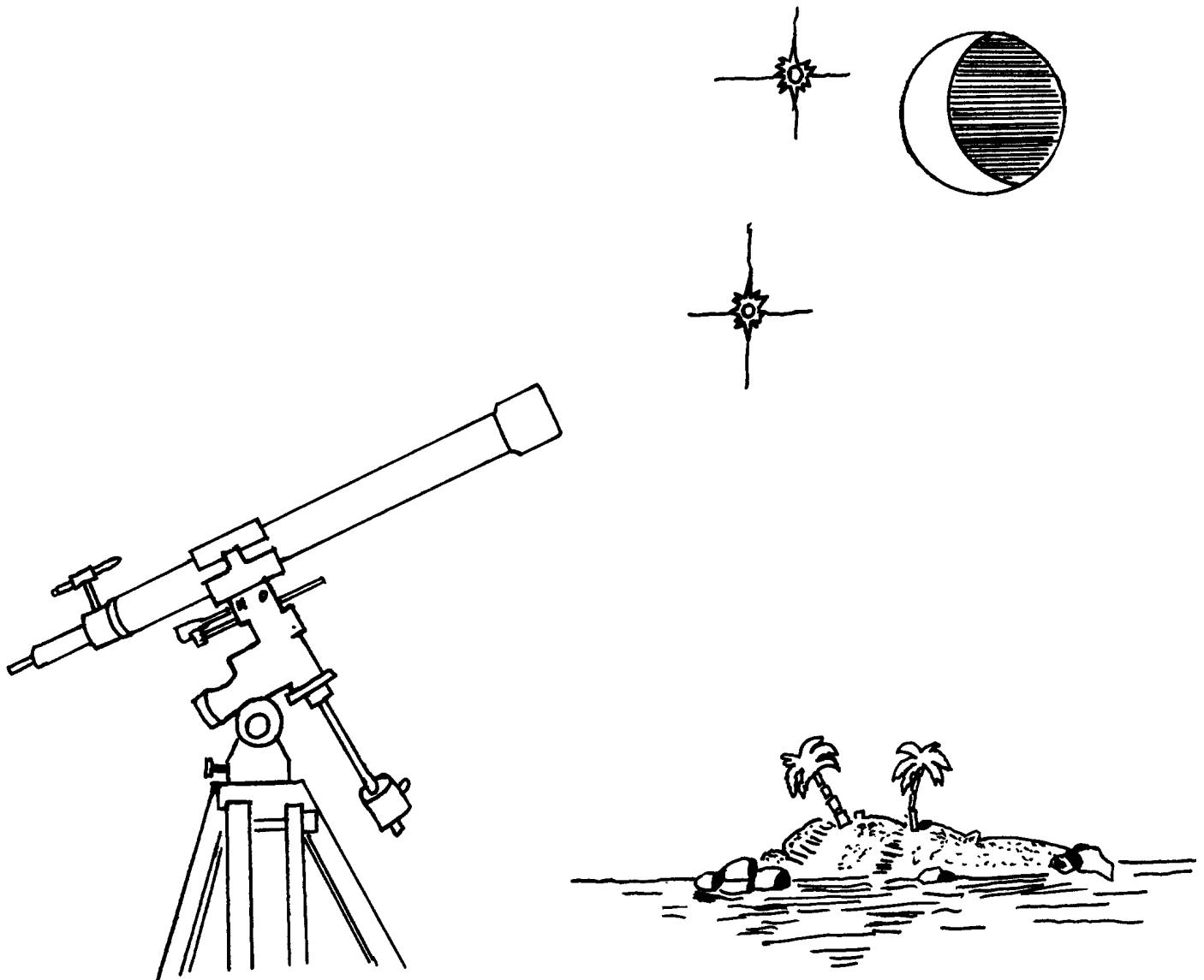


# **GEA - Grupo de Estudos de Astronomia**

## **Curso de Introdução à Astronomia**

### **Observação do Céu e Sistema Solar**



**Florianópolis, maio de 2003**

**GEA/UFSC/PLANETÁRIO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO S/N  
CEP 88049-000 FLORIANÓPOLIS - SC  
FONE (048) 331-9241**

# ÍNDICE ANALÍTICO

<b>Capítulo 1 - GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introdução.....	1
1.2. Conceito e classificação .....	1
1.3. Resumo histórico .....	1
1.4. Definições básicas.....	1
<b>Capítulo 2 - ESFERA CELESTE.....</b>	<b>1</b>
2.1. Introdução.....	1
2.2. Movimento aparente diário da esfera celeste. ....	1
2.3. Planos e Direções Fundamentais da Esfera Celeste.....	1
2.4. Movimento Aparente Anual do Sol .....	1
2.5. Obliquidade da eclíptica e direção de referência. ....	1
2.6. Coordenadas equatoriais de um astro. ....	1
2.7. Variação das coordenadas equatoriais.....	1
2.7.1 - Movimento próprio .....	1
2.7.2 - Mobilidade do sistema de referência (precessão lunisolar) .....	1
2.8. A Esfera Celeste vista de um ponto da superfície da Terra.....	1
<b>Capítulo 3 - INSTRUMENTOS ASTRONÔMICOS .....</b>	<b>1</b>
3.1. Introdução.....	1
3.2. O Olho. ....	1
3.3. Conceitos básicos.....	1
3.3.1 Objetivas. ....	1
3.3.2 Oculares .....	1
3.3.3 Aumento e pupila de saída.....	1
3.3.4 Luminosidade .....	1
3.3.5 Magnitude Limite .....	1
3.3.6 Poder separador.....	1
3.3.7 Campo.....	1
3.4. O Binóculo .....	1
3.5. Os Telescópios. ....	1
3.5.1 Telescópios refratores.....	1
3.5.2 Telescópios refletores. ....	1
3.6. Montagens para telescópios .....	1
3.6.1 Montagem azimutal. ....	1
3.6.2 Montagem equatorial.....	1
<b>Capítulo 4 - AS CONSTELAÇÕES.....</b>	<b>1</b>
4.1. Introdução.....	1
4.2. O zodíaco .....	1
4.3. As noites de verão .....	1
4.4. As noites de outono .....	1
4.5. As noites de inverno .....	1
4.6. As noites de primavera .....	1
4.7. Constelações circumpolares.....	1
4.8. Cartas celestes .....	1

4.8.1. Pólo sul celeste .....	1
4.8.2. Região equatorial .....	1
4.8.3. Região equatorial .....	1
4.8.4. Região equatorial .....	1
4.8.5. Pólo norte celeste.....	1
<b>Capítulo 5 - OBSERVAÇÃO DAS ESTRELAS .....</b>	<b>1</b>
5.1. Introdução.....	1
5.2. Nomenclatura .....	1
4.3. Brilho e cores.....	1
4.4. Estrelas duplas e variáveis .....	1
4.4.1 Estrelas duplas.....	1
4.4.2 Estrelas variáveis .....	1
4.5. Movimentos próprios .....	1
<b>Capítulo 6 - OBSERVAÇÃO DOS PLANETAS.....</b>	<b>1</b>
6.1. Denominação.....	1
6.2. Localização no céu .....	1
6.3. Movimentos .....	1
6.4. Variação do brilho e diâmetro aparentes .....	1
6.5. Observação dos planetas, da Lua e do Sol .....	1
6.5.1 Observação de Mercúrio .....	1
6.5.2 Observação de Vênus.....	1
6.5.3 Observação de Marte.....	1
6.5.4 Observação de Júpiter .....	1
6.5.5 Observação de Saturno .....	1
6.5.6 Observação de Urano, Netuno e Plutão.....	1
6.5.7 Observação da Lua .....	1
6.5.8 Observação do Sol.....	1
6.5.9 Observação de eclipses .....	1
<b>Capítulo 7 - OBSERVAÇÃO DE OUTROS CORPOS CELESTES .....</b>	<b>1</b>
7.1. Introdução.....	1
7.2. Meteoros.....	1
4.3. Cometas .....	1
4.3.1. Composição .....	1
4.3.2. As órbitas dos cometas .....	1
4.3.3. O brilho dos cometas .....	1
7.4. Via Láctea.....	1
7.5. Aglomerados globulares .....	1
7.6. Aglomerados abertos.....	1
7.7. Nebulosas.....	1
7.8. Galáxias.....	1
<b>Capítulo 8 – O SISTEMA SOLAR – Parte 1.....</b>	<b>1</b>
8.1. Estrutura do Sistema Solar .....	1
8.1.1. Introdução .....	1
8.1.2. O Sol .....	1
8.1.3. Os Planetas e seus satélites .....	1
8.1.4. Os Asteróides.....	1

8.1.5. Meteoróides.....	1
8.1.6. Cometas .....	1
<b>Capítulo 8 – O SISTEMA SOLAR - Parte 2 .....</b>	<b>1</b>
8.2. Dinâmica do Sistema Solar.....	1
8.2.1. Introdução .....	1
8.2.2. Órbitas dos planetas .....	1
8.1.3. Configurações planetárias relativas ao Sol e à Terra.....	1
8.1.3.1 Planetas inferiores.....	1
8.1.3.2 Planetas superiores.....	1
8.2.4. Relações entre os diversos períodos planetários.....	1
8.2.5. As leis de Kepler. As leis de Newton.....	1
8.2.5.1 As leis de Kepler .....	1
8.2.5.2 As leis de Newton.....	1
8.2.6. Elementos orbitais.....	1
<b>Capítulo 9 - O SOL .....</b>	<b>1</b>
9.1. Introdução.....	1
9.2. Principais parâmetros físicos do Sol.....	1
9.3. Estrutura do Sol.....	1
9.4. Fonte de energia do Sol.....	1
<b>Capítulo 10 – SISTEMA TERRA-LUA – Parte 1 .....</b>	<b>1</b>
10.1. A Terra.....	1
10.1.1. Aspectos morfológicos .....	1
10.1.1.1. Dados numéricos.....	1
10.1.1.2. A atmosfera .....	1
10.1.1.3. Geologia e interior do planeta .....	1
10.1.2. Aspectos dinâmicos .....	1
10.1.2.1 Os movimentos da Terra.....	1
10.1.2.2 As estações do ano.....	1
10.1.2.3 Cinturão de Van Allen.....	1
<b>Capítulo 10 - SISTEMA TERRA-LUA – Parte 2 .....</b>	<b>1</b>
10.2. A Lua .....	1
10.2.1. Introdução .....	1
10.2.2. Principais características orbitais .....	1
10.2.3. Posições relativas Sol-Terra-Lua .....	1
10.2.3.1 Fases da Lua.....	1
10.2.3.2 Eclipses do Sol.....	1
10.2.3.3 Eclipses da Lua.....	1
10.2.4. Principais características físicas.....	1
10.2.4.1 O interior da Lua.....	1
10.2.4.2 A superfície da Lua.....	1
<b>Capítulo 11 - PLANETAS TERRESTRES .....</b>	<b>1</b>
11.1. Introdução.....	1
11.2. Mercúrio.....	1
11.3. Vênus .....	1

11.4. Terra .....	1
11.4.1 A Lua.....	1
11.5. Marte .....	1
11.5.1 Os satélites de Marte .....	1
<b>Capítulo 12 - PLANETAS JOVIANOS.....</b>	<b>1</b>
12.1. Introdução.....	1
12.2. Júpiter.....	1
12.2.1 Sistema de anéis de Júpiter .....	1
12.2.2 Sistema de satélites de Júpiter.....	1
12.3. Saturno.....	1
12.3.1 Sistema de anéis de Saturno .....	1
12.3.2 Sistema de satélites de Saturno.....	1
12.4. Urano.....	1
10.4.1 Sistema de anéis de Urano .....	1
12.4.2 Sistema de satélites de Urano.....	1
12.5. Netuno .....	1
12.5.1 Sistema de anéis de Netuno .....	1
12.5.2 Sistema de satélites de Netuno.....	1
12.6. Plutão e Caronte.....	1
12.7. Planeta X .....	1
<b>Capítulo 13 - PEQUENOS CORPOS.....</b>	<b>1</b>
13.1. Introdução.....	1
13.2. Asteróides.....	1
13.3.Cometas .....	1
<b>Capítulo 14 - FORMAÇÃO E ENDEREÇO DO SISTEMA SOLAR .....</b>	<b>1</b>
14.1. Introdução.....	1
14.2. Teoria da formação do sistema solar.....	1
14.3. Endereço completo da Terra .....	1
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>1</b>
<b>ANEXO - Características físicas e orbitais do sistema solar .....</b>	<b>1</b>
A1. Sol .....	1
A.1.1. Características físicas do Sol.....	1
A.1.2. Características estruturais do Sol .....	1
A.2. Mercúrio .....	1
A.2.1. Características físicas de Mercúrio .....	1
A.2.2. Características estruturais de Mercúrio .....	1
A.2.3. Características orbitais de Mercúrio.....	1
A.3. Vênus .....	1
A.3.1. Características físicas de Vênus.....	1
A.3.2. Características estruturais de Vênus .....	1
A.3.3. Características orbitais de Vênus .....	1
A.4. Terra.....	1
A.4.1. Características físicas da Terra .....	1
A.4.2. Características estruturais da Terra.....	1
A.4.3. Características orbitais da Terra .....	1

A.5. Lua .....	1
A.5.1.Características físicas da Lua .....	1
A.5.2. Características estruturais da Lua .....	1
A.5.3. Características orbitais da Lua.....	1
A.6. Marte .....	1
A.6.1.Características físicas de Marte .....	1
A.6.2. Características estruturais de Marte .....	1
A.6.3. Características orbitais de Marte .....	1
A.7. Júpiter .....	1
A.7.1.Características físicas de Júpiter .....	1
A.7.2. Características estruturais de Júpiter.....	1
A.7.2. Características orbitais de Júpiter.....	1
A.8. Saturno.....	1
A.8.1.Características físicas de Saturno .....	1
A.8.2. Características estruturais de Saturno.....	1
A.8.3. Características orbitais de Saturno .....	1
A.9. Urano .....	1
A.9.1.Características físicas de Urano .....	1
A.9.2. Características estruturais de Urano.....	1
A.9.3. Características orbitais de Urano.....	1
A.10. Netuno .....	1
A.10.1. Características físicas de Netuno .....	1
A.10.2. Características estruturais de Netuno.....	1
A.10.3. Características orbitais de Netuno .....	1
A.11. Plutão .....	1
A.11.1. Características físicas de Plutão.....	1
A.11.2. Características estruturais de Plutão .....	1
A.11.3. Características orbitais de Plutão .....	1
A.12. Tabela de satélites planetários.....	1
<b>Glossário .....</b>	<b>1</b>

# **CAPÍTULO 1**

## ***Generalidades***

***Adolfo Stotz Neto***

# **Capítulo 1 - GENERALIDADES**

## **1.1. Introdução**

A primeira atividade científica de pesquisa que interessou ao homem foi, sem dúvida, a Astronomia. Através da observação e do estudo dos astros, suas posições relativas e seus ciclos de aparecimento, os povos antigos determinavam a contagem do tempo, as atividades agrícolas e sua orientação geográfica. Hoje, em função da vida moderna, quase nos é imperceptível que a duração do dia, do ano, as estações são todos fenômenos astronômicos e que a importância deles em nossas vidas é fundamental. Estudar Astronomia é se dedicar a uma ciência que tem por objetivo observar e compreender o Universo Cósmico, deslumbrando o estudante com o portentoso e natural espetáculo de qual nosso planeta é membro efetivo.

Ao leitor deste trabalho e aluno iniciante em Astronomia, pretende-se passar noções básicas de como observar e reconhecer os diferentes astros que habitam nosso céu de Florianópolis. Para isto, o GEA está oferecendo, em conjunto com o Planetário da UFSC, esta possibilidade de você se iniciar em Astronomia prática e o Sistema Solar.

## **1.2. Conceito e classificação**

Pode-se dizer que a Astronomia é a ciência que estuda o Universo. Mais precisamente, o Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica, autoria de Ronaldo R. F. Mourão, define Astronomia como sendo "a ciência dos astros e mais genericamente de todos os objetos e fenômenos celestes".

A classificação e divisão da Astronomia é possível sob diversos enfoques, sendo portanto possível de variações múltiplas. A que adotamos aqui mostra um aspecto que é, talvez, o mais comumente utilizado. Outras classificações não são invalidadas pela que aqui adotamos.

Podemos dividir a Astronomia em três grandes grupos:

- ➲ Astrofísica: ramo da Astronomia que trata da constituição, propriedades físicas e evolução dos objetos celestes e dos diversos meios que os compõem.
- ➲ Astrometria: ramo da Astronomia que trata da medida, posição, dimensões e movimento dos corpos celestes.
- ➲ Astronáutica: ciência da navegação no exterior do planeta Terra.

Cada um destes grupos pode agora ser dividido de acordo com as suas atividades específicas, e então teremos:

## ① Astrofísica:

Astroquímica - Ciência que se ocupa do estudo químico do espaço exterior à Terra.

Astrostática - Estudo dos volumes dos astros e suas distâncias.

Astrogeologia - Ciência da aplicação da Geologia ao estudo dos solos dos astros.

Astrobiologia (exobiologia) - Estudo dos organismos vivos de outros astros. Subdivide-se em Astrobotânica e Astrozoologia.

Radioastronomia - Ciência que utiliza ondas de rádio emitidas por corpos celestes como meio para obtenção de dados.

Radarastronomia - Estudos de ondas emitidas da Terra e refletidas pelos astros - alvo.

Astrofísica de altas energias - Ramo da Astrofísica que estuda os raios cósmicos, as radiogaláxias, os quasares e os pulsares, ou seja, os objetos que envolvem física de altas energias em sua natureza.

Meteorografia - Ramo da Astrofísica que estuda e se ocupa dos meteoros.

Astronomia estelar - Ramo que se ocupa exclusivamente das estrelas.

Cometografia - Ramo que estuda e se ocupa dos cometas.

Astronomia de raios gama, raios X e raios infravermelhos - Ramos que se ocupam com o universo nas radiações mencionadas.

Mecânica Celeste - Estudo dos movimentos dos astros sob ação da gravitação universal, podendo ser estudada também em Astrometria.

Cosmologia - Ciência que estuda a estrutura, evolução e origem do universo como um todo.

Cosmogonia - Ciência que estuda a formação das galáxias a partir de um meio primordial. Também significa a ciência que estuda a formação do sistema solar.

## ② Astrometria:

Astronomia de campo - Ramo da Astrometria que trata da determinação precisa das coordenadas geográficas de um ponto sobre a superfície da Terra.

Astrofotografia - Estudo da Astronomia através da técnica fotográfica.

Astrofotometria - Estudo da medição luminosa dos astros.

Arqueoastronomia - Estudo dos conhecimentos astronômicos de povos antigos.

### ③ Astronáutica:

Astronomia espacial - Ramo que emprega a tecnologia espacial no estudo da Astronomia.

Astrodinâmica - Ciência que aplica a mecânica celeste na Astronáutica e Geofísica.

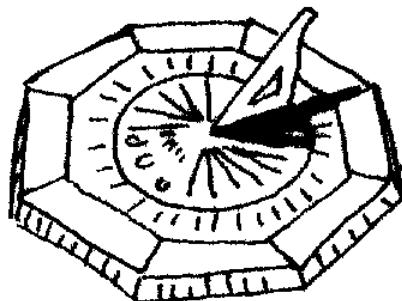
Astriônica - Estudo da aplicação da Eletrônica aos vôos espaciais.

Astropsicologia e Astrosociologia - Estuda a influência dos vôos espaciais no astronauta e na comunidade envolvida.

## 1.3. Resumo histórico

Calcula-se hoje, a idade do universo como algo em torno de vinte bilhões de anos (20.000.000.000). Nossa planeta, neste mesmo cálculo, não teria mais que 4,5 bilhões de anos. O homem na Terra não surgiu há mais de uns poucos milhões de anos. O interesse pela Astronomia aparece gravado no máximo a uns 5.000 anos atrás. Portanto, estamos na presença de uma das mais antigas ciências desenvolvidas pelo homem, porém sua existência é insignificante quando comparada com o tamanho e a idade do universo.

Um dos mais antigos documentos que se conhecem é um relógio originário da China, que utilizava o Sol para o correr das horas.

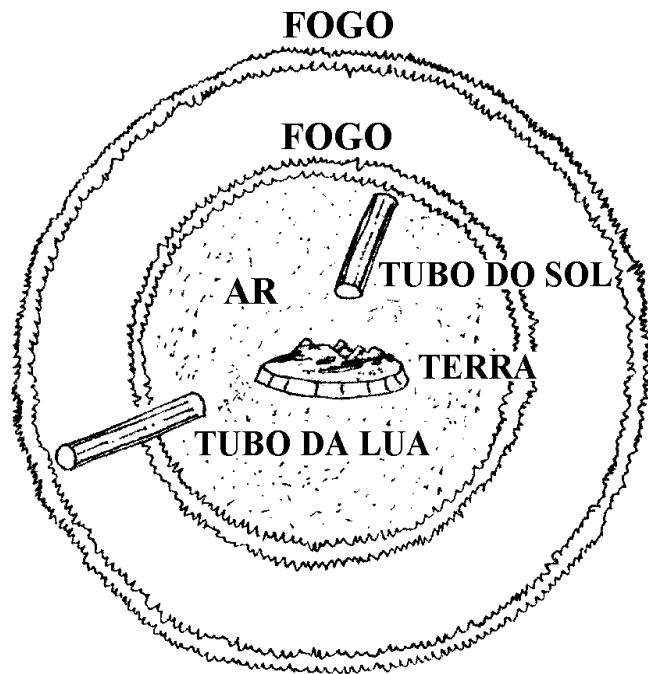


*Figura 1.1. Relógio de sol antigo.*

Nestes tempos, as fantasias e os mitos povoavam os céus dos homens, de onde se originaram os nomes e as crenças fabulosas acerca dos astros e sua influência. No começo, os povos atribuíam poderes mágicos aos elementos que anunciam as estações, as colheitas, os períodos de frio, calor e o rumo das jornadas. Assim é que por muito tempo, e talvez até hoje, para a maioria dos não esclarecidos, a Astrologia se confunde com ciência.

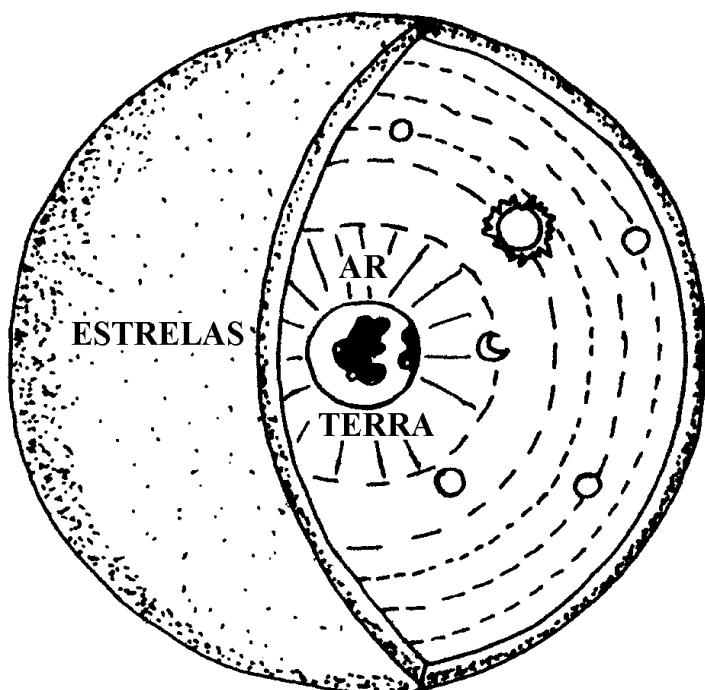
Foram os gregos os primeiros a tratar com um certo rigor científico os movimentos dos astros no céu. Se bem que seus conceitos estivessem na maioria das vezes equivocados, aperfeiçoaram algumas idéias dos egípcios e babilônios, dando-lhes algum cunho científico.

Em meados de 600 a.C., Anaximandro propõe ser a Terra um corpo cilíndrico imerso no ar, tendo a sua volta círculos de fogo. Tubos compridos davam acesso à visão destes anéis de fogo, propiciando o Sol e a Lua, além das estrelas.



*Figura 1.2. O Universo, segundo Anaximandro.*

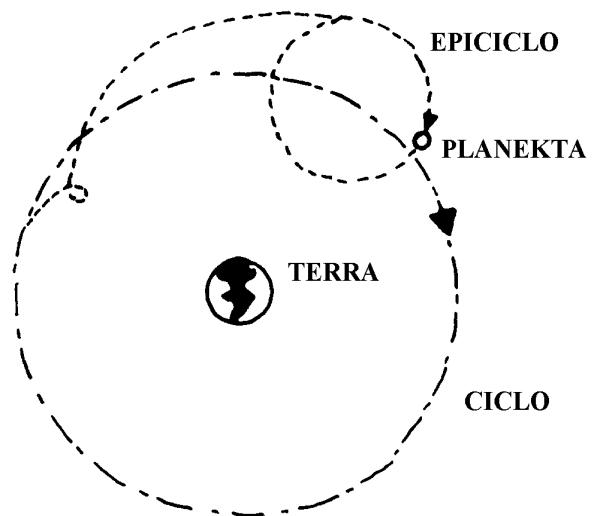
Em 560 a.C., Pitágoras e Filolaus concluíram que a Terra era idêntica aos astros do céu. Em 406 a.C., Eudóxio, discípulo de Platão, propôs a primeira teoria das esferas homocêntricas. Para os gregos, a esfera representava a perfeição, a forma da divindade. A idéia do filósofo teve por isso, imediata e duradoura aceitação. Em 380 a.C., Aristóteles aperfeiçoou o sistema de Eudóxio, introduzindo um ente físico, o cristal, como responsável pelo arrasto dos astros em redor da Terra, que deveria ocupar o centro do sistema.



*Figura 1.3. O Universo, segundo Eudóxio.*

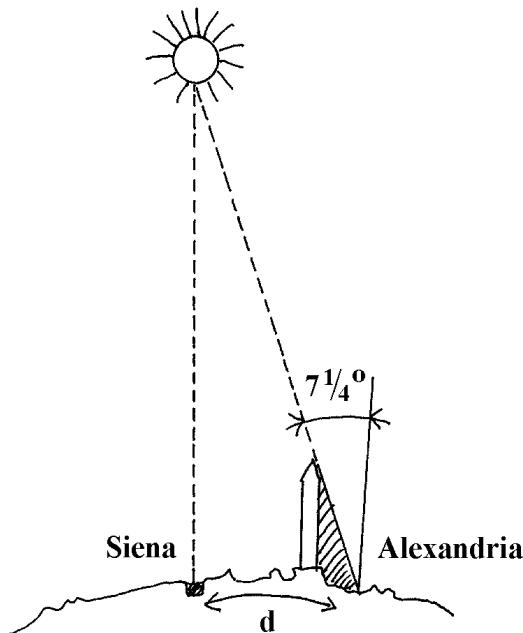
Apolônio, discípulo de Aristóteles, notou que algumas estrelas descreviam caminhos irregulares no céu, seu movimento de vai-e-vem, perturbava o perfeito sistema do mestre. Para encaixar tais astros no sistema geocêntrico, propôs a teoria dos ciclos e epiciclos, que será mais tarde aperfeiçoada por Ptolomeu.

Aos astros que tinham este comportamento singular, Apolônio denominou Planektas, que significa estrela errante.



*Figura 1.4. Movimento dos planetas por ciclos e epiciclos.*

Por volta de 276 a.C., Eratóstenes calcula o diâmetro da Terra, utilizando-se das diferenças de medidas das sombras do meio-dia em duas cidades diferentes: Siena e Alexandria.



$$2\pi R = \frac{360^\circ}{7\frac{1}{4}^\circ} \times d$$

*Figura 1.5. Cálculo do diâmetro da Terra, por Eratóstenes.*

Nesta mesma época, Aristarco de Samos propôs a teoria heliocêntrica, que não vingou entre seus pares. Além disto, calculou os diâmetros da Lua e do Sol, embora com erro de vinte vezes para menor.

Os cálculos de Aristarco foram melhorados por Hiparco de Nicéia, que catalogou as estrelas visíveis a olho nu.

Nos meados de 100 a.C., Ptolomeu, o egípcio, publica sua famosa obra, "O Almagesto", na qual aperfeiçoa as idéias Aristotélicas e consolida o Geocentrismo para os próximos 1.500 anos.

Este tempo de atraso mental só foi superado com a publicação, em 1543 (após a sua morte), da obra de Nicolas Copérnico: "De Revolutionibus Orbium Coelestium".

A grande virtude da obra de Copérnico reside na recuperação da verdade heliocêntrica, pois seus cálculos ainda utilizavam os arcaicos ciclos e epiciclos de Apolônio. Somente após os estudos de Tycho Brahe, que tentava provar o geocentrismo, que Johannes Kepler conseguiu provar que as órbitas dos astros eram elípticas. Com a invenção do telescópio em 1600, pelo holandês Hans Lippersley, Galileu pôde demonstrar que Copérnico e Kepler tinham razão.



*Figura 1.6. Nicolau Copérnico.*

A comprovação final do heliocentrismo se deve ao trabalho de Isaac Newton, que com a lei da gravitação universal, demonstra a mecânica celeste, não deixando mais dúvidas quanto ao heliocentrismo.

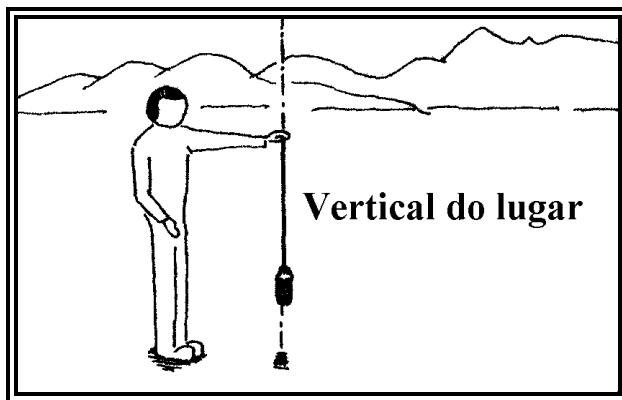
Após Newton, os progressos em Astronomia foram proporcionais à tecnologia que o homem conseguiu desenvolver. Assim é que a revolução industrial trouxe consigo o surgimento das máquinas e da precisão na fabricação das coisas. Os telescópios melhoraram muito e por volta de 1789, William Herschel construiu na Inglaterra um gigantesco aparelho refletor que media 12,2 m de tubo com um espelho de diâmetro de 122 cm de abertura. Com este imenso telescópio, Herschel descobriu o sexto planeta, Urano.

Nos séculos XVIII, XIX, XX, o progresso se fez sentir em todas as ciências e teve consequências logicamente benéficas na Astronomia. Inúmeros são os personagens importantes nestes últimos séculos e citá-los todos consumiria o restante deste trabalho. Assim sendo, vamos apenas enumerar alguns dos mais famosos e conhecidos homens que tiveram seus feitos reconhecidos em Astronomia.

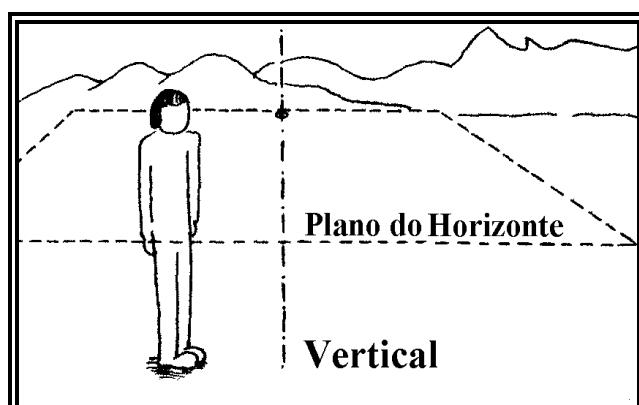
Charles Messier, responsável por um grande catálogo de astros, ainda válido até hoje. Edmund Halley e o estudo dos cometas, Olbers e o tamanho do Universo, Kant e as galáxias tiveram suma importância no legado desbravador de conhecimento e progresso na forma de pensar que deixaram. Mais recentemente, podemos citar homens como A. Einstein, Friedmann, Lemaitre, E. Hubble, G. Gamow, S. Hawking e muitos outros que poderiam ser lembrados.

## **1.4. Definições básicas**

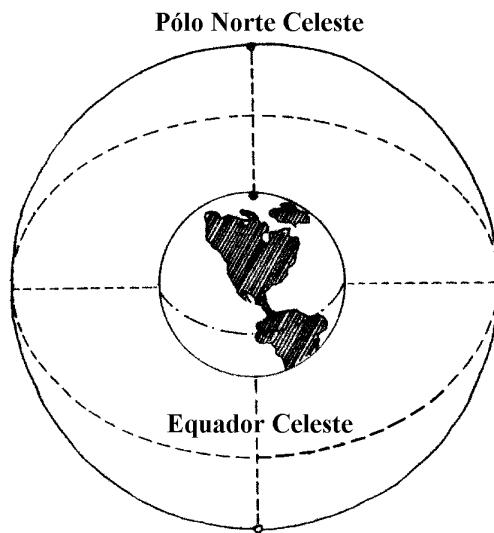
Vertical do lugar: Ao suspender um prumo (peso) por um fio, tem-se a vertical do lugar.



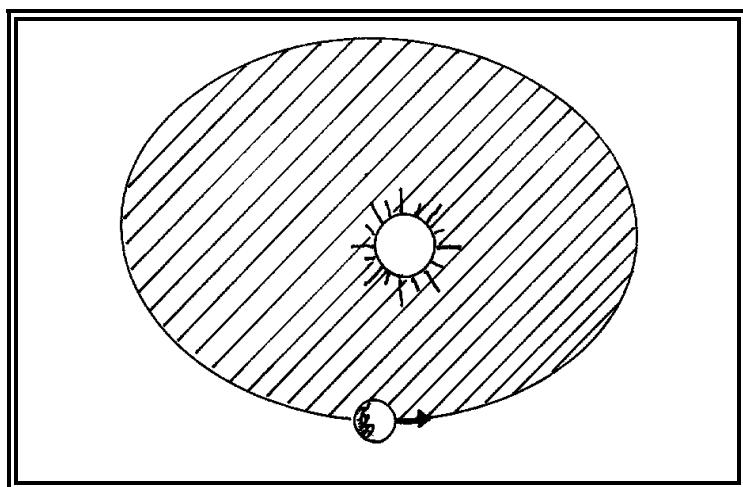
Horizonte: Diz-se do plano perpendicular à vertical do lugar e que passa pela visada do observador.



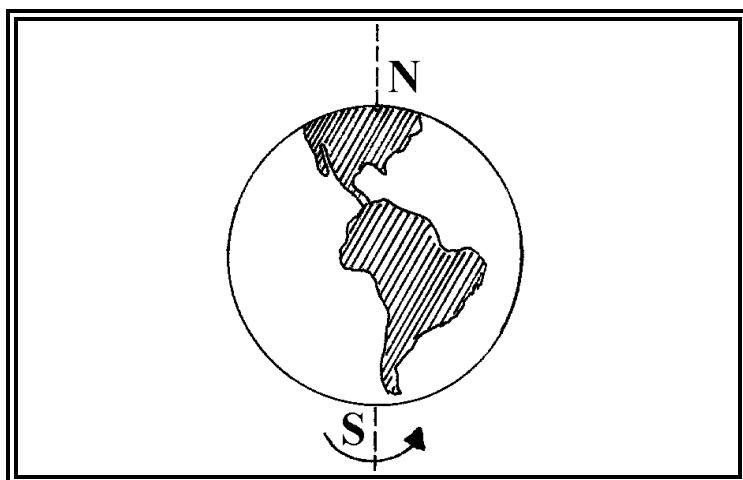
Esfera celeste: Prolongamento imaginário da esfera terrestre em todas as direções, rumo ao espaço.



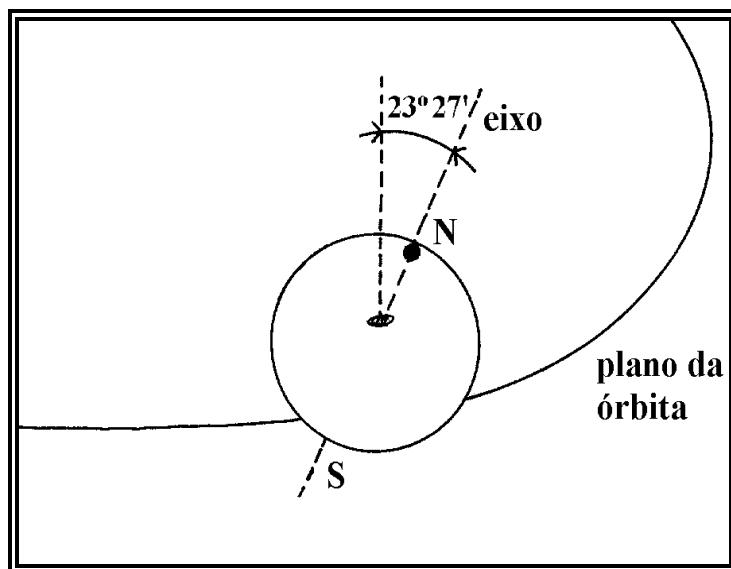
Plano da órbita da Terra: É o plano que contém a elipse de translação da Terra ao redor do Sol, no período de um ano.



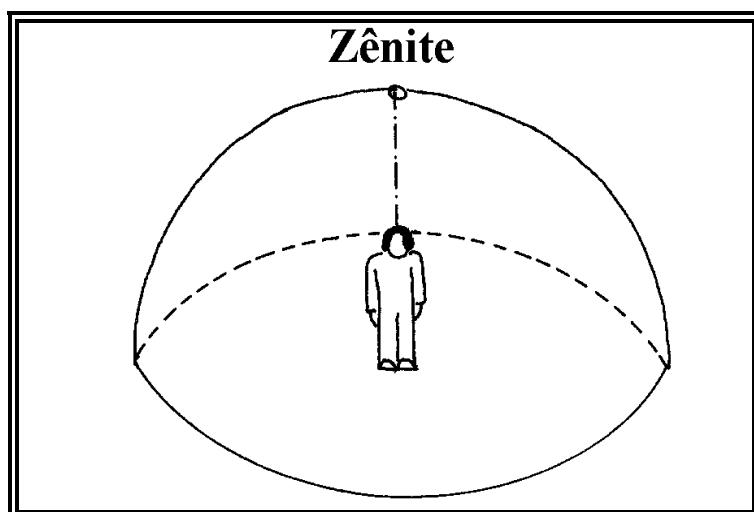
Eixo da Terra: É a linha imaginária ao redor da qual a Terra executa seu movimento diário de rotação. Une os pólos da Terra.



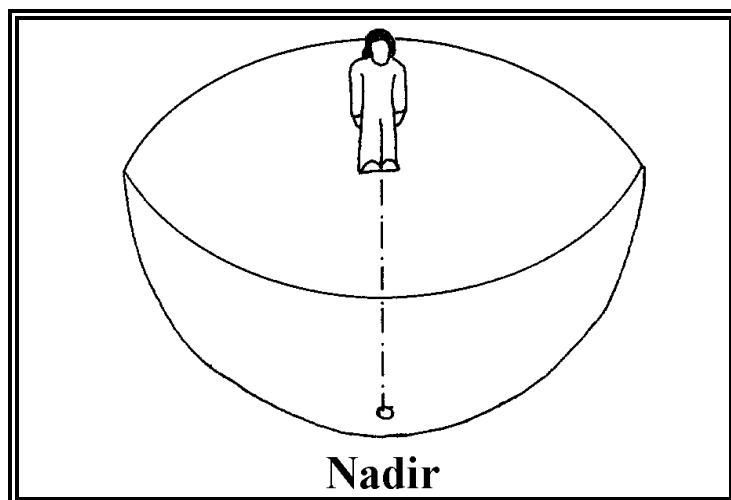
Inclinação do eixo: O eixo da Terra está inclinado de  $23^{\circ} 27'$  em relação a uma perpendicular ao plano de sua órbita.



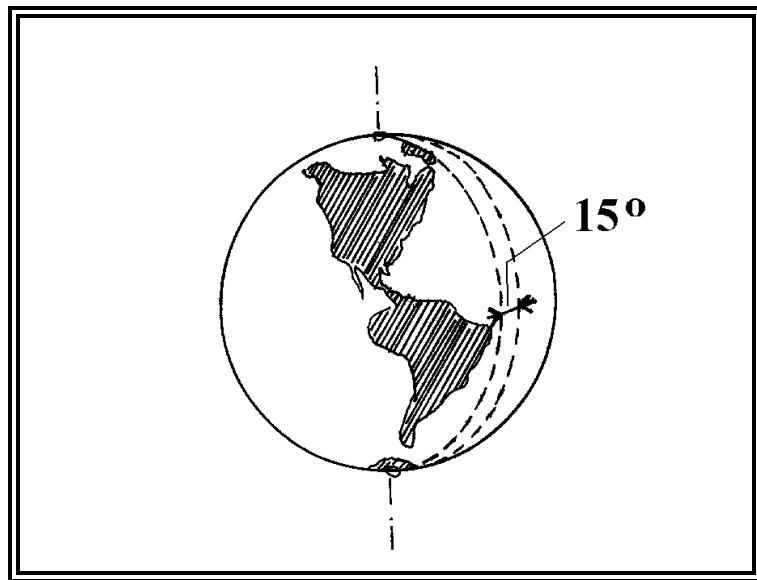
Zênite: Intersecção superior da vertical do lugar com a esfera celeste.



