de translação é de cerca de 107.000 km/h (ou 30 km/s). Definitivamente, nós não estamos imóveis no Universo.

O movimento de translação da Terra ocorre no mesmo sentido da sua rotação (de oeste para leste). Aplica-se a regra da mão direita a fim de visualizá-lo.

A velocidade da translação terrestre foi obtida por medida direta astronômica em 1729 com os trabalhos do físico inglês James Bradley, o qual visava medir distâncias de estrelas. Bradley observou algo inesperado: a direção das estrelas sofria um desvio sistemático e cíclico. A razão é dada pela combinação da velocidade orbital da Terra com a da luz (≈ 300.000 km/s), nomeada de aberração da luz.

Alguém poderia afirmar que as estações do ano decorrem da variação da distância Terra-Sol, contudo esta pessoa deve lembrar que as estações ocorrem alternadamente em ambos os hemisférios terrestres. Mesmo que a variação na distância acarrete pequenas alterações no fluxo de luz solar recebido pela Terra, 6,5% no máximo, não há conseqüências maiores para as estações do ano. Quando é Verão no hemisfério sul, a Terra encontra-se mais próxima do Sol do que quando é Verão no hemisfério norte (Figura 1.9), mas nem por isso o Verão é mais intenso no hemisfério sul.

ANO SIDERAL

O intervalo de tempo que a Terra leva para transladar completamente em torno do Sol depende do referencial assumido. No caso do ano solar, a referência é o próprio Sol. Já o ano sideral é o intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas da Terra pelo mesmo ponto de sua órbita, dado em referência às estrelas. Enquanto o ano solar tem 365,2422 dias (solares), o ano sideral tem 365,25636; ou seja, o ano sideral é mais longo em cerca de 20 min devido à precessão retrógrada do eixo de rotação da Terra que faz o Ponto Gama se deslocar no Equador Celeste no sentido de encontro ao Sol (quando este perfaz o seu movimento aparente anual de oeste para leste ao longo da Eclíptica). Você poderia perguntar agora: - Por que não se adota o ano sideral no calendário? Simplesmente porque os inícios das estações do ano são determinados pelo ano solar e não pelo sideral. Se usássemos o ano sideral, a cada 72 anos as estações do ano começariam um dia mais cedo, pois estaríamos acrescentado um dia ($20 \text{ min/ano} \times 72 \text{ anos} = 24 \text{ h}$). Com o passar dos anos, a diferença entre o início real de uma estação e o seu início no calendário aumentaria, chegando a 1 mês após 2.160 anos.

UNIDADE ASTRONÔMICA

O semi-eixo maior da órbita elíptica da Terra ao redor Sol é de 149.597.870 km, sendo denominada de unidade astronômica (UA). Veja a definição de elipse no Capítulo 3. A distância Terra-Sol varia de um valor mínimo, em torno de 147 milhões de quilômetros, a um máximo por volta de 152 milhões de quilômetros.

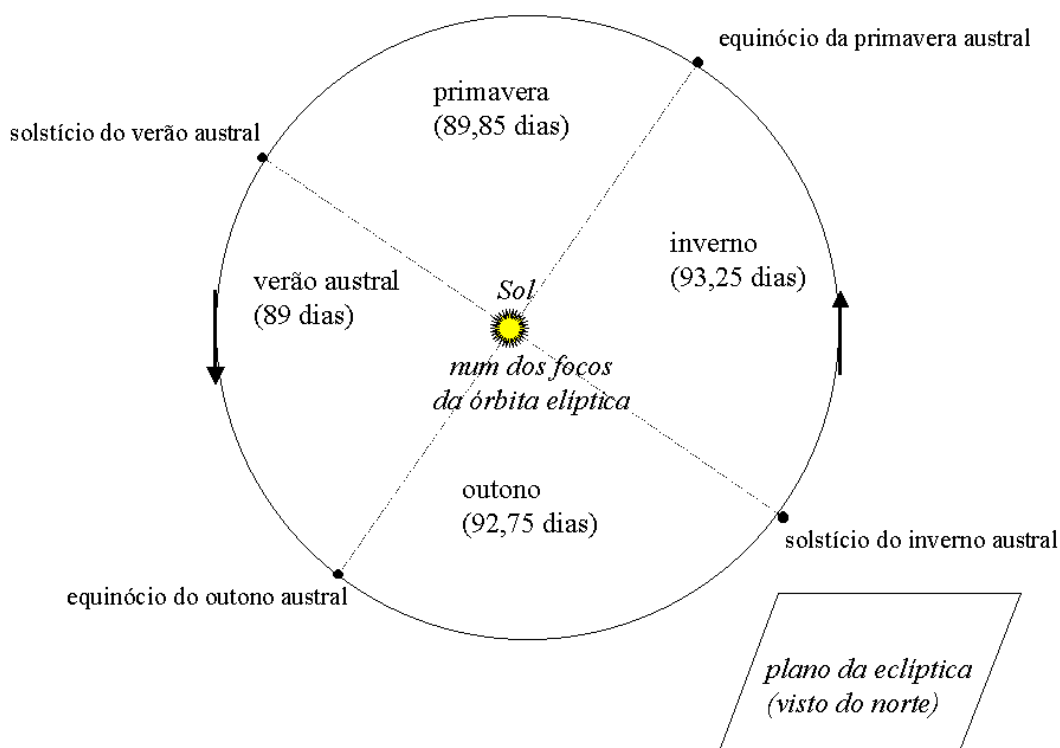


FIGURA 1.9 - A TRANSLAÇÃO DA TERRA (VISTA DO NORTE DA ECLÍPTICA), COM OS INÍCIOS DAS ESTAÇÕES DO HEMISFÉRIO SUL ASSINALADOS (ILUSTRAÇÃO FORA DE ESCALA).

1.5.5 ASPECTOS DO CÉU EM DIFERENTES ESTAÇÕES

A partir da visão da Terra, o Sol parece atravessar as constelações zodiacais anualmente, como se pode entender através da Figura 1.10. Quando o Sol se dispõe na direção de uma determinada constelação do Zodíaco, esta e várias outras ao norte e ao sul não podem ser visualizadas. Grande parte de uma faixa de quase 18 graus da esfera celeste (em ascensão reta centrada no Sol) não é visualizada devido ao ofuscamento

pelo Sol. Imagine que o céu fosse um gigantesco balão esférico de São João (sem boca) de tal modo que os pólos celestes fossem os dois pontos de encontro de todos os 20 gomos de largura de 18° cada. O Sol estaria no centro deste balão e a Terra (com rotação diária) transladaria dentro do balão ao redor do Sol central (como na Figura 1.10). A faixa de ascensão reta ofuscada pelo Sol corresponderia ao gomo do balão que estivesse na direção do Sol. Consequentemente, todos os demais “gomos” do céu poderiam ser observados ao longo da noite. O “gomo” celeste diametralmente oposto àquele ofuscado pelo Sol seria avistado preferencialmente à meia-noite. Vale lembrar que a extensão (norte-sul) visível de cada “gomo” celeste avistado seria dependente da posição em latitude do observador na Terra (veja ASPECTOS DO CÉU EM DIFERENTES LATITUDES, na seção DIAS E NOITES). Para as regiões equatoriais, poderíamos observar praticamente toda extensão de cada “gomo”. A partir do hemisfério sul da Terra, observaríamos preferencialmente a extensão sul dos “gomos”.