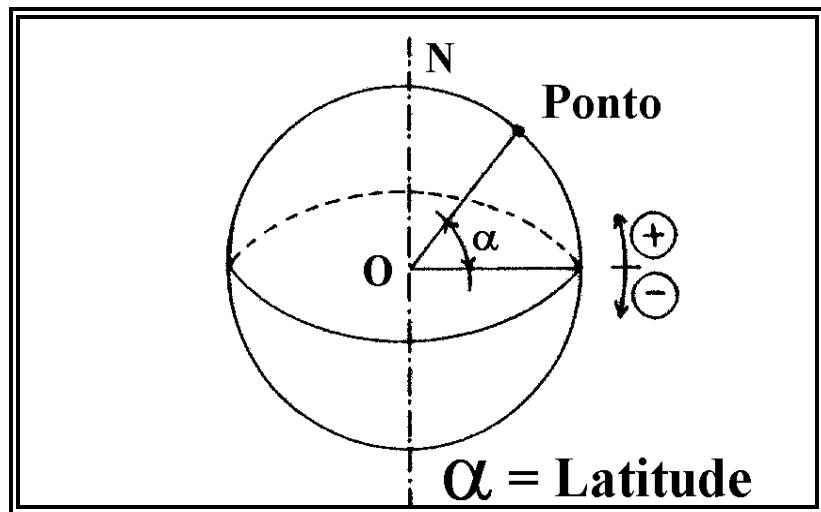
Nadir: Intersecção inferior da vertical do lugar com a esfera celeste.



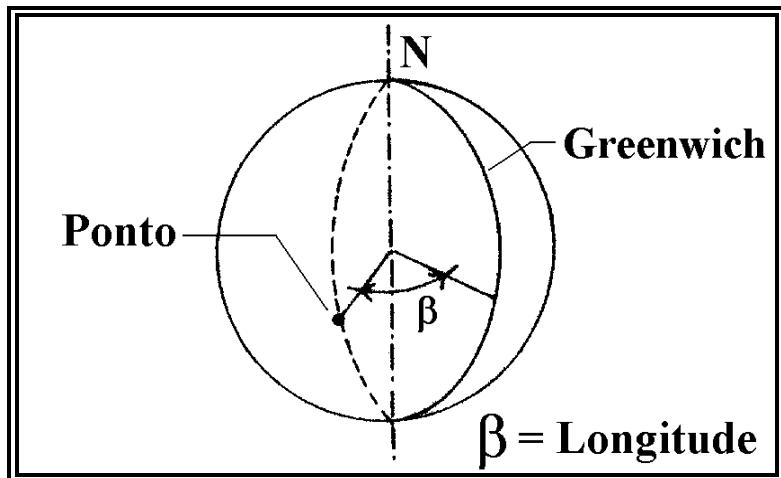
Meridiano: Linha imaginária que une os pólos terrestres ou da esfera celeste. Cada um deles está, na Terra, espaçado do outro em  $15^\circ$  ou 1 hora.



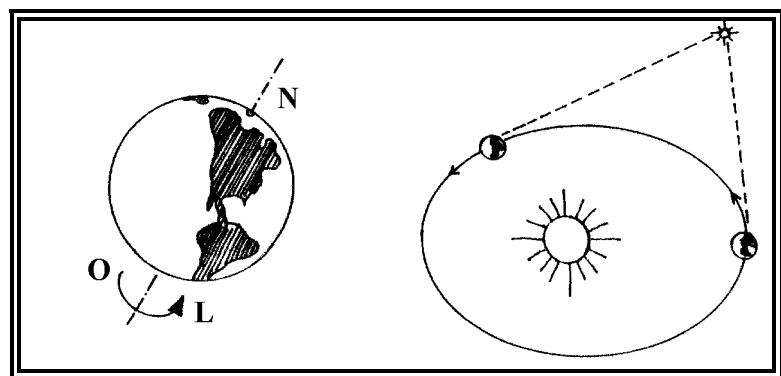
Latitude: Distância angular de um ponto ao plano fundamental (equador), num sistema de coordenadas esféricas, contado a partir deste plano, de 0 a  $90^\circ$  do lado positivo (hemisfério norte) e de 0 a  $-90^\circ$  no lado negativo (hemisfério sul).



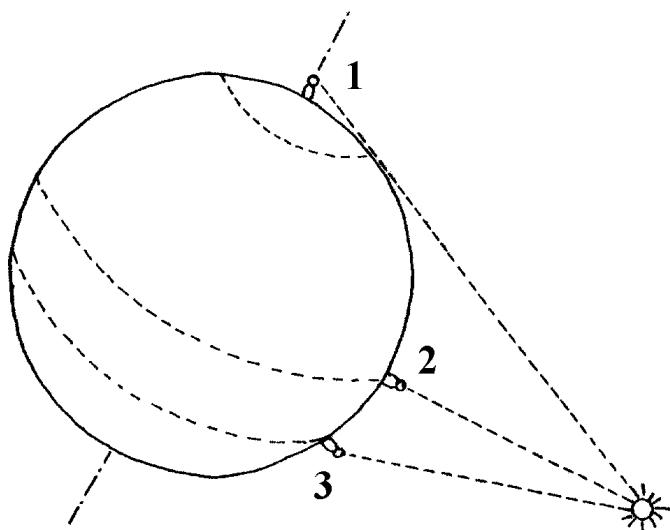
Longitude: Distância angular da projeção de um ponto sobre o plano fundamental (meridiano de Greenwich), num sistema de coordenadas esféricas, contado de 0 a 360°.



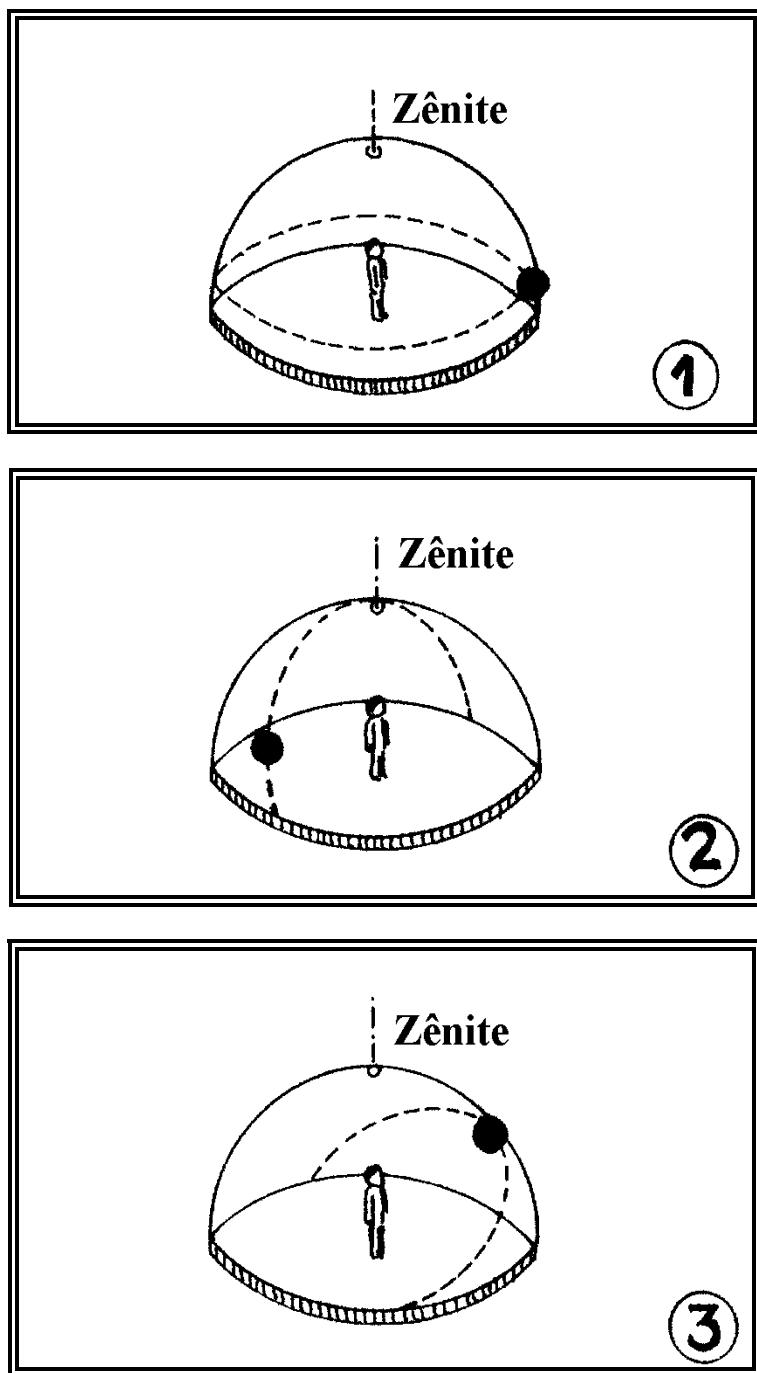
Movimento aparente dos astros: Como a Terra gira de oeste para leste, o céu aparentemente gira no sentido oposto. Ao transladar ao redor do Sol, a Terra provoca o movimento aparente das estrelas.



Movimento aparente de uma estrela conforme a latitude:

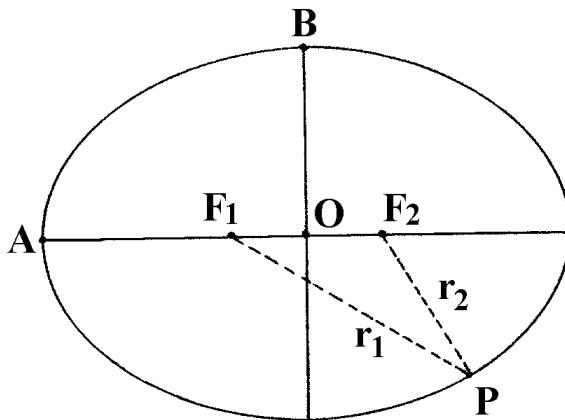


O mesmo astro, visto por observadores alocados no Pólo Norte (1), no Equador (2) e no trópico de Capricórnio (3), assume movimento aparente diverso, conforme abaixo.



**Órbita elíptica:** Figura geométrica que representa o caminho de um corpo celeste ao gravitar ao redor de outro.

**Elipse:** Lugar geométrico dos pontos de um plano no qual a soma das distâncias a dois pontos fixos (os focos) é constante e tem o valor de duas vezes o semi-eixo maior ( $2a$ ). Define-se distância focal da elipse como sendo a distância do centro da elipse até um de seus focos. Define-se excentricidade da elipse como sendo a relação da distância focal com o semi-eixo maior. Pode-se entender a excentricidade como a relação  $1-b/a$ , aonde  $b$  é o semi-eixo menor.



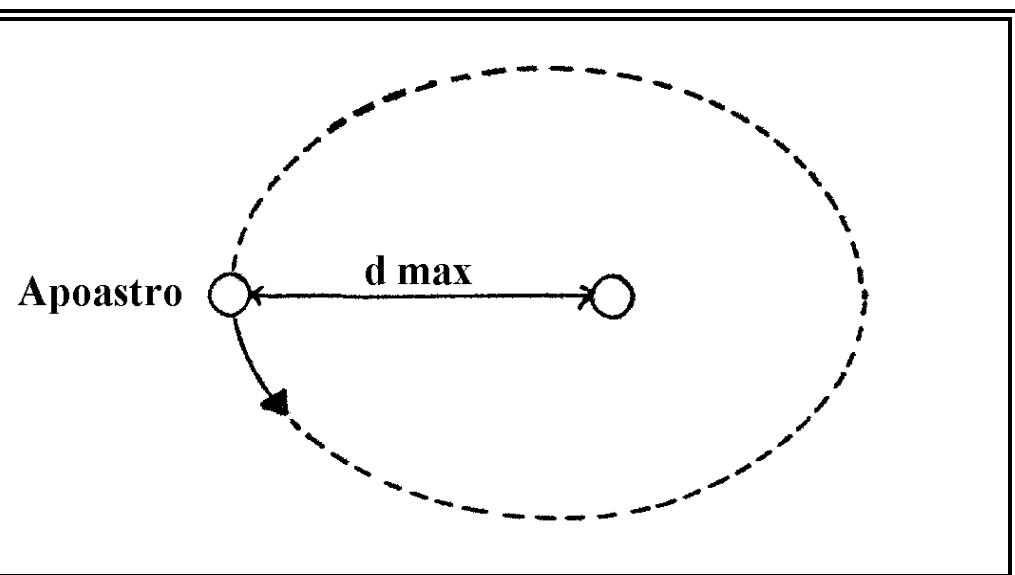
$$\overline{OA} = a \quad \overline{OB} = b$$

$$\overline{OF}_1 = \overline{OF}_2 = f$$

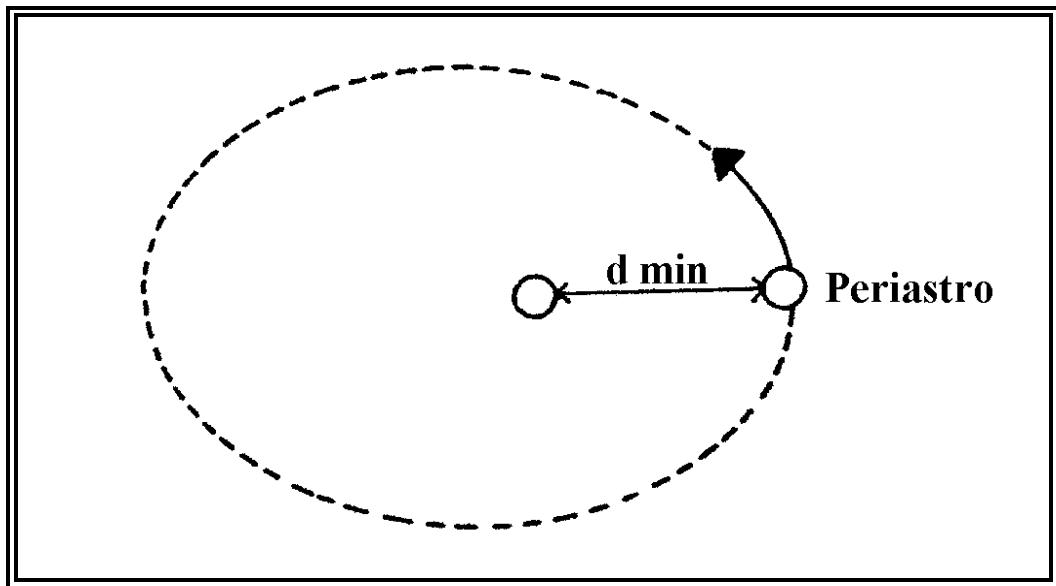
$$r_1 + r_2 = 2a$$

$$\text{Excentricidade} \quad e = f/a \quad e = 1 - b/a$$

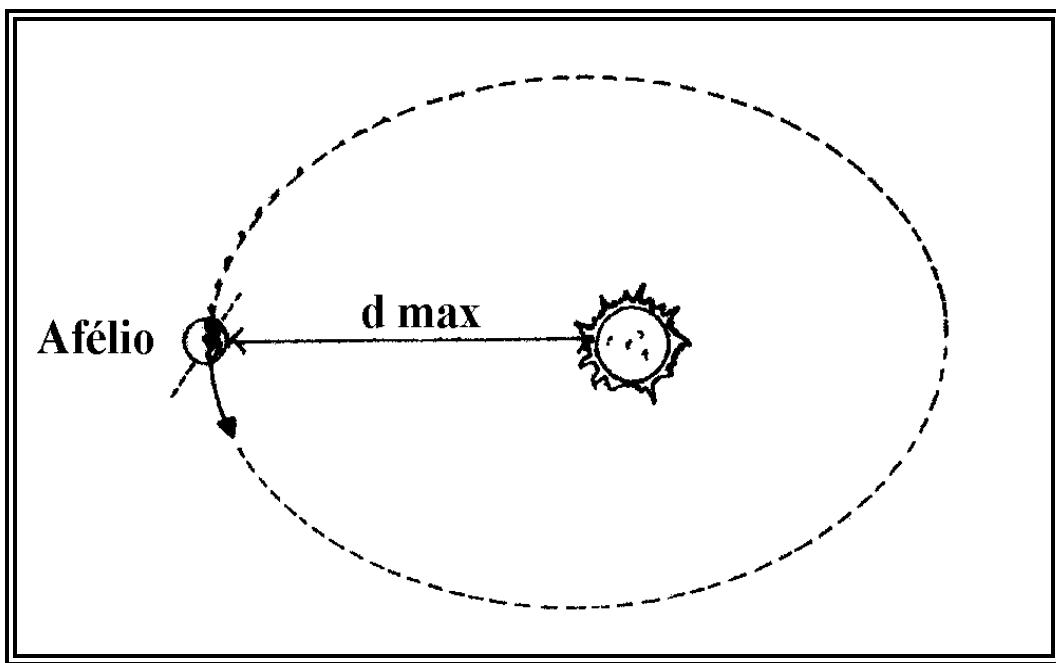
Apoastro: Ponte da órbita de um astro gravitando ao redor de outro, para o qual a distância entre os dois corpos é máxima (aplica-se geralmente para estrelas binárias).



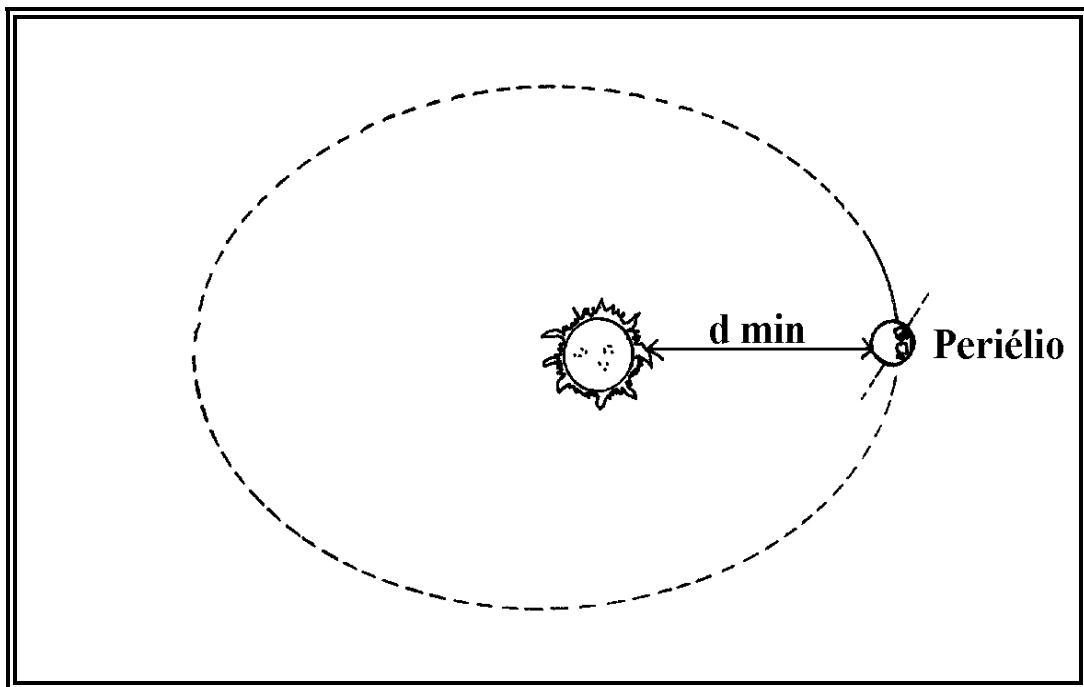
Periastro: Ponto da órbita de um astro gravitando ao redor de outro, para o qual a distância entre os dois corpos é mínima.



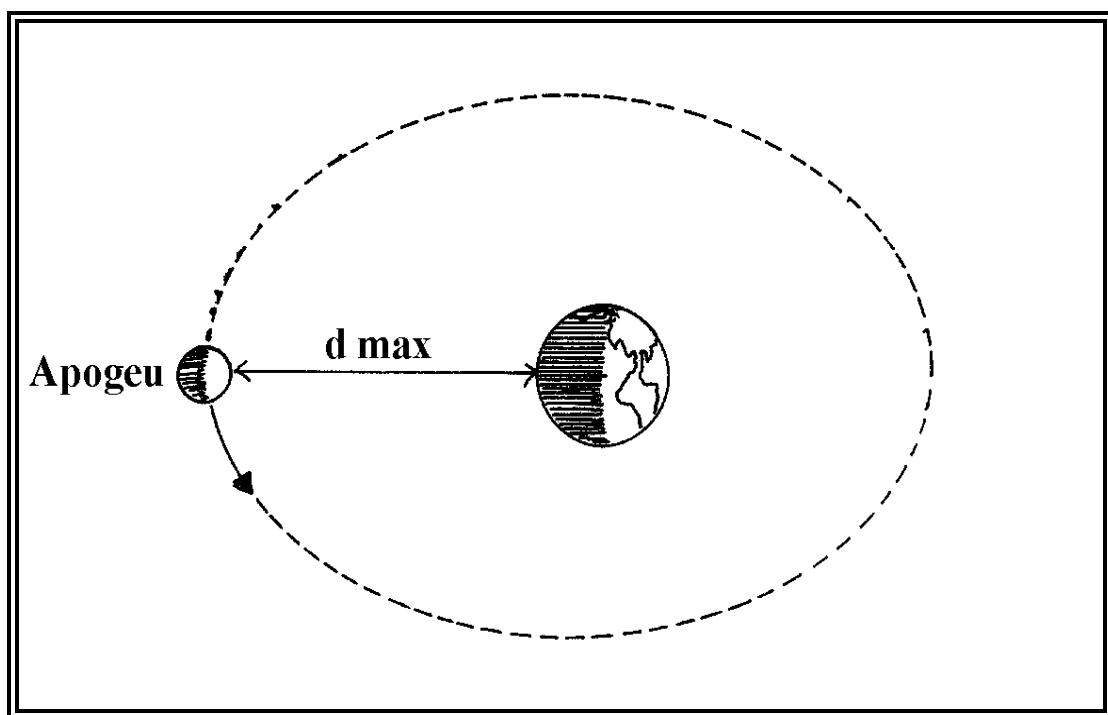
Afélio: Apoastro da órbita de um corpo gravitando ao redor do Sol.



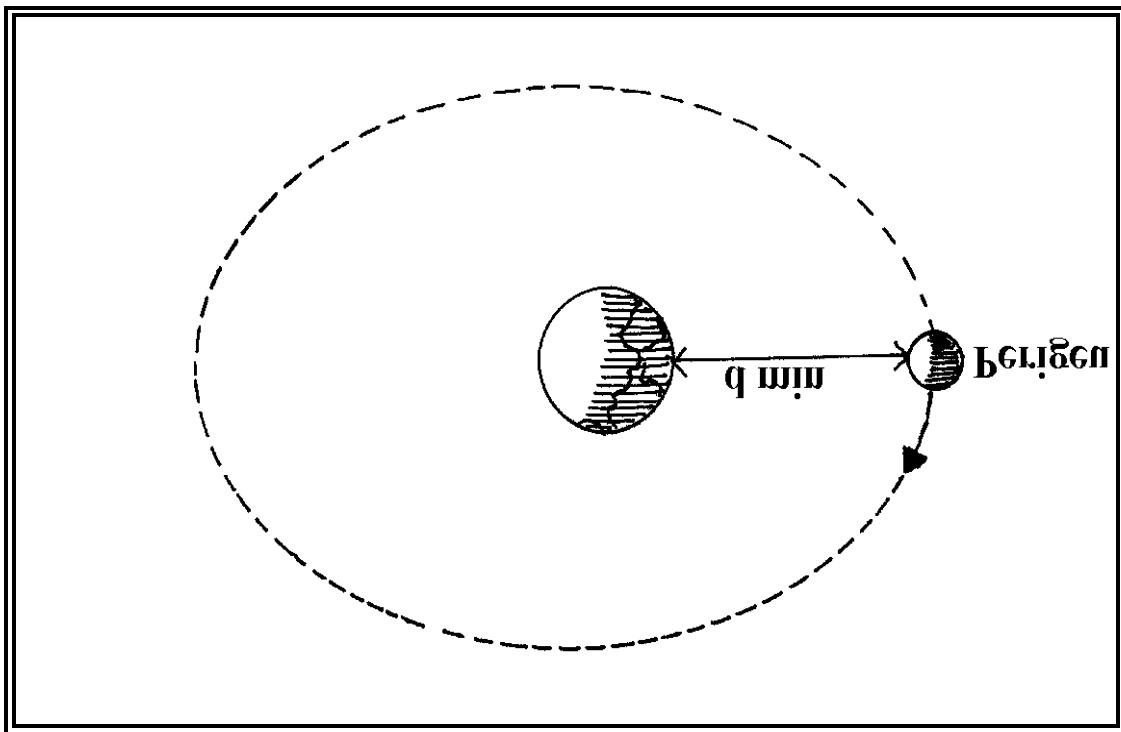
Periélio: Periastro da órbita de um corpo gravitando ao redor do Sol.



Apogeu: Apoastro da órbita de um satélite natural ou artificial, gravitando ao redor da Terra.



Perigeu: Períastro da órbita de um satélite natural ou artificial, gravitando ao redor da Terra.



Astros fixos: São os astros cuja posição relativa entre si, para um observador terrestre, não varia com o correr do tempo de um espaço perceptível. São astros fixos, as estrelas, galáxias, aglomerados etc.

Astros errantes: São aqueles que, ao contrário do anterior, variam sua posição relativa contra o fundo dos fixos. São errantes os planetas, cometas, asteróides, meteoros e afins.

Estrelas: São astros gasosos que emitem luz e outras energias em quantidades enormes, produzidas pela fusão nuclear em seu interior.

Planetas: São corpos que orbitam ao redor de uma estrela e que não emitem luz própria.

Planetóides: São pequenos corpos que circundam o Sol entre as órbitas de Marte e Júpiter, sendo também conhecidos como asteróides.

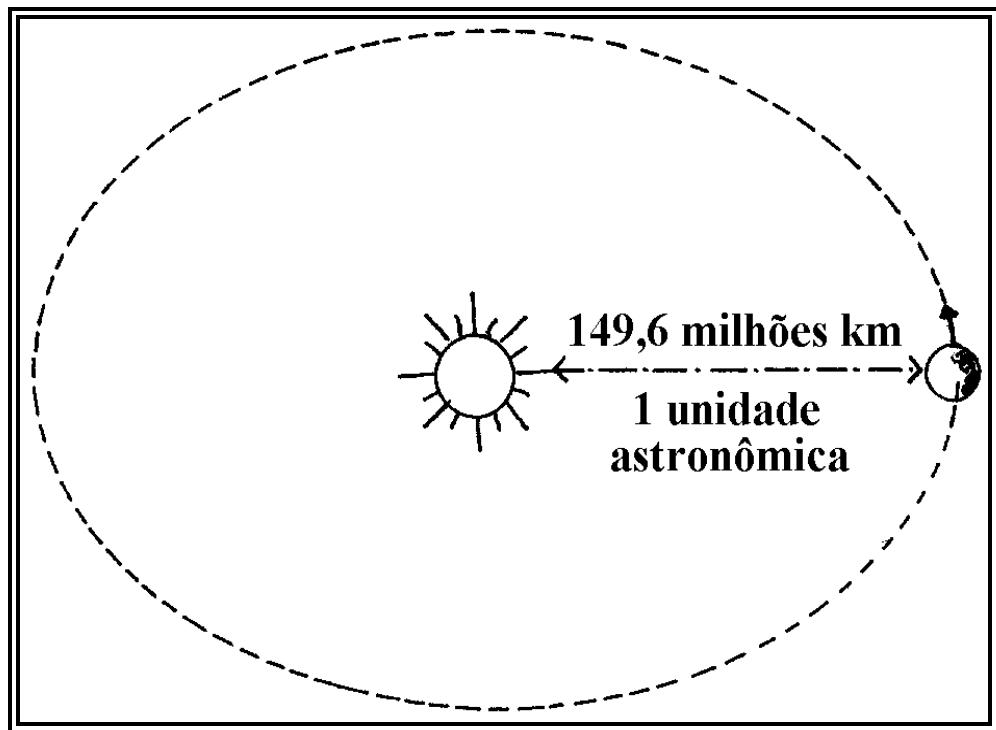
Cometas: Pequenos corpos sólidos envolvidos por gás, cuja órbita é extremamente alongada em torno do Sol.

**Unidades de medida:** Para se medir as distâncias em Astronomia, o metro e o quilômetro se mostram pouco eficazes. Seriam necessários números com tal ordem de grandeza que se tornariam incompreensíveis e sem significado prático. Para minimizar tais questões foram desenvolvidas unidades cujo uso é próprio em distâncias como as que separam os astrônomos em sua lida.

Potência de dez - os números são escritos em potências de dez conforme o número de "zeros" que possuam:

$10 = 10^1$	$1.000.000 = 10^6$
$100 = 10^2$	$1.000.000.000 = 10^9$
$1000 = 10^3$	$1.000.000.000.000 = 10^{12}$
$10.000 = 10^4$	$3.420.000 = 3,42 \times 10^6$
$100.000 = 10^5$	$0,0025 = 2,5 \times 10^{-3}$

Unidade Astronômica (A): Equivale à distância média entre o Sol e a Terra, aproximadamente 150.000.000 km.



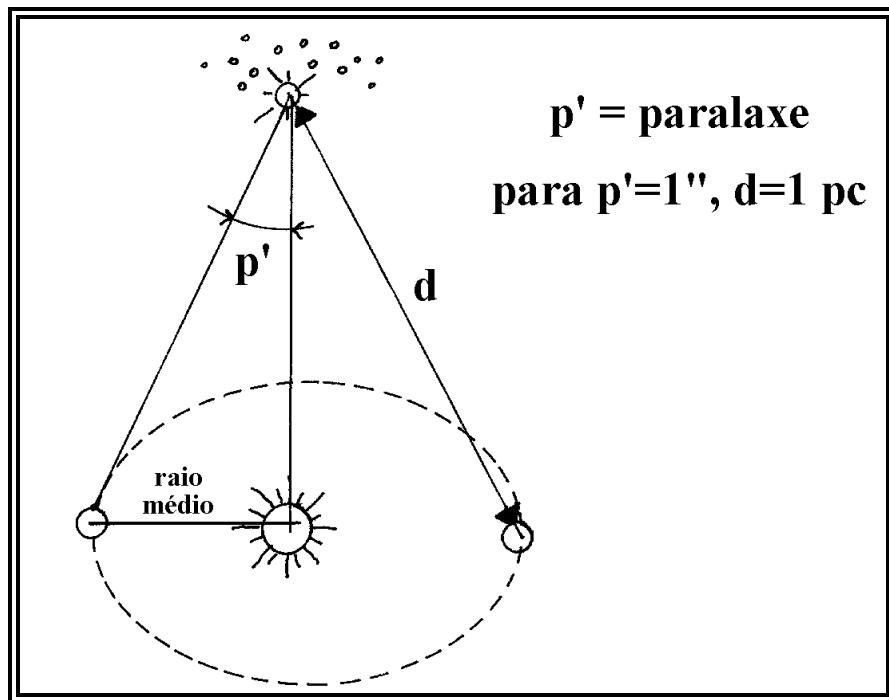
Ano luz (al): Sendo a velocidade da luz 300.000 km/s, um ano luz é o espaço percorrido pela luz durante um ano:

$$1 \text{ ano} = 365 \text{ dias} \times 24 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 31.536.000 \text{ s}$$

$$300.000 \text{ km/s} \times 31.536.000 \text{ s} = 9.460.800.000.000 \text{ km}$$

Simplificando para a notação científica, temos  $9,5 \times 10^{12}$  km (quase 10 trilhões de quilômetros). Um ano luz equivale também a 63.333 A (unidades astronômicas).

Parsec (pc): Para se definir o parsec, que equivale a 3,26 al, é necessário o conceito de paralaxe. Paralaxe é o ângulo que se observa uma estrela se deslocar em relação às do fundo, no intervalo de seis meses. A paralaxe é medida em segundos de arco. Pode-se definir paralaxe também, como o ângulo que um observador colocado na estrela veria o raio médio da órbita da Terra, perpendicularmente à sua visada.



Um parsec então, corresponde a uma paralaxe de 1 (um) segundo de arco.

# **CAPÍTULO 2**

## ***A Esfera Celeste***

***Cláudio F. Alves***

## Capítulo 2 - ESFERA CELESTE

### 2.1. Introdução

Em astronomia de posição, cujo interesse básico é o estudo da posição aparente dos astros em relação a um observador colocado na superfície da Terra, o ponto de vista adotado é o geocêntrico. Assim, todos os astros parecem girar em torno da Terra quando observados a partir desta última, isto é, a Terra, aparentemente, ocupa o centro do universo.

Sabemos que esta idéia não é correta, mas para os fins práticos que temos em mente, a mesma é perfeitamente aceitável.

Assim, a astronomia de posição assume como hipótese que os corpos celestes são pontos de uma imensa esfera - a esfera celeste - cujo centro coincide com o centro da Terra.

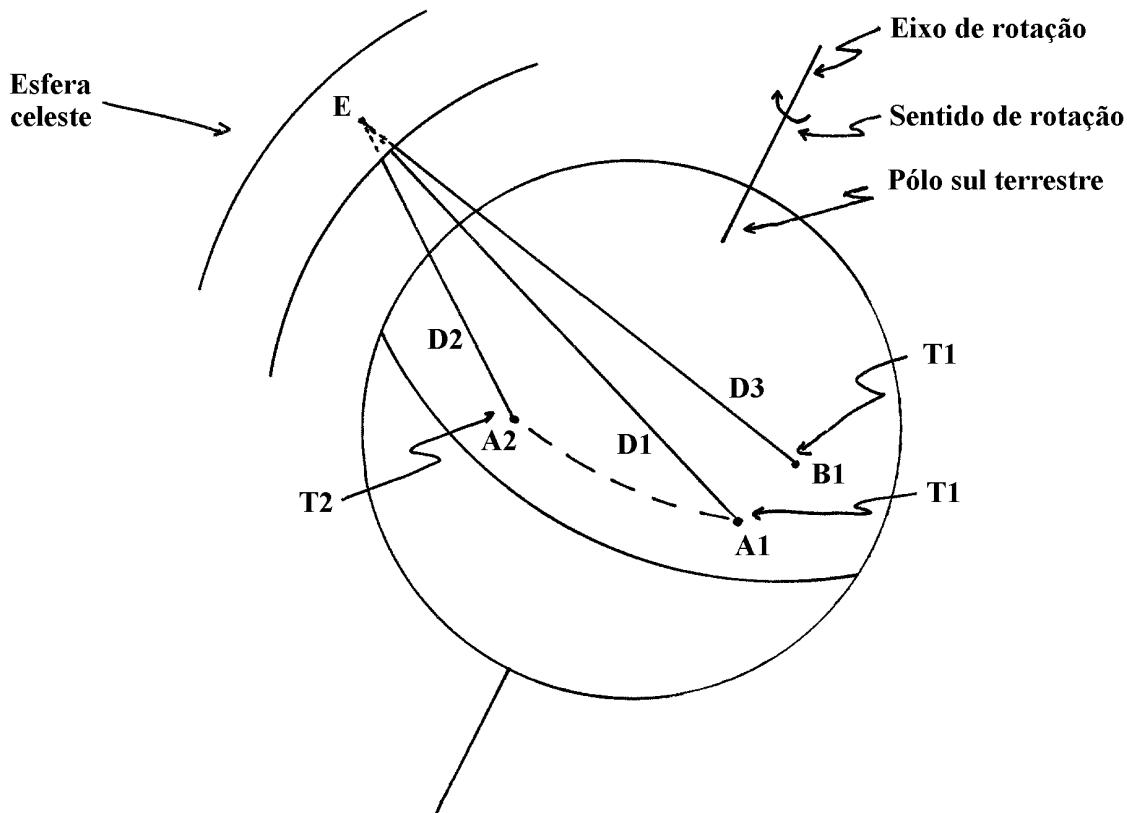


Figura 1. A Terra e a esfera celeste

O raio dessa esfera é considerado como sendo muito maior do que o raio da Terra, de modo que este é desprezível, para todos os fins práticos, perante aquele.

Tendo a Terra movimento de rotação, vemos a esfera celeste girar, modificando continuamente a posição aparente dos astros.

A figura 1 mostra um observador "A" na superfície da Terra. No instante T1, o raio de luz do astro "E", é visto segundo a direção D1. No instante T2, em função do movimento de rotação da Terra, é visto na direção D2, mas o astro permaneceu imóvel. Um observador num ponto "B" no instante T1, vê o astro na direção D3, tal que D3 é diferente de D1 e D2.

Vimos então que a direção na qual o astro é visto depende de:

- ⇒ Posição do astro na esfera celeste.
- ⇒ Posição do observador na superfície da Terra.
- ⇒ Instante da observação.

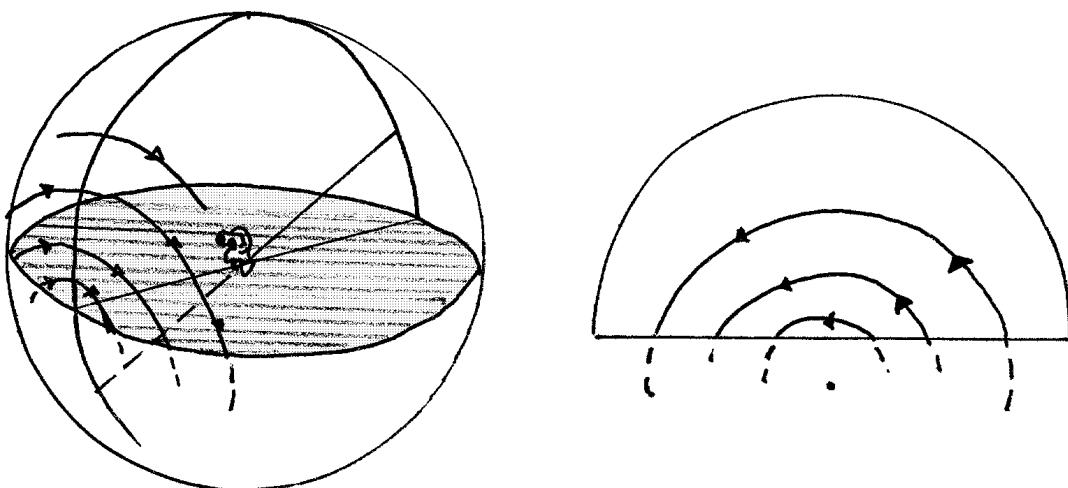
Dessa forma fica apresentado o ente geométrico onde se situam os objetos de nosso estudo.

## **2.2. Movimento aparente diário da esfera celeste.**

As estrelas nos parecem pontos fixos, na superfície dessa imensa esfera, enquanto o Sol e os outros astros a ele associados, como os planetas, movimentam-se em relação ao fundo das estrelas fixas, aparentemente. A causa desse movimento aparente é a rotação da Terra em torno de seu eixo.

O movimento de rotação da Terra, o qual se faz no sentido de oeste para leste, provoca um movimento aparente em sentido contrário da esfera celeste, ou seja, vemos os astros moverem-se de leste para oeste. Esse movimento aparente leva o nome de: "Movimento Aparente da Esfera Celeste". O eixo de rotação da Terra, se o prolongarmos o suficiente, recebe o nome de eixo da esfera celeste ou eixo do universo.

Então, um observador na superfície, independente de se encontrar no hemisfério norte ou sul da Terra, olhando para o norte, verá as estrelas moverem-se em sentido anti-horário, e se estiver olhando para o sul verá o movimento em sentido contrário, ou seja, horário. As figuras de 2 a 7 ilustram a idéia exposta.



*Figura 2.2. Observador no hemisfério sul, olhando para o norte.*

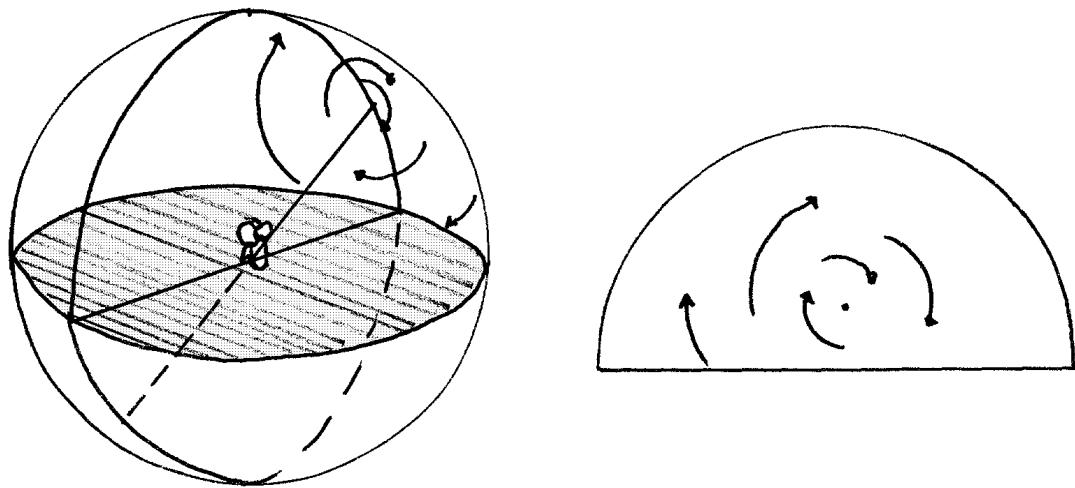


Figura 2.3. Observador no hemisfério sul, olhando para o sul.

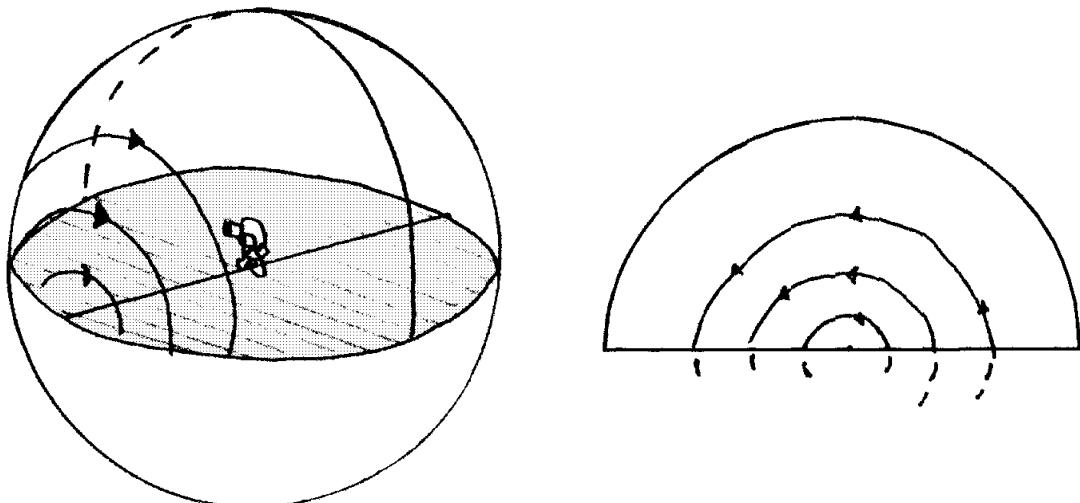


Figura 2.4. Observador no equador, olhando para o norte.

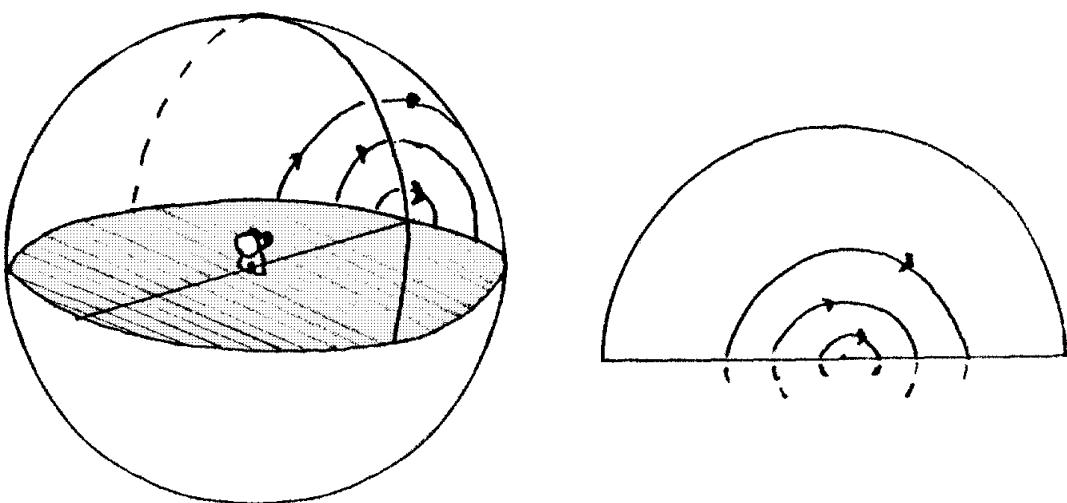


Figura 2.5. Observador no equador, olhando para o sul.

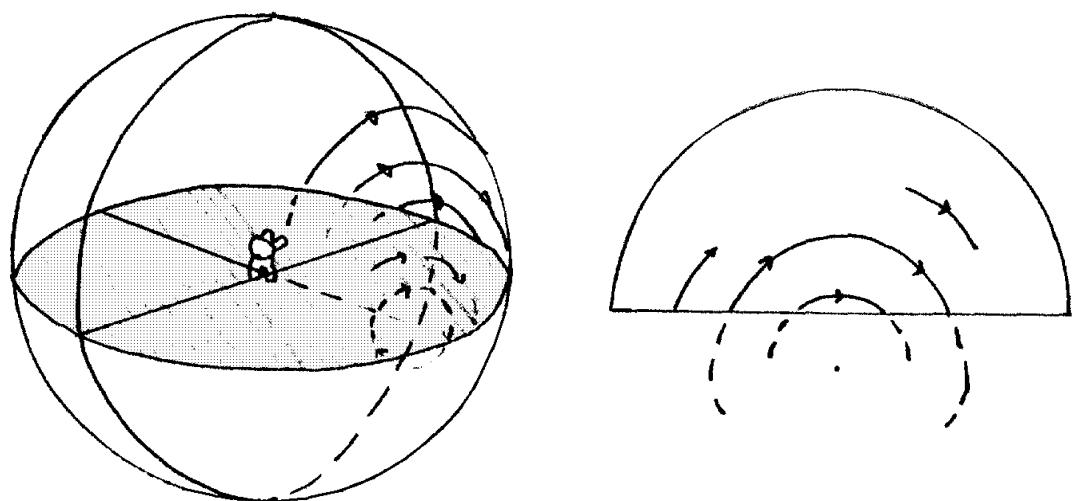


Figura 2.6. Observador no hemisfério norte, olhando para o sul.

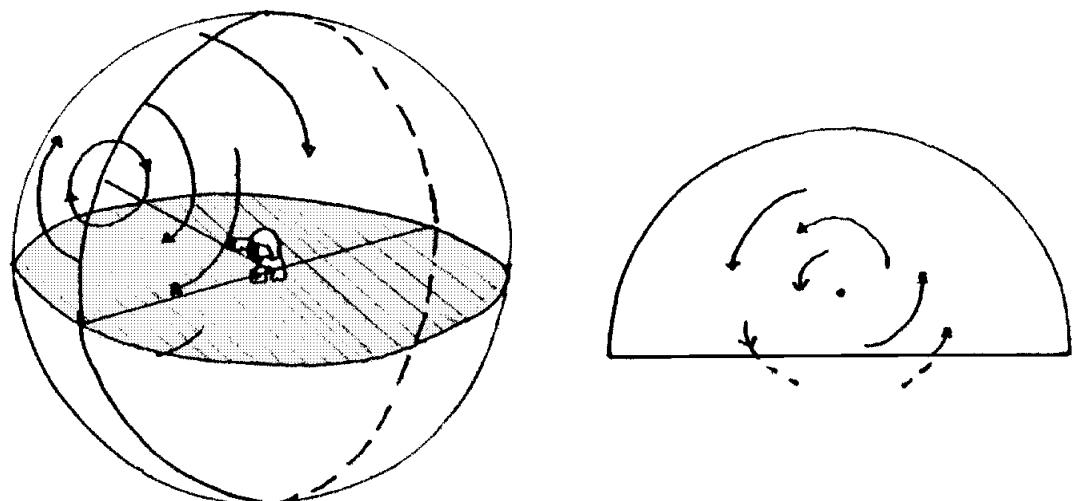
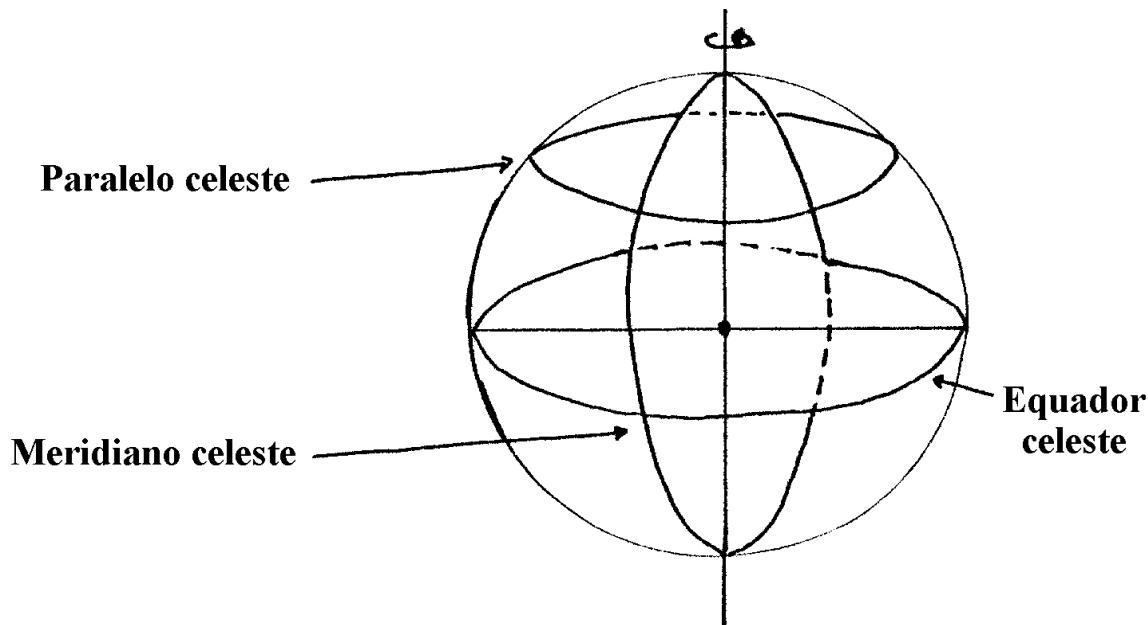


Figura 2.7. Observador no hemisfério norte, olhando para o norte.

## 2.3. Planos e Direções Fundamentais da Esfera Celeste.

Voltando à esfera, temos ainda que todo plano perpendicular ao eixo do universo define um paralelo celeste, e um plano que contém o eixo do universo determina um meridiano celeste. Assim temos também o equador celeste e os pólos norte e sul celestes (figura 8).



*Figura 2.8. A esfera celeste*

## 2.4. Movimento Aparente Anual do Sol

A Terra também possui um movimento de translação ao redor do Sol, que se completa em um ano. Este movimento se traduz em um movimento aparente do Sol bem como dos planetas em relação ao fundo das estrelas fixas.

Para exemplificar, seguiremos a seguinte idéia: se o Sol tivesse o brilho de uma estrela comum, de primeira grandeza, ele não ofuscaria as estrelas de dia. Nós o veríamos se deslocando entre as estrelas dia após dia como mostrado na figura 9, levando um ano para desenhar uma circunferência, a qual leva o nome de eclíptica, como ilustra a figura 10.

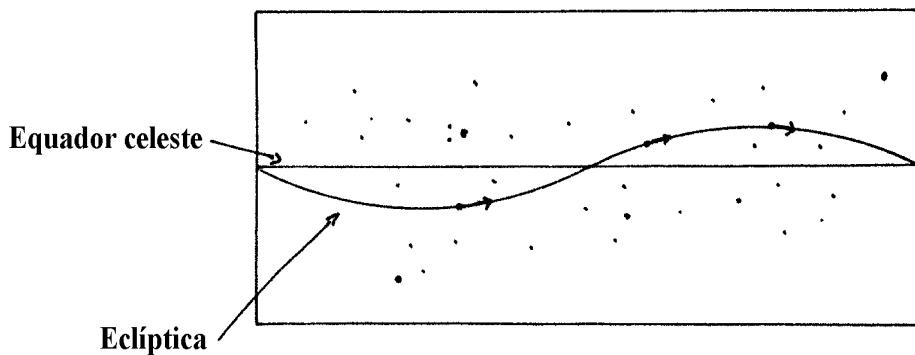


Figura 2.9. O movimento anual do Sol entre as constelações.

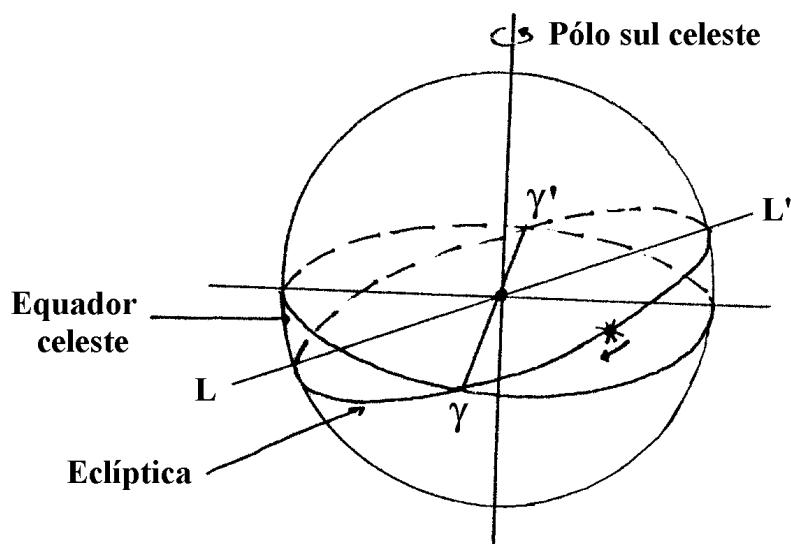
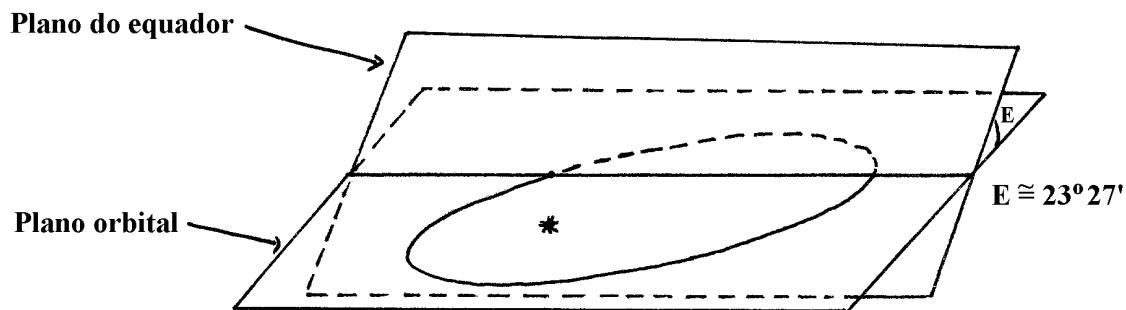


Figura 2.10. A esfera celeste e a eclíptica.

## 2.5. Obliquidade da eclíptica e direção de referência.

O eixo de rotação da Terra não é paralelo ao eixo do movimento de translação, o que explica a forma senoidal da eclíptica projetada sobre um plano (figura 9).

Por esse motivo é que temos as estações do ano. Esse ângulo entre o eixo de rotação da Terra e o eixo do plano orbital é chamado de obliquidade da eclíptica, e seu valor é de aproximadamente  $23^\circ 27'$  (ver figura 11).



*Figura 2.11. Inclinação entre o plano orbital e o do equador.*

As constelações que são cortadas pela eclíptica, ou seja, são atravessadas pelo Sol no seu movimento anual, são as chamadas constelações zodiacais.

Em um dos pontos em que a reta formada pela intersecção do equador celeste com o plano da eclíptica "fura" a esfera celeste é o chamado ponto  $\gamma$  (gama) (figura 10), o qual é o ponto onde o Sol se encontra na passagem do hemisfério sul celeste para o hemisfério norte celeste. Este ponto é também chamado ponto vernal ou ponto Áries. Essa passagem ocorre dia no 21 de março, e por isso chama-se equinócio de março, que corresponde ao equinócio do outono para o hemisfério sul, e equinócio da primavera para o hemisfério norte.

O ponto diametralmente oposto, na figura 10, é o ponto  $\gamma'$ , onde o Sol se encontra dia 23 de setembro, quando volta ao hemisfério sul. Este ponto é chamado ponto libra (ou ponto balança) e nesse dia ocorre o equinócio de setembro, que corresponde ao equinócio da primavera para o hemisfério sul e o equinócio do outono para o hemisfério norte.

Os pontos L e L' (figura 10) são os maiores afastamentos do Sol em relação ao equador celeste. São os solstícios de junho e dezembro. O primeiro corresponde ao solstício do inverno para o hemisfério sul, e solstício de verão para o norte. O segundo corresponde ao solstício de inverno para o hemisfério norte e solstício de verão para o hemisfério sul.

Embora o ponto  $\gamma$  não seja visível, é tomado como um ponto pertencente ao meridiano inicial, uma espécie de meridiano de Greenwich celeste.

## 2.6. Coordenadas equatoriais de um astro.

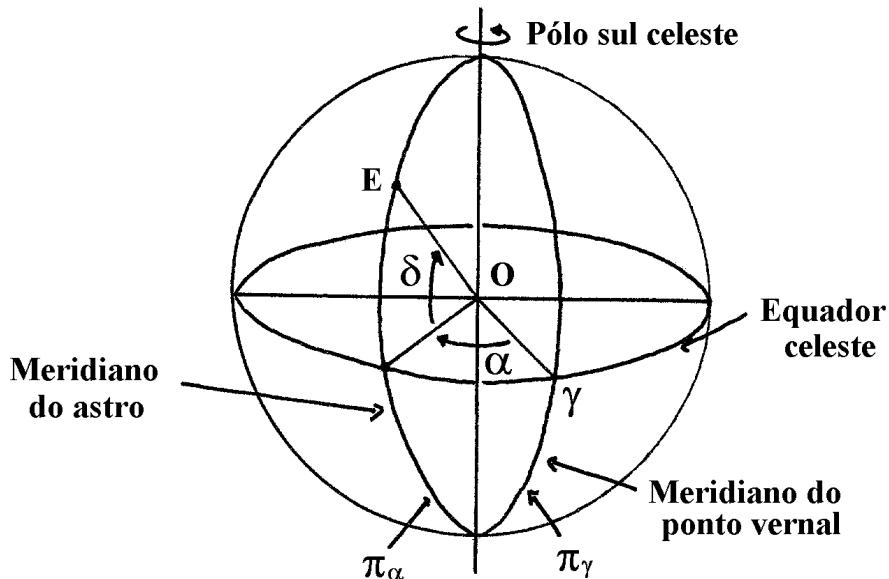


Figura 2.12. Coordenadas equatoriais.

Da figura 12, seja o segmento OE o raio da esfera celeste que liga o centro da Terra ao astro E. Então as coordenadas equatoriais desse astro são:

⇒ Ascensão Reta " $\alpha$ ": ângulo que o meridiano do ponto vernal faz com o meridiano do astro " $\pi_\alpha - \pi_\gamma$ ": esse ângulo é medido a partir de  $\pi_\gamma$  no sentido contrário ao movimento aparente, e seu intervalo angular é:

$$0^\circ \leq \alpha < 360^\circ \text{ ou } 0h \leq \alpha < 24h.$$

⇒ Declinação " $\delta$ ": definida pelo raio OE e sua projeção no plano do equador celeste. Tem sinal negativo (-) no hemisfério sul celeste e sinal positivo (+) no norte celeste. Seu intervalo angular é:

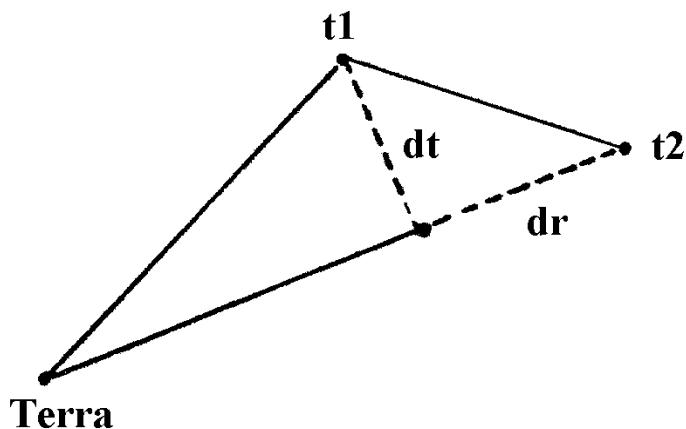
$$-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$$

## 2.7. Variação das coordenadas equatoriais

Mesmo para as estrelas chamadas fixas, essas coordenadas não são constantes, variando lentamente (pelos padrões de tempo humanos) no decorrer do tempo. As duas maiores razões dessas variações veremos aqui.

### 2.7.1 - Movimento próprio

Não é perceptível num pequeno intervalo de tempo. Esse tipo de movimento, visto da Terra, pode ser decomposto em duas componentes, uma radial ( $dr$ ) e outra transversal ( $dt$ ). A componente  $dr$  não altera sua posição, enquanto  $dt$  resulta num movimento aparente, conforme ilustrado na figura 13.



*Figura 2.13. Movimento das estrelas em relação à Terra.*

### 2.7.2 - Mobilidade do sistema de referência (precessão lunisolunar)

Esse movimento consiste em que o eixo celeste descreve uma superfície cônica com o vértice no centro da Terra, e com abertura de aproximadamente  $23^\circ 27'$ ; esse movimento completa um ciclo em 25.800 anos aproximadamente, o que nos dá um deslocamento anual de  $50' 23''$ , conforme ilustrado na figura 14.

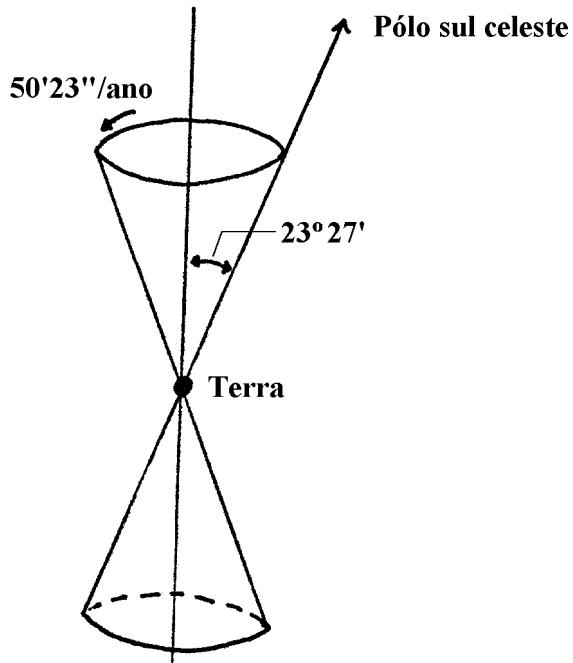


Figura 2.14. Precessão lunissolar do eixo terrestre.

Existem ainda outros movimentos de menor amplitude como a nutação e a precessão planetária, que não serão vistos neste capítulo.

## 2.8. A Esfera Celeste vista de um ponto da superfície da Terra.

Como estamos no hemisfério sul, vamos exemplificar como é vista a esfera celeste por um observador colocado nesse hemisfério. A figura 15 mostra um observador em um ponto "O" da superfície da Terra, de latitude  $\varphi$  e longitude  $\lambda$ . A reta que liga "O" ao centro da Terra é a vertical do lugar. Tem a direção do fio de prumo em "O" e fura a esfera celeste em um ponto "Z" que leva o nome de zênite. O plano  $\pi$  que passa por "O" e que é perpendicular à vertical do lugar é o plano horizontal ou horizonte do observador.

Tendo em vista que o raio da Terra é desprezível, quando comparado com o raio da esfera celeste, a reta  $R$ , que passa por "O" e é paralela ao eixo do universo, pode ser considerada também como o eixo do universo. Sua projeção no horizonte marca a linha norte - sul ou a meridiana do lugar e o ângulo  $h$  que ela faz com essa linha é a altura do pólo elevado. Como  $R$  é perpendicular ao equador, e a meridiana, perpendicular a vertical do lugar, temos que as retas que definem os ângulos  $h$  e  $\varphi$  são perpendiculares entre si, daí ter-se  $h = \varphi$ , o que permite dizer que a altura do pólo elevado é igual, em módulo, à latitude do lugar.

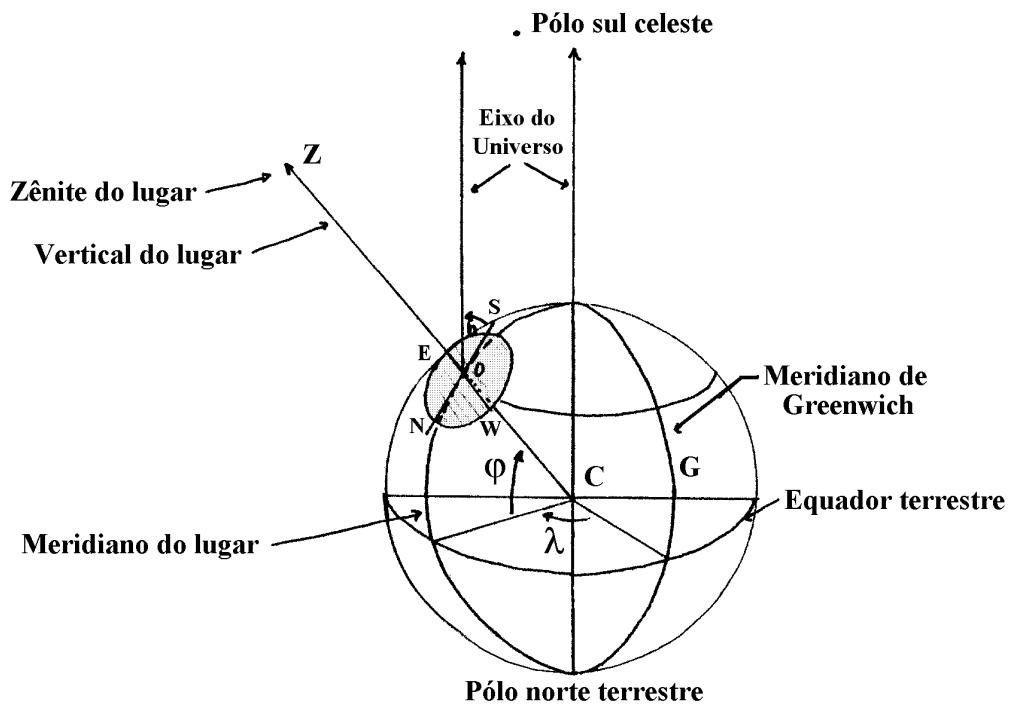


Figura 2.15. Coordenadas de um observador da esfera celeste.

Para o observador em "O" (figura 15) tudo se passa como se seu horizonte fosse um plano fixo, permanentemente imóvel no espaço, e que a esfera celeste girasse em torno da reta OP, que o liga ao polo elevado. A figura 16 mostra o que o observador em "O" vê da esfera celeste.

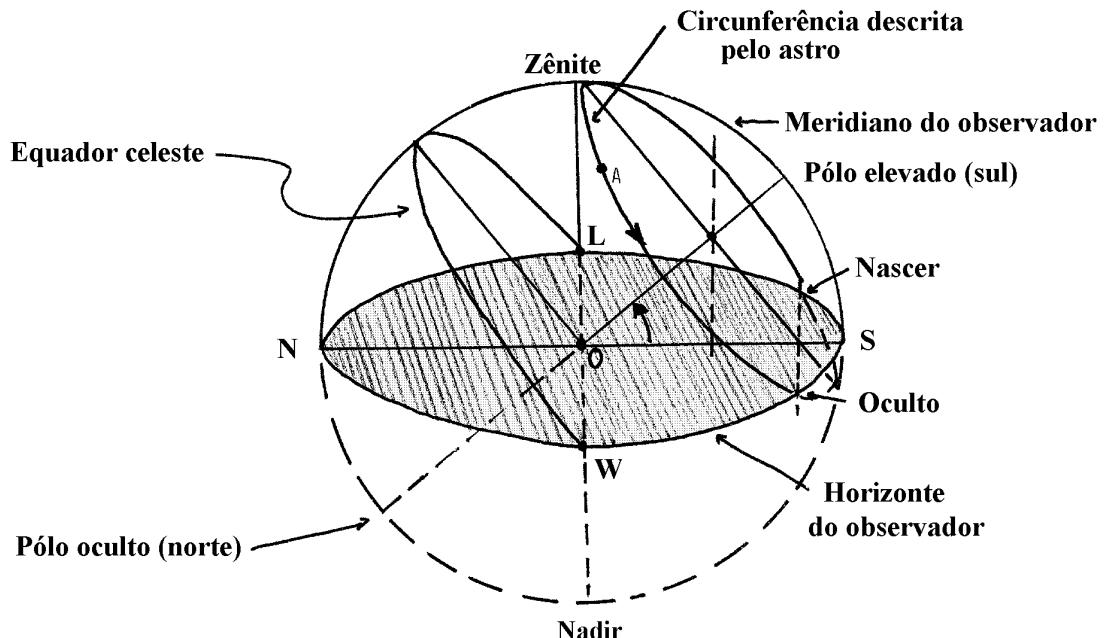


Figura 2.16. A esfera celeste, do ponto de vista de um observador.

Quando o Sol, devido a esse movimento da esfera celeste, coloca-se abaixo do horizonte, vemos todos os astros descrevendo circunferências com centro no eixo do universo e no sentido de leste para oeste.

Alguns desses astros, os mais próximos do pólo elevado, nunca mergulham abaixo do horizonte. São os circumpolares. Outros, os mais chegados ao pólo oculto, jamais serão vistos de "O", pois estarão sempre abaixo de seu horizonte. Os que não são circumpolares nem invisíveis, como o astro A figurado, têm um segmento da sua trajetória acima do horizonte e o restante, abaixo. Têm, portanto, um nascer e um ocaso.

# **CAPÍTULO 3**

## ***Instrumentos Astronômicos***

***Antônio C. de Lucena***

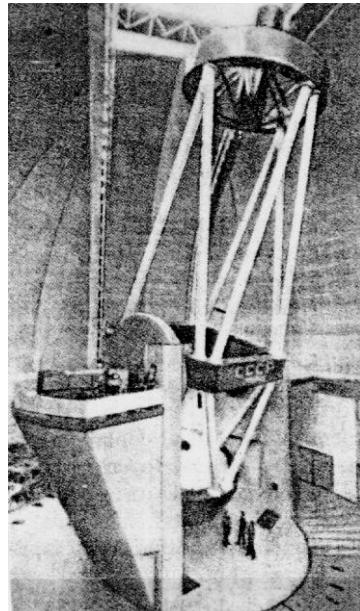
## **Capítulo 3 - INSTRUMENTOS ASTRONÔMICOS**

### **3.1. Introdução**

Existem em Astronomia uma grande variedade de instrumentos, entre os quais figuram os grandes telescópios ópticos que são, por assim dizer, o "símbolo" da Astronomia. Por telescópio óptico entende-se aqueles instrumentos que captam a luz visível. Além dos telescópios ópticos existem também os telescópios de raios gama, os de raios X e os de raios ultravioleta, todos na faixa das altas frequências (frequências superiores a frequência da luz). Na faixa das "baixas" frequências (frequências inferiores da luz), temos os telescópios de raios infravermelhos e os enormes radiotelescópios, estes últimos na frequência das ondas de rádio.

Ao lado dos telescópios acima mencionados, temos ainda outros instrumentos, tais como o teodolito, o sextante, o círculo meridiano, o instrumento de passagem, a luneta zenital, o astrolábio etc., sendo que todos estes instrumentos são utilizados, fundamentalmente, na Astrometria, que é um dos ramos em que se divide a Astronomia.

Aqui trataremos somente, e de forma simplificada, do olho, dos binóculos, dos telescópios refratores e dos telescópios refletores.



*Figura 2.1. Telescópio óptico com um espelho de 6,00 m de diâmetro, instalado no Monte Pastujov, no Cáucaso do Norte, na Rússia.*

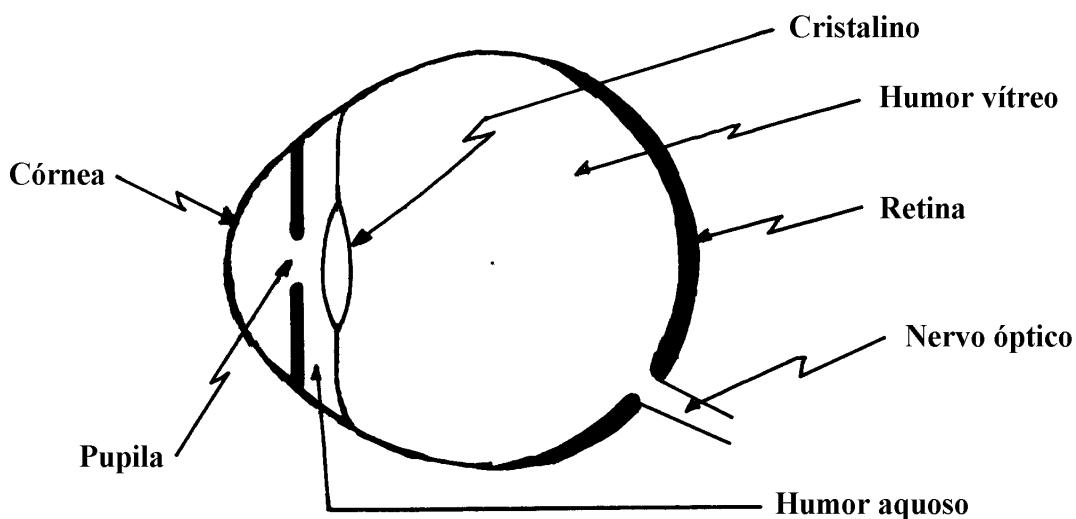
### 3.2. O Olho.

O melhor instrumento para observação astronômica que o ser humano possui (pelo menos a nível de amador) são os seus próprios olhos.

O olho, como se sabe, é semelhante a uma máquina fotográfica. Constitui-se basicamente de uma câmara escura, equipada com um orifício, o diâmetro do qual é variável (a pupila). Em frente à pupila, se encontra uma lente, de convexidade variável (o cristalino). No fundo do olho existe um tecido sensível à luz (a retina) e finalmente o olho é conectado ao cérebro através do nervo óptico, que é o nervo que leva os estímulos gerados na retina ao cérebro, onde os mesmos são interpretados.

Durante o dia, ou na presença de forte iluminação, a pupila se contrai, ficando com 1 a 2 mm de diâmetro, deixando assim passar pouca luz. À noite, ou num local pouco iluminado, a pupila se dilata, chegando a alcançar 6 a 8 mm de diâmetro.

Assim, para se ter uma boa visão de um céu estrelado, se deve procurar um local escuro (quanto mais, melhor) e aguardar uns 20 minutos, para que a pupila se dilate bem. Caso for necessário se utilizar alguma iluminação (para ver um mapa celeste, por exemplo), se deve utilizar lâmpadas vermelhas (uma lanterna elétrica com um plástico vermelho na frente funciona muito bem), uma vez que esta cor de luz provoca uma contração mínima da retina. A figura 2 mostra, de forma esquemática, o olho humano.



*Figura 3.2. O olho humano.*

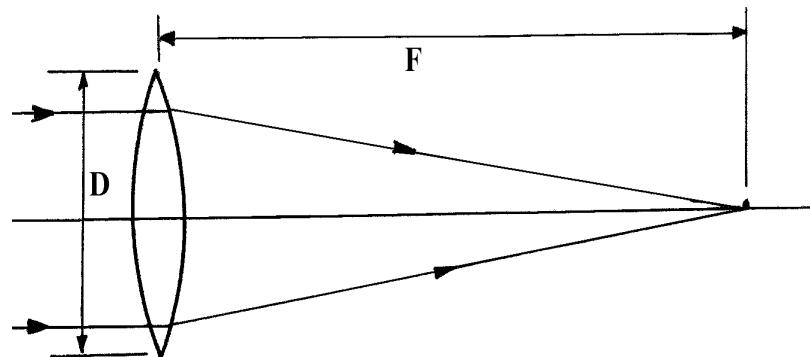
### 3.3. Conceitos básicos.

Antes de examinarmos sucintamente os instrumentos astronômicos mais comuns, e que estão ao alcance do amador, é importante que conheçamos alguns fatos básicos relativos aos mesmos.

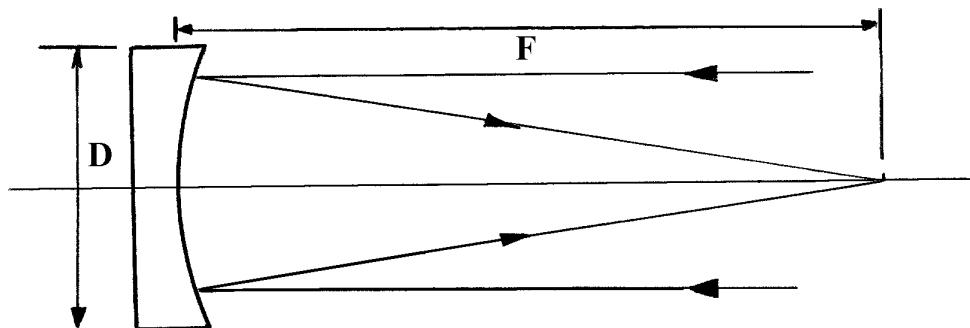
#### 3.3.1 Objetivas.

As objetivas, no caso dos binóculos e telescópios refratores, que serão vistos nos itens 4 e 5, são as lentes (ou conjunto de lentes) que ficam voltadas para o objeto que se quer ver. Já para os telescópios refletores, a objetiva é um espelho, onde são captados os raios luminosos que provêm do objeto que se deseja ver.

Os dois principais parâmetros das objetivas são o diâmetro  $D$  e a distância focal  $F$ . A figura 3 mostra, de forma esquemática, estes parâmetros.



(a) Objetiva refratora (lente)



(b) Objetiva refletora (espelho)

Figura 3.3. Principais parâmetros das objetivas

Para um determinado telescópio, seja ele refrator ou refletor, tanto o diâmetro quanto a distância focal da objetiva são valores fixos, determinados pelo projeto e construção do aparelho.

Nos telescópios refratores, que usam lentes como objetivas, estas quase sempre se compõem de duas lentes, com a finalidade de se reduzir a aberração cromática.

Usando-se duas lentes, e portanto tendo-se quatro superfícies refratoras, é possível se construir um número enorme de objetivas, mas na prática, quase todas as objetivas dos telescópios refratores (pelo menos a nível de amador), caem em um dos quatro tipos mais comuns, que são os chamados dbletos de Clairaut, de Littrow, de Fraunhofer e o de Clark.

A figura 4 mostra, de forma esquemática, estes dbletos.

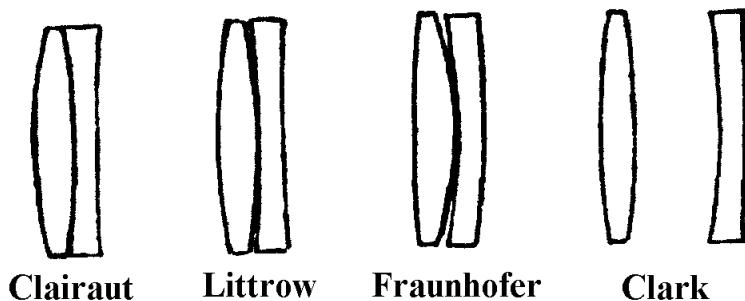


Figura 3.4. Os dbletos mais comuns, utilizados na confecção de objetivas para telescópios refratores.

### 3.3.2 Oculares

A ocular, que é sempre constituída por uma lente (ou conjunto de lentes), como o próprio nome diz, é o componente do sistema óptico do instrumento que se encontra próximo do olho do observador.

Existem diversos tipos de oculares, sendo que as mais comuns são a ocular de Huygens, a de Ramsden e as oculares ditas ortoscópicas de Abbe e a de Plossl. A figura 5 ilustra, de forma esquemática, estes quatro tipos de oculares.

Da mesma forma que para as objetivas, as oculares também se caracterizam por possuírem uma distância focal  $f$ , que é fixa para uma determinada ocular.

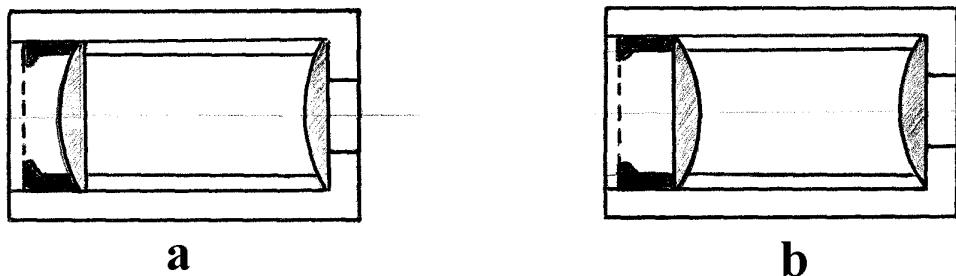


Figura 5.(a) Ocular de Huygens. (b) Ocular de Ramsden

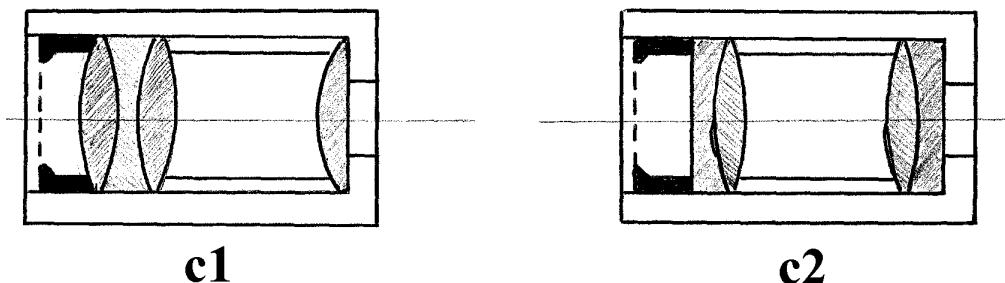


Figura 5. (c) Oculares ortoscópicas. (c1) Ocular de Abbe. (c2) Ocular de Plossl

### 3.3.3 Aumento e pupila de saída

Ao contrário do que a grande maioria das pessoas pensa, o aumento não é o parâmetro mais importante de um telescópio. O aumento não é, inclusive, um parâmetro intrínseco de um instrumento. Como veremos posteriormente, o parâmetro mais importante de um telescópio é o diâmetro D da objetiva. Esta é a razão pela qual se procura construir telescópios com objetivas (espelhos, geralmente) cada vez maiores.

O aumento de um telescópio é obtido pela seguinte relação.

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

onde: A = Aumento (linear)

F = Distância focal da objetiva (mm)

f = Distância focal da ocular (mm)

Como foi dito anteriormente, a distância focal F da objetiva de um determinado aparelho é um valor fixo. Assim, para se obter diversos aumentos, se trocam as oculares (que são facilmente intercambiáveis), cada uma possuindo um determinado valor de distância focal f.

Por exemplo, para um telescópio com F = 900 mm, com oculares de f = 30 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm e 4 mm, obtemos aumentos de 30x, 45x, 60x, 90x e 225x, respectivamente.