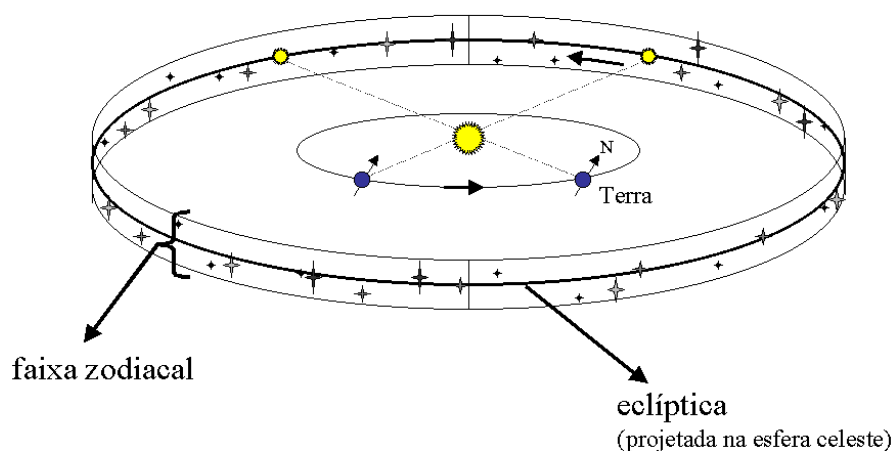


FIGURA 1.10 - MOVIMENTO APARENTE ANUAL DO SOL POR ENTRE AS CONSTELAÇÕES ZODIACIAS DEVIDO À TRANSLAÇÃO DA TERRA (ILUSTRAÇÃO FORA DE ESCALA).

A fim de ilustrar melhor, pensemos no caso do Brasil, mais especificamente na latitude de São José dos Campos. Nessa situação, o pólo celeste elevado é o Sul. Vamos fixar um determinado horário, 21h (tempo civil), para a observação do aspecto do céu noturno.

Na Tabela 1.1 são apresentadas as constelações mais fáceis de serem identificadas quanto à localização das mesmas na esfera celeste para o meio de cada estação. As constelações do Zodíaco são listadas conforme suas disposições de leste para oeste no céu. A(s) estrela(s) mais brilhante(s) destas constelações, facilmente observada(s) a olho nu, é(ão) apresentada(s) entre parênteses para algumas delas.

CONSTELAÇÕES ZODIACAIS

As constelações zodiacais representam, em sua maioria, contornos de animais; vem daí essa nomenclatura de origem grega (do grego *zodiakós*; *zoo*: animais e *kyklos*: círculo). Originalmente, foram concebidas pelos povos sumerianos, Antiga Mesopotâmia, e adaptadas pela antiga cultura grega. Classicamente, as constelações do Zodíaco são em número de doze. Contudo, existe mais uma que se situa na direção da Eclíptica: é a constelação do Ofiúco ou Serpentário, a qual foi concebida na mesma época das demais.

As Figuras 1.11 a 1.14 mostram as configurações projetadas do céu, no plano do Horizonte, para esse local às 21h nessas datas. Para utilizar essas cartas celestes sazonais com o intuito de reconhecimento do céu noturno, você deve segurá-las acima de sua cabeça fazendo coincidir as direções N-S e L-O com a orientação geográfica local (é preferível ficar de frente para o Sul).

BANDEIRA NACIONAL

A bandeira da República Federativa do Brasil possui um círculo azul estrelado. As estrelas representam os 26 estados brasileiros e o Distrito Federal, estando dispostas numa configuração espelhada para o céu do Rio de Janeiro, no momento da proclamação da República (8h30min, 15/11/1889). Em especial, podemos visualizar a constelação do Cruzeiro do Sul (invertida da esquerda para direita), como hipoteticamente seria vista de fora da esfera celeste. Quatro estados da Região Norte não estão representados nesse modelo oficial da bandeira.

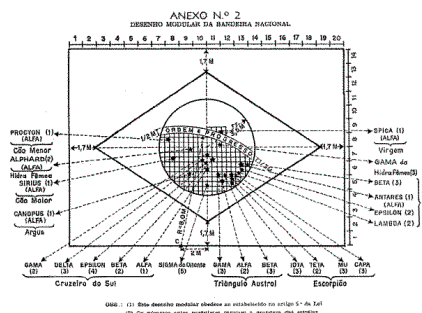


TABELA 1.1 - CONSTELAÇÕES VISÍVEIS POR ESTAÇÃO DO ANO PARA O HEMISFÉRIO SUL.

	Zodiacais	Austrais (S)	Equatoriais	Boreais (N)
Verão	Câncer ou Caranguejo, Gêmeos (Castor e Pollux), Touro (Aldebaran) e Áries ou Carneiro.	Cão Maior (Sirius).	Órion (Betelgeuse, Rigel e as “Três Marias”).	Cocheiro (Capella) e as zodiacais da estação.
Outono	Libra ou Balança, Virgem (Spica) e Leão (Regulus).	Cruzeiro do Sul (Acrux, Mimosa e Gacrux), Centauro (Rigel Kent e Hadar) e Libra.	Virgem.	Boieiro (Arcturus) e Leão.
Inverno	Capricórnio, Sagitário, Ofiúco e Escorpião (Antares).	As zodiacais da estação e Centauro (Rigel Kent e Hadar).	Águia (Altair) e Ofiúco.	Cisne (Deneb), Lira (Vega) e Hércules.
Primavera	Peixes, Aquário e Capricórnio.	Grou (Al Na’ir), Peixe Austral (Formalhaut), Eridano (Achernar) e Capricórnio.	Peixes e Aquário.	Andrômeda e Pégaso.

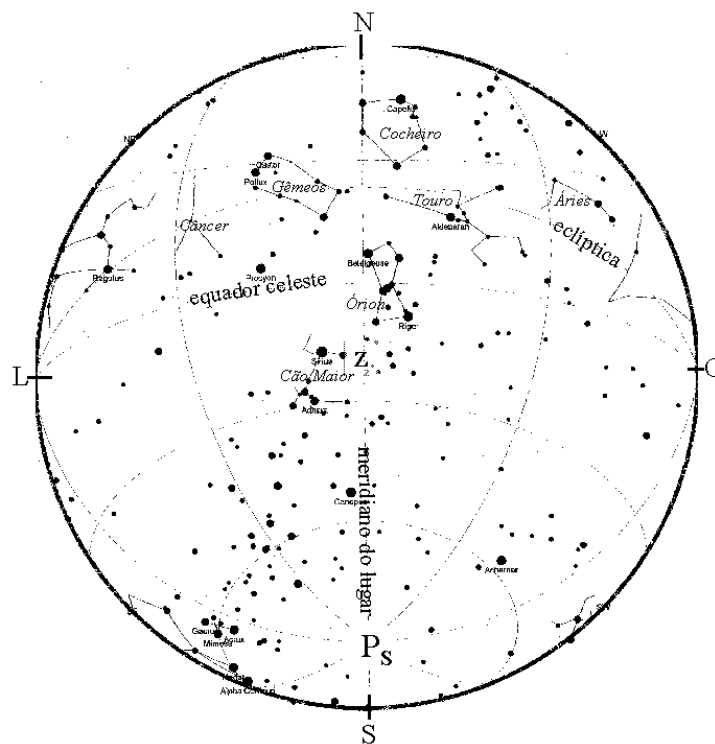


FIGURA 1.11 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DO VERÃO.