A pupila de saída é definida como sendo o diâmetro do círculo de luz que emerge pela ocular. A figura 6 mostra, de forma esquemática, a pupila de saída de um telescópio (ou binóculo).

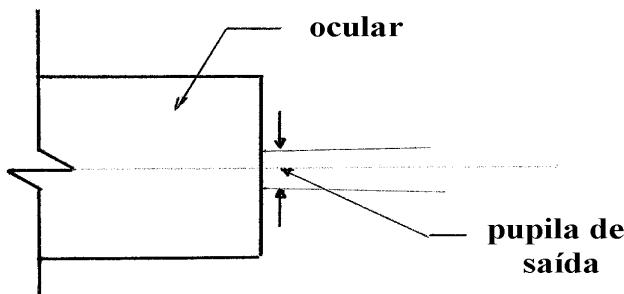


Figura 3.6. Pupila de saída.

A pupila de saída de um telescópio ou binóculo é calculada como segue:

$$P = \frac{D}{A}$$

onde:  $P$  = Pupila de saída (mm)

$D$  = Diâmetro da objetiva (mm)

$A$  = Aumento linear

Assim, por exemplo, para um telescópio com  $D = 114$  mm,  $F = 900$  mm e usando uma ocular com  $f = 30$  mm, teremos:

$$A = \frac{F}{f} = \frac{900}{30} \quad A = 30$$

$$P = \frac{D}{A} = \frac{114}{30} \quad P = 4 \text{ mm}$$

Conforme visto, a pupila do olho humano, em condições de baixa iluminação, se dilata até atingir um diâmetro de 6 a 8 mm. Tomando como média 7 mm, vemos que podemos determinar um aumento mínimo, que aquele no qual a pupila de saída da ocular é igual a 7 mm.

Da expressão

$$P = \frac{D}{A}$$

tiramos

$$A = \frac{D}{P}$$

Assim, para um determinado D, em mm, e para um A máximo, que adotarmos como sendo 7 mm, obteremos um aumento mínimo Amin.

Para o exemplo anterior, com D = 114 mm, teríamos:

$$A_{\text{min}} = \frac{114}{7} \quad \text{o que acarreta } A_{\text{min}} = 16$$

Se, como antes, tivéssemos F = 900 mm, isto implicaria que teríamos que ter uma ocular com f = 56 mm.

Oculares com esta distância focal ainda são usuais; entretanto, para distâncias focais F maiores, para um mesmo D, isto pode acarretar valores para f muito grandes, que não são práticos, devido ao dispositivo de focalização do telescópio. Desta forma, na prática não são construídas oculares com f muito grande, de forma que muitas vezes não se consegue trabalhar com o aumento mínimo, o que implica em que não se obtém uma pupila de saída de 7 mm, que seria a ideal, mas um valor menor.

Por outro lado, para um determinado diâmetro de objetiva, não se pode obter, na prática, qualquer aumento. Para objetivas com F pequeno, este aumento máximo se acha limitado, na prática, pela impossibilidade de se construir oculares com f menores do que 4 ou 3 mm.

Assim, por exemplo, para F = 900 mm, o aumento máximo que obtemos é de:

$$A_{\text{max}} = \frac{900}{4} = 225 \text{ vezes}$$

Para objetivas maiores, com F grande, o aumento máximo é limitado, na prática, pela nitidez e luminosidade da imagem, parâmetros estes que dependem do diâmetro D da objetiva, uma vez que quanto maior D, maior a nitidez e luminosidade da imagem obtida, para um mesmo F.

Desta forma é usual se classificar os aumentos dos telescópios em função do diâmetro das objetivas.

A tabela abaixo sumariza os resultados encontrados em diversas fontes, e serve como um guia preliminar para o amador encontrar os aumentos mais adequados a serem utilizados com o seu instrumento. Em todos os casos, D é dado em mm.

Aumento A	Características
Mínimo	$A = 0,143 \cdot D$
Fraco	$A = 0,200 \cdot D$ a $0,500 \cdot D$
Médio	$A = 1,000 \cdot D$ a $1,500 \cdot D$
Forte	$A = 1,800 \cdot D$ a $2,000 \cdot D$
Máximo	$A = 2,400 \cdot D$ a $2,500 \cdot D$

### 3.3.4 Luminosidade

A luminosidade de um instrumento, quando comparada a do olho humano, pode ser interpretada como sendo o número de vezes que o instrumento capta mais luz do que o olho. Como a quantidade de luz que um instrumento capta, da mesma forma que o olho o faz, é proporcional à superfície de captação, e como as objetivas são circulares, então esta área é proporcional ao quadrado do diâmetro. Como a pupila do olho também é circular e, nas condições noturnas tem em média uns 7 mm de diâmetro, então pode-se escrever:

$$L = \frac{D^2}{7^2} \quad L = \frac{D^2}{49}$$

onde:  $L$  = luminosidade (relativa ao olho humano)

$D$  = diâmetro da objetiva (mm)

Assim, por exemplo, para um instrumento com  $D = 200$  mm, temos:

$$L = \frac{(200)^2}{49} \quad L = 820$$

ou seja, esta objetiva capta aproximadamente 820 vezes mais luz do que o olho humano.

### 3.3.5 Magnitude Limite

A magnitude limite é o valor da maior magnitude que é possível ser detectada pelo telescópio. Como se sabe, quanto maior a magnitude, menor o brilho aparente do astro.

A magnitude limite é dada, teoricamente pela seguinte expressão:

$$m = 2,1 + 5 \cdot \log D$$

onde:  $m$  = magnitude (aparente) limite

$D$  = Diâmetro da objetiva (mm)

Para o olho humano, aplicando-se a expressão e considerando a pupila como uma "objetiva" de  $D = 7$  mm, teremos:

$$m = 2,1 + 5 \cdot \log(7) = 2,1 + 5 \cdot 0,845 = 6,3$$

Já para um telescópio com  $D = 25$  cm, o que corresponde a  $D = 250$  mm, teremos:

$$m = 2,1 + 5 \cdot \log(250) = 2,1 + 5 \cdot 2,398 = 14,1$$

### 3.3.6 Poder separador

O poder separador de um instrumento é o poder que este instrumento tem de separar, em dois objetos distintos, dois objetos que se apresentam muito próximos. O poder separador do olho humano é da ordem de  $1'$  de arco, isto é, se dois objetos se encontrarem a uma distância entre si tal que o ângulo subentendido por eles for inferior a  $1'$  de arco, um observador não consegue distingui-los como dois objetos separados. Vê somente um objeto.

A figura 3.7 mostra, de forma esquemática, o ângulo, subentendido pelo olho, de dois objetos próximos entre si.

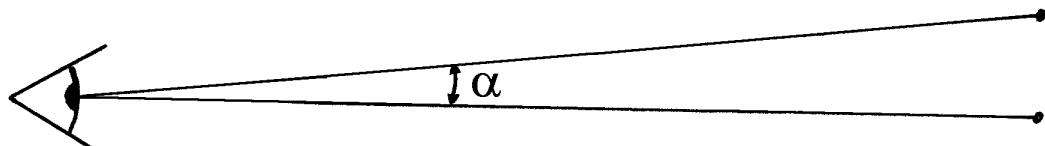


Figura 3.7. Ângulo subentendido por dois objetos próximos.

Na figura 3.7,  $\alpha$  é o ângulo entre os dois objetos. Se  $\alpha < 1'$ , o observador não distingue os dois pontos separados. Vê somente um ponto.

O poder separador de um telescópio é dado pela seguinte expressão:

$$S = \frac{120}{D}$$

onde: S = poder separador (em " de arco)

D = diâmetro da objetiva (mm)

Assim, por exemplo, um telescópio cuja objetiva tenha 114 mm de diâmetro, possui um poder separador de:

$$S = \frac{120}{114} \quad S = 1,05'' \text{ de arco}$$

### **3.3.7 Campo**

O campo de um aparelho é a região do céu que é possível de ser vista com o instrumento.

O campo depende principalmente do aumento utilizado, de forma que, quanto maior o aumento utilizado, menor será o campo visual. Como o campo é circular, é usual expressá-lo pelo seu diâmetro angular, em unidades de ângulo.

Grosseiramente, pode-se estimar, em uma primeira aproximação, o campo de um instrumento como sendo dado pela seguinte expressão:

$$C = \frac{2.400}{A}$$

onde: C = campo ( em minutos de arco )

A = aumento

Assim, por exemplo, para A = 40, o campo será:

$$C = \frac{2.400}{40} \quad C = 60' = 1 \text{ grau.}$$

Conforme pode facilmente se ver, os dois parâmetros mais importantes de um telescópio, e que apareceram nas expressões anteriores, são o diâmetro D da objetiva, bem como a distância focal F da mesma.

Pode-se dar estes dois parâmetros diretamente, como por exemplo  $D=114$  mm e  $F = 900$  mm.

Uma outra forma de dar estes parâmetros é dar a distância focal de forma indireta, através da chamada razão focal ( $f / n$ ). Nesta forma de especificar a distância focal, o número  $n$  indica a razão entre a distância focal e o diâmetro da objetiva. Assim, por exemplo, um telescópio que possui  $D = 10$  cm, com  $f / 9$ , quer dizer que a distância focal é 90 cm, uma vez que, neste caso,  $n = 9$ .

### **3.4. O Binóculo**

Os dois tipos de binóculo mais frequentemente encontrados são os de teatro e o prismático.

O de teatro (que não é o aconselhado para observações astronômicas) se baseia no princípio da luneta de Galileu.

Produz uma imagem direita, isto é, "de cabeça para cima". Os binóculos de brinquedo também são deste tipo.

Os do tipo prismático são os aconselhados para serem utilizados em observações astronômicas, apesar de nem todos serem os mais adequados.

Um binóculo é caracterizado, basicamente, por dois parâmetros: o aumento e o diâmetro da objetiva. O valor destes parâmetros vem gravado no aparelho. Normalmente, o primeiro número indica o aumento e o segundo o diâmetro da objetiva em mm.

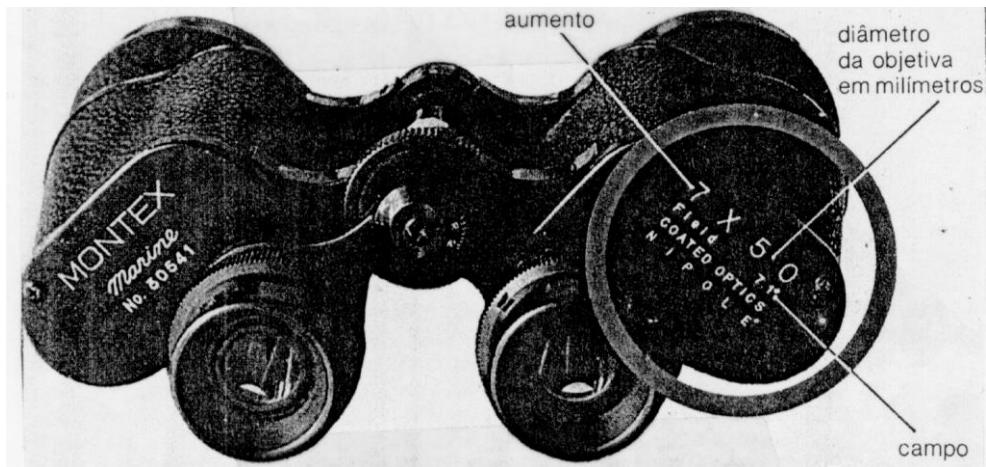
Assim, um binóculo 7x50 quer dizer que possui 7 aumentos e o diâmetro da objetiva é de 50 mm. Algumas vezes estes parâmetros são dados de forma invertida, como por exemplo 50x7. Às vezes aparece um terceiro parâmetro, que é o campo, que é dado, usualmente, em graus. Assim, podemos ter, por exemplo, um binóculo 7x50, 7,1 graus.

Para as finalidades que temos em vista podemos, de um modo simples, dividir os binóculos em dois grandes grupos: os adequados para observações diurnas e os adequados para observações noturnas.

De um modo geral, podemos dizer que os binóculos adequados para observação noturna são aqueles nos quais a pupila de saída se encontra entre 5 mm e 7 mm, sendo que quanto mais próximo de 7 mm melhor, principalmente para a observação de objetos de fraco brilho. A pupila de saída de um binóculo é calculada pela mesma expressão utilizada para os telescópios. No binóculo 7x50, por exemplo, esta pupila de saída é da ordem de 7 mm, o que torna o 7x50 um binóculo adequado para observações noturnas.

Existem outros tamanhos de binóculos apropriados, como por exemplo, o 8x40 (pupila = 5 mm), o 8x60 (pupila = 7,5 mm), o 14x100 (pupila = 7 mm) etc.

A figura 3.8 mostra um binóculo adequado para observação astronômica.



*Figura 3.8. Binóculo 7x50, um dos mais utilizados em astronomia.*

Para finalizar, podemos dizer que um binóculo que possua uma pupila de saída muito maior do que 7 mm, por exemplo, o 4x40 ou mesmo o 4x50, "desperdiça" luz, isto é, com este diâmetro de objetiva, com um aumento maior, se poderia ter um binóculo mais efetivo. Por outro lado, um binóculo que possua uma pupila de saída muito menor do que 7 mm, como por exemplo, o 20x50, "economiza" luz, de forma que a observação de objetos pouco luminosos fica prejudicada. Assim, nenhum dos dois é o mais adequado para as observações astronômicas, principalmente o último.

### **3.5. Os Telescópios.**

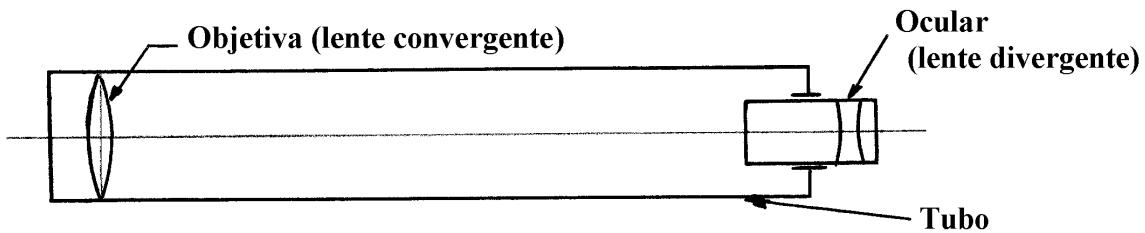
Os dois principais tipos de telescópios que existem são o telescópio refrator (lunetas) e o telescópio refletor (com suas variações).

#### **3.5.1 Telescópios refratores.**

Historicamente, são os mais antigos (a luneta de Galileu era um telescópio refrator).

Consistem basicamente de um tubo, onde numa extremidade se coloca uma lente convergente ou, o que é mais usual, um conjunto de lentes convergente, a objetiva, normalmente de grande diâmetro, quando comparada à ocular, e na outra extremidade se coloca uma outra lente (conjunto de lentes), a ocular.

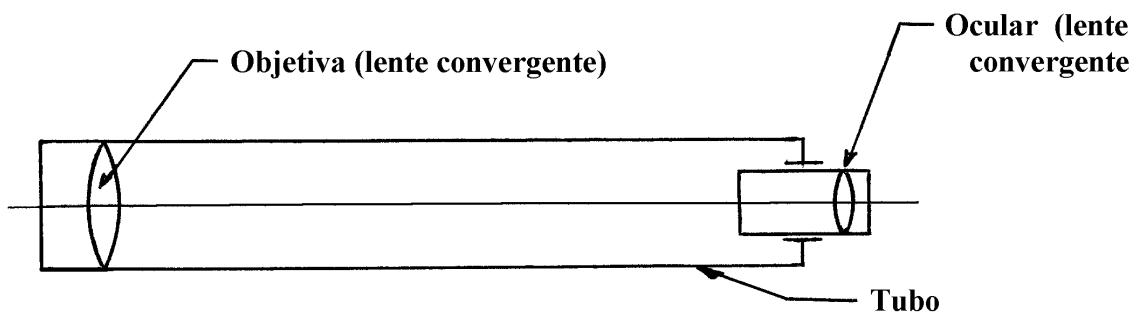
A figura 3.9 ilustra, de forma esquemática, o princípio da luneta de Galileu, também conhecida como luneta terrestre. Esta luneta fornece uma imagem direita, isto é, de "cabeça para cima".



*Figura 3.9. Luneta de Galileu ou luneta terrestre.*

A figura 3.10 mostra, de forma esquemática, a luneta de Kepler, também conhecida como luneta astronômica ou telescópio antigo.

Esta luneta fornece uma imagem invertida, isto é, "de cabeça para baixo".



*Figura 3.10. Luneta de Kepler, ou luneta astronômica ou telescópio antigo.*

Os telescópios refratores são, normalmente, bem mais caros do que os refletores, quando do mesmo porte. Assim, para uso profissional, com raras exceções, hoje em dia se utilizam quase que somente telescópios refletores.

Um bom refrator normalmente fornece imagens mais nítidas do que um refletor do mesmo diâmetro. Os grandes problemas do refrator, a aberração cromática e a aberração esférica são contornados com o uso de objetivas compostas por diversas lentes de vidro especial, cada uma delas com formas especiais, bem como com o uso de distâncias focais grandes em relação ao diâmetro da objetiva ( $f / 10$  e maiores, geralmente). Tudo isto encarece bastante o instrumento.

Um outro problema que acompanha o refrator é o peso da lente objetiva. No caso da lente ser grande, ela pode se deformar pela ação do próprio peso, já que não é possível se projetar um sistema de reforço que impeça esta deformação, uma vez que a luz precisa atravessar a lente. Assim, raramente se encontram refratores com uma objetiva com diâmetro superior a 20 ou 25 cm.

O maior refrator do mundo é o de Yerkes, nos EUA. Este telescópio possui uma objetiva com 102 cm de diâmetro, com uma distância focal de 19,3 metros.

### 3.5.2 Telescópios refletores.

Os telescópios refletores são, praticamente, os únicos utilizados hoje em dia no trabalho profissional. Mesmo no campo amador, os telescópios refletores têm a preferência, principalmente por causa dos custos, uma vez que são bem mais baratos do que os refratores comparáveis.

Num telescópio refletor a objetiva, em vez de ser uma lente, é um espelho côncavo, com seção circular ou parabólica (os melhores, mas mais difíceis de fazer e portanto mais caros).

Existem diversos tipos de telescópios refletores, sendo os mais comuns os do tipo Newtoniano e os do tipo Cassegrain.

A figura 3.11 mostra, esquematicamente, o princípio de funcionamento de um telescópio refletor do tipo Newtoniano.

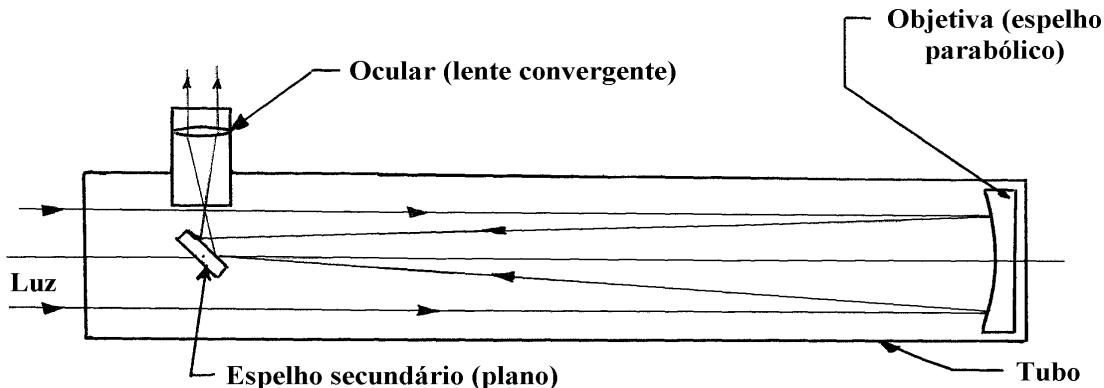
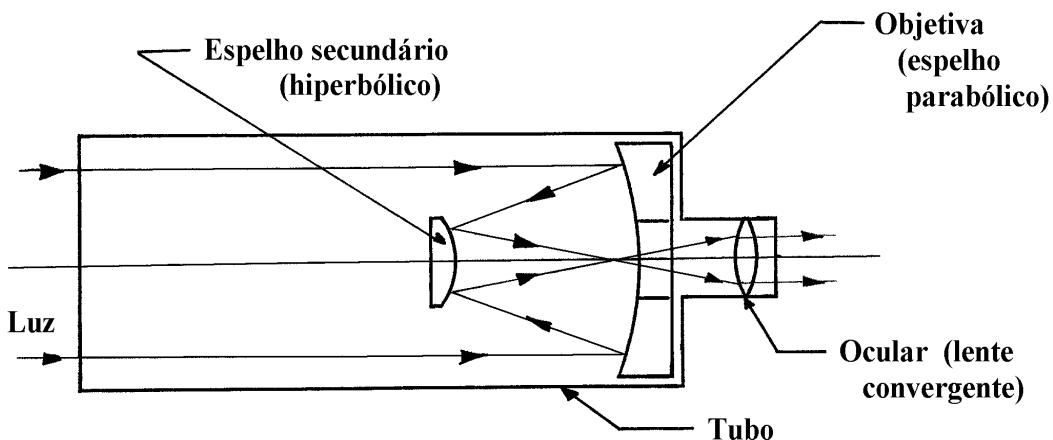


Figura 3.11. Telescópio refletor do tipo Newtoniano.

A luz incidente é refletida pelo espelho principal, geralmente parabólico, e após é desviada pelo espelho secundário, que é um espelho plano colocado a 45 graus com o eixo óptico do instrumento. Desta forma, o feixe de luz é levado à ocular, onde então se forma a imagem. Nos grandes telescópios, devido ao grande diâmetro do espelho principal (o maior do mundo, na Rússia, tem 6 metros de diâmetro), algumas vezes não se usa o espelho secundário. Ao invés disso, se coloca no foco do espelho principal uma "gaiola", dentro da qual permanece o observador, munido de um sistema óptico.

Na figura 3.12 é mostrado, de forma esquemática, o princípio de funcionamento de um telescópio refletor do tipo Cassegrain.



*Figura 3.12. Telescópio refletor do tipo Cassegrain.*

Neste tipo o espelho principal possui um furo em seu centro.

O espelho plano é substituído por um espelho hiperbólico, que concentra o feixe principal no seu centro. Desta forma, o feixe de luz sai pelo "fundo" do instrumento, onde é colocada a ocular.

O tipo Cassegrain é mais caro que o tipo Newtoniano, para o mesmo tamanho de espelho e mesma distância focal.

A grande vantagem do tipo Cassegrain sobre o Newtoniano é o tamanho; o Cassegrain é bem mais compacto do que o Newtoniano de mesmo diâmetro e mesma distância focal.

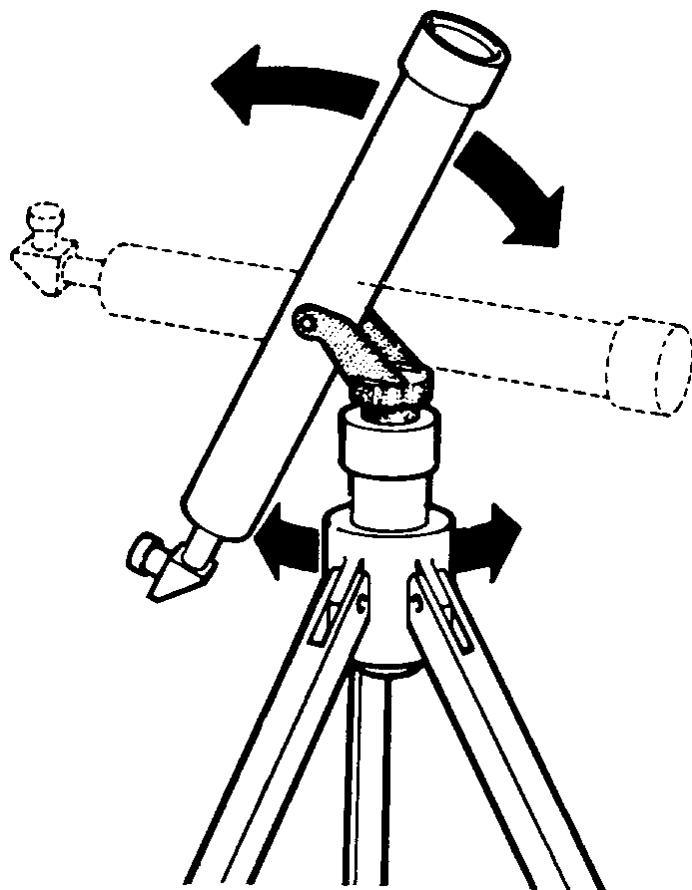
### **3.6. Montagens para telescópios**

Existem, basicamente, dois tipos de montagens para telescópios: a montagem azimutal, muitas vezes conhecida como montagem altazimutal, e a montagem equatorial.

#### **3.6.1 Montagem azimutal.**

É a mais simples. É utilizada em instrumentos pequenos, e devido ao seu baixo custo, barateia bastante o instrumento. Hoje em dia, com o advento da eletrônica, principalmente dos computadores digitais, tem sido utilizada também em instrumentos de maior porte (a montagem do maior telescópio do mundo é azimutal, com controle computadorizado).

A figura 3.13 ilustra o princípio da montagem azimutal.



*Figura 3.13. Princípio básico da montagem azimutal.*

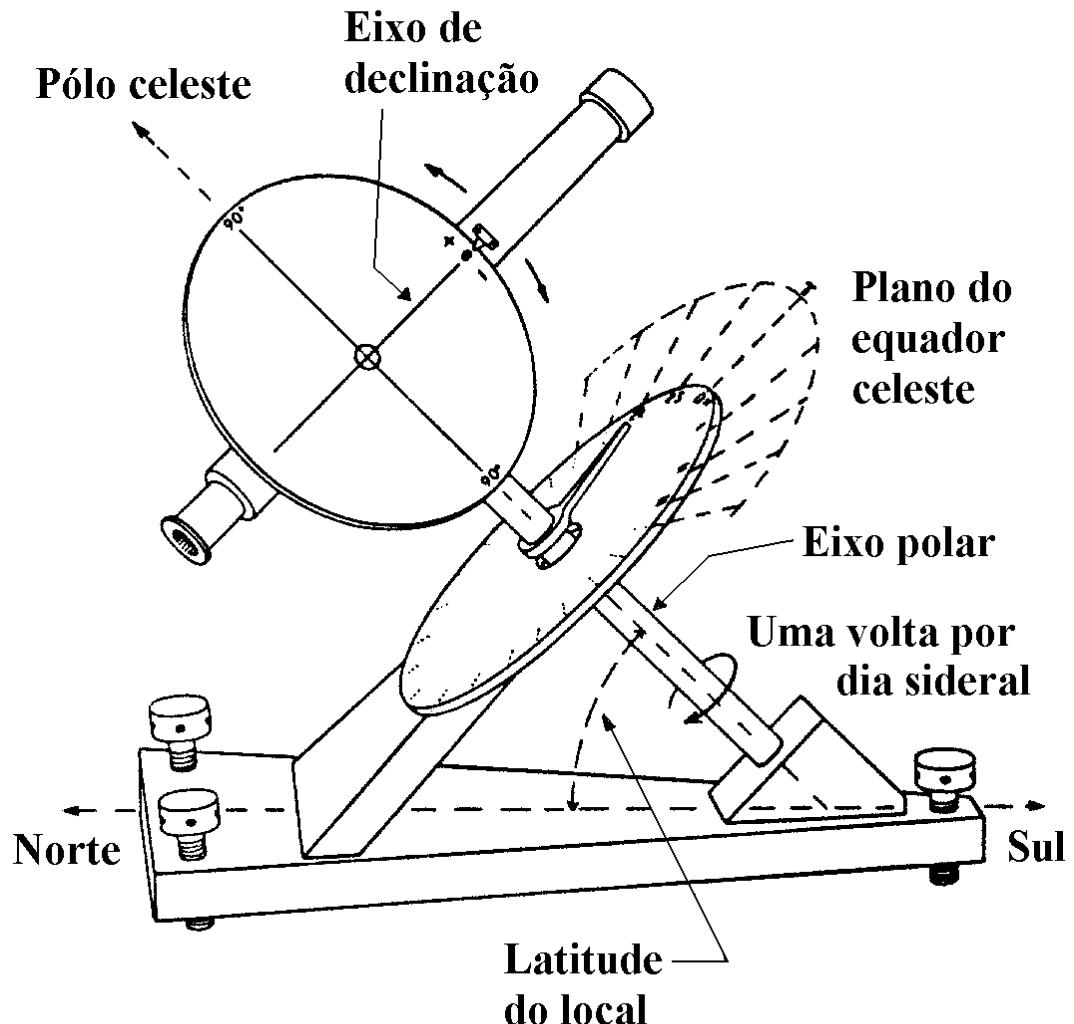
Na montagem azimutal, o acompanhamento do astro observado exige sempre a atuação em dois comandos independentes entre si, simultaneamente.

### **3.6.2 Montagem equatorial**

É a mais complicada. Até bem pouco tempo atrás, era a única utilizada em telescópios profissionais. A grande vantagem da montagem equatorial é que a mesma permite o acompanhamento do astro observado através da atuação sobre somente um comando.

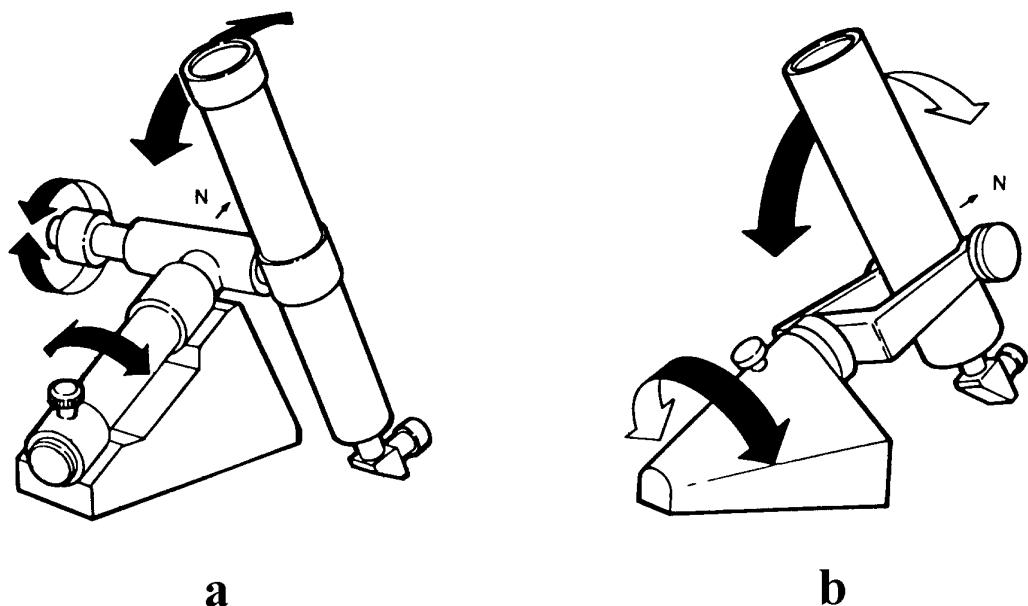
A figura 3.14 ilustra o princípio básico da montagem equatorial.

## Movimento diário

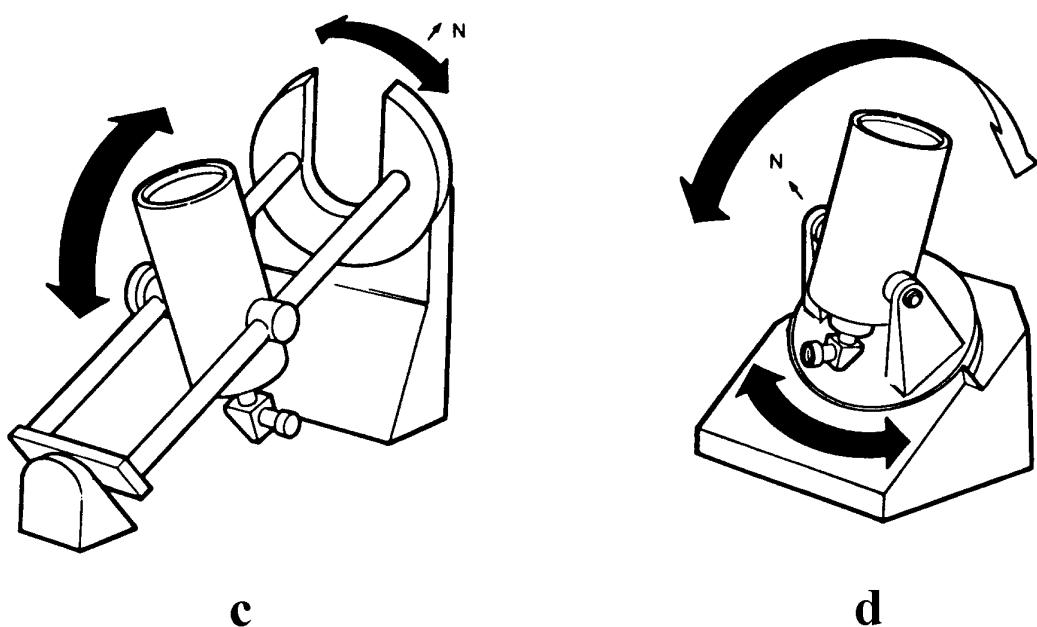


*Figura 3.14. Princípio básico da montagem equatorial.*

Existem diversos sistemas de montagens equatoriais. As figuras 3.15 (a), (b), (c) e (d) mostram alguns dos tipos mais comuns.



*Figura 3.15. (a) Montagem alemã (b) Montagem de dois braços em forquilha.*



*Figura 3.15. (c) Montagem em berço ou em ferradura (d) Montagem em disco polar.*

# **CAPÍTULO 4**

## ***As Constelações***

***Edna M. E. da Silva***

## **Capítulo 4 - AS CONSTELAÇÕES**

### **4.1. Introdução**

Para a ideal contemplação de uma noite estrelada, é necessário que tenhamos um céu límpido, sem poeiras atmosféricas e uma noite negra. Nessas condições podemos observar, numa única noite, aproximadamente 2.500 estrelas.

O céu noturno é muito interessante e misterioso. Provavelmente vem despertando a imaginação humana desde a pré-história. Os mais antigos registros datam de cerca de 50.000 anos atrás. Foram encontradas gravuras feitas em pedra, representando constelações como as Plêiades, Ursa Maior e Ursa Menor.

Povos antigos como gregos, árabes e egípcios, em suas observações, percebiam arranjos estelares em determinadas regiões do céu. Assim imaginavam alinhamentos entre as estrelas e criavam desenhos representando figuras do cotidiano como animais, objetos e deuses. Dessa forma surgem as constelações. Cada povo imaginava na esfera celeste suas constelações, associando-as diretamente a seus afazeres diários. O aparecimento de determinada constelação indicava a época da colheita de alguma cultura, ou podia indicar a chegada das chuvas, da estação fria etc. Enfim, as constelações serviam, de certa forma, como um calendário para esses povos.

Devido às diferentes distâncias em que as estrelas estão da Terra, a imagem que temos das constelações é apenas aparente.

As constelações facilitam a localização dos astros, seja na esfera celeste ou numa carta celeste.

Em 1930, astrônomos do mundo inteiro resolveram fixar o número de constelações, caracterizando precisamente seus contornos. Foram reconhecidas pela IAU (União Astronômica Internacional) oitenta e oito constelações na esfera celeste. A maioria delas continua até hoje com os mesmos nomes da antiguidade. As do hemisfério sul receberam nomes mais recentes, pois só foram reconhecidas pelos povos do norte a partir de 1500, com as grandes navegações. Trata-se de constelações como a Popa, Vela, Cruzeiro do Sul, Sextante, Bússola, Carina etc.

Em cada constelação, encontramos diversas estrelas, de modo que, para diferenciá-las, são-lhes atribuídos nomes próprios ou números. As mais brilhantes recebem nomes próprios e as demais, números. Na constelação de Touro, temos Aldebarã como a mais brilhante; em Cão Maior, temos Sírius; e em Escorpião, Antares.

Dentro de uma constelação podemos, ainda, observar que algumas estrelas brilham mais que outras. Para ressaltar tal fato, classifica-se as estrelas quanto ao brilho. A mais brilhante recebe a designação alfa ( $\alpha$ ), a segunda mais brilhante beta ( $\beta$ ), a terceira gama ( $\gamma$ ), e assim sucessivamente, seguindo a ordem do alfabeto grego.

Quatro constelações, dentre as oitenta e oito existentes, despertam particular interesse, pois representam as quatro estações do ano. Em cada estação, temos uma dessas em destaque no céu. São elas:

Outono	= Leão (Leo)
Inverno	= Escorpião (Scorpius)
Primavera	= Pégaso (Pegasus)
Verão	= Órion

## 4.2. O zodíaco

A palavra Zodiakos é de origem grega e significa "círculo de animais". O "Zodíaco", como é chamado atualmente, foi delimitado por volta do ano 450 a.C., por um astrônomo grego chamado Oenópides.

O Zodíaco é representado na esfera celeste por uma faixa, limitada por dois paralelos de declinação celeste, oito graus ao sul e oito graus ao norte da eclíptica.

Chama-se eclíptica à linha imaginária que passa na parte central do Zodíaco. Ao longo da mesma estão representadas as trajetórias aparentes do Sol, da Lua e dos planetas durante o ano. Para compreendermos melhor sua localização, basta observarmos o movimento aparente do Sol durante o dia. O plano da eclíptica está inclinado 23° 27' em relação ao plano do equador celeste. O equador celeste é uma projeção do equador terrestre na esfera celeste.

Plutão é um caso à parte no sistema solar. Devido à sua órbita ser muito inclinada em relação à eclíptica, sai frequentemente da faixa do Zodíaco.

Na faixa zodiacal estão localizadas 24 constelações, das quais destacam-se 12, que são cortadas pela eclíptica. As constelações do Zodíaco recebem destaque na esfera celeste por constituírem um "pano de fundo", sobre o qual estão localizados o Sol, a Lua e todos os planetas (com exceção de Plutão), durante o ano.

Abaixo relacionamos as constelações zodiacais:

Constelação	Português
Pisces	Peixes
Áries	Carneiro
Taurus	Touro
Gemini	Gêmeos
Câncer	Caranguejo
Leo	Leão
Virgo	Virgem

Constelação	Português
Libra	Balança
Scorpius	Escorpião
Sagittarius	Sagitário
Capricornus	Capricórnio
Aquarius	Aquário

Relação das oitenta e oito constelações existentes segundo a I.A.U. (União Astronômica Internacional)

Constelação	Nome em português	Abreviação
Andrômeda	Andrômeda	And.
Antlia	Máquina pneumática	Ant
Apus	Ave do paraíso	Aps
Aquarius	Aquário	Aqr
Aquila	Águia	Aql
Ara	Altar	Ara
Aries	Carneiro	Ari
Auriga	Cocheiro	Aur
Bootes	Boieiro	Boo
Caelum	Buril	Cae
Camelopardus	Girafa	Cam
Cancer	Caranguejo	Cnc
Canes Venatici	Cães de caça	CVn
Canis Major	Cão maior	CMa
Canis Minor	Cão menor	CMi
Capricornus	Capricórnio	Cap
Carina	Quilha	Car
Cassiopea	Cassiopéia	Cas

Constelação	Nome em português	Abreviação
Centaurus	Centauro	Cen
Cepheus	Cefeu	Cep
Cetus	Baleia	Cet
Chamaeleon	Camaleão	Cha
Circinus	Compasso	Cir
Columba	Pomba	Col
Coma Berenices	Cabeleira de Berenice	Com
Corona Australis	Coroa austral	CrA
Corona Borealis	Coroa boreal	CrB
Corvus	Corvo	Crv
Crater	Taça	Crt
Crux	Cruzeiro do sul	Cru
Cygnus	Cisne	Cyg
Delphinus	Delfim	Del
Doradus	Dourado	Dor
Draco	Dragão	Dra
Equuleus	Cavalo menor	Eql
Eridanus	Erídano	Eri
Fornax	Forno	For
Gemini	Gêmeos	Gem
Grus	Grou	Gru
Hercules	Hércules	Her
Horologium	Relógio	Hor
Hydra	Hidra fêmea	Hya
Hydrus	Hidra macho	Hyi
Indus	Índio	Ind
Lacerta	Lagarto	Lac

Constelação	Nome em português	Abreviação
Lacerta	Lagarto	Lac
Leo	Leão	Leo
Leo Minor	Leão menor	LMi
Lepus	Lebre	Lep
Libra	Balança	Lib
Lupus	Lobo	Lup
Lynx	Lince	Lyn
Lyra	Lira	Lyr
Mensa	Mesa	Men
Microscopium	Mocroscópio	Mic
Monoceros	Unicórnio	Mon
Musca	Mosca	Mus
Norma	Régua ou esquadro	Nor
Octans	Oitante	Oct
Ophiuchus	Serpentário	Oph
Orion	Órion	Ori
Pavo	Pavão	Pav
Pegasus	Pégaso	Peg
Perseus	Perseu	Per
Phoenix	Fênix	Phe
Pictor	Cavalete do pintor	Pic
Pisces	Peixes	Psc
Piscis Austrinus	Peixe austral	PsA
Puppis	Popa	Pup
Pyxis	Bússola	Pyx
Reticulum	Retículo	Ret
Sagitta	Flecha	Sge

Constelação	Nome em português	Abreviação
Sagittarius	Sagitário	Sgr
Scorpius	Escorpião	Sco
Sculptor	Escultor	Scl
Scutum	Escudo	Sct
Serpens	Serpente	Ser
Sextans	Sextante	Sex
Taurus	Touro	Tau
Telescopium	Telescópio	Tel
Triangulum	Triângulo	Tri
Triangulum Australe	Triângulo austral	TrA
Tucana	Tucano	Tuc
Ursa Major	Ursa maior	UMa
Ursa Minor	Ursa menor	UMi
Vela	Vela	Vel
Virgo	Virgem	Vir
Volans	Peixe voador	Vol
Vulpecula	Raposa	Vul

### 4.3. As noites de verão

Observemos o céu estrelado, ao anoitecer, em início de verão. Órion, o caçador, será a constelação que mais nos chamará a atenção. Sua forma retangular com as Três Marias no interior se assemelha a um torso de um caçador, usando um cinturão. Para o hemisfério sul terrestre, é uma constelação típica de verão. Suas estrelas mais brilhantes são: Betelgeuse (alfa orionis), a estrela mais brilhante da constelação. É uma gigante vermelha de brilho variável, com diâmetro de cerca de 300 a 400 vezes ao do nosso Sol. Possui magnitude aparente de 0,41 e dista 520 anos luz; Rigel (beta orionis), a segunda mais brilhante, forma um sistema duplo de estrelas, com magnitude aparente de 0,15 e distante 900 anos luz. Fazem parte ainda de Órion as estrelas: Bellatrix (gama orionis), Saiph (kappa orionis), Mintaka (delta orionis), Alnilam (epsilon orionis), e Alnitak (zeta orionis). As três últimas são popularmente conhecidas como "Três Marias".

Existe nessa constelação um grande número de nebulosas, das quais destacam-se: a Grande Nebulosa de Órion, M42, situada na extremidade inferior da espada, e a nebulosa escura conhecida como "Cabeça de Cavalo", localizada ao sul da estrela zeta.

Se olharmos para o leste, a partir da Três Marias, veremos a estrela mais brilhante de todo o céu, Sírius. Pertence à constelação do Cão Maior, sendo sua estrela mais brilhante (alfa canis majoris). É um sistema duplo de estrelas, com magnitude aparente de -1,4 que está situado a 8,7 anos luz de distância. Sírius possui um diâmetro equivalente a 1,8 vezes o do Sol.

Abaixo do Cão Maior encontramos Cão Menor, onde se destaca Prócion (alfa canis minoris). É uma estrela dupla com magnitude aparente de 0,3 e distante 11,3 anos luz.

No alinhamento de Sírius e Prócion, olhando para o sul, encontramos a constelação de Carina. Sua estrela mais brilhante chama-se Canopus, a segunda mais brilhante do céu, e possui -0,7 de magnitude aparente. As constelações de Carina (a Quilha), Vela e Puppis (a Popa) formavam, no passado, uma única constelação, o Navio (Argo Navis).

No alinhamento das Três Marias para noroeste, encontramos a constelação de Touro. Sua estrela mais brilhante é Aldebaran (alfa tauri), uma gigante vermelha com magnitude aparente de 0,8 e distante 68 anos luz. Representa um dos olhos do Touro e pertence ao grupo de estrelas em forma de "V", chamado de Híades.

Um pouco abaixo das Híades, encontramos o aglomerado estelar chamado Plêiades, ou M45. Este, visto a olho nu, contém sete estrelas de fraco brilho, mas na verdade é formado por mais de duzentas estrelas.

A constelação do Touro era muito importante para os povos da antiguidade clássica, pois seu aparecimento no céu representava a chegada das chuvas nos meses de junho e julho.

No ano de 1054 d.C. surgiu uma estrela supernova entre os chifres do Touro, observada em pleno dia por astrônomos chineses. Os remanescentes dessa estrela que explodiu se resumem na nebulosa do Caranguejo, ou M1, visível com o auxílio de telescópios, e em um pulsar no centro da nebulosa.

A oeste de Touro encontra-se a constelação de Áries. Suas estrelas principais são: Hamal (alfa arietis), a cabeça do carneiro; Sheratan (beta arietis) e Mesartim (gamma arietis).

Na porção sul da esfera celeste destacam-se as duas Nuvens de Magalhães. Trata-se de duas galáxias menores, aprisionadas pela Via Láctea gravitacionalmente e tornadas satélites, a 200.000 anos luz de distância. Podem ainda ser observadas, nas noites de verão, as constelações de Capricórnio, Peixe Austral, Pavão, Peixes e Baleia.

#### **4.4. As noites de outono**

Nas noites de outono, a faixa esbranquiçada da Via Láctea atravessa o céu no sentido noroeste - sudeste. As constelações em destaque são: Gêmeos, Caranguejo (Câncer), Leão, Virgem, Hidra, Cruzeiro do Sul e Centauro.

Leão é a constelação que anuncia o outono para o hemisfério sul terrestre. No início dessa estação aparece ao anoitecer, permanecendo no céu a noite inteira.

Encontramos nessa região um grande número de estrelas duplas e variáveis, aglomerados, nebulosas e galáxias. Os objetos principais são: M65, M66, M105, M96 e M95.

A estrela mais brilhante de Leão chama-se Regulus e representa as garras das patas dianteiras do animal. É uma estrela tripla e se encontra a uma distância de 84 anos luz. Possui um diâmetro quatro vezes maior que o solar, e sua magnitude aparente é 1,3. A segunda mais brilhante chama-se Denébola (beta leonis) e está a uma distância de 42 anos luz.

Em Virgem destaca-se a estrela Spica (alfa virginis) que representa uma espiga de trigo ou milho, seguro pela deusa da fertilidade da terra. Spica se encontra a 220 anos luz de distância. É uma estrela branca com magnitude 0,9. É uma dupla espectroscópica, possuindo brilho variável pelo fato de sua companheira a eclipsar. É uma constelação de fácil identificação, pois possui o formato aparente de um quadrilátero.

Observemos agora Gêmeos, donde se destacam Castor e Pólux que, lado a lado, representam as cabeças dos gêmeos. Castor (alfa geminorum) é uma estrela dupla esbranquiçada com magnitude 1,5. Pólux, a segunda em brilho, possui cor alaranjada e dista 35 anos luz, possuindo magnitude 1,2. Em Gêmeos temos um aglomerado estelar aberto de fácil observação, o M35.

Passemos à descrição de Câncer, localizada no alinhamento de Gêmeos para leste. Suas estrelas são pouco brilhantes, destacando-se Acubens (alfa cancri), com magnitude 4,3. Nesta constelação, merece destaque a nebulosa do Presépio, que consiste num aglomerado aberto contendo 75 estrelas, classificado como M44, segundo o catálogo Messier.

Acima de Leão e Câncer temos a constelação de Hidra, a serpente do mar, ocupando uma extensa faixa da esfera celeste. Sua estrela principal chama-se Alfard e possui magnitude 2. Trata-se de uma gigante vermelha distante 95 anos luz da Terra.

Não poderíamos deixar de citar as presenças marcantes, nas noites outonais, do Cruzeiro do Sul e do Centauro. O Cruzeiro do Sul é formado por quatro estrelas brilhantes: Acrux ou Estrela de Magalhães (alfa crucis), Mimosa (beta crucis), Rubídea (gama crucis) e Pálida (delta crucis). Soma-se ainda uma quinta estrela, Intrometida (epsilon crucis). As estrelas alfa e gama são duplas e facilmente observáveis com uma pequena luneta. Junto à estrela kapa crucis, encontramos um belíssimo aglomerado estelar, a Caixa de Jóias.

Em sua posição aparente, o Cruzeiro está próximo ao pólo sul celeste. Desta forma, se tomarmos o alinhamento que vai de Gacrux até Acrux e o prolongarmos quatro vezes e meia na direção sul (ou seja, na direção de Acrux, no pé da cruz), teremos encontrado o ponto correspondente ao pólo sul celeste. Projetando esse ponto na superfície terrestre, encontrase-á o ponto cardeal sul.

Ao lado do Cruzeiro, observa-se a existência de manchas escuras, das quais a mais conhecida chama-se Nebulosa do Saco de Carvão. São nebulosas escuras que tornam a negritude muito mais intensa nessa região, que interceptam a luz das estrelas mais distantes.

No alinhamento das estrelas beta e gama do Cruzeiro, encontraremos duas estrelas solitárias que parecem apontar para o mesmo. São popularmente conhecidas como as Guardas do Cruzeiro. Trata-se das estrelas Alfa e Beta da constelação do Centauro. Alfa Centauri, a estrela mais próxima da Terra, é uma dupla e dista 4,3 anos luz. Nessa região observa-se um grande número de nebulosas galácticas e aglomerados. Merece destaque o aglomerado globular de Ômega do Centauro, que contém um número incalculável de estrelas, distando 17.000 anos luz da Terra.

Numa simples observação a olho nu, verifica-se que a região próxima ao pólo sul celeste é riquíssima em estrelas. Com auxílio de telescópios, mesmo modestos, observaremos asterismos bastante interessantes.

## 4.5. As noites de inverno

No inverno acontecem as melhores noites para observação do firmamento estrelado. As noites invernais são, em geral, mais escuras e límpidas. As constelações que merecem destaque nessa estação são: Lira, Cisne, Águia, Hércules, Ovídeo, Escorpião, Sagitário e Capricórnio.

A constelação de Escorpião domina as noites de inverno. Sua estrela principal chama-se Antares ( $\alpha$  scorpii). É uma estrela do tipo gigante vermelha, que merece destaque por ser uma das maiores estrelas conhecidas, com seu diâmetro de 350 vezes maior que o do Sol. Se a colocássemos no lugar do Sol, ocuparia a órbita de Marte. Possui um grande volume, porém é pouco densa. É um sistema duplo situado a 320 anos luz de distância.

Em Escorpião encontramos belíssimos aglomerados estelares. Próximo à cauda do animal, temos os M6 e M7, aglomerados abertos, distantes o primeiro a 1.900 e o segundo a 1.200 anos luz da Terra. Próximo a Antares, temos dois aglomerados globulares: o M4, situado a 6.000 anos luz, e o M80, a 36.000 anos luz de distância.

A leste de Escorpião encontraremos Sagitário. Não possui estrelas de primeira magnitude, apresentando, porém, inúmeros aglomerados e nebulosas, pois é nessa região da esfera celeste, a cerca de 32.000 anos luz do Sol, que se situa o centro da nossa Galáxia, a Via Láctea. Entre os muitos objetos existentes, destacam-se: o M8, ou nebulosa da Lagoa, visível a olho nu, situado a 2.500 anos luz; M20, conhecida como nebulosa Trífida, situada a 6.500 anos luz e M17, conhecido como nebulosa Ômega. São ainda observáveis os seguintes objetos: M75, M55, M54, M25, M18, M24, M23, M21, M70, M69 e M28.

Entre Sagitário e Escorpião, observa-se uma sequência de estrelas de quarta magnitude, formando uma coroa. Trata-se da constelação da Coroa Austral.

A leste de Sagitário, encontramos Capricórnio, figura mitológica metade caprino, metade peixe. Não possui estrelas de primeira magnitude, mas é de fácil identificação, pois seus contornos se parecem a uma asa delta.

Ao norte de Escorpião e Sagitário observa-se Ovídeo, constelação cortada pela eclíptica. Essa constelação representa o deus romano da Medicina, Esculápio. A figura lembra um homem envolvido por uma serpente na altura da barriga. Nessa constelação encontramos um número razoável de aglomerados, como M10 e M12, visíveis com telescópios. Sua estrela mais brilhante é Ras Alague ( $\alpha$  ophiuchi), de magnitude 2,1.

Situada ao norte de Ovídeo e também da eclíptica, temos Hércules. Nessa constelação encontra-se o ápice do sistema solar; Ápice é o ponto imaginário entre as estrelas para o qual se desloca o Sol e seus planetas em seu movimento dentro da Galáxia, a cerca de 200 km/s. Encontramos em Hércules um belo aglomerado globular, o M13, situado entre as estrelas eta e zeta. É constituído por mais de 500 estrelas e sua distância é de, aproximadamente, 22.000 anos luz.

No horizonte norte, abaixo de Hércules, encontramos a constelação de Lira. Sua estrela mais brilhante, Vega (alfa lirae), possui magnitude 0,1 e dista 26 anos luz de nós. Entre suas estrelas beta e gama situa-se uma nebulosa planetária, a Nebulosa Anular da Lira, ou M57.

Olhando na direção norte, encontraremos, à leste da Lira, a constelação do Cisne, que é facilmente reconhecível, pois se assemelha a uma cruz. No extremo superior da cruz encontramos Deneb (alfa cygni), que possui magnitude 1,2; seu diâmetro é 60 vezes maior que o do Sol, e dista 1.500 anos luz. Um pouco ao norte dessa, aparece o aglomerado M39.

Ao norte de Sagitário e além de Ovíquo, temos a Águia. Sua estrela mais brilhante se chama Altair (alfa aquilae), uma vizinha do sistema solar, pois dista apenas 16 anos luz. Possui magnitude 0,8 e seu diâmetro é uma vez e meia maior que o Sol.

## **4.6. As noites de primavera**

A constelação que melhor representa as noites de primavera é Pégaso, que representa o cavalo alado da mitologia grega. É de fácil identificação, pois suas estrelas principais formam um grande quadrado próximo ao horizonte norte. Sua estrela mais brilhante é Markab (alfa pegasi), que possui magnitude 2,5 e dista 110 anos luz. Scheat (beta pegasi), é uma gigante vermelha 145 vezes maior que o Sol, a 200 anos luz de distância. E Algenib (gama pegasi), uma variável cefeida a 500 anos luz, completa o grande quadrado, junto com a estrela alfa de Andrômeda. Destaca nessa constelação o aglomerado globular M15, a 40.000 anos luz de distância, de magnitude visual 6,4.

Olhando mais ao norte, temos a constelação de Andrômeda. O objeto mais curioso observável a olho nu é a Nebulosa de Andrômeda, M31. É uma galáxia espiral com dimensões superiores às da Via Láctea, localizada à distância de 2,2 milhões de anos luz e possuindo diâmetro de 200.000 anos luz. É de fácil observação no hemisfério norte, mas de observação prejudicada em nossa latitude, por encontrar-se sempre próxima do horizonte.

No final da primavera, observa-se, a sudeste de Órion, uma extensa constelação no céu, o Eríano, que representa um rio na mitologia. Sua estrela principal se chama Achernar (alfa eridani), que representa a foz do rio, possui magnitude 0,5 e dista 120 anos luz. Nos meses de outubro, novembro e dezembro, encontra-se próxima do zênite.

Na direção norte, temos, a oeste do Eríano, a constelação da Baleia. Sua estrela principal, Menkar (alfa ceti), é uma gigante vermelha com magnitude 2,5 e distante 150 anos luz. É nessa constelação que observamos Mira (omicron ceti), a primeira estrela variável descoberta.

Visualiza-se, ainda na primavera, as constelações: Peixe Austral, cuja estrela principal, Fomalhaut (alfa piscis austrini), aparece com magnitude 1,2. Ao norte do Peixe Austral, aparecem Aquário e Peixes, com suas estrelas de fraco brilho.

## 4.7. Constelações circumpolares

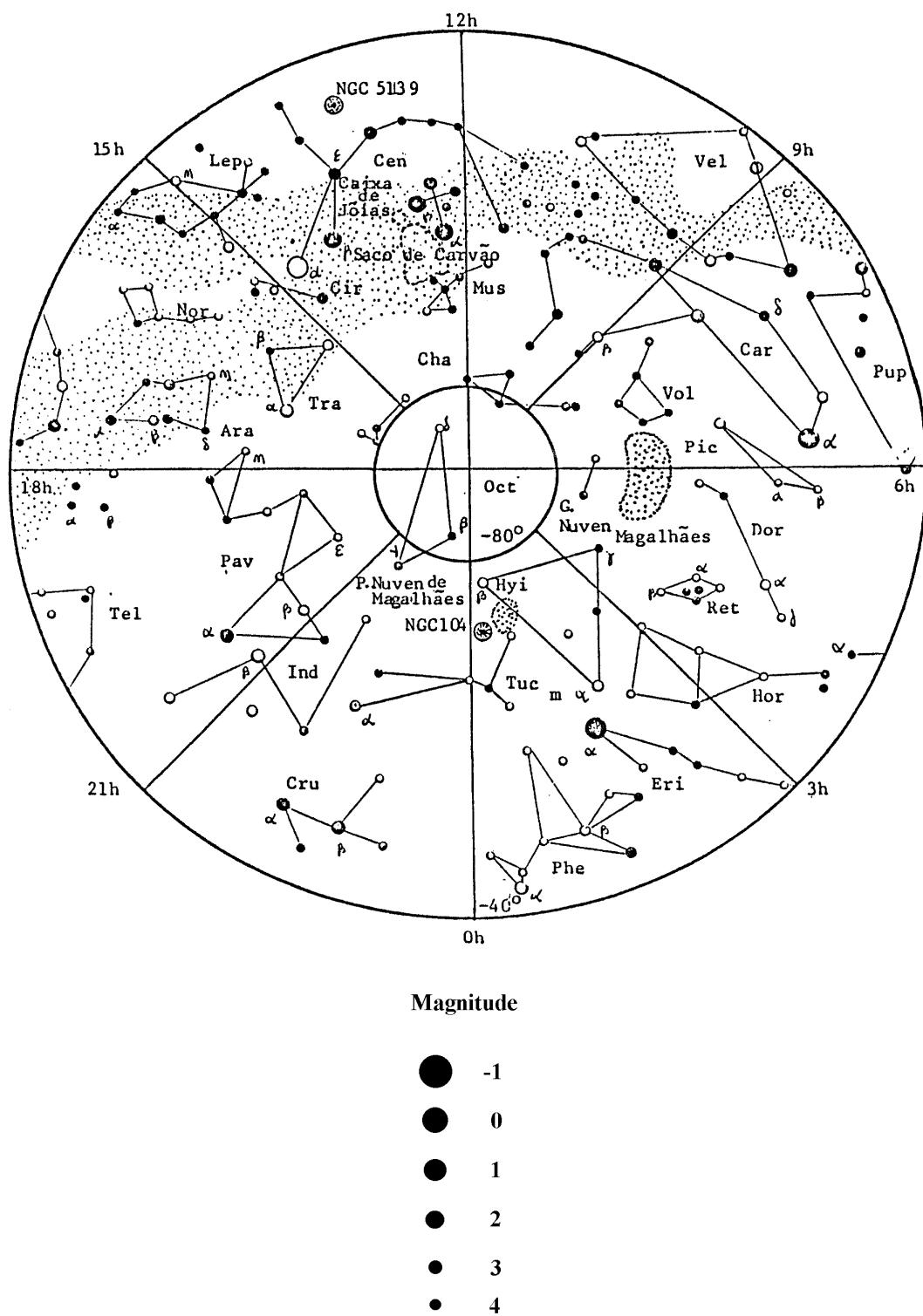
Nas zonas circumpolares da esfera celeste, as estrelas permanecem acima do horizonte o ano inteiro, sem nascerem e nem se ocultarem no horizonte. Por isso, pertencem ao chamado de "círculo de perpétua aparição". Os pólos celestes são os pontos para os quais estão apontados as duas pontas do eixo de rotação terrestre na esfera celeste. A posição dos mesmos é importante, porque as estrelas parecem girar ao seu redor. Suas alturas em relação ao horizonte serão as latitudes geográficas dos lugares. Assim, um observador, ao se dirigir para o hemisfério sul da Terra, verá o pólo sul celeste ganhar altura no horizonte sul, e o pólo norte celeste se esconder no horizonte norte.

Para entendermos melhor, suponhamos que um observador esteja localizado no equador terrestre. O mesmo verá o pólo sul celeste tocar o horizonte sul e o pólo norte celeste tocar o horizonte norte, pois estará exatamente na metade da Terra. Portanto, a posição dos pólos celestes dependerá da localização do observador na superfície terrestre.

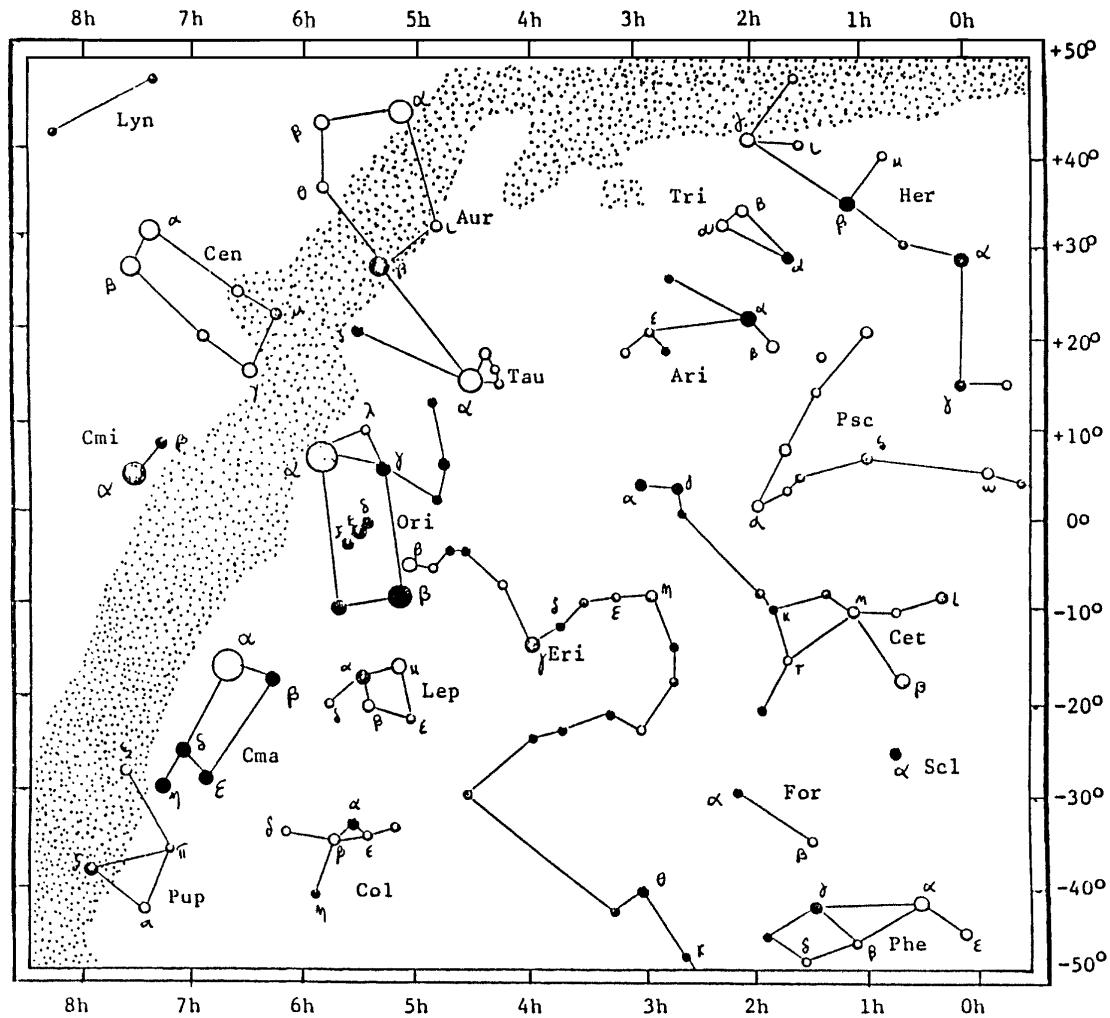
Para Florianópolis, o "círculo de perpétua aparição" tem como centro o pólo sul celeste, e o seu raio é igual à latitude do lugar, que é de 27,5 graus sul. Portanto, todas as estrelas com declinação acima de 63,5 graus sul são visíveis o ano inteiro. As seguintes constelações situam-se nessa faixa de declinação: Ave do Paraíso (Apus), Camaleão(Chamaleon), Hidra Macho (Hydrus), Mesa (Mensa) e Oitante (Octans).

## 4.8. Cartas celestes

### 4.8.1. Pólo sul celeste



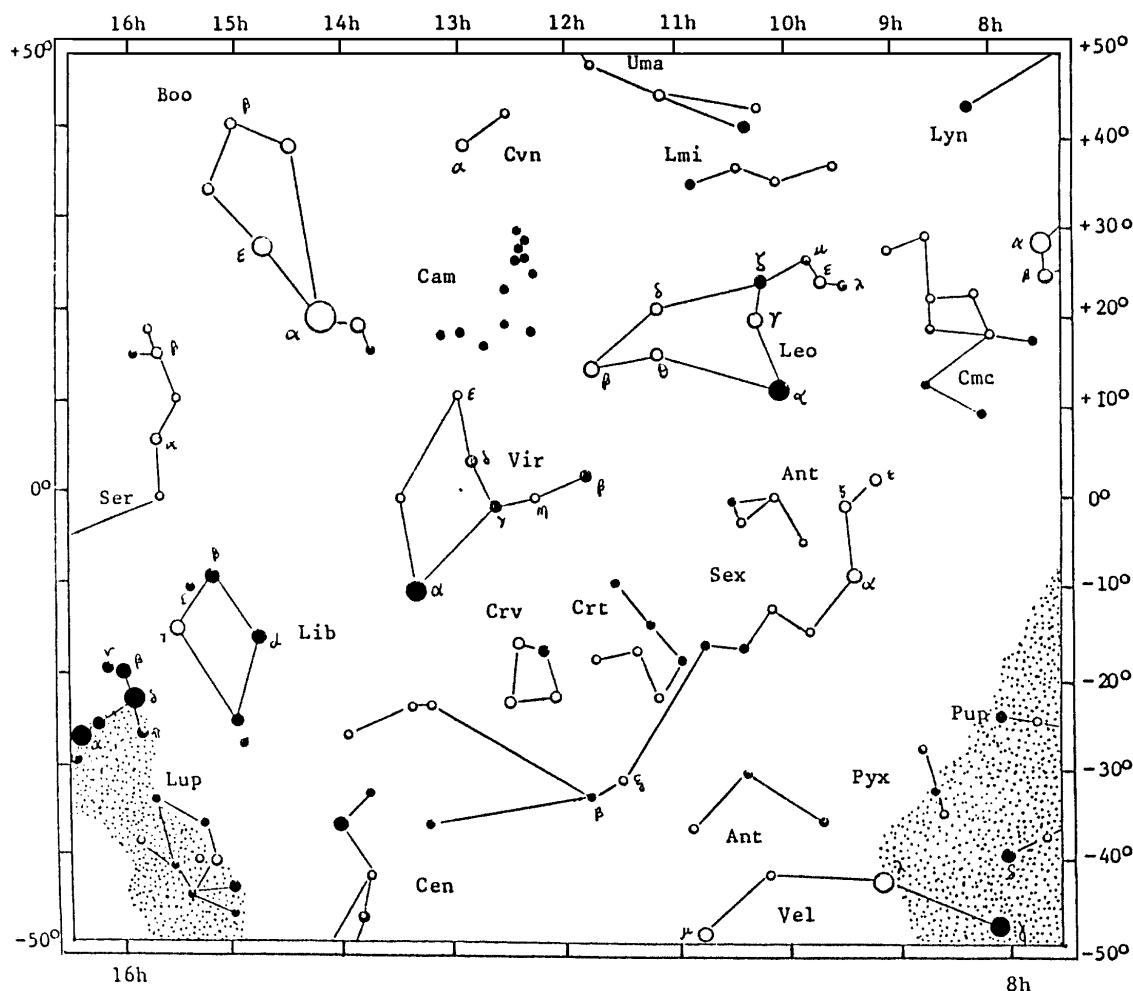
#### 4.8.2. Região equatorial



Magnitude

- -1
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

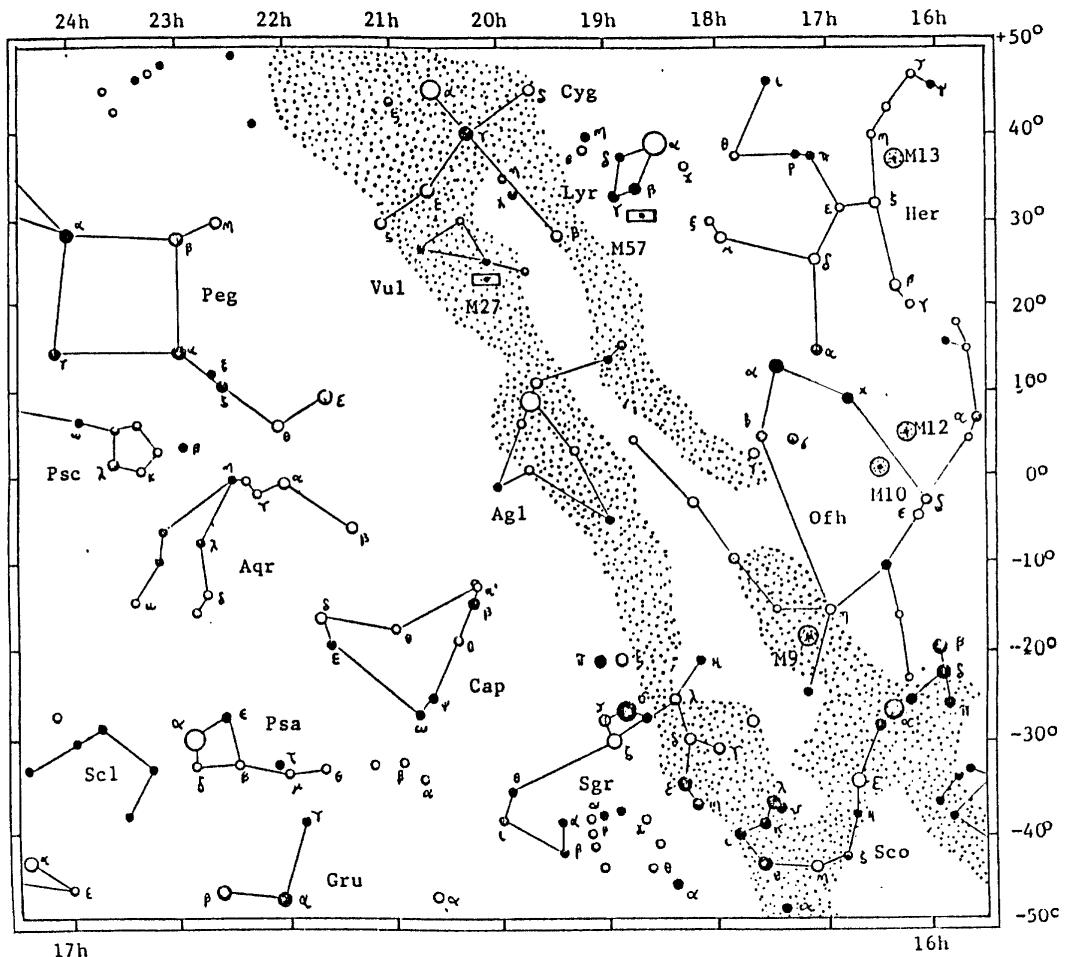
### 4.8.3. Região equatorial



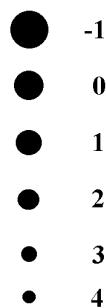
Magnitude

- -1
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

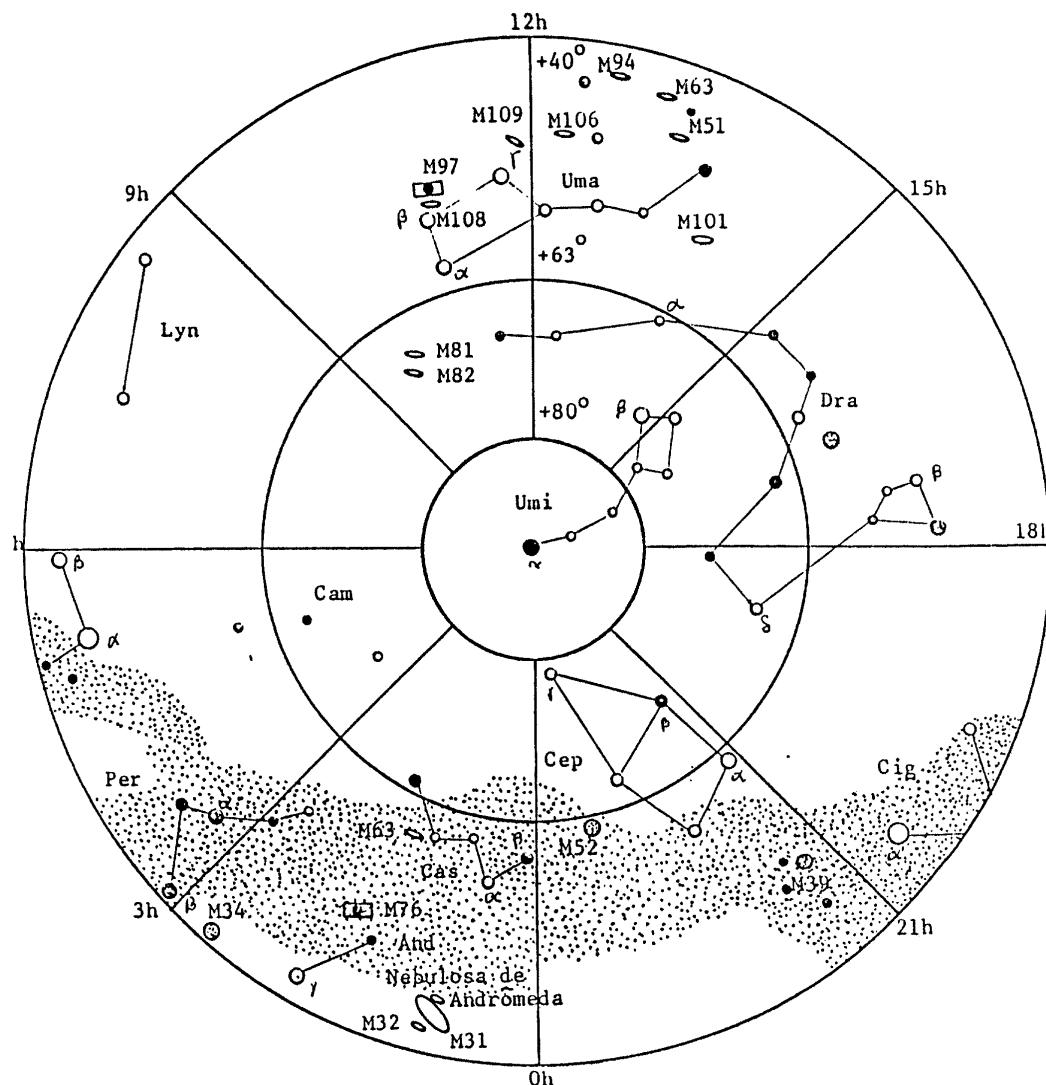
#### 4.8.4. Região equatorial



Magnitude



#### 4.8.5. Pólo norte celeste



Magnitude

- -1
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

Observação: além da latitude 63° norte, as estrelas não são visíveis em Florianópolis.

# CAPÍTULO 5

## *Observação das Estrelas*

***Marcos Boehme***

## **Capítulo 5 - OBSERVAÇÃO DAS ESTRELAS**

### **5.1. Introdução**

A Astronomia é uma das ciências mais antigas que existem, pois a observação do céu foi, com certeza, uma necessidade e um passatempo para o homem pré-histórico. Os antigos babilônios e egípcios, há muitos milhares de anos atrás, observaram o céu com precisão suficiente para elaborar calendários bastante acurados. Observações, realizadas por cientistas como Copérnico, Galileu e outros, possibilitaram os primeiros grandes passos em direção à ciência moderna. Ainda hoje, a ciência da Astronomia depende da observação.

No entanto, os tempos modernos trouxeram também a iluminação artificial noturna, atrapalhando as observações que uma pessoa comum poderia fazer. Como consequência, a ignorância das pessoas sobre o conhecimento dos corpos celestes aumentou, e hoje quase ninguém é capaz de identificar uma constelação, estrela ou planeta no céu.

Em um lugar escuro, sem nuvens, poluição ou luzes artificiais, podemos ver as estrelas com mais facilidade e em maior número que sob as condições normais das cidades de hoje. Assim, o primeiro passo para conhecer as estrelas é procurar um lugar mais escuro e isolado, aonde a influência das luzes da cidade seja menor.

Neste capítulo, trataremos dos nomes, brilho, cores e outros aspectos curiosos que as estrelas apresentam para um observador iniciante.

### **5.2. Nomenclatura**

O primeiro passo em uma ciência, geralmente, é colocar nomes nas coisas a serem estudadas, para que estas possam ser identificadas. Desde a antiguidade, cada civilização (chineses, indianos, gregos, árabes etc.) deu sua contribuição a este aspecto da Astronomia, mas o conhecimento que predominou para nossa própria civilização é o dos gregos, latinos e dos árabes, que absorveram muito do conhecimento dos gregos. Assim, a esmagadora maioria dos atlas celestes modernos mostram as estrelas com nomes gregos, latinos e árabes, com poucas exceções.

Os critérios que os antigos astrônomos usavam para nomear as estrelas são bastante diversificados: referências ao brilho, posição, ou a um personagem lendário. Por exemplo, a estrela mais brilhante do céu é Sírius, originada da palavra grega que significa "resplandecente", "ardente", o que parece apropriado a uma estrela tão brilhante.

Em uma certa região do céu, há duas estrelas bastante brilhantes separadas por somente 4 graus de arco (o que equivale a oito luas cheias alinhadas no céu) e de aparência bem semelhante. Elas impressionam o observador como estrelas gêmeas, e então a constelação construída em volta delas é a de Gêmeos. Na antiga mitologia grega havia dois gêmeos famosos, Castor e Pollux. Pareceu natural aos gregos nomear as duas estrelas de Castor e Pollux, e nós assim as chamamos até hoje.

Há uma estrela muito próxima do pólo norte celeste, que percorre um círculo tão pequeno durante a noite que não parece mudar de lugar. É chamada de Estrela Polar, ou mais comumente, de Polaris, o correspondente latino para polar.

No hemisfério sul, existiu uma constelação chamada Argonavis, ou Argo, nome dado pelos gregos, e que era o navio que levou Jasão e seus companheiros argonautas para a conquista do velocino de ouro. O timoneiro do navio chamava-se Kanopos em grego, e Canopus em latim. Uma estrela muito brilhante da constelação, aonde devia estar o timoneiro, recebeu o seu nome latino. Posteriormente, a constelação foi dividida, e Canopus é a estrela mais brilhante de Carina (a quilha do navio).

Uma estrela recebeu o nome derivado não da constelação a que pertence, mas de um planeta. O planeta Marte, que apresenta uma coloração avermelhada lembrando sangue, ganhou o seu nome do deus da guerra romano. Os gregos o chamaram pelo nome do seu deus da guerra, Ares. Uma estrela em Escorpião emite uma cor avermelhada parecida com a de Marte. Os gregos a chamaram Antares, o rival de Ares.

Uma constelação, com significado especial para o Brasil, é a de Crux, ou Cruzeiro do Sul. Foi primeiro mencionada por Mestre João, da comitiva de Pedro Álvares Cabral, em abril de 1500. Graças a esta constelação, o Brasil foi anteriormente chamada de Terra de Santa Cruz e Terra de Vera Cruz. Seu formato de Cruz é dado pelas estrelas alfa, beta, gama e delta crucis, às quais se junta a epsilon. Cada uma delas possui um nome familiar. Alfa crucis também é chamada de Estrela de Magalhães, em homenagem ao navegador que realizou a primeira circunavegação do mundo. Beta crucis é chamada de Mimosa. Gama crucis, por ser avermelhada, é chamada de Rubídea. Delta crucis é chamada de Pálida, por ser a mais fraca do desenho da Cruz. E epsilon, por não fazer parte da cruz, é chamada de Intrometida.

As estrelas mencionadas até agora estão entre as mais brilhantes. No entanto, algumas mais pálidas também recebem nomes, quando atraiam atenção por alguma outra razão que não o brilho. Por exemplo, há um pequeno grupo de estrelas não muito brilhantes na constelação de Touro. Ninguém repararia nelas se estivessem isoladas, mas estando juntas elas chamam a atenção. Foram chamadas pelos gregos de Plêiades, que eram as sete filhas da ninfa Pleione na sua mitologia (a maioria das pessoas só consegue ver seis estrelas, mas a sétima está lá). Cada uma das sete Plêiades recebeu um nome, e a mais brilhante se chama Alcione. E há o caso da estrela Próxima, na constelação do Centauro, que é invisível a olho nu. Quando esta estrela foi descoberta, também se descobriu que esta era a estrela mais próxima do Sol, daí o seu nome.

No entanto, somente cerca de mil das seis mil estrelas que podem ser vistas no céu a vista desarmada têm nomes (na maioria árabes), mas mesmo assim é quase impossível lembrá-los ou saber onde estão no céu. Além disso, as estrelas do céu austral, que não podiam ser vistas pelos astrônomos antigos e medievais, naturalmente nunca receberam nomes.

A seguir, estão relacionados os nomes de algumas estrelas famosas, seguida da nomenclatura de Bayer (explicada mais adiante), da origem de seu nome e do seu significado:

Achernar ( $\alpha$  Eri) - árabe, o final do rio.

Acrux ( $\alpha$  Cru) - latim, justaposição da letra "a" com a constelação. Ver Estrela de Magalhães.

Agena ( $\beta$  Cen) - grego, o joelho.

Alcor (80 UMa) - persa, a pálida.

Aldebaran ( $\alpha$  Tau) - árabe, aquele que segue as Plêiades.

Algol ( $\beta$  Per) - árabe, o demônio ou vampiro.

Alnilam ( $\varepsilon$  Ori) - árabe, arranjo de pérolas.

Alnitak ( $\zeta$  Ori) - árabe, o colar (ver Mintaka).

Alphard ( $\alpha$  Hya) - árabe, a solitária.

Altair ( $\alpha$  Aql) - árabe, a águia.

Antares ( $\alpha$  Sco) - grego, o rival de Ares (planeta Marte).

Arcturus ( $\alpha$  Boo) - grego, o guarda da Ursa Maior.

Becrux ( $\beta$  Cru) - latim, justaposição da letra b com a constelação.

Bellatrix ( $\gamma$  Ori) - latim, a guerreira.

Betelgeuse ( $\alpha$  Ori) - árabe, ombro do gigante.