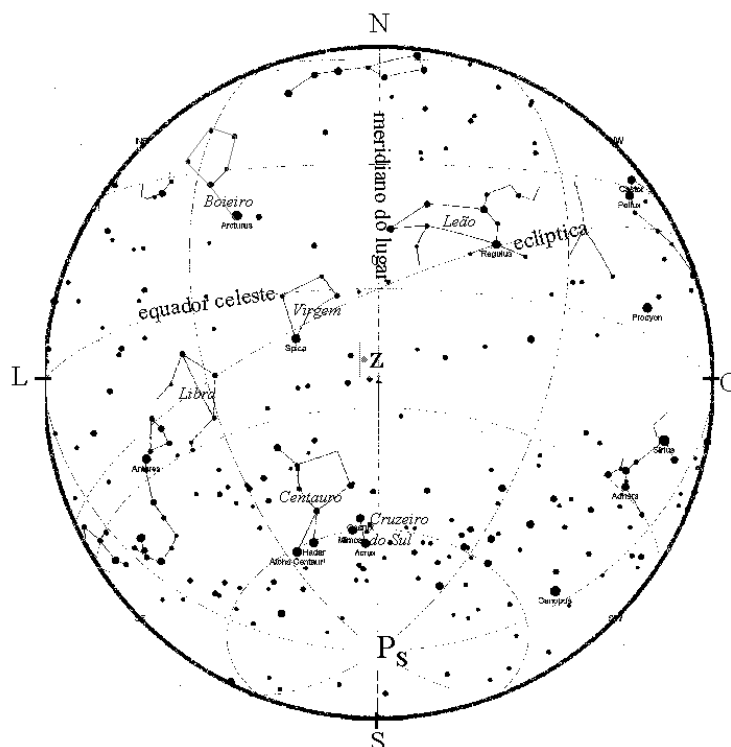


FIGURA 1.12 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DO OUTONO.

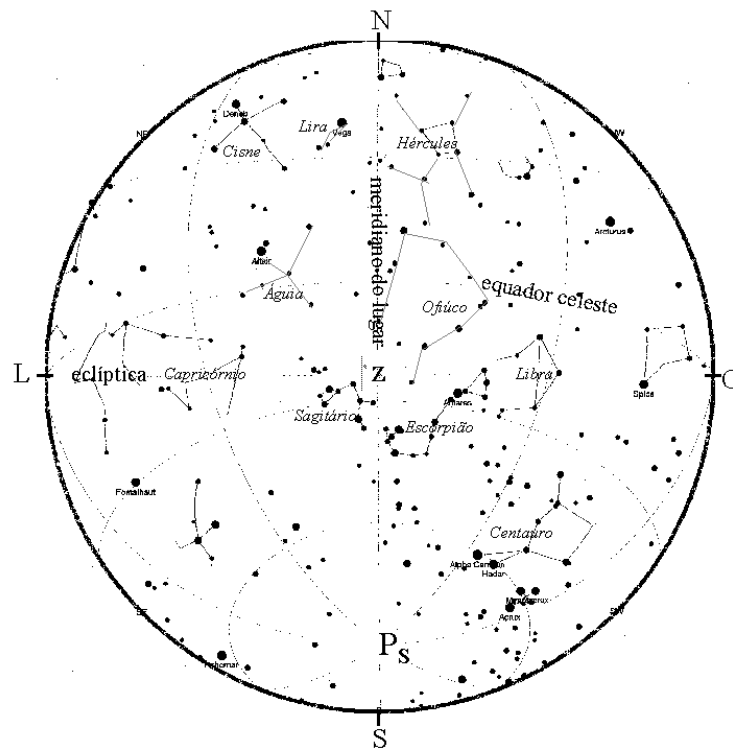


FIGURA 1.13 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DO INVERNO.

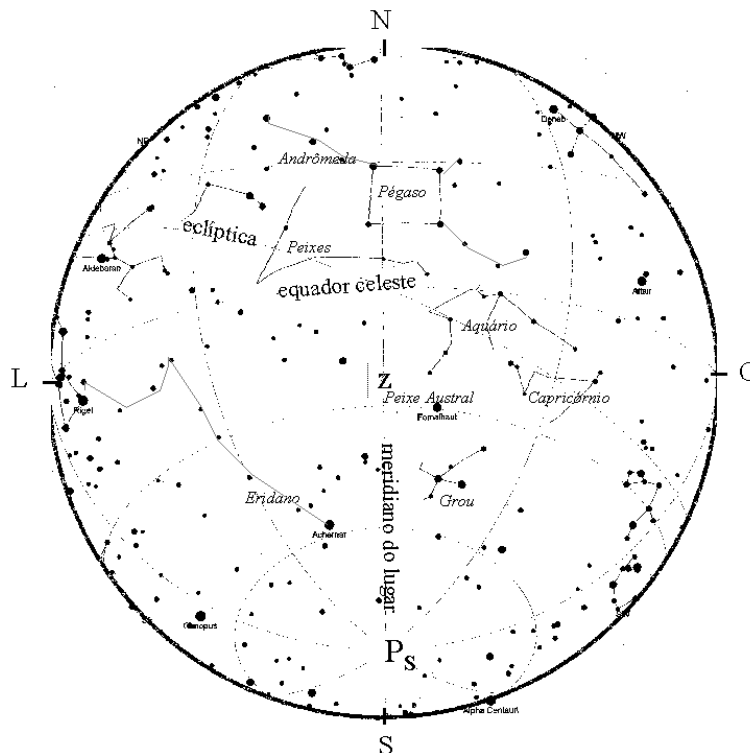


FIGURA 1.14 - PROJEÇÃO DO CÉU PARA SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ÀS 21H, PARA O MEIO DA PRIMAVERA.

1.6 FASES DA LUA

A Lua é o único satélite natural da Terra. Foi denominada, na antigüidade, de *Luna*, antiga cidade de Tucana (Itália) pelos romanos e *Selene*, irmã de Hélio e filha de Hipérion e Téia pelos gregos. É o astro mais brilhante do céu noturno.

As fases da Lua correspondem aos diferentes aspectos com que esta se apresenta no céu ao longo das noites e dos “dias claros” de um mês. Isso não é devido à projeção da sombra da Terra na Lua, como alguns podem pensar. Mas sim, devido à visualização que temos da Lua conforme ela orbita em torno da Terra (posição relativa entre a Lua, Terra e Sol). A fase da Lua é um fenômeno astronômico de observação simultânea para todo o globo terrestre (quando a Lua cheia é vista do Brasil, ela é também vista como tal em Portugal).

Com certa regularidade, a Lua ora atravessa a sombra da Terra (eclipse da Lua), ora projeta sua sombra na superfície terrestre (eclipse do Sol).

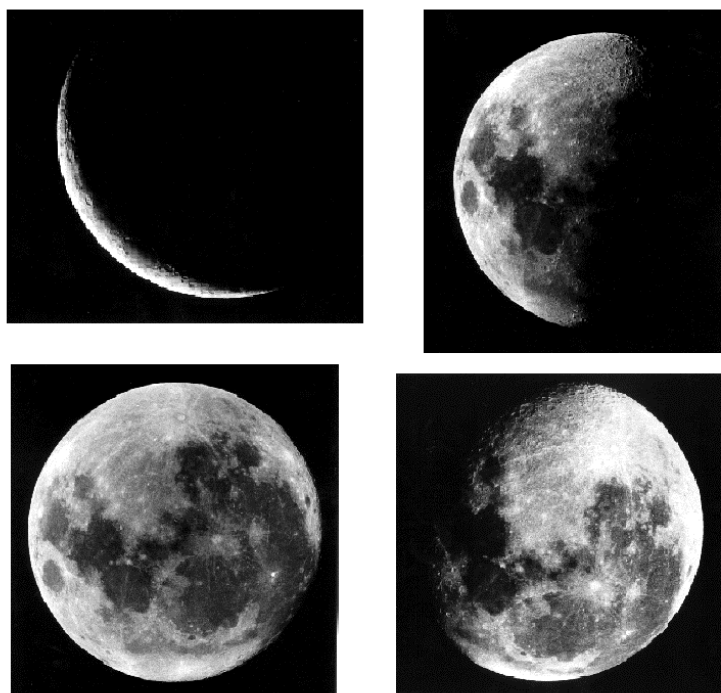


FIGURA 1.15 - A LUA EM FASES DISTINTAS (FOTOS DE ANDRÉ MILONE, NO OBSERVATÓRIO DO VALONGO/UFRJ, RIO DE JANEIRO, 1988).

1.6.1 ASTROS LUMINOSOS E ILUMINADOS

O Sol, assim como as outras estrelas, é um astro que produz e emite radiação eletromagnética em vários comprimentos de onda (ler os **Capítulos 2 a 5**); ou seja, as estrelas são fontes de ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama, em ordem crescente de energia luminosa. A Lua, os planetas (incluindo a Terra) e os corpos menores do Sistema Solar são astros iluminados pelo Sol. Portanto, a Lua e os planetas são visualizados por nós simplesmente porque refletem a luz visível solar incidente. A superfície da Lua reflete cerca de 7% da luz solar incidente.

1.6.2 TRANSLAÇÃO DA LUA

O intervalo de tempo que a Lua gasta para completar uma volta completa em torno do centro de massa do sistema Terra-Lua, em relação ao referencial das estrelas, é chamado de período sideral; é igual a 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 12 segundos (solares). Já o intervalo de tempo entre duas fases iguais sucessivas (ex. duas fases cheias) é denominado período sinódico ou, simplesmente, lunação; relativo ao referencial solar (o qual consequentemente definirá a duração do Dia Solar da Lua). Uma lunação dura 29 dias, 12 h, 44 min e 3 s (solares), cerca de 29 dias e meio, maior que o período sideral! É a base dos calendários lunares. Veja também a seção ANO SOLAR E LUNAÇÃO.

O movimento orbital da Lua (ao redor da Terra, em primeira aproximação) é realizado no mesmo sentido dos movimentos orbital e rotacional da Terra, ou seja, ocorre de oeste para leste. É fácil perceber isso: a Lua sempre “nasce” cerca de 50 minutos mais tarde, dia após dia, em consequência de seu movimento de oeste para leste. Aplicando-se novamente a regra da mão direita com o polegar para cima apontando para o norte, tem-se que a Lua translada ao redor da Terra no mesmo sentido que a Terra translada ao redor do Sol. A Figura 1.16 ilustra o movimento de translação da Lua.

A órbita da Lua não é circular mas sim elíptica, de modo que num dos focos da elipse se localiza o centro de massa do sistema Terra-Lua e não o centro da Terra como se poderia pensar. A distância entre os centros da Lua e Terra varia de 357.300 km a 407.100 km. A velocidade média de translação da Lua fica em torno de 3.700 km/h.

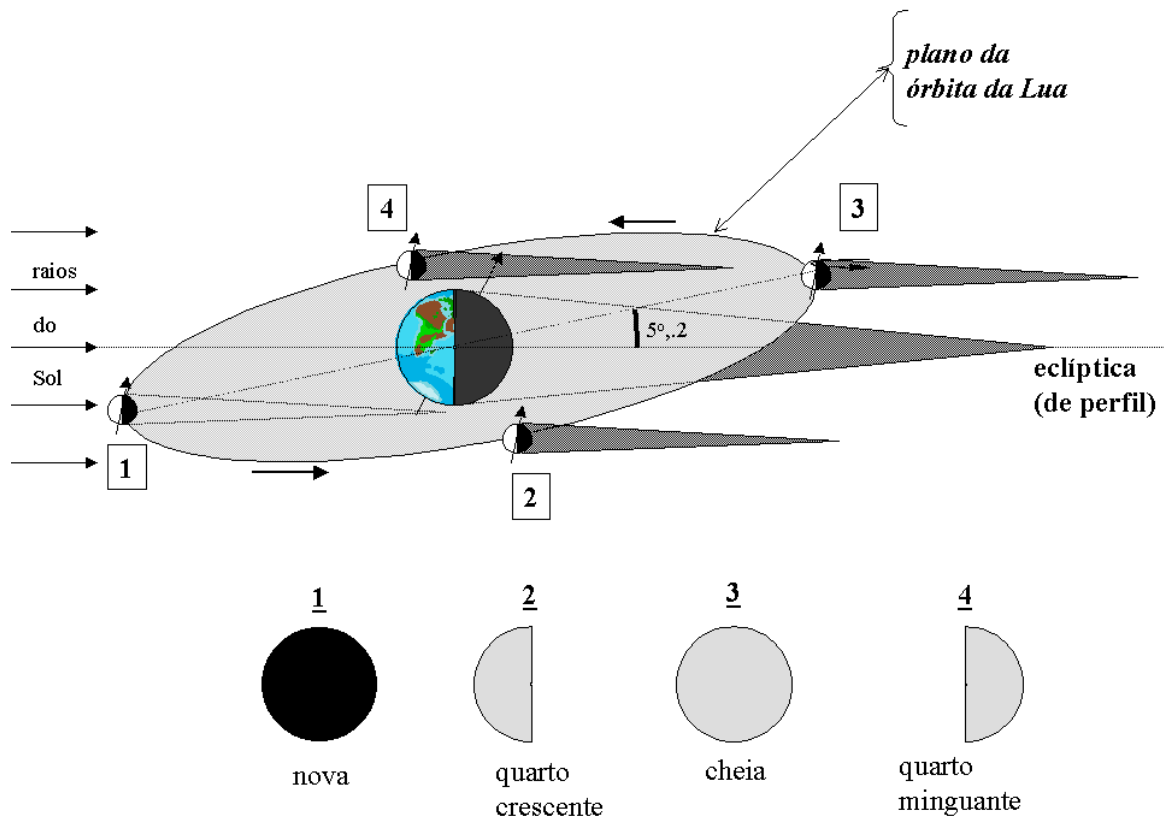


FIGURA 1.16 - A TRANSLAÇÃO DA LUA: SUAS FASES PRINCIPAIS COMO SÃO VISTAS DO HEMISFÉRIO SUL DA TERRA (ILUSTRAÇÃO FORA DE ESCALA).

O QUE É CENTRO DE MASSA?

Centro de massa de um corpo corresponde ao centro geométrico de sua distribuição de massa. É o ponto onde toda a massa do corpo pode ser concentrada para efeito cinemático. O centro de massa pode se situar dentro ou fora do corpo. Por exemplo, no caso de uma bola de futebol, o centro de massa localiza-se no centro dela; no caso de uma aliança de casamento o centro de massa situa-se no seu centro geométrico, externo ao meio material da aliança. O conceito de centro de massa pode ser aplicado para qualquer distribuição de matéria, inclusive para dois corpos. Sua localização depende das características da distribuição de massa (forma geométrica e densidade de matéria). Para dois corpos exatamente iguais (em forma, massa e densidade), o centro de massa do sistema está localizado no ponto equidistante de ambos. Se um dos dois corpos tiver maior massa, o centro de massa situar-se-á mais próximo dele.

1.6.3 ROTAÇÃO DA LUA E SUA FACE OCULTA

Além do movimento orbital ao redor da Terra, a Lua também possui um movimento de rotação em torno de si mesma.