Canopus ( $\alpha$  Car) - grego, nome do timoneiro do navio Argo, dos Argonautas.

Capella ( $\alpha$  Aur) - latim, a pequena cabra.

Castor ( $\alpha$  Gem) - irmão gêmeo de Pollux.

Cor Caroli ( $\alpha$  CVn) - latim, "coração de Carlos", nome dado por Halley em honra ao rei Carlos II da Inglaterra, quando foi nomeado Astrônomo Real.

Deneb ( $\alpha$  Cyg) - árabe, a cauda.

Denébola ( $\beta$  Leo) - árabe, a pequena cauda.

Dubhe ( $\alpha$  UMa) - árabe, o urso.

Estrela de Magalhães ( $\alpha$  Cru) - português, referência em homenagem ao navegador que realizou a primeira circunavegação do mundo.

Fomalhaut ( $\alpha$  PsA) - árabe, a boca do peixe.

Intrometida ( $\varepsilon$  Cru) - português.

Miaplacidus ( $\beta$  Car) - árabe, mia = água; grego, placidus = calma  $\Rightarrow$  águas calmas.

Mimosa ( $\beta$  Cru) - português, delicada.

Mintaka ( $\delta$  Ori) - árabe, o colar (mesma origem de Alnitak).

Mira ( $\alpha$  Cet) - latim, a maravilhosa.

Mizar ( $\zeta$  UMa) - árabe, o véu.

Pálida ( $\delta$  Cru) - português.

Polaris ( $\alpha$  UMi) - latim, estrela do pólo.

Pollux ( $\beta$  Gem) - irmão gêmeo de Castor.

Procyon ( $\alpha$  CMi) - grego, "antes do cão", nasce antes da estrela do cão, Sírius.

Rasalgethi ( $\alpha$  Her) - árabe, a cabeça daquele que está ajoelhado.

Rastaban ( $\beta$  Dra) - árabe, a cabeça da cobra.

Regulus ( $\alpha$  Leo) - latim, o príncipe.

Rigel ( $\beta$  Ori) - árabe, o pé.

Rubídea ( $\gamma$  Cru) - português, avermelhada.

Saiph ( $\kappa$  Ori) - árabe, a espada.

Sírius ( $\alpha$  CMa) - grego, brilhante ou ardente.

Spica ( $\alpha$  Vir) - latim, espiga de milho.

Thuban ( $\alpha$  Dra) - árabe, a cobra.

Unukalhai ( $\alpha$  Ser) - árabe, o pescoço da cobra.

Vega ( $\alpha$  Lyr) - árabe, a queda.

Zubenelgenubi ( $\alpha$  Lib) - árabe, a garra do sul.

A primeira pessoa a tentar uma utilização de um sistema mais lógico foi um astrônomo alemão chamado Johann Bayer, que publicou, em 1603, antes da invenção do telescópio, um livro de mapas estelares, chamado *Uranometria*, onde introduziu seu sistema.

O que ele fez foi nomear as estrelas brilhantes em cada constelação de acordo com a ordem de brilho, ou, algumas vezes, pela ordem de sua posição. Com este sistema, invés de chamar cada estrela pelo nome, listou-as como alfa, beta e assim por diante, de acordo com o alfabeto grego, em cada constelação.

De acordo com o sistema de Bayer, a estrela mais brilhante de Órion seria Alfa de Órion, a segunda seria Beta de Órion, e assim por diante. No entanto, Bayer usou a língua latina, e em latim, quando desejamos indicar posse, não usamos uma preposição e sim uma alteração no final da palavra - a forma genitiva. Assim, a forma genitiva de Órion é Orionis, e as estrelas desta constelação se chamariam Alfa Orionis, Beta Orionis, Gama Orionis, etc. Esse sistema é útil porque nos diz automaticamente aonde está a estrela a qual nos referimos, e também qual a estrela mais brilhante em cada constelação (embora haja exceções), podendo ainda ser usado para nomear estrelas pálidas que nunca receberam nomes gregos, romanos ou árabes. A maior falha do sistema de Bayer é que há somente 24 letras no alfabeto grego, e existem constelações onde há cerca de 70 estrelas visíveis. Se quisermos enquadrá-las todas no sistema, teremos de usar combinações de letras, o que tornaria este sistema muito complicado.

Além disso, o sistema de Bayer não foi aplicado de maneira muito uniforme. As duas estrelas mais brilhantes de Gêmeos, Castor e Pollux, possuem brilho muito parecido. Então, arbitrariamente, Castor foi chamado de Alfa Geminorum, e Pollux, de Beta Geminorum. Depois, se descobriu que Pollux é ligeiramente mais brilhante, e portanto deveria ser a verdadeira alfa. A mesma coisa aconteceu em Órion: a beta, Rigel, é mais brilhante que a alfa, Betelgeuse.

Então, em 1609, somente seis anos após Bayer ter estabelecido seu sistema, o cientista italiano Galileu Galilei apontou o telescópio para os céus. Tornou-se rapidamente óbvio que existia um número muito maior de estrelas do que as que podiam ser vistas a olho nu, e não havia como denominá-las.

Em 1712, o astrônomo inglês John Flamsteed resolveu então usar números. Em cada uma das 54 constelações conhecidas na época que ele podia ver do seu observatório, esperou que as estrelas componentes atingissem o ponto mais alto no céu (quando este girava) e lhes deu o número pela ordem que atingiam aquele ponto, ou seja, pela ordem de ascensão reta de cada estrela. A estrela Alcor, por exemplo, pálida demais para merecer um nome de uma letra grega, recebeu um nome numérico de Flamsteed. Ela se chama também 80 Ursae Majoris. As estrelas que possuíam sua letra grega também foram numeradas; assim, Sírius também pode ser chamada de Alfa Canis Majoris ou 9 Canis Majoris.

Naturalmente, à medida que os telescópios foram se aperfeiçoando, as estrelas se tornaram visíveis aos milhares em cada constelação. As muito pálidas ficaram conhecidas através de complicados sistemas que indicam onde podem ser encontradas em determinados catálogos estelares ou por símbolos que indicam sua declinação exata. Assim, a estrela Vega pode ser conhecida também por:

Alfa Lyrae (segundo Bayer)

3 Lyrae (segundo Flamsteed)

BD +38° 3238 (Bonner Durchmusterung, por Argelander)

GC 25466 (General Catalogue, por Boss)

HD 172167 (Catálogo de Henry Draper)

SAO 67174 (Catálogo do Observatório Astrofísico Smithsonian)

ADS 11510 (Catálogo de Aitken), além de várias outras listas.

Mas o último e mais extenso catálogo de estrelas foi obtido com o uso do Telescópio Espacial Hubble, chamado de Guide Star Catalogue, GSC, que inclui 18.819.291 objetos, dos quais 15.169.873 são estrelas e os demais, principalmente galáxias.

### 4.3. Brilho e cores

Uma das primeiras diferenças que notamos entre as estrelas é o fato de que algumas são mais brilhantes do que outras.

Os primeiros astrônomos tiveram que julgar o brilho das estrelas à vista desarmada, e isto não era fácil. Foi provavelmente o motivo de Bayer ter nomeado as estrelas de Ursa Maior pela posição que ocupavam no céu (como estas estrelas estavam mais ou menos alinhadas, ele chamou a primeira de alfa, e assim por diante), sem se importar com o brilho delas; e também por ele ter errado na nomeação de estrelas das constelações de Gêmeos e Órion: nestas duas constelações, a estrela mais brilhante é a beta, enquanto a alfa é apenas a segunda mais brilhante.

Mas no século XIX, os astrônomos, utilizando os instrumentos apropriados, foram ficando capazes de estimar o brilho das estrelas com mais precisão. Verificaram que o brilho de uma estrela de primeira magnitude é aproximadamente igual a 100 vezes o brilho médio das estrelas de sexta magnitude.

Em 1850, um astrônomo inglês, Norman Pogson, sugeriu que as magnitudes estelares poderiam ser determinadas com maior precisão, matematicamente. Se existem cinco intervalos entre as seis magnitudes, e se a diferença de brilho é de 100 vezes, basta tirar a raiz quinta de 100 (que é igual a 2,512) para conseguir o intervalo de brilho entre as magnitudes. Isso quer dizer que uma estrela de magnitude 1 é 2,512 vezes mais brilhante que outra de magnitude 2, e assim por diante. Podemos até calcular frações de magnitude, estabelecendo o brilho das estrelas com maior precisão. Abaixo, está uma tabela das vinte e duas estrelas antigamente classificadas como sendo de primeira grandeza, segundo Hiparco, em ordem de brilho:

Estrela	Nome de Bayer	Magnitude
Sírius	(Alfa Canis Majoris)	-1,42
Canopus	(Alfa Carinae)	-0,72
Rigel Kent	(Alfa Centauri)	-0,27
Arcturus	(Alfa Bootis)	-0,06
Vega	(Alfa Lyrae)	0,04
Capella	(Alfa Aurigae)	0,05
Rigel	(Alfa Orionis)	0,14
Prócion	(Alfa Canis Minoris)	0,38
Achernar	(Alfa Eridani)	0,51
Agena	(Beta Centauri)	0,63
Altair	(Alfa Aquilae)	0,77

Betelgeuse	(Alfa Orionis)	0,80
Aldebaran	(Alfa Tauri)	0,86
Acrux	(Alfa Crucis)	0,90
Spica	(Alfa Virginis)	0,91
Antares	(Alfa Scorpii)	0,92
Pollux	(Beta Geminorum)	1,16
Fomalhaut	(Alfa Piscis Austrini)	1,19
Deneb	(Alfa Cygni)	1,26
Becrux	(Beta Crucis)	1,28
Regulus	(Alfa Leonis)	1,36
Castor	(Alfa Geminorum)	1,58

*Tabela 4.1. Lista das estrelas de primeira grandeza, por Hiparco.*

Assim, verificamos que as estrelas mais brilhantes forçaram os astrônomos a entrarem pelos números negativos. As estrelas de magnitude menor que 1 são acima da média, e as de valor maior são abaixo da média e mais fracas. Deve ser lembrado que a escala de magnitudes é logarítmica, o que quer dizer que Sírius é duas vezes mais brilhante que Canopus e três vezes mais brilhante do que Alfa Centauri. Outro exemplo: Rigel tem magnitude 0,14 e Betelgeuse 0,80. Portanto, a diferença de magnitudes é de 0,66. Para calcular o quanto Rigel é mais brilhante que Betelgeuse, temos que elevar 2,512 à potência de 0,66. O resultado é que Rigel é 1,84 vezes mais brilhante que Betelgeuse.

Outra característica muito interessante que notamos a respeito das estrelas é que elas têm cores diferentes. Rapidamente, ao observar o céu, notamos que existem estrelas vermelhas, amarelas, brancas e azuis. As estrelas têm cores diferentes porque são incandescentes. Caso esquentássemos uma barra de ferro o suficiente, ela emitiria radiação em comprimento de onda infravermelho (à temperatura ambiente), depois, quando atingisse 500 graus Celsius, começaria a emitir uma fraca luz vermelha, e conforme esquentasse, a barra ficaria cor de laranja, amarela, branca e, se não evaporasse, ficaria azul. O mesmo ocorre com as estrelas: elas são coloridas de acordo com sua temperatura. Estrelas vermelhas, como Antares e Betelgeuse, são "frias", pois tem míseros 3.000 graus Celsius de temperatura superficial, enquanto Arcturus e Gama Crucis são alaranjadas, o Sol e Alfa Centauri são amarelas, Sírius e Vega são brancas. Mas as mais quentes são as estrelas azuladas, como Alfa Crucis, Spica e Rigel, que possuem temperaturas de 35.000 graus. Em comparação, o Sol é apenas uma estrela "morna", de modestos 6.000 graus em sua superfície.

## 4.4. Estrelas duplas e variáveis

### 4.4.1 Estrelas duplas

Qualquer um, observando as estrelas a olho nu, as vê como centelhas individuais de luz, espalhadas desigualmente pelo céu. Algumas parecem estar localizadas bem próximas umas das outras, e quando isso acontece elas em geral atraem a atenção. As Plêiades são um exemplo. Outro caso é o de Mizar e Alcor.

Mizar e Alcor são o melhor exemplo de estrela dupla conhecido pelos antigos, que só possuíam seus olhos para observar. Olhando para estas duas estrelas desatentamente, se vê apenas um ponto de luz. Mas alguém, olhando com atenção, descobrirá que são duas. Um ponto de interesse está na diferença do brilho entre as duas estrelas: a magnitude de Mizar é 2,2; isto a torna cinco vezes mais brilhante do que Alcor, cuja magnitude é 4,0. O brilho de Mizar tende a ofuscar o de Alcor, tornando-a difícil de ser vista. Na verdade, os antigos usavam as duas estrelas como um teste de boa visão, pois há necessidade de uma visão aguçada para vislumbrar a estrela mais obscura no resplendor do brilho da outra.

Quando os astrônomos começaram a usar telescópios, vários pontos de luz que a olho nu pareciam ser uma estrela solitária, ao telescópio revelaram ser duas, três ou quatro estrelas muito próximas. O primeiro destes casos foi descoberto em 1650, pelo astrônomo italiano Giovanni Battista Riccioli. Observando a própria Mizar pelo telescópio, descobriu que esta era formada por duas estrelas, separadas por apenas 14 segundos de arco, algo completamente imperceptível a olho nu (a Lua, em comparação, tem em média 1865 segundos de arco de largura quando cheia). Assim, Mizar não é somente uma estrela dupla visual, graças à próxima Alcor, mas também uma estrela dupla telescópica, a primeira a ser descoberta.

Há outros casos de estrelas duplas visuais, e é possível citar duas estrelas como duplas visíveis a olho nu: Teta Tauri e Mu Scorpii. Teta Tauri fica na cabeça do Touro, e Mu Scorpii ocupa uma posição na cauda do Escorpião. Firmando bem o olhar, vemos Teta Tauri 1 e Teta Tauri 2, e Mu Scorpii 1 e Mu Scorpii 2, como pequenos pontos brilhantes, muito próximos um do outro, bastando ter bons olhos e alguma atenção.

Inicialmente, se pensou que tais estrelas eram duplas porque estavam accidentalmente alinhadas do nosso ponto de vista, podendo na verdade estar bem distantes entre si. Mas a análise estatística do número de estrelas duplas revelou que haviam alinhamentos demais, e então levantou-se a hipótese de que haveriam sistemas de estrelas, que dependeriam gravitacionalmente entre si, o que as tornaria estrelas binárias; ou seja, ao invés de termos apenas planetas girando em torno de uma estrela, teremos estrelas girando em torno de outras estrelas. Muitas das estrelas que conhecemos são binárias, como Sírius, Prócion, Antares, Castor e até o sistema de estrelas mais próximo do Sol, Alfa Centauri.

O sistema Alfa Centauri é muito importante para nós, não só porque tem as três estrelas mais próximas do Sol, como também duas delas são bastante parecidas com ele. Alfa Centauri A, a maior, tem 1,08 vezes a massa do Sol, e é uma estrela amarela; B tem 0,87 massas solares, e é uma estrela laranja; e C tem apenas 0,22 massas solares, o que quer dizer que esta é uma simples anã vermelha. Há uma boa chance de que as estrelas Alfa Centauri A ou B possuam planetas estáveis orbitando-as, já que estas distam entre si, em média, 3,5 bilhões de quilômetros, a mesma distância do Sol a Urano. Caso o homem decida visitar as estrelas, certamente visitará o sistema Alfa Centauri em primeiro lugar.

#### **4.4.2 Estrelas variáveis**

As estrelas variáveis são aquelas que experimentam variações em seu brilho em intervalos de tempo relativamente curtos. Duas estrelas desse tipo eram conhecidas pelos antigos.

Uma delas era Algol (Beta Persei). Seu brilho varia da magnitude 2,2 até 3,5 e de volta para 2,2 a cada três dias, ou seja, é capaz de ficar três vezes menos brilhante em intervalos periódicos (mas que duram apenas duas horas). Os antigos perceberam isto, e Algol representa o olho da Medusa, um monstro degolado pelo herói Perseu. Seu nome, Algol, vem do árabe Ras Al Ghoul, e significa "o demônio", pois ninguém conseguia explicar sua misteriosa variação de brilho.

Hoje sabemos que Algol é uma estrela binária eclipsante, aonde a acompanhante de Algol, a cada três dias, passa diante da estrela principal e rouba uma parte de seu brilho.

A outra é a estrela Mira (Omicron Ceti), que significa "a maravilhosa". É uma estrela variável verdadeira, porque as causas da variação de seu brilho são intrínsecos (da própria estrela), e se devem ao seu atual estágio de evolução estelar. Seu brilho varia da magnitude 10 (invisível para pequenos telescópios) até a magnitude 1,7 (fácil de ver a olho nu) a cada 331 dias. Ou seja, seu brilho varia aproximadamente 2.000 vezes, tornando esta variação mais impressionante do que a de Algol.

Existem vários tipos e subtipos de estrelas variáveis no céu, dos quais as dos tipos de Algol e Mira são exemplos de apenas dois deles. O estudo de estrelas variáveis é uma das pesquisas mais importantes e valorizadas que um astrônomo amador pode fazer, porque não necessita de instrumentos muito poderosos e exige muito tempo de observação, coisa que os astrônomos profissionais não têm.

#### **4.5. Movimentos próprios**

O primeiro astrônomo a descobrir alguma coisa a respeito dos movimentos das estrelas foi o inglês Edmund Halley. Ele anotou cuidadosamente as posições das estrelas e, em 1718, anunciou que tinha descoberto que as estrelas Sírius, Prócion e Arcturus tinham alterado suas posições em referência às suas vizinhas desde que os antigos gregos registraram suas localizações. Além disso, tinham mudado ligeiramente de posição em relação ao registro feito 150 anos antes.

Isso quer dizer que as estrelas não eram fixas no espaço como pensavam os primeiros astrônomos. Tinham "movimentos próprios" (o movimento é próprio por pertencer à estrela, e não ao céu). Sabemos agora que as estrelas são corpos de gás, espalhadas no espaço, cada uma delas com seu próprio movimento, com velocidade e direção independentes. Portanto, elas se movem no céu, modificando suas posições relativas umas às outras, inclusive ao nosso próprio Sol, dependendo da sua proximidade e da direção de seu movimento em relação a nós. Uma vez que as estrelas estão muito distantes de nós, todas devem mover-se muito lentamente, e a alteração em sua posição tornar-se-á visível somente após muitos anos. Contudo, a alteração será notada com mais rapidez no caso das estrelas mais próximas. Dentro de algumas centenas de milhares de anos, é possível que nenhuma das constelações atuais seja reconhecível.

É lógico supor que as estrelas mais brilhantes sejam algumas das mais próximas do Sol, porque isto colabora justamente para que elas sejam mais brilhantes. Assim, foi medido o movimento próprio da estrela mais brilhante do céu, Sírius, e se verificou que este era de 1,34 segundos de arco por ano. É tão pequeno que não somos capazes de notá-lo, e significa que Sírius leva 1.400 anos para se desviar no céu, em relação às outras estrelas, por uma extensão igual à da lua cheia. É um movimento realmente muito vagaroso, mas entre o tempo que os antigos gregos registraram a posição da estrela e o de Halley, passaram-se 1.700 anos, e o desvio foi de cerca de 2.250 segundos de arco, mais que uma lua cheia é visível mesmo à vista desarmada.

A estrela mais próxima do Sol é Alfa Centauri, e esta, por ser mais próxima, deveria ter um movimento próprio maior que o de Sírius. E realmente o tem: foi registrado o valor de 3,68 segundos de arco por ano, 1,7 vezes mais do que Sírius, o que é o suficiente para fazer com que Alfa Centauri percorra no céu uma lua cheia em apenas 500 anos.

No entanto, não existem apenas estrelas brilhantes ou visíveis a olho nu no céu. Pode existir alguma estrela, de brilho muito fraco, que se move mais rápido no céu do que Alfa Centauri. Como existem mais estrelas pequenas que grandes, deve haver uma multidão de estrelas anãs pelo espaço. Se verificou que 15 estrelas no céu superam o movimento próprio de Alfa Centauri, das quais 4 estão no limite da visibilidade à vista desarmada. Dessas todas, a campeã é o segundo sistema estelar mais próximo do Sol. Chama-se Estrela de Barnard, e tem a magnitude 9,67 (15 vezes mais fraca que a mais fraca estrela visível a olho nu). Como está próxima, a 5,86 anos-luz, deduz-se que seja uma estrela anã. Seu movimento é de 10,3 segundos de arco por ano, o que fará com que ela, nos próximos 181 anos, atravesse uma faixa no céu igual a da largura da lua cheia.

Pois bem, o movimento próprio é o que vemos da Terra, ou seja, a velocidade com que uma estrela muda de posição no céu e por isso, é enganoso. Se uma estrela estiver vindo mais ou menos na nossa direção, ela terá pouco desse movimento. Quais serão os movimentos reais das outras estrelas em relação à nossa ?

No espaço em três dimensões, podemos identificar dois tipos de movimento em relação ao Sol: a velocidade radial (que diz se a estrela se afasta ou se aproxima) e a velocidade transversa (perpendicular à radial, que podemos perceber, quando as estrelas se movem para o norte, sul, leste ou oeste). A resultante dessas duas velocidades é a velocidade real.

Foram medidas as velocidades radial e transversal de muitas estrelas. Alfa Centauri se desloca, em relação ao nosso Sol, à velocidade de 100 quilômetros por segundo. Se reduzíssemos a escala do Sol a 1 centímetro, Alfa Centauri seria outra bolinha igual, à distância de 300 quilômetros de nós e se movendo a uma velocidade de 2 centímetros diários.

Outra estrela que se aproxima do Sol, em velocidade real, é a Estrela de Barnard, a 141 quilômetros por segundo. A estrela de Barnard se aproxima a uma velocidade tão grande que, dentro de 9.800 anos, quando atingir a máxima aproximação do Sol, estará a cerca de 3,92 anos-luz do Sol, sendo a estrela mais próxima do Sol nessa ocasião. No entanto, isto não é uma novidade para o Sol. Segundo cálculos estatísticos, mais de 23.000 estrelas já passaram a menos de 3 anos-luz de nossa estrela.

# **CAPÍTULO 6**

## ***Observação dos Planetas***

***Marcos Boehme***

## **Capítulo 6 - OBSERVAÇÃO DOS PLANETAS**

### **6.1. Denominação**

Os povos antigos notaram que as estrelas no céu pareciam girar em torno da Terra, todas em uma parte do céu que girava, como se fossem presas em uma esfera gigante. Eram chamadas de estrelas fixas.

Mas existem sete objetos no céu que não se movem com as estrelas. Eles mudam de posição em relação a elas a cada noite, seguindo seu próprio caminho. Dois deles são o Sol e a Lua. Os outros cinco são pontos de luz como as estrelas, mas bem mais brilhantes.

Estes objetos são chamados de planetas, para dar a idéia de movimento. Os cinco planetas semelhantes a estrelas receberam nomes de deuses antigos, segundo um esquema que pareceu lógico.

Um dos cinco era distintamente avermelhado. O vermelho lembra sangue, ferimentos e guerra, por isso foi nomeado de Marte, o deus da guerra romano. Os outros planetas também possuem nomes romanos. Mercúrio é o mais rápido dos planetas, por possuir uma órbita interna à da Terra. Assim, foi chamado de Mercúrio, o deus da velocidade e dos ladrões. O planeta mais brilhante e mais vistoso foi chamado de Vênus, a deusa do amor e da beleza.

O nome de Júpiter foi dado a um planeta exterior à órbita terrestre, o que faz com que haja ocasiões em que este seja visível a noite inteira, como que reinando sobre nós. Na maior parte do tempo, Júpiter é o planeta mais brilhante do céu, já que Vênus e Mercúrio, planetas internos, estão sempre junto do Sol. O planeta restante, mais vagaroso, lembrando a velhice, foi chamado de Saturno, o velho pai de Júpiter.

Além disso, os antigos sumérios também dividiram um ano em semanas, cada uma com sete dias, cada dia associado a um planeta. Esse sistema sobrevive até hoje, e em muitas línguas, os dias da semana são nomeados em honra aos planetas. O primeiro e o segundo dia foram associados ao Sol e à Lua, e em inglês eles são "Sunday", dia do Sol, e "Monday", dia da Lua. Assim, o terceiro dia é atribuído a Marte, o quarto a Mercúrio, o quinto a Júpiter, o sexto a Vênus e finalmente o sétimo a Saturno.

Em português, o uso dos dias da semana em honra a deuses pagãos foi abolido: o primeiro dia da semana é domingo (o dia do Senhor, Deus, "Dominus"), o restante sendo numerado, até sábado. Mas na maioria dos demais países, o sistema antigo continua sendo usado.

### **6.2. Localização no céu**

Os planetas se originaram da mesma nuvem de poeira que gerou o Sol, e as leis da física nos ensinam que a tendência para uma nuvem em rotação é tomar a forma de disco. Chamamos a projeção da órbita da Terra de eclíptica, e todos os outros planetas orbitam em um plano parecido. Assim, caso alguém deseje localizar um planeta, deve verificar qual o trajeto que o Sol percorreu durante o dia (que é parecido com a eclíptica, mas não igual), e procurar os planetas nessa linha. Uma dica para quem deseja verificar se um certo ponto no

céu é ou não um planeta, é de verificar se a luz deste ponto cintila ou não. Os planetas possuem disco, e seu feixe de luz é mais grosso, e por isso é mais difícil vê-los cintilar. E finalmente, a maioria dos planetas é bem mais brilhante do que as estrelas mais brilhantes.

Para identificá-los: Marte é avermelhado, Saturno e Mercúrio são amarelados e Vênus e Júpiter são esbranquiçados. Mercúrio e Vênus possuem um comportamento diferente dos outros planetas, e por isso são visíveis apenas pouco antes do amanhecer ou um pouco depois do anotececer, estando sempre próximos do Sol. Então, tendem a ser ofuscados quando amanhece e a seguirem o Sol quando este se põe quando anoitece. Os demais planetas podem ser vistos, dependendo da época, em qualquer ponto da eclíptica, próximo ou distante do Sol, já que a eclíptica é um círculo que dá a volta em todo o céu.

### **6.3. Movimentos**

Uma vez que foram notados e seu movimento fora constatado, o interesse pelos planetas cresceu muito. Um fato que os astrônomos antigos notaram, é que cada planeta se movia com uma velocidade diferente em relação às estrelas. A explicação encontrada foi que cada planeta se encontrava a uma distância diferente da Terra, o que está certo. Mas também se pensava que cada um deles girava em torno da Terra, o que está errado. Atualmente, se pensa que o Sol é o centro do nosso sistema, o sistema solar, e em torno dele giram, pela ordem, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, e mais três planetas que não eram conhecidos pelos antigos, porque não eram visíveis a olho nu: Urano, Netuno e Plutão. Sobrou a Lua, que gira em torno da Terra.

O Sol e a Lua tinham os movimentos mais simples. Os planetas nascem no leste e se põem no oeste, por causa do giro diário da Terra, mas se movem no meio das estrelas em sentido contrário. Daí, logo após o pôr do Sol ou pouco antes dele raiar, podia-se ver o padrão das estrelas próximas a ele. Do modo que o padrão se modificava, ficou claro que o Sol se movia sobre ele, dia após dia. Então, descobriu-se que o Sol completa uma volta entre as constelações em um ano, ou 52 semanas. As constelações que o Sol ocupa durante o ano são chamadas de constelações zodiacais, tradicionalmente em número de doze. Mas, segundo as constelações definidas pela União Astronômica Internacional, o Sol também invade espaço reservado a uma décima terceira constelação, Ophiuchus, também conhecido como Serpentário, o caçador da Serpente.

A Lua se move no céu mais rapidamente do que o Sol. Isso significa que ela troca de posição em relação a ele: às vezes está bem perto dele, e por outras pode ser vista brilhando palidamente durante o dia. Por outro lado, algumas vezes está longe e brilha alta no céu após o pôr do Sol. Sabe-se também que a Lua completa uma volta entre as estrelas em quatro semanas, ou um mês.

Os demais planetas apresentavam movimentos mais complicados. Podemos dividir os planetas, conforme seu comportamento, em dois grupos: os planetas internos, mais próximos do Sol do que a Terra, que são Mercúrio e Vênus, e os planetas externos, mais distantes, que são Marte, Júpiter e Saturno.

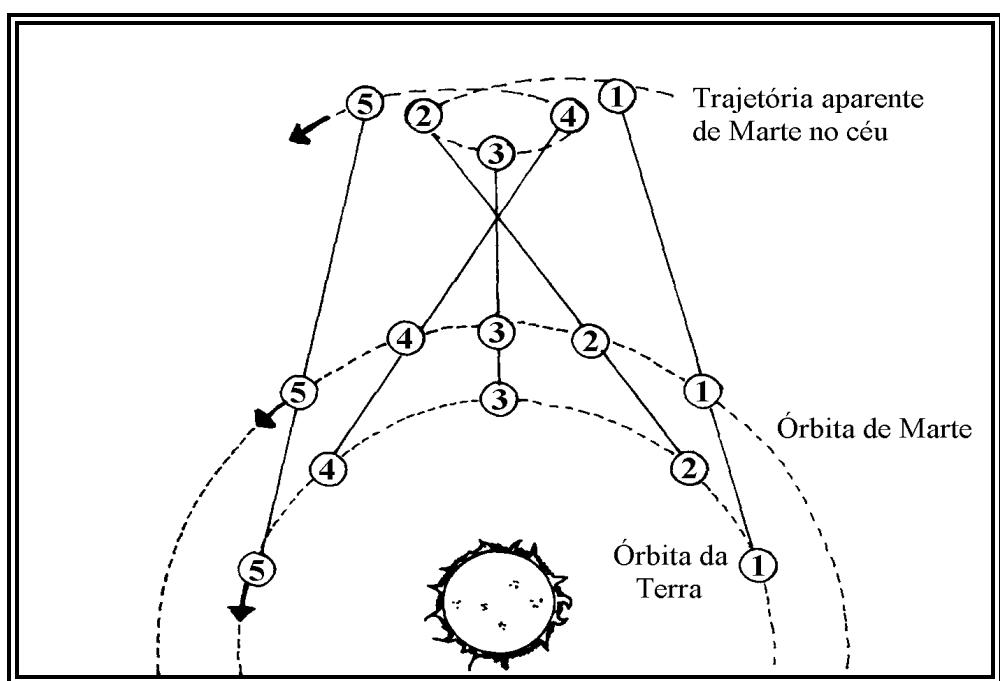
Os planetas internos nunca se afastam muito do Sol: há uma época na qual eles parecem se afastar um pouco, depois param, e então começam a voltar novamente na direção do Sol. Isto se deve à geometria das órbitas dos planetas, já que as órbitas dos planetas internos se localizam dentro da órbita da Terra. Isto quer dizer que, se quisermos ver Mercúrio ou Vênus, temos que, em certas épocas, acordar cedo, antes do nascer do Sol, ou, em outras,

esperar que o Sol se ponha, e veremos um planeta interno perto do Sol. Como a órbita de Mercúrio é menor, ele é o que menos se afasta do Sol, por isso é mais difícil de se ver.

Os planetas externos, na maior parte do tempo, moviam-se de oeste para leste contra o céu estrelado, assim como o Sol e a Lua. Porém, em cada um deles, havia um tempo em que o planeta movia-se com mais e mais lentidão, até parar. Então, começava a mover-se para trás, de leste para oeste, por algum tempo. Depois, parava novamente e recomeçava a se mover para a frente. Isto ocorre porque a órbita da Terra é interna à desses planetas, e portanto os ultrapassa periodicamente; assim, o momento em que o planeta exterior para, este é o momento da ultrapassagem.

O comportamento de Marte é o mais notável dos três planetas externos (Marte, Júpiter e Saturno) por duas razões. Primeiro, Marte faz uma volta maior que a dos outros durante seu período retrógrado. Segundo, enquanto Júpiter e Saturno mudam somente um pouco de brilho no curso de um ano, Marte o faz de modo acentuado. Fica também muito brilhante

Por causa da geometria da órbita de um planeta externo, é possível vê-los, em certas ocasiões, à meia-noite, por que suas órbitas se localizam fora da órbita da Terra.



*Figura 6.1. Trajetos real e aparente de Marte.*

A figura 6.1 explica a “inversão” aparente do movimento de Marte (e também dos demais planetas exteriores). Na verdade, não há inversão alguma no movimento real, só uma ilusão causada pela composição dos movimentos dos dois planetas e pela diferença entre suas velocidades.

Assim, ainda na figura 6.1, no ponto número 1, um observador na Terra veria Marte avançar de oeste para leste, em seu movimento normal; no ponto 2, Marte parece “parar” no céu; no ponto 3, Marte entra em oposição, parecendo adotar o movimento inverso no céu, de leste para oeste; no ponto 4, Marte para novamente; e no ponto 5, Marte volta a seu movimento normal, de oeste para leste.

## 6.4. Variação do brilho e diâmetro aparentes

As distâncias dos planetas em relação à Terra variam bastante no decorrer do tempo, o que implica em mudanças bastante grandes em seu brilho, dependendo de suas posições em suas órbitas. Na tabela a seguir, comparamos o brilho dos planetas conhecidos com o Sol, a Lua, e Sírius, a estrela mais brilhante do céu à noite.

	brilho máximo	brilho mínimo	brilho relativo em relação ao máximo (Sírius = 1)
Sol	-26,7	x	13.000.000.000
Lua cheia	-12,5	x	27.500
Vênus	- 4,4	- 3,6	16,0
Marte	- 2,8	+1,8	3,6
Júpiter	- 2,5	- 1,7	2,7
Mercúrio	- 1,7	- 0,2	1,3
Sírius	- 1,4	x	1,0
Saturno	- 0,3	1,3	0,36
Urano	5,7	6,0	0,0015
Netuno	7,6	7,9	0,000 25
Plutão	14,5	15	0,000 000 4

Nesta tabela, verificamos que existem quatro planetas que, pelo menos em uma ocasião, são mais brilhantes do que a estrela mais brilhante do céu. É por isso que chamavam tanto a atenção dos antigos. Também verificamos que Vênus, quando visível, é sempre o planeta mais brilhante do céu; então, quando o Sol se esconde, Vênus é o primeiro ponto que aparece. É por isso que Vênus é chamado de "estrela vespertina", nas ocasiões em que é visível de tarde, e de "estrela matutina", quando é visível de madrugada, embora não seja uma estrela.

Em seguida, viria Marte, como o segundo planeta mais brilhante do céu. Acontece que Marte só consegue atingir seu máximo brilho em ocasiões chamadas de oposições, quando o Sol, a Terra e Marte estão alinhados, o que acontece a cada dois anos; e só consegue ser mais brilhante que Júpiter em oposições favoráveis, o que acontece a cada quinze anos. Assim, durante a maior parte do tempo, Júpiter é o segundo planeta mais brilhante do céu, e depois de Marte seguiriam Mercúrio e Saturno, que seriam facilmente observáveis a olho nu.

Urano, no entanto, atinge magnitude 5,7, no máximo. Como a estrela mais fraca visível a olho nu, em perfeitas condições de observação, deve possuir magnitude algo em torno de 6,5,

a observação de Urano é muito difícil, embora possível. O mesmo não se pode dizer de Netuno e Plutão, invisíveis a olho nu.

Para a observação telescópica dos planetas, torna-se importante verificar os diâmetros aparentes, que é o ângulo que os planetas fazem com nosso olho (as coisas parecem maiores quando estão mais próximas por que o ângulo que fazem com nossos olhos cresce). A Lua e o Sol têm mais ou menos o mesmo diâmetro aparente (de 31 a 32 minutos de arco) quando vistos da Terra, e variam pouco. No entanto, essa variação para os planetas é maior.

Para que uma pessoa seja capaz de distinguir um disco de um ponto, admite-se que é necessário que este tenha pelo menos dois minuto de arco (ou cento e vinte segundos de arco) de diâmetro aparente. Na tabela abaixo estão apresentados os diâmetros aparentes do Sol, da Lua e dos planetas do sistema solar, em segundos de arco.

	diâmetro máximo	diâmetro mínimo
Sol	1.953	1.888
Lua cheia	1.974	1.768
Mercúrio	12,9	4,6
Vênus	64,5	9,8
Marte	25,1	3,5
Júpiter	49,6	30,6
Saturno	20,6	14,9
Urano	4,2	3,4
Netuno	2,9	2,0
Plutão	0,1	0,06

Verificamos, por esta tabela, que o diâmetro aparente do Sol e da Lua são muito parecidos, e grandes o suficiente para serem percebidos como grandes discos luminosos. Os planetas, ao contrário, são muito pequenos, e parecem ser apenas pequenos pontos luminosos.

Com o auxílio de um pequeno telescópio, é possível ver as fases de Mercúrio e Vênus, manchas e calotas polares em Marte, os cinturões e satélites de Júpiter e os anéis de Saturno. Os demais planetas não permitem a visualização de detalhes.

## **6.5. Observação dos planetas, da Lua e do Sol**

### **6.5.1 Observação de Mercúrio**

A observação deste planeta se faz em virtude de sua vizinhança do Sol, muito perto do horizonte, uma ou duas horas antes do nascer do Sol, ou depois do por do Sol, dependendo da posição de Mercúrio em sua órbita. É, entretanto, de observação muito difícil, por que: nunca se afasta muito do horizonte, seu brilho não é muito superior ao das estrelas, e muda de posição rapidamente, em poucas semanas. Assim, Mercúrio só pode ser observado de madrugada ou ao entardecer, nas ocasiões em que estiver em uma de suas máximas elongações.

Com um telescópio pequeno, é possível distinguir seu disco, e observar suas fases.

### **6.5.2 Observação de Vênus**

O trajeto de Vênus no céu é semelhante ao de Mercúrio, com a diferença que é muito mais amplo e lento. Vênus se eleva muito em relação ao horizonte (cerca de 45 graus), e é muito mais brilhante que qualquer outra estrela ou planeta, e evolui por vários meses em suas elongações. Vênus tem brilho suficiente para ser visto até durante o meio-dia, desde que se saiba aonde procurar. Entretanto, é mais fácil observá-lo durante as horas que antecedem o nascer do Sol, ou após o por do Sol.

Ao telescópio, Vênus exibe um disco maior que o de Mercúrio, e com fases mais pronunciadas. Porém, não é visível qualquer detalhe em seu disco, completamente branco.

### **6.5.3 Observação de Marte**

Ao contrário dos planetas interiores Mercúrio e Vênus, Marte pode ser visto a qualquer hora da noite, inclusive à meia-noite. No entanto, durante a maior parte do tempo Marte se mostra como um ponto de brilho equivalente a uma estrela de segunda classe, embora com um interessante brilho avermelhado. A situação mais favorável para a observação de Marte é aquela na qual ele está alinhado com o Sol e a Terra, durante uma oposição, fato que ocorre a cada dois anos e um mês. Nesta ocasião, Marte vai ganhado brilho conforme se aproxima da Terra, até que seu brilho supera o de todos os planetas e estrelas, exceto Vênus. No entanto, devido às características das órbitas da Terra e Marte, certas oposições são mais favoráveis que outras, e as mais favoráveis ocorrem a cada 15 ou 17 anos. numa oposição, o planeta surge no horizonte quando o Sol se põe, percorre todo o céu durante a noite, até que desaparece no horizonte oposto quando o Sol nasce, sendo visível a noite inteira.

Com um telescópio, observa-se Marte como um disco bastante alaranjado. É possível distinguir as calotas polares de Marte, e algumas regiões claras e escuras da superfícies desse planeta. A maior dessas regiões é Syrtis Major, uma região escura destacada já observada no século XVII.

### **6.5.4 Observação de Júpiter**

Júpiter, graças à sua maior distância do Sol, varia pouco em brilho. Assim, pode ser observado durante a maior parte do tempo no céu, sempre mais brilhante que qualquer estrela, geralmente mais brilhante que Marte, e visível durante a noite, quando Vênus não é visível. Assim, Júpiter mereceu receber o nome do líder dos deuses, pois domina o céu por mais tempo que qualquer outro planeta.

Com um telescópio, vê-se Júpiter como um belo disco branco, com dois cinturões cinzentos atravessando sua superfície: são os cinturões equatoriais de Júpiter. Também salta aos olhos a existência dos quatro satélites galileanos, Io, Europa, Ganimedes e Calisto, por ordem de distância. Ganimedes é o mais brilhante, e Europa o mais fraco. Os satélites mais próximos se movimentam com mais rapidez, enquanto os mais distantes parecem se afastar mais do disco do planeta. É muito interessante observar os fenômenos mútuos destes satélites, quando um deles passa na frente de outro, ou quando eles passam na frente ou atrás do planeta. Estes satélites se movem rápido o suficiente para se perceber grandes mudanças de posição em algumas horas.

Com um telescópio de médias dimensões, é possível destacar mais cinturões do disco de Júpiter, além da Grande Mancha Vermelha, que muda de posição conforme o planeta gira.

### **6.5.5 Observação de Saturno**

Saturno possui um brilho constante, equivalente ao de uma estrela de primeira classe, de coloração amarelada, e se desloca lentamente entre as estrelas, permanecendo cerca de dois anos em cada constelação.

Ao telescópio, observa-se o seu disco, sem detalhes perceptíveis, mas revela-se o belíssimo sistema de anéis que Saturno possui. Com cerca de 80 aumentos, é possível distinguir claramente os anéis do disco de Saturno, e com telescópios de tamanho médio, se distingue a divisão entre os anéis principais: a divisão de Cassini. No entanto, a cada 15 anos, os anéis se alinham com a Terra, se tornando invisíveis por vários meses.

Com telescópios pequenos, é possível ainda se observar o satélite mais brilhante de Saturno, Titã.