O movimento rotacional da Lua também ocorre no mesmo sentido do seu movimento orbital. Pode-se usar a regra da mão direita para a sua visualização. A seta sobre a Lua, na Figura 1.16, ilustra o Pólo Norte de rotação; seria o polegar da mão direita.

A face “oculta” é a parte da Lua que não podemos avistar a partir da superfície terrestre (Figura 1.17). Em virtude do movimento orbital da Lua estar sincronizado com sua rotação (em 1:1), por questão de equilíbrio dinâmico evolutivo, a Lua tem sempre a mesma parte voltada para a Terra. Seu período sideral de rotação é igual ao seu período sideral de translação, isto é, o dia sideral da Lua dura cerca de 27 Dias Solares da Terra.

A face oculta não corresponde a 50% da superfície da Lua. Do ponto de vista terrestre, pode-se avistar mais que a metade devido a uma oscilação aparente da Lua denominada de libração, a qual corresponde simplesmente a uma questão de perspectiva ou paralaxe.

DEMONSTRE A SINCRONIA DOS MOVIMENTOS LUNARES

Enquanto uma pessoa fica parada representando a Terra (vamos fixar a Terra para um entendimento melhor), outra caminha em torno daquela, sempre com o rosto voltado para a Terra. Peça ao resto do grupo para observar se a pessoa que está representando a Lua girou em torno de si mesma. Ou, melhor ainda, pergunte se eles conseguiram visualizar outras partes da Lua além daquela vista pela Terra (ex. a nuca dessa pessoa). Faça-os refletir.

1.6.4 ASPECTOS DAS FASES LUNARES

Na fase de quarto crescente, a Lua está com a metade de seu hemisfério iluminado voltada para a Terra. Em certas ocasiões, com a forma parecida com a de um C para o hemisfério sul. Na fase cheia, toda a sua parte iluminada está voltada para a Terra. No quarto minguante, a Lua está com a outra metade de seu hemisfério iluminado voltada para a Terra; forma parecida com um D para o hemisfério sul, em determinadas vezes.

Finalmente, na fase nova, é sua parte não-iluminada pelo Sol que fica voltada para a Terra (não conseguimos ver a Lua!). A Figura 1.16 mostra a Lua nessas quatro fases principais.

Na verdade, as fases da Lua ocorrem de modo contínuo. Na Astronomia, a fase da Lua é conceituada através da fração iluminada do disco lunar voltado para a Terra, que pode ser quantificada de forma percentual ou não. Na fase nova, essa fração é nula, 0,5 (ou 50%) no quarto crescente, 1,0 (ou 100%) na fase cheia e novamente 0,5 no quarto minguante. Outro conceito astronômico adotado na definição da fase lunar é o ângulo Sol-Lua-Terra, denominado ângulo de fase, cujo vértice é a própria Lua. Esse ângulo na ocasião da Lua nova é próximo a 180° , 90° para o quarto crescente, próximo de zero para a fase cheia e novamente 90° para o quarto minguante.

A denominação “Lua crescente” é usada para representar o aspecto lunar entre as fases nova e cheia. O crescente lunar pode ser avistado no céu no fim da tarde e início da noite, sempre na parte oeste do céu. A Lua quarto crescente nasce ao meio-dia e se põe à meia-noite, aproximadamente.

A nomenclatura “Lua minguante” é adotada para o aspecto lunar entre as fases cheia e nova. Ao contrário da crescente, o minguante pode ser visto no fim da noite e início manhã, sempre a leste do Meridiano Local. A Lua quarto minguante nasce à meia-noite e se põe ao meio-dia do dia seguinte, aproximadamente.

A Lua cheia percorre o céu por praticamente toda a noite, surgindo por volta das 18h e se pondo em torno das 6h.

CURIOSIDADE: DIREÇÃO DO SOL E FASES DA LUA

Obviamente, a face iluminada da Lua aponta sempre para a direção do Sol. Isso pode ser aplicado para sabermos onde o Sol se pôs no Horizonte quando da fase crescente, ou de onde ele vai emergir quando a Lua é minguante. É interessante reparar que em muitas montagens fotográficas, exibindo a Lua no céu, há freqüentemente equívocos astronômicos como, por exemplo, mostrando a Lua cheia próxima a um Horizonte crepuscular.

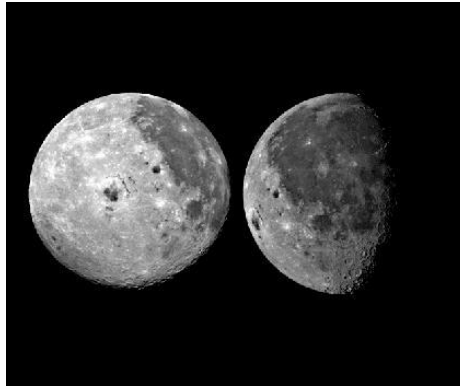


FIGURA 1.17 – A FACE OCULTA DA LUA VISUALIZADA EM DUAS IMAGENS. REPARE QUE A LUA ESTÁ NA SUA FASE NOVA!

1.7 ECLIPSES DA LUA E DO SOL

Na Astronomia, eclipsar significa esconder, encobrir, ou interceptar a luz vinda de um astro.

No Egito Antigo, os eclipses do Sol eram explicados como sendo ataques de uma serpente ao barco que transportava o Sol pelo céu. Os antigos chineses costumavam observar sistematicamente os fenômenos celestes. Registraram e previram diversos eclipses. Pensavam que um imenso dragão estivesse engolindo o Sol durante um eclipse solar. Então, faziam muito barulho para assustar o dragão e o Sol sempre reaparecia (nunca falhava!).

1.7.1 DISTÂNCIAS E DIMENSÕES DO SISTEMA SOL-TERRA-LUA

A olho nu, o tamanho angular da Lua é de aproximadamente $0^{\circ},5$. Por pura coincidência é semelhante ao tamanho angular do Sol. Deste modo, os dois parecem iguais em tamanho, porém não o são. Nota-se que a Lua está 400 vezes mais próximo da Terra do que o Sol, o qual é cerca de 400 vezes maior em diâmetro.

Hiparco (200 a.C.) calculou a distância e o tamanho da Lua por ocasião de um eclipse lunar, medindo a duração total da etapa umbral. Ele aplicou alguns conhecimentos geométricos, conjugados a outras medidas conhecidas na época (duração do mês lunar e dimensões angulares da Lua e do Sol).

A distância Terra-Sol em função da distância Terra-Lua foi calculada por Aristarco de Samus (300 a.C.). Ele observou simultaneamente a Lua em quarto crescente e o pôr do Sol. Quando o Sol estava no Horizonte, Aristarco mediu a separação angular entre a Lua e o Sol, a qual representa um dos ângulos do triângulo retângulo Terra-Lua-Sol (Figura 1.18), cujo vértice do ângulo reto (90°) é a Lua. O ângulo medido ficou em torno de 87° proporcionando uma distância Terra-Sol (TS) de 7.300.000 km, por volta de 19 vezes a distância média Terra-Lua (TL), ou seja, muito menor que o valor real ($TS \approx 389 TL$).

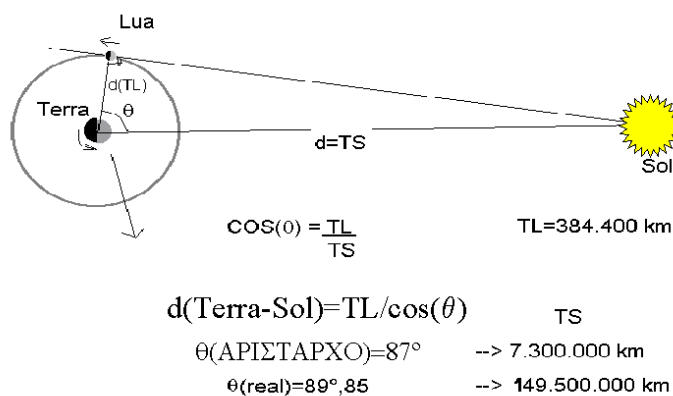


FIGURA 1.18 - CÁLCULO DA DISTÂNCIA TERRA-SOL FEITO POR ARISTARCO (300 A.C.).

TABELA 1.2 - ALGUNS DADOS FÍSICOS DO SOL, TERRA E LUA.

	Diâmetro equatorial	Massa (comparativa à Terra)	Volume (comparativo à Terra)	Distância média à Terra
Terra	12.756 km	1	1	-----
Lua	3.476 km	1/80	1/50	384.400 km
Sol	1.392.000 km	333.000	1.300.000	149.600.000 km

A Figura 1.19 esquematiza a ocorrência de um eclipse total da Lua. A Terra e a Lua estão representadas em tamanhos relativos proporcionais. Se a Terra tivesse 0,5 cm de diâmetro, a Lua deveria ter, aproximadamente, 1,25 mm de diâmetro. A distância Terra-Lua ($\cong 15$ cm), assim como a trajetória da Lua em volta da Terra, também são representadas em dimensões proporcionais. O Sol seria, nessa mesma escala relativa, uma esfera com aproximadamente 50 cm de diâmetro e estaria a uma distância de cerca 60 m à esquerda da folha de papel. O plano da órbita da Lua (em torno da Terra) não coincide com o plano da órbita da Terra (em torno do Sol). A órbita da Lua está apenas projetada na folha de papel, que está representando o plano da órbita da Terra. Deste modo, a trajetória da Lua está atravessando o papel na região da sombra da Terra.

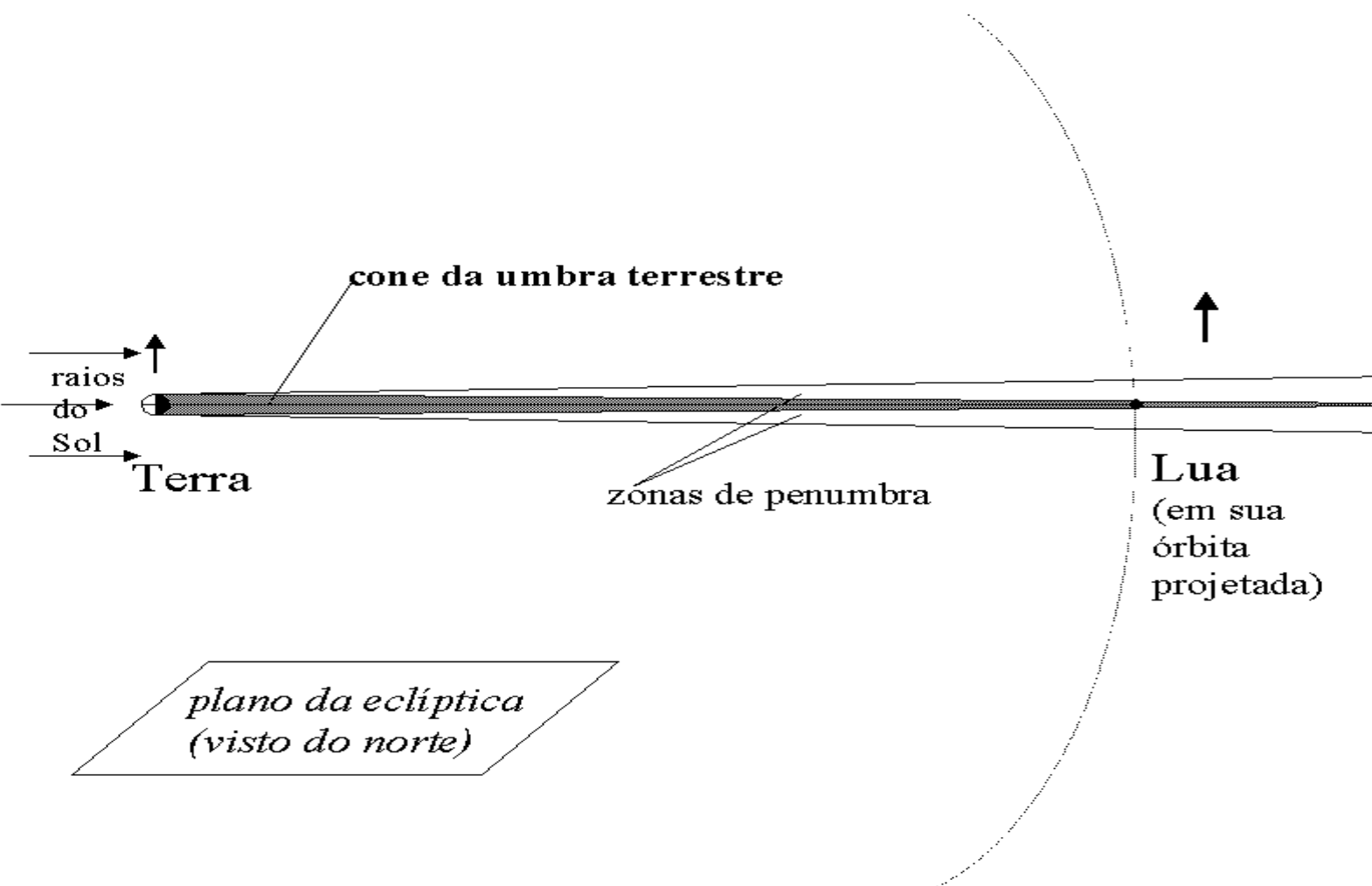


FIGURA 1.19 - ILUSTRAÇÃO EM ESCALA DE UM ECLIPSE TOTAL DA LUA.

1.7.2 TIPOS DE ECLIPSES

O Sol é uma fonte luminosa extensa. Tanto a Lua como a Terra projetam no espaço uma sombra em forma de um cone, cuja base é o próprio corpo, e uma penumbra. O cone de sombra situa-se interno à penumbra. Por definição, o cone umbral é a região da sombra que não recebe nenhuma luz solar direta e a penumbra a região que recebe luz solar de modo parcial. No entanto, para a Terra, que possui uma camada de ar ao seu redor, os limites do seu cone umbral e de sua penumbra não são bem definidos. A luz do Sol é refratada e espalhada quando atravessa a atmosfera terrestre, fazendo com que o cone umbral da Terra não seja totalmente escuro, e sim iluminado indiretamente por mais luz vermelha do que azul. O mesmo não ocorre com a sombra da Lua.

Os eclipses lunares somente ocorrem quando a Lua está na fase cheia. Num eclipse da Lua, ela percorre a penumbra e/ou a sombra da Terra. Apenas poderão ser observados do hemisfério da Terra onde é noite.

Há três tipos de eclipse da Lua: o total, o parcial e o penumbral. O eclipse lunar total acontece quando a Lua é totalmente obscurecida pelo cone de sombra da Terra, o parcial quando somente parte da Lua é obscurecida por esse cone e o penumbral quando a Lua percorre apenas a zona da penumbra terrestre (é o menos pronunciável dos três). Na ocasião de um eclipse total ou parcial, a Lua percorre a região de penumbra antes e depois de atravessar o cone umbral da Terra. A Figura 1.19 ilustra um eclipse total da Lua em escala.