### **6.5.6 Observação de Urano, Netuno e Plutão**

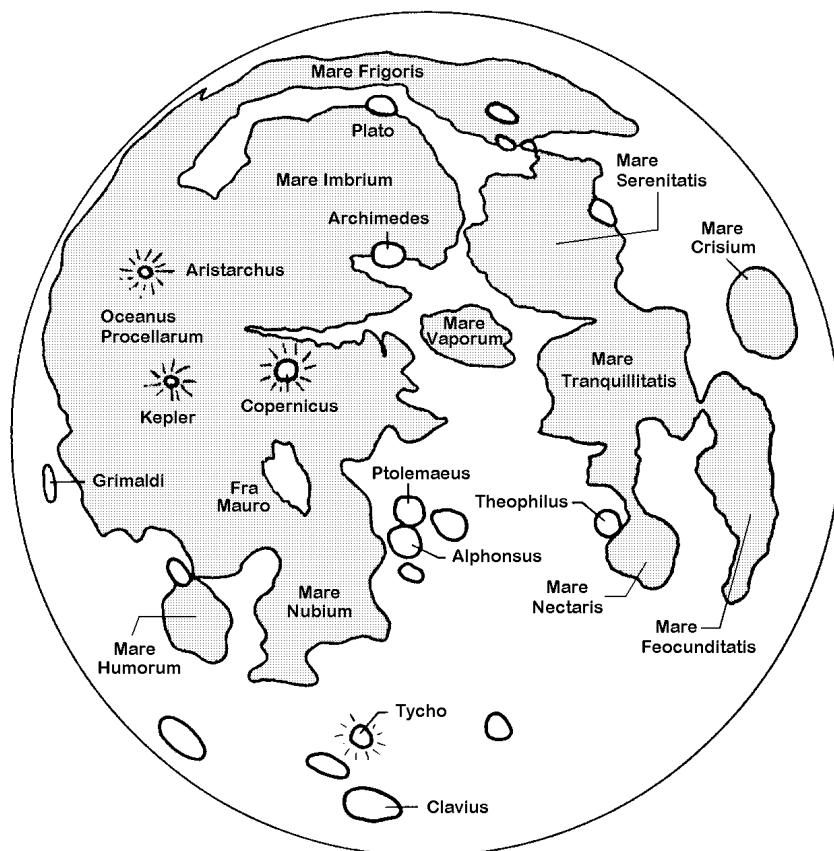
Urano é visível a olho nu, embora tenha brilho bastante fraco, no limite da visibilidade. Mesmo com um telescópio, é difícil de distinguí-lo de uma estrela, sendo necessário notar as posições das estrelas próximas, para se distinguir Urano das demais, pois apresenta magnitude média de 5,7. Apresenta um fraco brilho esverdeado.

Netuno é invisível a olho nu, ainda mais fraco que Urano, e só é possível identificá-lo com telescópios médios e um mapa estelar preciso. Apresenta magnitude 8,0 em média, e possui um brilho azulado.

Plutão só é visível com grandes telescópios, e identificá-lo entre milhares de outras estrelas é uma tarefa difícil, mesmo para astrônomos experimentados, pois este planeta possui, em média, magnitude 14.

### 6.5.7 Observação da Lua

A Lua é o mais próximo dos corpos celestes, e oferece uma enorme quantidade de atrativos para o observador, mesmo com um pequeno telescópio. A observação lunar é acessível a todos os instrumentos, pois mesmo com um binóculo é possível observar suas maiores crateras.



*Figura 6.2. Desenho simplificado da Lua.*

A Lua oferece dois tipos diferentes de relevo: os mares, baixos, lisos e mais escuros; e as terras altas, escarpadas e mais claras. Os mares são distintos, fáceis de se observar a olho nu. Com um telescópio pequeno, no entanto, a Lua se revela: se observam crateras, escarpas, falhas, montanhas e vales. A maior cratera do lado visível é Clavius, que possui várias outras crateras menores em seu interior. No entanto, as crateras Copérnico e Tycho se mostram mais bonitas: Copérnico é uma cratera recente e simétrica, com raios de material brilhante em torno, e com uma montanha em seu centro; se localiza, isolado, entre os mares Imbrium e Nubium. Tycho, perto de Clavius, ainda bem conservado que Copérnico, possui um sistema de raios brilhantes que atravessam grande parte da Lua, detalhe esse que é mais visível durante a Lua cheia. No centro do disco da Lua são visíveis três grandes crateras encadeadas: Ptolomeu, com um fundo liso e escuro, e Alphonsus e Arzachel. No Mare Nubium, é observável o Muro Reto (ou “Rupes Recta”), uma grande linha escura, de centenas de quilômetros de extensão, sombra de um desnível de 300 metros de altura existente na Lua. No Mare Serenitatis é possível observar uma pequena cratera, anormalmente brilhante e isolada: Linné. Sinus Iridum, ao lado do Mare Imbrium, parece uma grande baía cercada pelos montes Jura. Também nas proximidades do Mare Imbrium é possível encontrar os montes Pico e Pítón, montanhas isoladas numa vastidão lisa. E há o Vale Alpino, fenda observável perto da cratera

Plato, que por sua vez é lisa e circular, com seu fundo escuro. Todas as formações mencionadas são uma pequena amostra do que pode ser observado na Lua.

### **6.5.8 Observação do Sol**

O Sol apresenta, em certas ocasiões, manchas em sua superfície. Parecem ser perturbações magnéticas, originadas pela rotação do Sol e deformação de seu campo magnético, fenômeno que ocorre, periodicamente, a cada 11 anos.

Para a observação do Sol, as manchas solares devem ser contadas, e sua organização em grupos deve ser anotada, para haver o registro da atividade solar. O dado que registra o nível de atividade solar é o número de Wolf, obtido somando-se o número total de manchas somando ao número total de grupos de manchas multiplicado por dez.

As manchas solares, geralmente, só podem ser observada por telescópio. No entanto, devido à grande intensidade dos raios do Sol, sua observação pode sujeitar o observador à danos oculares permanentes, a cegueira temporária, parcial ou total, ou permanente. Assim, é muito aconselhável proceder à observação indireta, ou seja, fazer com que o telescópio projete a imagem do Sol em uma prancha lisa. Observando suas manchas periodicamente, é possível observar seu deslocamento, causado pela rotação solar, e a evolução do ciclo de atividade solar, com o aumento e diminuição paulatino de seu número. O último máximo de atividade solar foi observado em 1991.

### **6.5.9 Observação de eclipses**

Existem dois tipos principais de eclipses: o eclipse do Sol, quando a Lua passa em frente ao Sol, bloqueando sua luz; e o eclipse da Lua, quando a Lua passa pela sombra que a Terra faz no espaço. Os eclipses solares podem ser totais, anulares, totais - anulares e parciais, e os lunares podem ser totais, parciais, penumbrais e penumbrais parciais (estes dois últimos são muito difíceis de perceber). O mecanismo dos eclipses é explicado em outro capítulo dessa apostila.

Na lista de eclipses para Florianópolis, a seguir, o tipo de eclipse é o observado nessa cidade, e não da região de totalidade, e os eclipses lunares penumbrais foram omitidos, por serem de difícil observação. A duração total de um eclipse, desde o primeiro até o último contato, é algo que dura várias horas.

Lista de eclipses para Florianópolis, de 1991 até 2001.

dia	tipo	meio	magn
11/07/1991	solar parcial	17h56min	0,58
21/12/1991	lunar parcial	07h35min	0,09
15/06/1992	lunar parcial	01h57min	0,69
30/06/1992	solar parcial	07h51min	0,93
09/12/1992	lunar total	20h44min	1,28

29/11/1993	lunar total	03h27min	1,09
25/05/1994	lunar parcial	00h31min	0,25
03/11/1994	solar total	10h00min	0,98
29/04/1995	solar parcial	15h35min	0,30
04/04/1996	lunar total	21h11min	1,38
26/09/1996	lunar total	23h56min	1,24
24/03/1997	lunar parcial	01h41min	0,92
21/01/2000	lunar total	01h46min	1,33
09/01/2001	lunar total	17h23min	1,19
21/06/2001	solar parcial	07h30min	0,79

#### Glossário:

dia - dia em que ocorrerá o eclipse.

tipo - tipo do eclipse.

meio - horário em que o eclipse atingirá o seu máximo, em hora de Brasília.

magn - magnitude do eclipse. É o percentual do diâmetro do corpo a ser ocultado que será realmente ocultado. Nos eclipses totais, tem valor sempre maior que um.

Nesta lista, só estão apresentados os eclipses visíveis em Florianópolis. Além disso, os dados aqui apresentados (no caso dos eclipses solares) só valem para lugares muito próximos de Florianópolis. No caso de uma cidade mais distante, os valores verdadeiros podem estar completamente diferentes.

**ADVERTÊNCIA:** Para um eclipse lunar, não é necessário utilizar qualquer proteção, já que a luz da Lua é bastante fraca. No entanto, para um eclipse solar, é necessário proteger a delicada estrutura do olho da fortíssima luz solar: se não forem tomadas as devidas providências, poderão ser causados **danos irreversíveis**, como **cegueira parcial ou total**. Portanto, para um eclipse solar, é aconselhável utilizar proteção adequada, como a parte escura de uma chapa de raio X, ou duas camadas de filmes preto e branco velados e revelados, ou ainda filtro de soldador número 14.

## CAPÍTULO 7

### ***Observação de Outros Corpos Celestes***

***Alfredo Martins***

# **Capítulo 7 - OBSERVAÇÃO DE OUTROS CORPOS CELESTES**

## **7.1. Introdução**

Observando-se o céu noturno, nota-se com clareza as estrelas agrupadas em constelações, alguns planetas e o satélite natural da Terra, a Lua. Um exame mais cuidadoso, com mais tempo e regularidade, possibilitará a identificação de outros corpos celestes igualmente importantes para compreensão do universo que nos cerca.

## **7.2. Meteoro**

Várias vezes durante o ano, a Terra atravessa nuvens de pequenos fragmentos interplanetários. Como resultado da fricção com a atmosfera terrestre, estes fragmentos se aquecem e riscam o céu, deixando uma cauda de partículas incandescentes. Os fragmentos são chamados **meteoróides** e sua interação com moléculas da atmosfera é chamada **meteoro** (também conhecido como estrela cadente). Uma cuidadosa revisão das órbitas dos meteoros revela uma associação direta com cometas, que ao se aproximarem do Sol, liberam fragmentos do seu núcleo, deixando um rastro atrás de si. Quando a Terra passa através deste rastro, numerosos meteoros são observados - é a **chuva de meteoros**. Estas chuvas parecem originar-se de um ponto no céu que é chamado radiante. São identificadas pelo nome da estrela mais próxima. Exemplo: chuva de meteoros Alfa Escórpidas.

Nome	Visibilidade	Máximo	taxa horária
Quadrantídeos	01-04 janeiro	03 jan	40
Eta Aquarídeos	21 abr-12mai	04 mai	20
Arietídeos	29 mai-19jun	07 jun	60
Perseídeos	01-07 junho	09 jun	40
Taurídeos	20 jun-04 jul	28 jun	31
Aquarídeos	21 jul-15 ago	29 jul	20
Perseidas	25 jul-21ago	11-12 ago	50
Beta Taurídeos	23 jun-0 5jul	28-30 jun	20-30
Aquarídeos	21 jul-15 ago	29 jul	20
Orionídeos	16out-30nov	21-22 out	25

Leonídeos	12-21 nov	15-17 nov	var.
Geminídeos	02-19 dez	13-14 dez	50 a 90

## 4.3. Cometas

De vez em quando, aparece um objeto de aspecto difuso no céu, como um pedaço de névoa brilhante, geralmente com uma longa faixa curva de luz enevoada. Parecia uma estrela com penugem e uma cabeleira brilhante. Os gregos antigos deram-lhe o nome de “aster kometes”, ou seja, estrela cabeluda. Atualmente, chamamos estes objetos de cometas.

### 4.3.1. Composição

Hoje em dia, sabemos que os cometas são, basicamente, aglomerados de fragmentos rochosos envolvidos em gelo, que se evapora sob o efeito do calor solar.

Um cometa compõe-se de três partes principais: um núcleo, uma cabeleira e uma cauda.

- O núcleo é o corpo sólido do cometa, que não possui mais que alguns quilômetros de diâmetro, e possui forma irregular.
- A cabeleira é o material do núcleo que foi aquecido e evaporou, formando uma atmosfera gasosa envolvendo o núcleo por milhares de quilômetros ou mais.
- A cauda (às vezes, pode existir mais de uma) é formada pelo material da cabeleira que é atingido e expulso por partículas emitidas pelo Sol, o “vento solar”.

O núcleo de um cometa é tão pequeno que não pode ser observado da Terra. Vale lembrar que a solidade do núcleo não é lá muito grande; o cometa Biela, por exemplo, em 1846 teve seu núcleo partido em duas partes, e se transformou em dois cometas diferentes, que foram vistos pela última vez em 1852, podendo ter se fragmentado completamente.

Forma-se uma nebulosidade em torno do núcleo, a cabeleira ou coma, quando o cometa se aproxima do Sol a uma distância menor do que de 2,5 UA (Unidades Astronômicas). Isto é consequência da sublimação do gelo em sua superfície. Quanto mais aproxima-se do Sol, maior a influência da radiação solar que arrasta os componentes ejetados do núcleo, formando uma extensa cauda sempre em oposição ao Sol.

As caudas podem ser de duas naturezas: a cauda de poeira, feita de grãos mais pesados, é amarelada e tem forma curva, pois seus grãos são mais difíceis de serem arrastados pelo vento solar; e a cauda de íons, composta de átomos ionizados, é azulada e reta, pois é formada de partículas leves, e arrastadas com rapidez pelo vento solar.

A cauda pode atingir vários milhões de quilômetros de comprimento, sempre apontando na direção oposta à do Sol, não importando a direção do movimento do núcleo do cometa. Um dos exemplos mais interessantes foi o cometa Donati, que apareceu em 1.858, foi visível por oito meses e se tornou o cometa mais brilhante do século XIX. Ele mostrou duas caudas gigantescas, com cerca de 85.000.000 de km de comprimento, e possui um período de mais de 2.000 anos. Outro cometa brilhante, o cometa de Cheseaux, de 1744, apareceu revelando seis caudas em leque, aproximadamente iguais

### **4.3.2. As órbitas dos cometas**

Como os cometas vêm de uma nuvem exterior, é comum que suas órbitas sejam muito diferentes das dos planetas. A órbita de um cometa pode ser elíptica, ou “fechada”, significado que o cometa é periódico, como o Halley; ou pode ser parabólica, ou “aberta”, significando que o cometa, após realizada uma passagem, nunca mais voltará. Assim, os cometas de órbita parabólica costumam ser os de aparência mais brilhante, pois guardam todo o seu estoque de gelo, ainda intocado pelo calor do Sol, para uma única passagem. Os cometas de órbita elíptica, a cada passagem pelas proximidades do Sol, perdem parte de sua camada de gelo e se desgastam cada vez mais, até que, depois de dezenas ou centenas de passagens, perdem todo o seu gelo e se tornam escuros.

O cometa de Halley, o mais famoso de todos, apresenta período orbital de 76 anos. Sua passagem mais próxima do Sol (periélio) ocorre a 0,59 UA (dentro da órbita de Vênus) e a mais afastada do Sol (afélio) ocorre a 35 UA (além da órbita de Netuno). Sua última passagem de 1986 ofereceu uma visão pobre à vista desarmada porque seu periélio, localização em que a atividade cometária é mais intensa, ficou do lado do Sol oposto à Terra. De fato, essa foi a passagem mais fraca do cometa Halley em mais de 2.000 anos.

### **4.3.3. O brilho dos cometas**

A cada década, aproximadamente, é possível observar um cometa com magnitude semelhante a +1, mas a data de sua chegada é imprevisível, pois os cometas mais brilhantes são os de órbita parabólica . De 1976 até 1996, o intervalo de tempo que separa a chegada do cometa West do cometa Hyakutake, não se observa um cometa brilhante nos céus.

Os astrônomos registraram muitos cometas, desde a antiguidade, e abaixo é mostrada uma lista dos cometas mais brilhantes.

Lista dos mais brilhantes dos últimos 2.000 anos, segundo Mourão

NOME	MAGN.
Cruls ou Grande Cometa de Setembro (1882 II)	-15 / -20
Ikeya-Seki (1965 VIII)	-10
Brahé (1577 I)	-7
Klinkenberg ou Cheseaux (1744)	-7

Grande Cometa de Março (1843 I)	-7
Skjellerup-Marastany (1927 IX)	-6
Wells (1882 I)	-5
Regiomontanus (1472)	-4
Hevelius (1665)	-4
Grande Cometa de Janeiro (1910 I)	-4
Halley (837)	-3,5
Howard-Koomen-Michels (1979 XI)	-3,5
De La Nux (1758)	-3
Cometa do Eclipse (1948 XI)	-3
Kohoutek (1973 XIII)	-3
West (1976 VI)	-3
Seki-Lines (1962 III)	-2,5
Solwind 2 (1981 I)	-2,5
Viscara ou Grande Cometa de Abril (1901 I)	-1,5
Donati (1858 VI)	-1

As causas do grande brilho destes cometas foram: o fato do cometa ser particularmente grande, portanto com grande quantidade de poeira e gelo reflexivo; grande aproximação do Sol e/ou da Terra; uma explosão súbita, causada por uma erupção de um depósito de gás ou gelo, até então encoberto; ou uma combinação destes fatores. Uma ressalva que se tem de fazer é que alguns destes cometas só atingiram este grande brilho quando se aproximaram muito do Sol, sendo de observação muito difícil, como o cometa Howard-Koomen-Michels.

O mais famoso dos cometas, o Halley, é o único cometa periódico na lista dos mais brilhantes. Todos os demais são parabólicos, destinados a nunca retornar, ou a retornar apenas dentro de milhares ou milhões de anos. Das últimas 29 aparições do Halley, apenas nove delas atingiram magnitude negativas, como a de 837, de magnitude -3,8 e a de 1910, de magnitude -1,5. A mais fraca de todas as aparições do Halley, em 2.200 anos, foi em 1986, com magnitude de +3,3; e para 2061, acredita-se que seu brilho atingirá magnitude +1,2.

Os últimos cometas observados a olho nu foram o Halley, em 1985, o Austin, em 1990, e o Hyakutake, em 1996, além do cometa Hale-Bopp, em 1997.

## **7.4. Via Láctea**

É a galáxia espiral onde habita o Sol e seu sistema de planetas. Devido a sua estrutura em forma de disco e pelo fato de estarmos localizados em um de seus braços, quando olhamos na direção do centro ou da periferia observamos uma grande quantidade de estrelas, dando ao céu um aspecto leitoso. Seu centro está voltado na direção da constelação de Sagitário.

Com o deslocamento da Terra em redor do Sol durante o ano, a posição da Via Láctea vai sofrendo modificação devido à mudança na configuração do céu.

Da Terra, vemos a Via Láctea atravessando as constelações de Cruzeiro do Sul, Sagitário ...

## **7.5. Aglomerados globulares**

São acúmulos de milhares de estrelas com distribuição esférica que orbitam em torno do núcleo da Via Láctea, fora de seu disco. Dois representantes famosos no hemisfério sul são os aglomerados Ômega do Centauro (NGC 5139) e 47 do Tucano (NGC 104). Ambos apresentam-se com magnitude visual quatro.

## **7.6. Aglomerados abertos**

São acúmulos irregulares de estrelas localizados no disco da Via Láctea. Orbitam o núcleo no plano da Galáxia. Seu representante mais famoso é o aglomerado das Plêiades (Messier 45) localizado na constelação de Touro. Destacam-se ainda as Híades (no Touro), Presépio (no Câncer), e a Caixa de Jóias (no Cruzeiro do Sul).

## **7.7. Nebulosas**

O espaço entre as estrelas na Via Láctea é preenchido por gases e poeira. Quando a densidade destes gases e poeira é grande, formam-se nuvens que sofrem interação com a luz emitida pelas estrelas. Elas tornam-se luminosas e tornam-se visíveis desde a Terra. Temos dois tipos principais de nebulosas:

- ⇒ Nebulosa de reflexão - Quando a luz das estrelas próximas sofre reflexão nos gases tornando-os visíveis. Exemplo: Nebulosa das Plêiades;
- ⇒ Nebulosa de emissão - Quando a luz das estrelas próximas ioniza os gases tornando-os luminescentes. Exemplo: Nebulosa de Órion;
- ⇒ Nebulosa obscura - Quando não há estrelas próximas, a nebulosa não brilha e aparece como uma massa escura que absorve a luz dos objetos mais distantes. Exemplo: Nebulosa do Saco do Carvão, no Cruzeiro do Sul.

## 7.8. Galáxias

Nossa galáxia, a Via Láctea, está acompanhada de algumas dezenas de outras companheiras formando o chamado Grupo Local. Destas, quatro são visíveis à vista desarmada. Duas delas, em ocasiões apropriadas, são facilmente observáveis. São a Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães, localizadas nas redondezas do Pólo Sul Celeste.

Mais difíceis de observar são a galáxia de Andrômeda, também conhecida como M31, e a galáxia do Triângulo, ou M33. A galáxia de Andrômeda, com magnitude de 4,8, é visível na constelação de Andrômeda, que encontra-se ao norte, observável no início das noites de primavera. A galáxia do Triângulo, com magnitude 5,9, é visível na constelação do Triângulo.

# **CAPÍTULO 8**

## ***O Sistema Solar***

***Alfredo Martins***  
***Antônio C. de Lucena***

# CAPÍTULO 8

## *PARTE 1*

### ***Estrutura do Sistema Solar***

***Alfredo Martins***

## **Capítulo 8 – O SISTEMA SOLAR – Parte 1**

### **8.1. Estrutura do Sistema Solar**

#### **8.1.1. Introdução**

O sistema solar é o grupo de corpos celestes compreendendo o Sol e um grande número de corpos que estão ligados gravitacionalmente à ele e giram em órbitas elípticas ao seu redor. Inclui nove planetas, mais de cem satélites planetários naturais; numerosos asteróides, geralmente entre Marte e Júpiter; os cometas, os quais existem em grande número; e incontáveis meteoróides.

O Sistema Solar pode ser considerado uma esfera de raio tão grande quanto 100.000 UA (Unidades Astronômicas), embora os planetas estendam-se num raio menor de 50 UA.

Com exceção de alguns cometas, todos os corpos do sistema solar orbitam o Sol no mesmo sentido da Terra ao longo de órbitas que ficam perto do plano da órbita da Terra (eclíptica) e do equador do Sol. Observando-se o sistema solar no sentido norte - sul, os planetas orbitam o Sol no sentido anti-horário. Este movimento reflete o postulado da origem comum do sistema solar por contração e rotação de nuvens de gás interestelar e poeira cósmica, há cerca de 4,6 bilhões de anos atrás.

O Sol e seu sistema estão movendo-se em órbita circular em torno do centro da Galáxia, o qual fica a cerca de 10.000 parsecs (30.000 anos luz) na direção da constelação de Sagitário, completando uma revolução a cada 220 milhões de anos, a uma velocidade de 250 km/s.

#### **8.1.2. O Sol**

O Sol é uma estrela como uma das 100 a 200 bilhões de estrelas da Via Láctea. Localiza-se no "Esporão do Órion", nas proximidades do braço espiral Sagitário-Carina. É uma estrela amarela - alaranjada do tipo espectral G2v. Produz energia através de fusão nuclear. Comparado com outras estrelas, é de tamanho médio. Comparado com a Terra apresenta-se como uma imensa esfera com volume um milhão de vezes maior. O diâmetro equivale a 109 Terras colocadas lado a lado. O tamanho aparente do Sol visto da Terra é de 1/2 grau de arco, equivalente ao diâmetro de um lápis observado com o braço esticado.

#### **8.1.3. Os Planetas e seus satélites**

Os planetas são corpos celestes compactos de composição variada, sem luz própria, que giram em torno do Sol em órbitas elípticas. Podem ser classificados segundo vários critérios:

a) Em relação à órbita da Terra

⌚ Planetas Inferiores: Apresentam órbitas aquém da órbita da Terra: Mercúrio e Vênus.

◆ Planetas Superiores: Apresentam órbitas além da órbita da Terra: Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão.

b) Em relação aos anéis de Asteróides

◆ Planetas Interiores: àqueles situados aquém dos anéis de Asteróides: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

◆ Planetas Exteriores: àqueles situados além dos anéis de asteróides: Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão.

c) Em relação à constituição física

◆ Planetas Terrestres ou Telúricos: àqueles semelhantes à Terra, ou seja, massa pequena e densidade grande. Todos têm núcleo rico em ferro e crosta rochosa: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

◆ Planetas Jovianos ou Gigantes Gasosos: àqueles semelhantes à Júpiter, ou seja, massa grande e densidade pequena. Todos são essencialmente constituídos por gases sendo sua superfície aparente formada por suas atmosferas: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

◆ Planetas Gelados: àqueles formados por gases congelados, como o metano. Plutão é o único representante atualmente conhecido.

Os satélites são corpos celestes que giram em torno de um planeta em consequência da gravitação. Estão assim relacionados com seus planetas:

◆ Terra, 1 - Lua

◆ Marte, 2 - Fobos, Deimos

◆ Júpiter, 60 - Métis, Adrastéia, Amaltéia, Tebe, Io, Europa, Ganimedes, Calisto, Themisto, Leda, Himália, Lisitéia, Elara, Harpalyke, Ananke, Praxidike, Iocaste, Carme, Erinome, Taygete, Chaldene, Isonoe, Pasífae, Callirrhoe, Sinope, Kalyke, Megaclite e mais trinta e três recém descobertos.

◆ Saturno, 31 - Atlas, Prometeu, Pandora, Janus, Epimeteus, Mimas, Pã, Réia, Titã, Hipérion, Jápeto, Febe, Encélado, Tétis, Telesto, Calipso, Dione, Helene, além de outros treze recentemente descobertos.

◆ Urano, 21 - Miranda, Ariel, Umbriel, Titânia, Oberon, Puck, Pórcia, Julieta, Crêssida, Rosalinda, Belinda, Desdêmona, Cordélia, Ofélia, Bianca, Próspero, Setebos, Stephano, Caliban, Sycorax além de mais um recém descoberto.

◆ Netuno, 11 - Tritão, Nereida, Náiade, Thalassa, Galatéia, Despina, Larissa, Proteu e mais três descobertos recentemente.

◆ Plutão, 1 - Caronte.

### **8.1.4. Os Asteróides**

Os Asteróides são pequenos corpos celestes, também chamados Planetas Menores ou Planetóides, que giram em torno do Sol geralmente com órbita entre Marte e Júpiter. Estão catalogados mais de 5.000 deles. Alguns agrupados em famílias, tais como a família Apolo, Amor e Troianos. Um dos mais representativos é Ceres, com 930 km de diâmetro, o qual foi o primeiro a ser descoberto (em 1801). Embora em número total superior a trinta mil, sua massa combinada é consideravelmente menor que a massa da Lua. O tempo que tomam para orbitar o Sol varia de 3,5 a 6 anos.

### **8.1.5. Meteoróides**

Os Meteoróides são fragmentos de matéria maior que uma molécula e menor que um Asteróide. Ao penetrarem na atmosfera terrestre se aquecem produzindo o fenômeno luminoso chamado Meteoro (estrela cadente) e ao atingirem a superfície da Terra recebem o nome de Meteorito.

### **8.1.6. Cometas**

Os Cometas são corpos do Sistema Solar constituídos de pequenas partículas sólidas (poeira) e gelo (gás congelado). Foram formados na periferia do Sistema Solar e representam fósseis da nebulosa primordial que deu origem a todos representantes deste sistema. São portanto remanescentes que sobreviveram ao nascimento do Sistema Solar. Virtualmente inalterados, os cometas contém importantes informações sobre nossa origem e a de nosso sistema solar.

## **CAPÍTULO 8**

### ***PARTE 2***

### ***Dinâmica do Sistema Solar***

***Antônio C. de Lucena***

## **Capítulo 8 – O SISTEMA SOLAR - Parte 2**

### **8.2. Dinâmica do Sistema Solar**

#### **8.2.1. Introdução**

Em vista das enormes distâncias existentes entre os corpos que formam o sistema solar, relativamente ao tamanho destes mesmos corpos, é lícito, ao se estudar os movimentos orbitais, considerá-los como pontos materiais, isto é, corpos com dimensões próprias desprezíveis (pontos geométricos), mas portadores de massa.

Para enfatizar as relações entre as dimensões dos corpos do sistema solar e as distâncias entre eles, a tabela 2 a seguir mostra tal fato, numa escala mais perceptível à nossa mente. A tabela 8.1 mostra os tamanhos e distâncias reais.

<b>corpo</b>	<b>diâmetro (km)</b>	<b>distância ao Sol (km)</b>
Sol	1.392.000	- x -
Mercúrio	4.880	57.900.000
Vênus	12.100	108.200.000
Terra	12.755	149.600.000
Marte	6.788	228.000.000
Júpiter	137.400	778.300.000
Saturno	115.000	1.427.000.000
Urano	50.100	2.871.000.000
Netuno	49.400	4.497.000.000
Plutão	2.300	5.913.000.000

*Tabela 8.1. Tamanhos e distâncias dos planetas do sistema solar.*

corpo	"diâmetro" (cm)	"distância ao Sol" (m)
Sol	140,0	- x -
Mercúrio	0,5	58
Vênus	1,2	108
Terra	1,3	150
Marte	0,7	230
Júpiter	14,0	780
Saturno	12,0	1.430
Urano	5,0	2.870
Netuno	5,0	4.500
Plutão	0,2	5.900

*Tabela 8.2. Dimensões de um modelo reduzido do sistema solar.*

Na Tabela 8.2, admite-se que o Sol é uma esfera com aproximadamente 1,4 m de diâmetro; então, as dimensões dos planetas (em centímetros) e as distâncias dos planetas ao Sol (em metros) são as mostradas.

### **8.2.2. Órbitas dos planetas.**

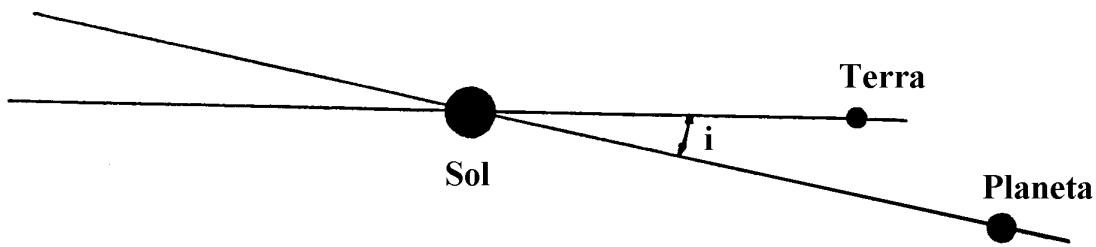
As órbitas de todos os planetas são, para todos os fins práticos, elipses perfeitas, com o Sol ocupando um dos focos. Estas elipses, entretanto, pouco se afastam da forma de uma circunferência.

Os planetas descrevem estas elipses, cada um levando um determinado tempo, chamado período, para dar uma volta completa em torno do Sol. Este tempo é tanto maior quanto mais afastado do Sol se encontra o planeta. A tabela 3 mostra os períodos dos planetas.

O plano da órbita da Terra, chamado de plano da eclíptica, é a referência para todas as outras órbitas.

Os planos das órbitas dos planetas não coincidem com o plano da órbita da Terra. Por outro lado, se afastam dele por um valor pequeno, tendo cada planeta o seu próprio plano, que é diferente do plano de todos os demais.

Vistos de perfil os planos das órbitas dos planetas teriam, grosso modo, a configuração geral mostrada na figura 1.



*Figura 8.1. Inclinação do plano da órbita de um planeta sobre o plano da eclíptica.*

“i” representa o ângulo de inclinação do plano da órbita do planeta sobre o plano da eclíptica.

planeta	período	
	anos terrestres	dias terrestres
Mercúrio	0,241	88,97
Vênus	0,615	224,70
Terra	1,000	365,26
Marte	1,881	686,98
Júpiter	11,860	4.332,90
Saturno	29,460	10.764,20
Urano	84,010	30.694,90
Netuno	164,740	60.190,00
Plutão	248,540	90.465,00

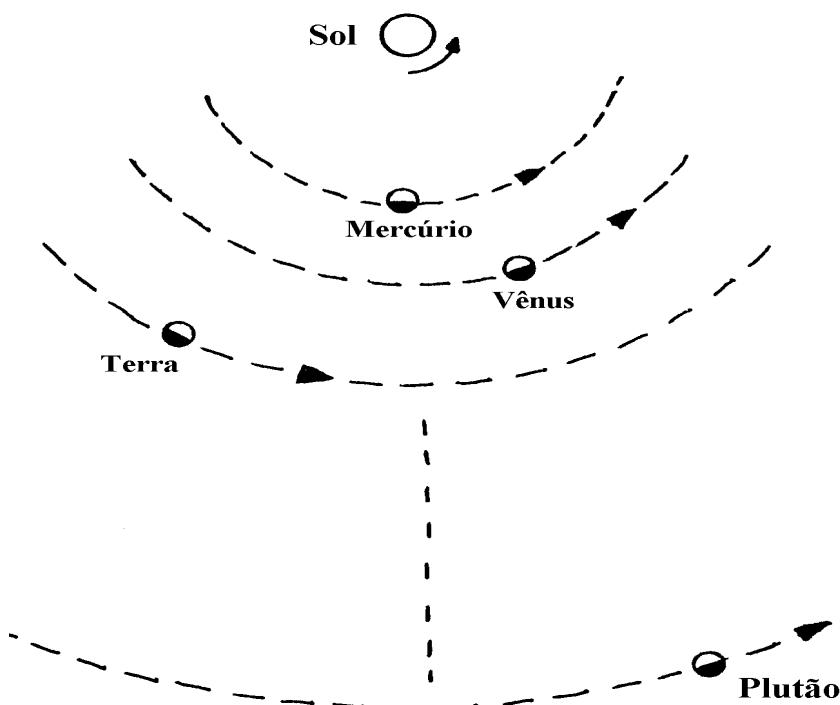
*Tabela 8.3. Períodos de rotação e revolução dos planetas.*

planeta	i (graus)	Observações
Mercúrio	7,00	
Vênus	3,39	
Terra	0,00	
Marte	1,85	
Júpiter	1,31	
Saturno	2,49	
Urano	0,77	menor
Netuno	1,77	
Plutão	17,15	maior

*Tabela 8.4. Inclinação das órbitas dos planetas.*

Os planetas descrevem suas órbitas todos no mesmo sentido de revolução, que coincide com o sentido de rotação do Sol, o que reforça, como se verá posteriormente, a hipótese de uma gênese comum.

A figura 8.2 mostra, de forma esquemática, o que se veria numa vista de cima (do polo norte da eclíptica).



*Figura 8.2. Órbitas dos planetas.*

### **8.1.3. Configurações planetárias relativas ao Sol e à Terra.**

Como os planetas não emitem luz, apenas refletindo a luz que recebem do Sol, eles podem ser vistos de várias maneiras diferentes nos céus da Terra, dependendo de suas posições relativas ao Sol e à própria Terra.

O comportamento dos planetas é radicalmente diferente conforme se trate de um planeta inferior ou de um planeta superior.

#### **8.1.3.1 Planetas inferiores.**

Os planetas inferiores, Mercúrio e Vênus, nunca se afastam muito do Sol (quando vistos da Terra). Somente são observados no início da noite ou no início da manhã. Apresentam fases bem distintas, similares àquelas da Lua.

A figura 8.3 mostra, de forma esquemática, as posições relativas da Terra e de um planeta inferior.

#### **8.1.3.2 Planetas superiores.**

Os planetas superiores, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão podem ocupar qualquer posição em relação ao Sol e portanto podem ser vistos a qualquer hora da noite. Apresentam seus hemisférios quase totalmente iluminados, sendo que este fenômeno é mais acentuado quanto mais distante da Terra for o planeta. Consequentemente, apesar de ainda se poder falar na existência de fases, estas são muito pouco pronunciadas, sendo mesmo quase imperceptíveis na maior parte das vezes.

A figura 8.4 mostra, de forma esquemática, as posições relativas da Terra e de um planeta superior.

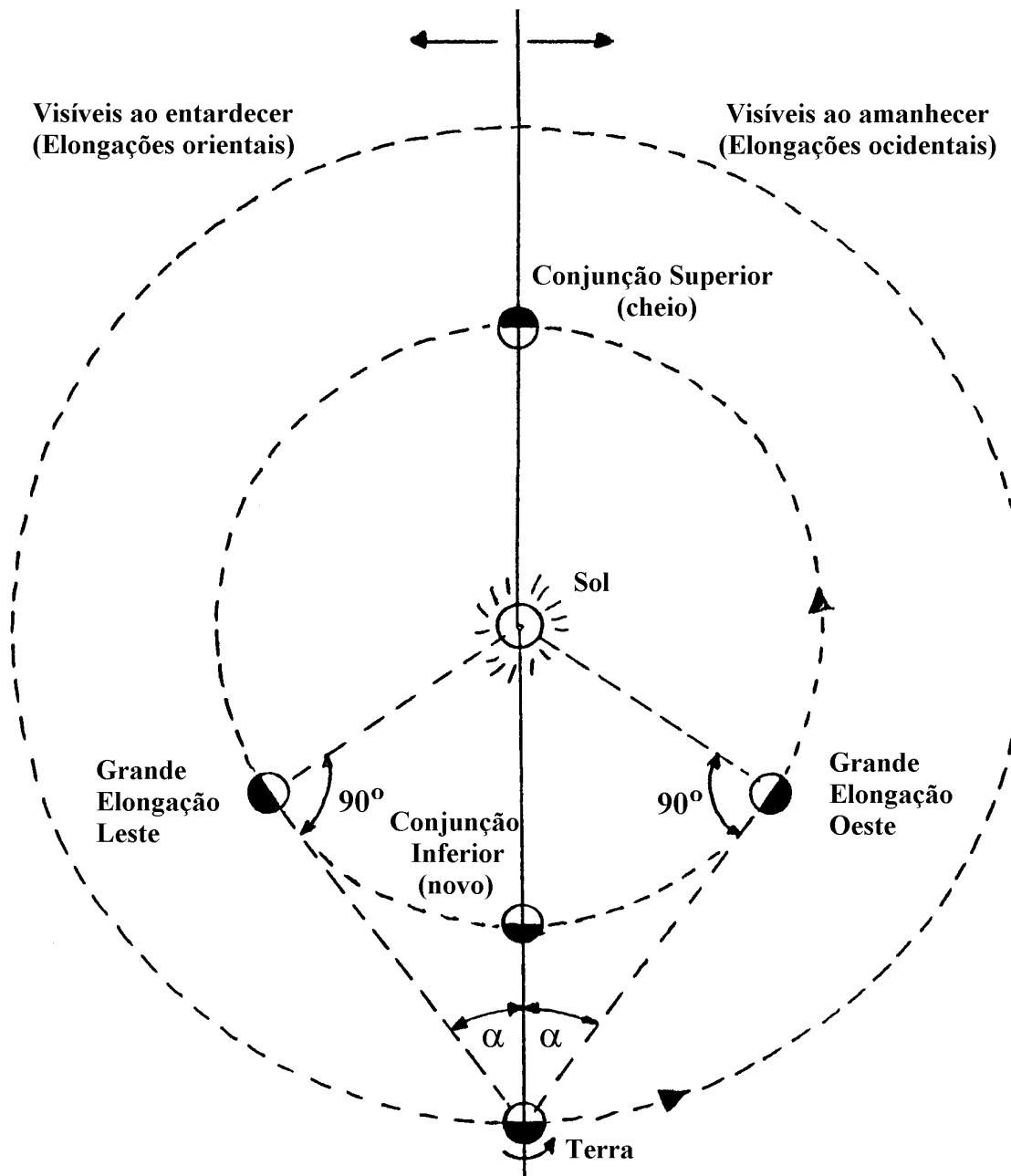


Figura 8.3. Posições relativas da Terra e de um planeta inferior.