Quando a Lua se situa na umbra terrestre durante um eclipse total, ela não é totalmente obscurecida em virtude da luz solar ser espalhada pela atmosfera da Terra. Pode-se avistar a Lua, freqüentemente, com uma coloração avermelhada em função do avermelhamento intenso da luz pela atmosfera de nosso planeta (leia o Capítulo 2).

Os eclipses do Sol ocorrem quando a Lua (na fase nova) se coloca entre o Sol e a Terra, projetando sua sombra e/ou penumbra na superfície terrestre. Podem ser parciais ou totais.

O eclipse solar parcial é quando o Sol é parcialmente “encoberto” pelo disco lunar. Há projeção somente da zona de penumbra sobre a Terra. Um tipo especial de eclipse solar parcial é o anular: quando o Sol, a Lua e a Terra ficam alinhados mas devido a uma

separação relativa maior da Lua a Terra, o Sol não é totalmente encoberto pela Lua restando apenas um anel visível do disco solar. O eclipse solar anular é observado apenas da região da superfície terrestre que está exatamente naquele alinhamento Sol-Lua-Terra; o eclipse é observado como parcial da região por onde a penumbra passa.

O eclipse solar total acontece quando a Lua projeta sobre a superfície terrestre tanto seu cone de sombra (a umbra lunar) como sua zona de penumbra (veja a Figura 1.20). Da região da superfície da Terra por onde a umbra da Lua passa, o eclipse é observado realmente como total. Das regiões da Terra por onde somente a penumbra lunar passa, avista-se um eclipse solar parcial.

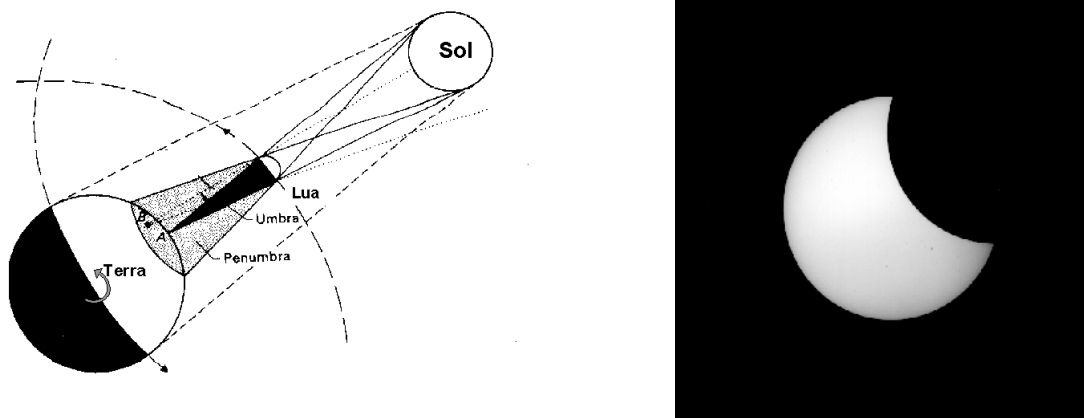


FIGURA 1.20 - ILUSTRAÇÃO DE UM ECLIPSE TOTAL DO SOL (FORA DE ESCALA) COM FOTOGRAFIA FEITA A PARTIR DO PONTO B DONDE É AVISTADO COMO PARCIAL (FOTO DE ANDRÉ MILONE, NO OBSERVATÓRIO DO VALONGO/UFRJ, RIO DE JANEIRO, 1987).

1.7.3 DURAÇÃO E PERIODICIDADE DOS ECLIPSES

A extensão média do cone da sombra terrestre é 1.400.000 km. O diâmetro desse cone na distância média da Lua é cerca de 9.000 km. A duração máxima da etapa umbral de um eclipse lunar é de 3 h e 20 min. A duração da observação de um eclipse da Lua depende do intervalo de tempo que a Lua (cheia) fica acima do Horizonte na noite do mesmo.

A duração da etapa umbral de um eclipse do Sol (totalidade), a partir de um único ponto terrestre, é de poucos minutos. Já a duração completa de um eclipse solar, incluindo as etapas penumbral (parcialidade) e umbral, fica por volta de 2 h.

Alguém poderia questionar: - Por que não há eclipses da Lua e do Sol em todos os meses, já que os eclipses lunares ocorrem na fase cheia da Lua e os solares na fase nova? A resposta é que os planos das órbitas da Terra (em torno do Sol) e da Lua (em volta da Terra) não são os mesmos. Se as trajetórias da Lua e da Terra ficassem num mesmo plano, todo mês haveria eclipses do Sol e da Lua. O eixo do cone da sombra terrestre situa-se no plano orbital da Terra. A inclinação entre o plano da órbita lunar e o plano da Eclíptica é de aproximadamente $5^{\circ},2$ (veja a Figura 1.16). Esse ângulo é pequeno mas não pode ser desprezado. Na distância em que a Lua se encontra, ela freqüentemente está fora do plano da órbita da Terra. Os eclipses só acontecem quando a trajetória da Lua atravessa a Eclíptica quando da ocasião das fases nova ou cheia.

Ocorrem no mínimo 2 eclipses por ano (que são solares) e, no máximo, 7 eclipses por ano: 2 lunares e 5 solares, ou 3 lunares e 4 solares. A cada 18 anos aproximadamente, todos os eclipses acontecem com a mesma regularidade. Esse intervalo de tempo é denominado de Período de Saros, quando ocorrem 41 eclipses do Sol e 29 eclipses da Lua.

Embora os eclipses lunares sejam menos freqüentes em número, a visualização desse tipo de eclipse a partir de qualquer ponto da Terra é facilitada em função de que basta ter a Lua acima do Horizonte para podermos observá-lo (além de um céu sem nuvens obviamente). A observação dos eclipses solares é apresentada na subseção anterior.

1.8 MARÉS DOS OCEANOS

Os pescadores que vivem no litoral conhecem muito bem a regularidade da subida e descida do nível do mar, as quais estão associadas à fase da Lua e ao período do dia. Os pescadores mais artesanais adaptam-se a essa variação do nível do mar. Em determinadas regiões da Terra, como no litoral do Norte e Nordeste do Brasil, é surpreendente a diferença entre o avanço e o recuo marítimos.

1.8.1 INTERAÇÕES SOL-TERRA-LUA

Além da iluminação pelo Sol que fornece energia para sustentar a vida, a Terra sofre a influência gravitacional dessa estrela. Se a Terra hipoteticamente parasse de se movimentar ao redor do Sol, ela seria atraída pela gravidade do mesmo, indo ao seu encontro.

Os movimentos de translação da Terra e da Lua podem ser tratados como movimentos de massas pontuais. Contudo, a Terra e a Lua são corpos de dimensões não-desprezíveis. Além do mais, eles não são rígidos como se poderia supor.

A força gravitacional do Sol ao ponto mais próximo da Terra é maior do que a força do lado diametralmente oposto da superfície; a diferença na distância desses dois pontos é igual, no máximo, ao diâmetro equatorial do planeta. Ocorre, então, o fenômeno denominado de efeito de maré. O mesmo pode-se ser dito para interação entre a Lua e a Terra. Tanto a crosta terrestre como a lunar sofrem o efeito de maré respectivamente devido à ação da Lua e da Terra. A atmosfera da Terra também sofre o efeito de maré, o qual não será tratado aqui. Não iremos tratar também do efeito de maré sobre a crosta da Terra mas sim sobre sua massa líquida superficial que se comunica entre si. Em função do efeito de maré sobre os oceanos, cujo predomínio é da Lua, o nível do mar eleva-se basicamente na direção do vetor resultante da composição do efeito de maré Lua-Terra (peso 2) e do efeito de maré Sol-Terra (peso 1). Na Figura 1.21, visualiza-se a ocorrência das marés altas na direção Sol-Terra-Lua, em pontos diametralmente opostos quando da ocasião da Lua cheia. As marés baixas ocorrem em pontos da superfície oceânica situados na direção perpendicular àquela direção. Na fase nova da Lua, a situação repete-se.

1.8.2 PERIODICIDADE DAS CHEIAS E VAZANTES

Sem a presença da Lua, os oceanos da Terra sentiriam o efeito de maré apenas devido ao Sol. As cheias, também chamadas de preamar, ocorreriam sempre próximo ao meio-dia (solar) e à meia-noite. As vazantes, ou baixa-mar, seriam às 6h (manhã) e 18h, aproximadamente. Ambas não seriam tão pronunciadas. Portanto, fixando-se um local na Terra a periodicidade das marés seria determinada apenas pela rotação terrestre.

Com a presença da Lua, a situação já é outra. Em virtude da Lua estar cerca de 400 vezes mais próxima do que o Sol, seu efeito de maré sobre a Terra é aproximadamente o dobro do efeito de maré devido ao Sol, mesmo que esse tenha 27 milhões de vezes mais massa do que a Lua. O diâmetro terrestre é cerca de 3% da distância Terra-Lua e, aproximadamente, 0,01% da distância Terra-Sol.

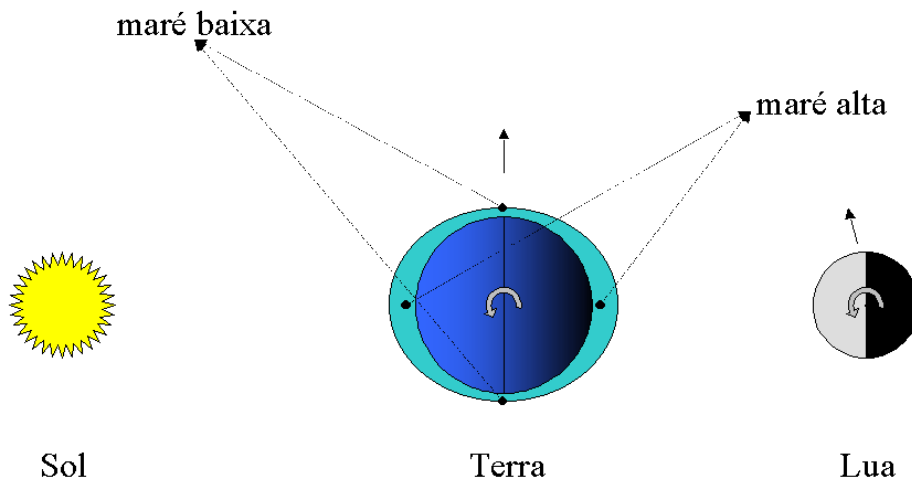


FIGURA 1.21 - ILUSTRAÇÃO DO EFEITO DE MARÉ TOTAL SOBRE OS OCEANOS DA TERRA NA OCASIÃO DA LUA CHEIA (VISÃO DO NORTE DA ECLÍPTICA, FORA DE ESCALA).

A intensidade das marés dos oceanos é dependente em primeira instância da fase lunar. Outros fatores são a configuração litorânea e a profundidade do mar (baía ou lagoa). Quanto menos profunda a plataforma continental, maior é o desnível entre as marés alta e baixa.

Nas fases nova e cheia da Lua, o efeito de maré da Lua é somado diretamente ao do Sol. Nessas ocasiões, as cheias e vazantes dos oceanos são as mais acentuadas de todo ciclo lunar (Figura 1.21). As cheias ocorrem ao meio-dia e à meia-noite aproximadamente. As vazantes acontecem nos instantes intermediários ($\approx 6h$ e $18h$). Quando a Lua está em quarto crescente, as cheias são observadas por volta das 4h (madrugada) e 16h e as

vazantes por volta das 10h e 22h. No quarto minguante, as marés altas ocorrem em torno das 8h e 20h e as baixas por volta das 2h e 14h. Modifique a Figura 1.21 para um entendimento melhor.

Portanto, tem-se uma maré alta a cada 12 horas sempre intercalada de uma maré baixa que também acontece a cada 12 horas. Partindo do máximo de uma vazante (que é bem curto), teremos de modo intermitente um período de 6 horas para a elevação do nível do mar até o máximo da cheia, seguido de um período igual para a diminuição do nível. Em virtude da Lua surgir no céu cerca de 50 minutos mais tarde a cada dia, os horários das cheias e vazantes atrasam-se da mesma maneira.

Como consequência, a subida e descida das marés dos oceanos provocam uma desaceleração da rotação da Terra por atrito entre a massa líquida e o fundo do mar. A velocidade de rotação da Terra está decrescendo de forma lenta e gradual. A cada 10 milhões de anos, o período de rotação terrestre aumenta em aproximadamente 4 minutos.

O QUE É FORÇA GRAVITACIONAL?

A força gravitacional entre dois corpos é sempre atrativa na direção que une seus centros de massa. A força gravitacional exercida pelo primeiro sobre o segundo é igual em intensidade e direção àquela exercida pelo segundo sobre o primeiro, porém atuam em sentidos opostos. A intensidade da força gravitacional, F_{12} , entre dois corpos é diretamente proporcional às massas de cada um, m_1 e m_2 (ou melhor, ao produto das massas) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros de massa de ambos, d . A intensidade da força gravitacional, em módulo, entre dois corpos é expressa a seguir. A constante de proporcionalidade, G , é a constante de gravitação universal (vale $6,67259 \times 10^{-11}$ Newton.m²/kg² no sistema MKS de unidades).

$$\mathbf{F}_{12} = \mathbf{G} \times (\mathbf{m}_1 \times \mathbf{m}_2) \div \mathbf{d}^2$$

A gravidade, g , é simplesmente a aceleração sofrida por um corpo quando sobre ele é exercida uma força gravitacional externa (ou melhor, quando esse corpo se situa no campo gravitacional de outro). Aceleração de um corpo é a variação de sua velocidade por unidade de tempo. A aceleração gravitacional ocorre na direção que une os centros de massas de ambos corpos e no sentido daquele de maior massa.

1.9 BIBLIOGRAFIA

Boczko, R. Astronomia. In: Maciel, W. J. ed. **Astronomia e Astrofísica**: texto do curso de extensão universitária do Departamento de Astronomia do Instituto Astronômico e Geofísico, USP. São Paulo, 1991.

Boczko, R. Estrutura do Sistema solar. In: Maciel, W. J. ed. **Astronomia e Astrofísica**: texto do curso de extensão universitária do Departamento de Astronomia do Instituto Astronômico e Geofísico, USP. São Paulo, 1991.

Caniato, R. **O céu**: Projeto Brasileiro de Ensino de Física. 3.ed. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1978. v.1

de Freitas, S. M. **O Universo**: nem aristotélico, nem ptomaico: apostila do curso dado pela Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: SMC/ PCRJ, 1997.

Milone, A. **Astronomia**: notas de aulas dadas no Colégio São Vicente de Paulo. Rio de Janeiro, 1997.

Mourão, R. R. de F. **Dicionário enciclopédico de Astronomia e Astronáutica**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

Rival, M. **Os grandes experimentos científicos**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.

Vicino, G. **Programa de la asignatura**: curso único de Astronomia. Uruguai, 1991. Material datilografado sem editor.

Vieira, F. **Identificação do céu.** Rio de Janeiro: Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro, SMC/PCRJ, 1996.