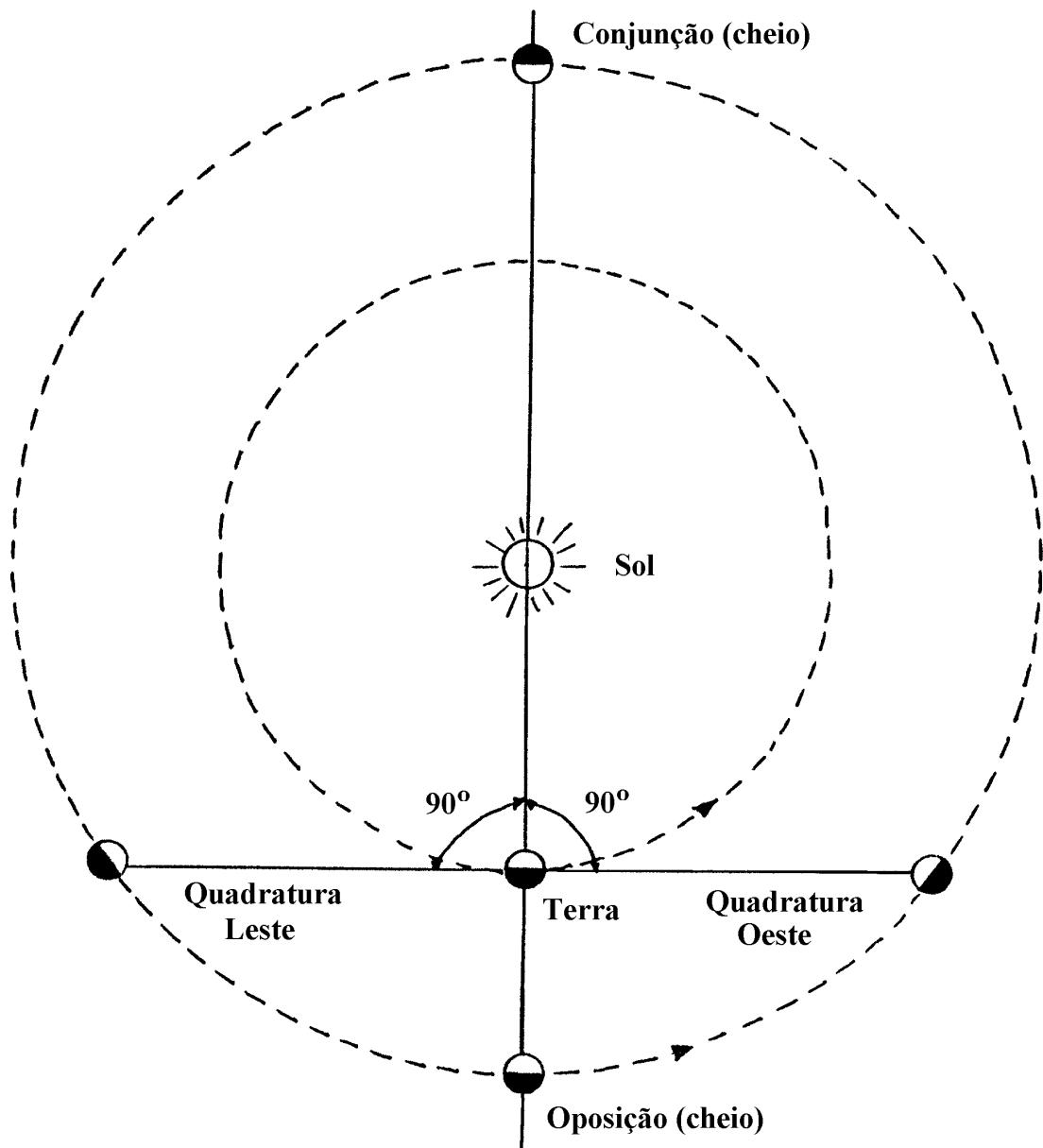


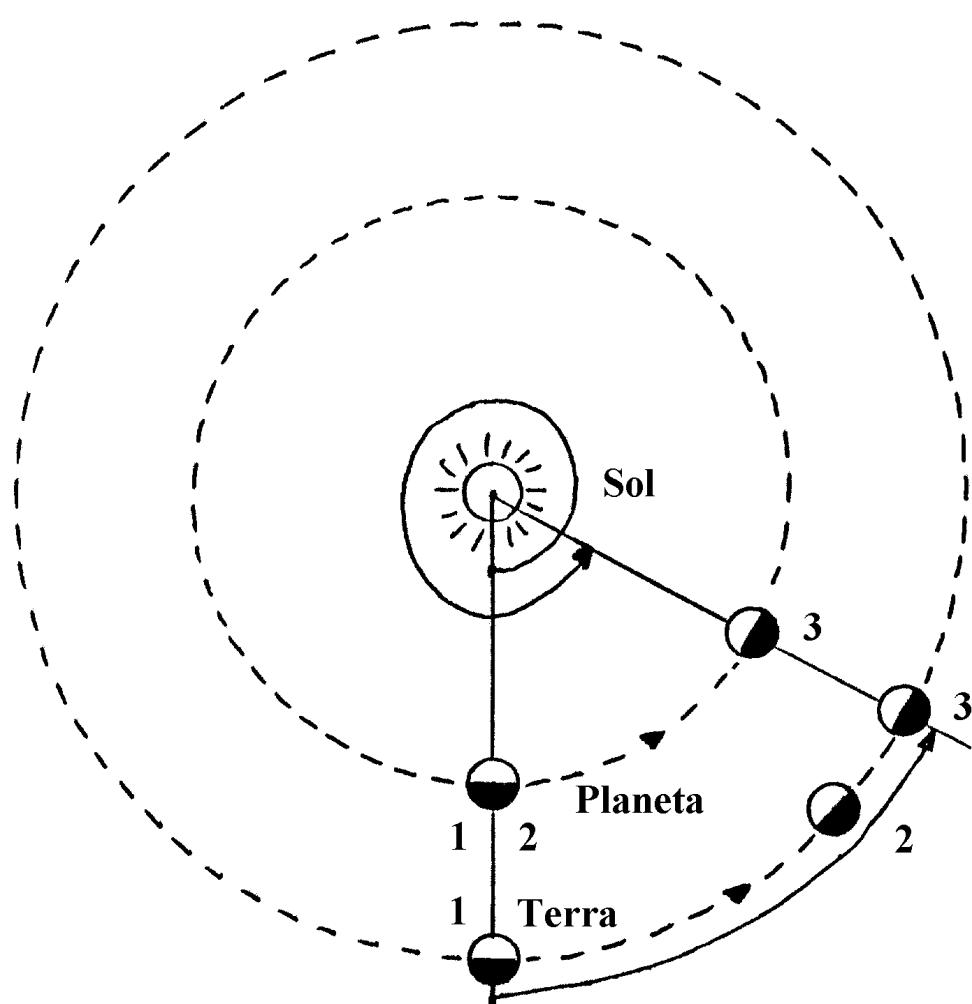
Figura 8.4. Posições relativas da Terra e de um planeta superior.

#### **8.2.4. Relações entre os diversos períodos planetários.**

O período referido no item 2, mostrado na tabela 3, é definido como sendo o tempo que um planeta leva para dar uma volta em torno do Sol, conhecido como período sideral. O referencial adotado é o das estrelas.

Existe um outro período, em relação à Terra, chamado de período sinódico. O período sinódico pode ser definido como sendo o intervalo de tempo que decorre entre duas posições relativas Sol - Terra - planeta iguais e consecutivas.

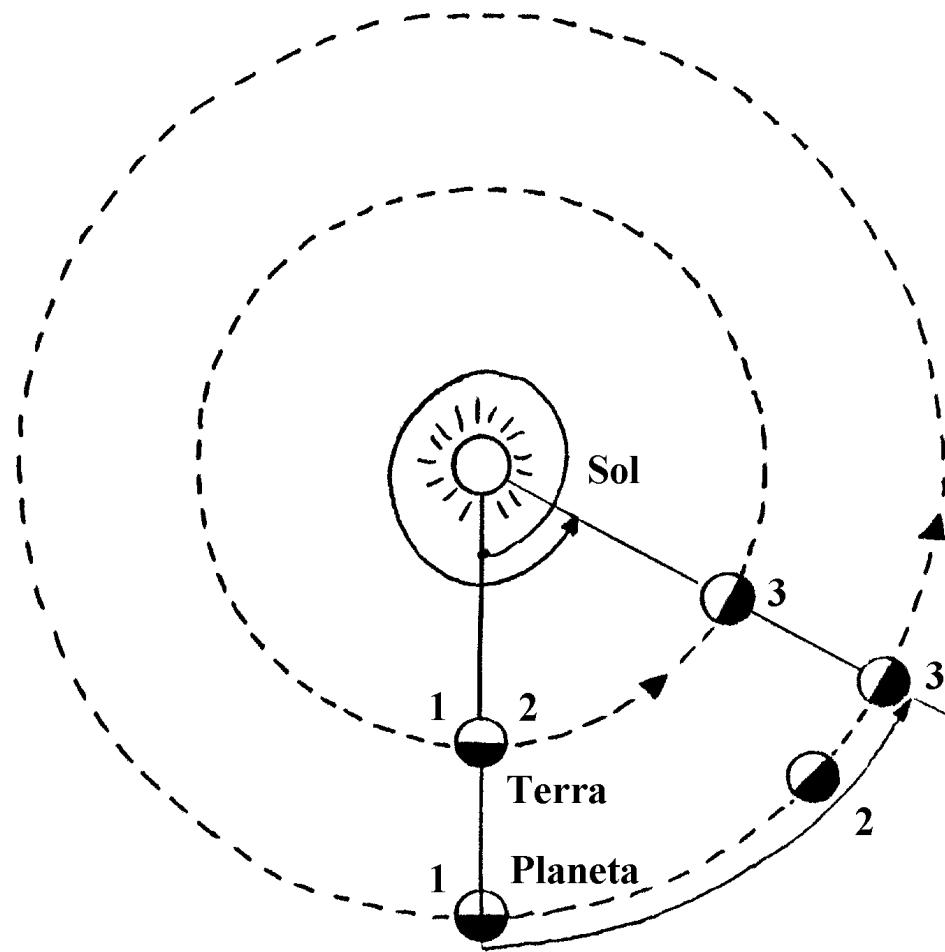
Assim, para um planeta inferior, este intervalo de tempo é tomado como sendo aquele que existe entre duas conjunções inferiores consecutivas. A figura 8.5 mostra de forma esquemática o exposto.



*Figura 8.5. Período sinódico para um planeta inferior*

Com referência à figura 8.5, em 1 o planeta se encontra em conjunção inferior. No intervalo de tempo que o planeta leva para dar uma volta completa ao Sol, a Terra se deslocou até o ponto 2. Daí para que o planeta volte a uma nova conjunção inferior ele tem que percorrer, sobre a sua órbita, o arco 2-3, enquanto a Terra percorre, sobre a sua órbita, o arco 2-3.

Já para um planeta superior, tal período é tomado como sendo o intervalo de tempo que ocorre entre duas oposições sucessivas. A figura 8.6 ilustra, de forma esquemática, o exposto.



*Figura 8.6. Período sinódico para um planeta superior.*

A explicação da figura 8.6 é semelhante à da figura 8.5.

As expressões que relacionam os períodos sinódicos e siderais de um planeta com o período sideral da Terra são as seguintes:

a) Para planetas inferiores

$$\frac{1}{T} + \frac{1}{P} = \frac{1}{S}$$

b) Para planetas superiores.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{P} + \frac{1}{S}$$

onde: T = Período sideral da Terra (365,26 dias)

P = Período sideral do planeta

S = Período sinódico do planeta

Obs.: As duas fórmulas acima podem ser escritas como uma única como segue:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{P} \pm \frac{1}{S}$$

onde o sinal de (-) vale para planetas inferiores e o sinal de (+) vale para planetas superiores.

Exemplo: Para o planeta Vênus se observa que S = 583,92 dias. Daí

$$\frac{1}{365,26} = \frac{1}{P} - \frac{1}{583,92}$$

e consequentemente P=224,7 dias.

### **8.2.5. As leis de Kepler. As leis de Newton.**

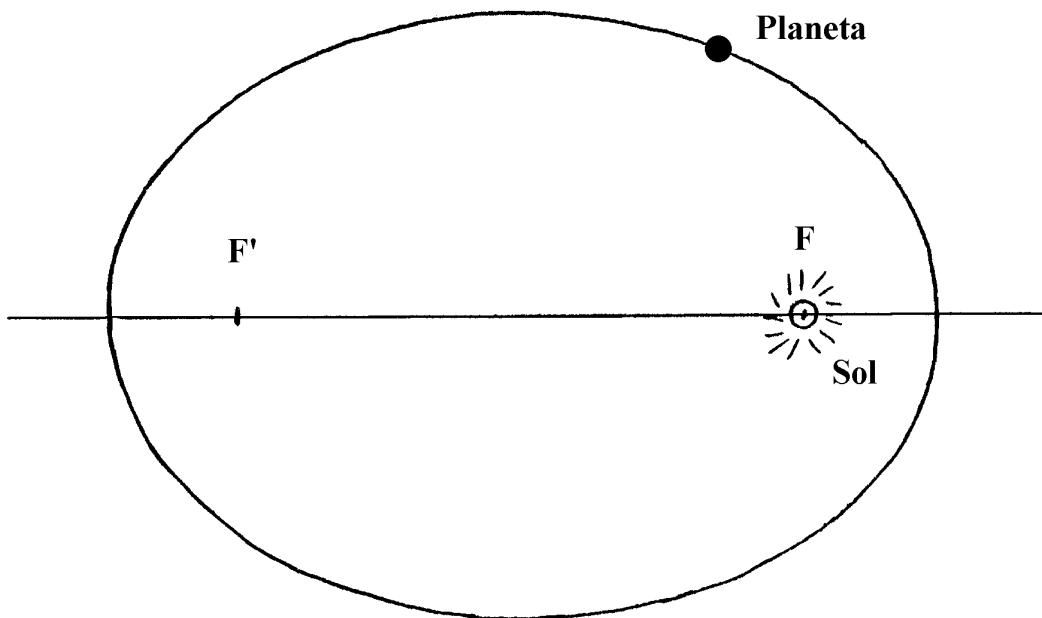
#### **8.2.5.1 As leis de Kepler**

Os planetas movem-se ao redor do Sol de acordo com 3 leis, descobertas empiricamente, no início do século XVII pelo astrônomo (e astrólogo) alemão Kepler. Estas leis são as seguintes:

**I - Lei das órbitas (ou Lei das elipses).**

**"A órbita de cada planeta é uma elipse, na qual o Sol ocupa um dos focos."**

A figura 8.7 mostra isso.



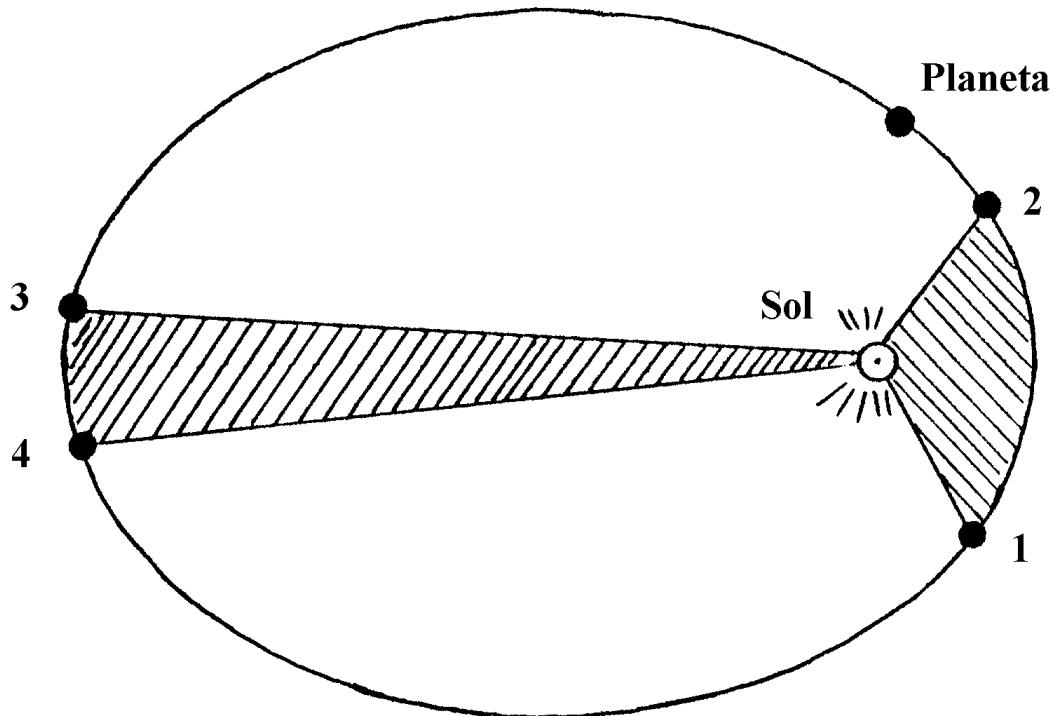
*Figura 8.7. Primeira lei de Kepler.*

**II - Lei das áreas**

**"O raio vetor de um planeta varre áreas iguais em tempos iguais."**

Neste ponto cabe esclarecer o que se entende por raio vetor.

O raio vetor de um planeta nada mais é do que o segmento de reta que, em qualquer instante, liga o centro do Sol ao centro do planeta. A figura 8 mostra o entendimento da segunda lei de Kepler.



*Figura 8.8. A segunda lei de Kepler*

Com referência à figura 8, as áreas Sol-1-2 e Sol-3-4, são iguais. Portanto, o planeta percorre o arco de elipse 1-2 no mesmo tempo que leva para percorrer o arco 3-4. Como o arco 1-2 é maior do que o arco 3-4, então o planeta se move mais rapidamente quando mais próximo do Sol do que quando mais distante.

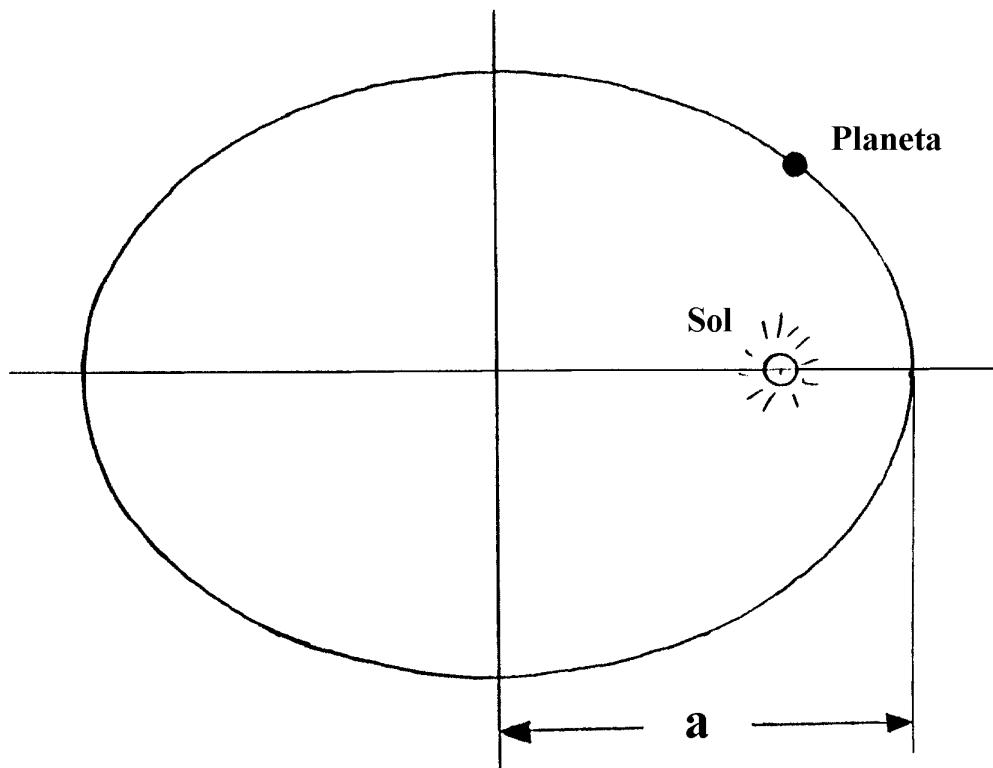
### *III - Lei dos períodos (ou Lei harmônica).*

*"Os quadrados dos períodos siderais dos planetas são proporcionais ao cubo dos semi-eixos maiores (raio médio) de suas respectivas órbitas."*

Matematicamente temos:

$$T^2 \propto a^3$$

A figura 9 mostra o entendimento de a.



*Figura 8.9. A terceira lei de Kepler*

Para todos os planetas do sistema solar, a constante de proporcionalidade é a mesma, de modo que se pode escrever:

$$T^2 = K a^3$$

Assim, para dois planetas quaisquer, temos:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

#### **8.2.5.2 As leis de Newton.**

Baseando-se nos trabalhos de Galileu e de Kepler, Newton criou um esquema unificado de mecânica e de gravitação.

Além do esclarecimento (ou definição) de alguns conceitos auxiliares (tais como força, massa, espaço, tempo, velocidade e aceleração, por exemplo), Newton estabeleceu as três leis que levam seu nome (também chamadas, por alguns autores, de leis de Newton - Galileu).

Aqui, vamos somente enunciá-las, já que sua aplicação à mecânica do sistema solar é um assunto mais ou menos complexo, que foge ao escopo deste nosso curso.

Entretanto, é importante ressaltar que o movimento dos planetas ao redor do Sol, dos satélites (incluindo os artificiais) ao redor dos planetas e das naves espaciais de um modo geral, obedecem a estas leis, uma vez que as três leis de Kepler podem ser deduzidas matematicamente das leis de Newton, o que faz com que estas sejam mais fundamentais do que aquelas.

### **I - Primeira lei de Newton (A lei da inércia)**

**"A velocidade de uma partícula permanece constante (em magnitude e direção), a não ser que seja diferente de zero a soma das forças que atua sobre ela."**

Matematicamente esta lei pode ser escrita:

$$v = \text{constante.}$$

Uma outra forma, mais fundamental ainda é

$$mv = \text{constante}$$

Aqui  $p = mv$  é o chamado momento da partícula (também chamado de quantidade de movimento da partícula).

### **II - Segunda lei de Newton (A lei do movimento)**

**"A direção e o sentido da aceleração que um conjunto de forças imprime a uma partícula, sobre a qual elas estejam agindo simultaneamente, são os mesmos que os da soma das forças consideradas, e o módulo de tal aceleração proporcional ao dessa soma."**

Matematicamente esta lei pode ser escrita:

$$F = ma$$

Uma outra forma, mais fundamental ainda:

$$F = \frac{d}{dt} (mv)$$

### ***III - Terceira lei de Newton (Lei da ação e reação).***

***"Sempre que uma partícula A estiver exercendo uma força sobre uma outra partícula B, esta outra estará, reciprocamente, exercendo também uma força sobre a partícula A, e tais forças serão sempre colineares, de módulos iguais e sentidos opostos."***

Em forma matemática:

$$F = -F$$

A última lei obtida por Newton é conhecida como Lei da Gravitação Universal.

É esta lei que, juntamente com as três leis anteriormente citadas, permite determinar todos os movimentos no sistema solar (e além dele também).

Pode-se estabelecer esta lei como segue:

***"No universo, duas partículas quaisquer se atraem, sendo o módulo da força de atração que uma exerce sobre a outra diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas."***

Em forma matemática temos:

$$f = G \frac{m_1 m_2}{d}$$

Na figura 10 mostra-se isto:

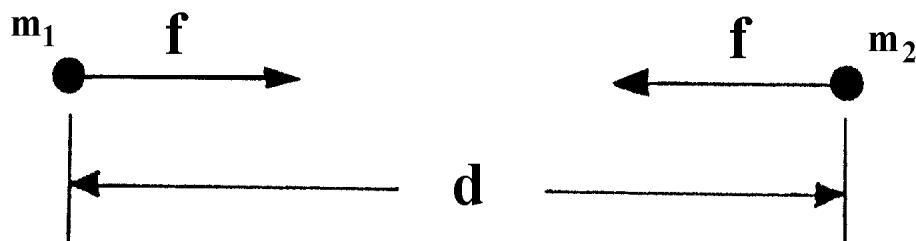


Figura 8.10. Lei da gravitação universal

### 8.2.6. Elementos orbitais.

Para se caracterizar perfeitamente a órbita de um planeta (ou cometa ou asteróide, enfim, de qualquer corpo que gire em torno do Sol), são necessários seis elementos fundamentais e um acessório, que veremos a seguir. Para uma maior clareza, segue-se uma revisão de alguns conceitos e da nomenclatura utilizada.

A figura 8.11 mostra a órbita de um planeta em torno do Sol, onde se encontram indicados os seus pontos principais.

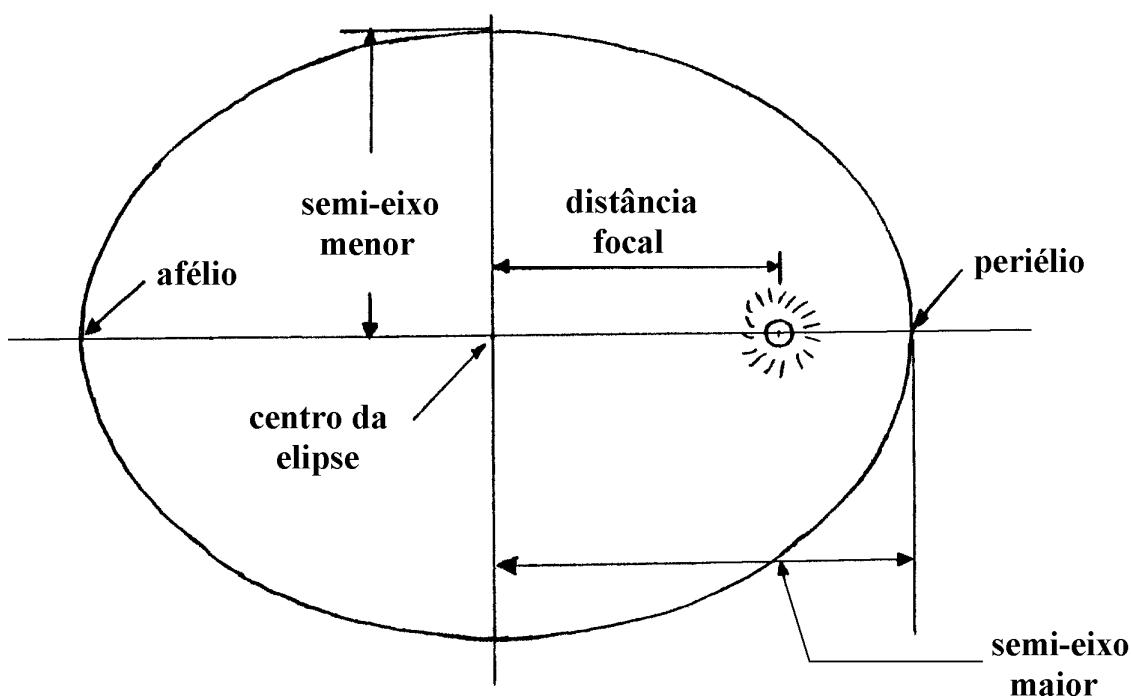
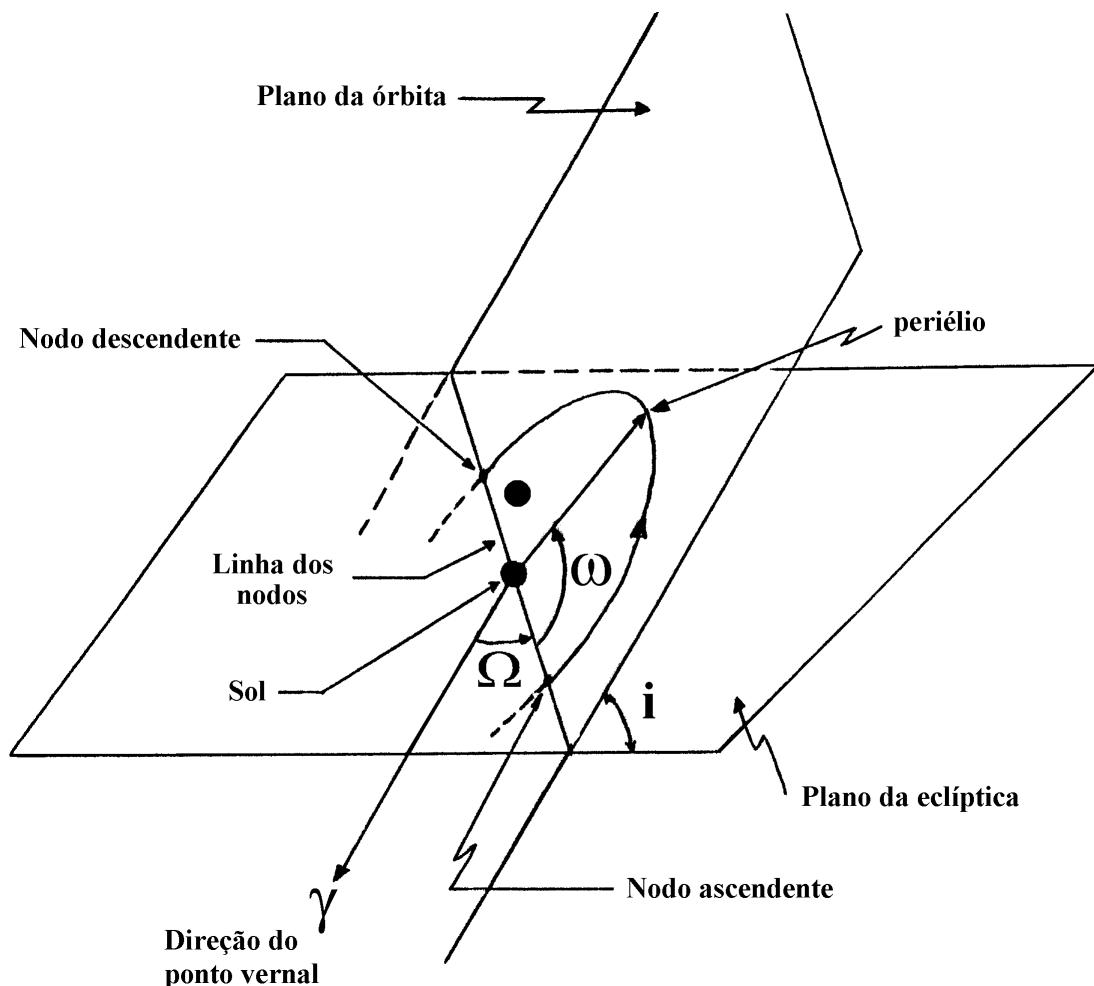


Figura 8.11. Órbita de um planeta.

A figura 8.12 mostra, de forma esquemática, a posição do plano da órbita de um planeta em relação ao plano da eclíptica, onde estão indicados os elementos da órbita.



*Figura 8.12. Elementos orbitais*

Os elementos, mostrados na figura 8.12 são:

### ● Inclinação $i$

A inclinação  $i$  do plano da órbita sobre a eclíptica pode ter qualquer valor de 0 a 180 graus, inclusive.

$$0 \leq i \leq 180$$

Se  $0 \leq i \leq 90$ , se diz que o planeta executa movimento direto. Se  $90 < i \leq 180$ , se diz que o planeta executa movimento retrógrado.

### ❷ Longitude (heliocêntrica) do nodo ascendente $\Omega$

É o ângulo entre a direção do ponto vernal (ou ponto Áries) e a direção do nodo ascendente.

$$0 \leq \Omega \leq 360$$

Este ângulo é contado sobre o plano da eclíptica, no sentido direto (sentido do movimento de revolução da Terra).

A longitude do nodo ascendente e a inclinação da órbita i determinam a posição do plano da órbita do planeta com relação à eclíptica.

### ❸ Argumento do periélio $\omega$

É a distância angular entre a linha dos nodos, contada desde o nodo ascendente, até a linha que une o centro do Sol ao periélio do planeta. Se conta sobre o plano da órbita do planeta, no sentido do movimento deste.

$$0 \leq \omega \leq 360$$

O argumento do periélio localiza a posição da órbita sobre o plano da órbita.

### ❹ Semi-eixo maior $a$ .

O semi-eixo maior  $a$  é definido como sendo a semi-soma da distância Sol-periélio com a distância Sol-afélio.

### ❺ Excentricidade da órbita $e$ .

A excentricidade da órbita é definida como

$$e = \frac{c}{a}$$

sendo  $c$  a distância do foco ao centro da elipse.

O valor de  $c$  é sempre menor do que 1.

O semi-eixo maior  $a$  e a excentricidade  $c$  determinam o tamanho e a forma da órbita.

### ⑥ Período P

O período P é definido como sendo o intervalo de tempo que o planeta leva para dar uma volta completa em torno do Sol.

Existe ainda um sétimo elemento que é usualmente indicado. É a data de passagem pelo periélio T. Este parâmetro permite localizar o planeta em sua órbita, para uma data qualquer.

Com estes elementos é possível calcular a posição do planeta, em relação ao Sol, para uma época qualquer e, através de uma transformação adequada de coordenadas, localiza-lo no céu, como visto da Terra.

# **CAPÍTULO 9**

## ***O Sol***

***Antônio C. de Lucena***

## **Capítulo 9 - O SOL**

### **9.1. Introdução**

Nosso Sol é a mais próxima estrela da Terra.

O Sol, basicamente, é uma enorme esfera de gás, no centro da qual existem enormes pressões e temperaturas e onde, através de reações termonucleares, são liberadas enormes quantidades de energia, uma pequena parte da qual chega até a Terra principalmente na forma de luz e calor, permitindo assim a vida sobre nosso planeta.

O Sol é o rei do sistema solar, uma vez que concentra mais de 99% da massa do sistema.

Os principais componentes do Sol são o hidrogênio e o hélio, havendo ainda pequena quantidade dos outros elementos.

O Sol, da mesma forma que os planetas, também possui um movimento de rotação em torno de seu próprio eixo. Entretanto, o Sol não gira como um corpo sólido. Suas diversas regiões têm velocidades de rotação diferentes, sendo que a maior velocidade é atingida na região do equador solar e a menor nos pólos. O período sideral de rotação do equador é da ordem de 25 dias terrestres, enquanto que o dos pólos é aproximadamente de 31 dias.

### **9.2. Principais parâmetros físicos do Sol.**

Abaixo relacionamos alguns dos principais parâmetros físicos do Sol e, onde cabe, os comparamos com os da nossa Terra.

$\odot$  = Sol

$\oplus$  = Terra

● Diâmetro

$$D_{\odot} = 1.392.000 \text{ km} (= 109 D_{\oplus})$$

● Volume

$$V_{\odot} = 1,41 \times 10^{18} \text{ km}^3 \quad (= 1.295.000 V_{\oplus})$$

**❸ Massa**

$$M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg} \quad (= 330.000 M_{\oplus})$$

**❹ Massa específica média**

$$\rho_{\odot} = 1,41 \text{ g/cm}^3 \quad (\rho_{\oplus} = 5,5 \text{ g/cm}^3)$$

**❺ Aceleração da gravidade na superfície**

$$g_{\odot} = 274 \text{ m/s}^2 \quad (g_{\oplus} = 9,81 \text{ m/s}^2)$$

**❻ Luminosidade**

$$L_{\odot} = 3,86 \times 10^{26} \text{ W}$$

**❼ Temperatura na superfície**

$$T_{\odot s} = 5.800 \text{ Kelvin (K)}$$

**❽ Temperatura no núcleo.**

$$T_{\odot n} = 16.000.000 \text{ K}$$

**❾ Massa específica no núcleo.**

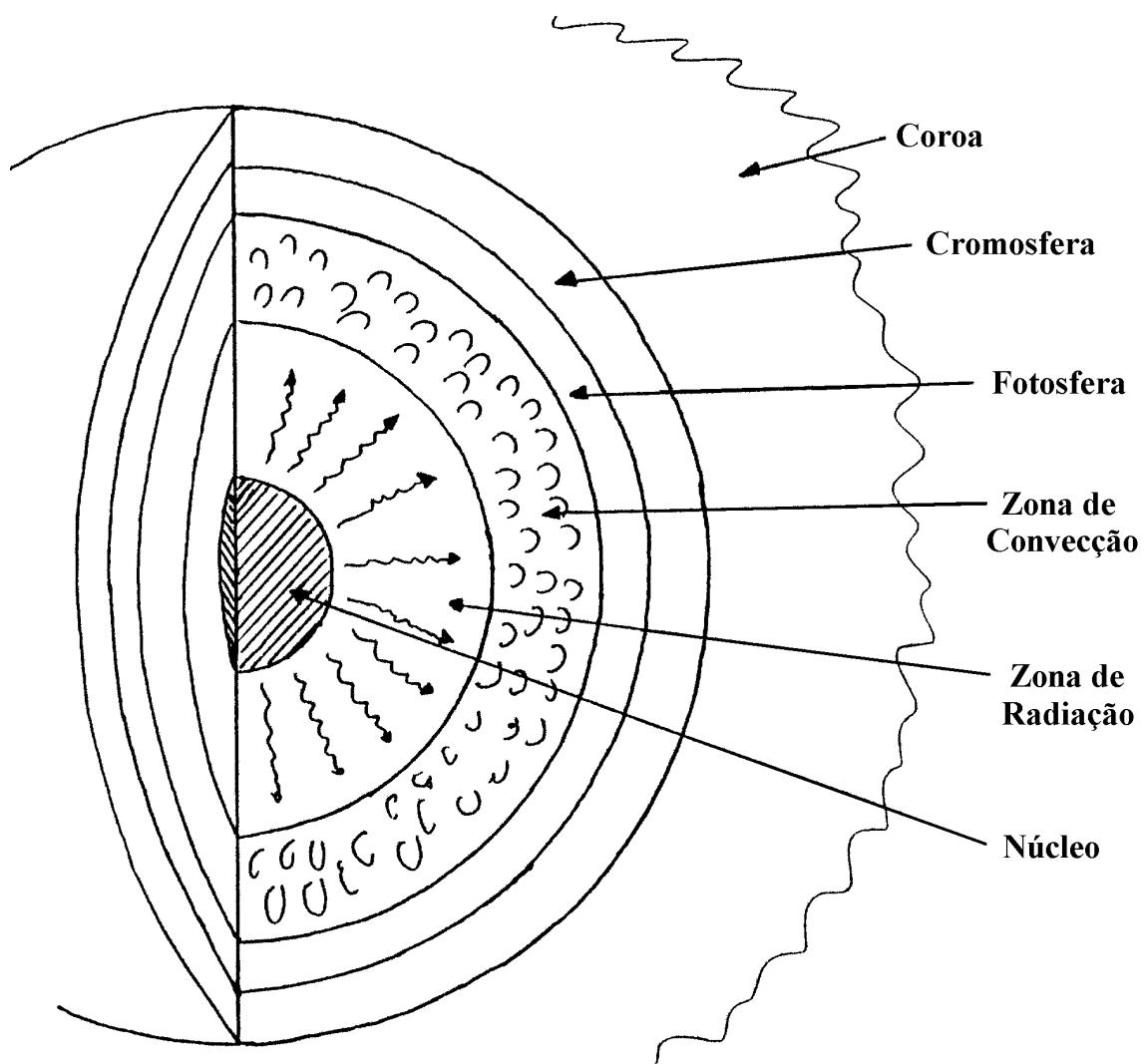
$$\rho_{\odot n} = 160 \text{ g/cm}^3 \quad (\rho_{pb} = 11 \text{ g/cm}^3)$$

### **9.3. Estrutura do Sol.**

O estudo da estrutura interna do Sol é feito, atualmente, praticamente com o uso de modelos, sujeitos às leis físicas conhecidas e simulados em computadores. Os resultados das simulações são comparados com os dados observados para se testar a validade dos modelos. Esta abordagem do problema é válida para o estudo da estrutura interna de todas as estrelas.

As partes do Sol que nos são acessíveis à observação direta são as camadas externas, mais especificamente a fotosfera que forma a superfície visível do Sol.

A estrutura interna do Sol é mostrada, esquematicamente, na figura 9.1.



*Figura 9.1. Estrutura interna do Sol. (Não em escala)*

A fotosfera, cromosfera e a coroa solar formam o que se chama de atmosfera solar.

### ● Núcleo.

O núcleo, que se estende do centro do Sol até uma distância de  $0,25 R_{\odot}$ , é o local onde ocorrem as reações termonucleares que mantém o Sol aceso. A temperatura nesta região é de  $16 \times 10^6$  K, com uma massa específica de  $160 \text{ g/cm}^3$ . A pressão chega a  $2,2 \times 10^{16}$  atmosferas.

Nesta região, a matéria é transformada em energia de acordo com a famosa equação

$$E = m.c^2$$

O "consumo" de massa é da ordem de 4.000.000 de toneladas de matéria por segundo.

### ❷ Zona de radiação.

Nesta zona, que se estende desde  $0,25 R_{\odot}$  até aproximadamente  $0,86 R_{\odot}$ , o transporte de energia é feito basicamente por radiação, isto é, os fótons de radiação são absorvidos e em seguida reemitidos pela matéria, assim passando de átomo para átomo. A temperatura típica desta região é da ordem de 8.000.000 K e a massa específica é da ordem de  $20 \text{ g/cm}^3$ .

### ❸ Zona de convecção.

Nesta zona, que se estende de  $0,86 R_{\odot}$  até praticamente  $1,00 R_{\odot}$ , o transporte de energia é feito basicamente por convecção, isto é, o gás aquecido sobe até a superfície onde irradia sua energia para o espaço, se resfria e torna a descer para as regiões mais internas, onde é novamente aquecido e o ciclo se repete. A temperatura nesta região é tipicamente da ordem de 500.000 K, com uma densidade da ordem de  $10 \text{ g/cm}^3$ .

### ❹ Fotosfera.

Esta região, que forma a superfície visível do Sol, possui uma espessura de uns 300 km e portanto é desprezível frente ao raio do Sol. É nesta região que ocorrem as manchas solares, que são regiões de gás mais frias do que as regiões vizinhas (a temperatura de uma mancha solar é, tipicamente, da ordem de uns 4.000 K).

A temperatura da fotosfera é da ordem de uns 5.800 K e a massa específica é da ordem de  $0,00.000.04 \text{ g/cm}^3$ .

### ❺ Cromosfera.

Esta região possui uma espessura de uns 12.000 km e se situa acima da fotosfera. As formações mais notáveis desta região são as chamadas espículas, que são jatos de gás incandescente, de 500 a 1500 km de espessura e tipicamente de uns 10.000 km de altura.

A velocidade do gás é da ordem de 20 a 25 km/s e o tempo de vida de uma espícula é da ordem de 15 minutos ou menos. A temperatura típica desta região é de uns 6.000 K, com uma massa específica da ordem de  $0,000.000.08 \text{ g/cm}^3$ .

### ❻ Coroa.

Esta região, que se inicia logo acima do fim da cromosfera e que se dilui no espaço interplanetário (portanto não possui um limite bem definido), é constituída em sua maior parte de plasma (gás altamente ionizado), como de resto o é a maior parte da matéria solar. A temperatura (deduzida da energia dos elétrons livres aí existentes) atinge a 1.000.000 K, e a massa específica é da ordem de  $10^{-14} \text{ g/cm}^3$ .

As formações mais notáveis na coroa são os chamados “loops” coronais, que são enormes arcos que se formam na coroa.

## 9.4. Fonte de energia do Sol.

Como visto antes, a energia liberada pelo Sol provém de reações termonucleares (semelhantes as que ocorrem na explosão de uma bomba de hidrogênio) que ocorrem no seu núcleo.

A principal fonte de energia é a chamada reação próton - próton.

A figura 2 ilustra de forma esquemática este processo.

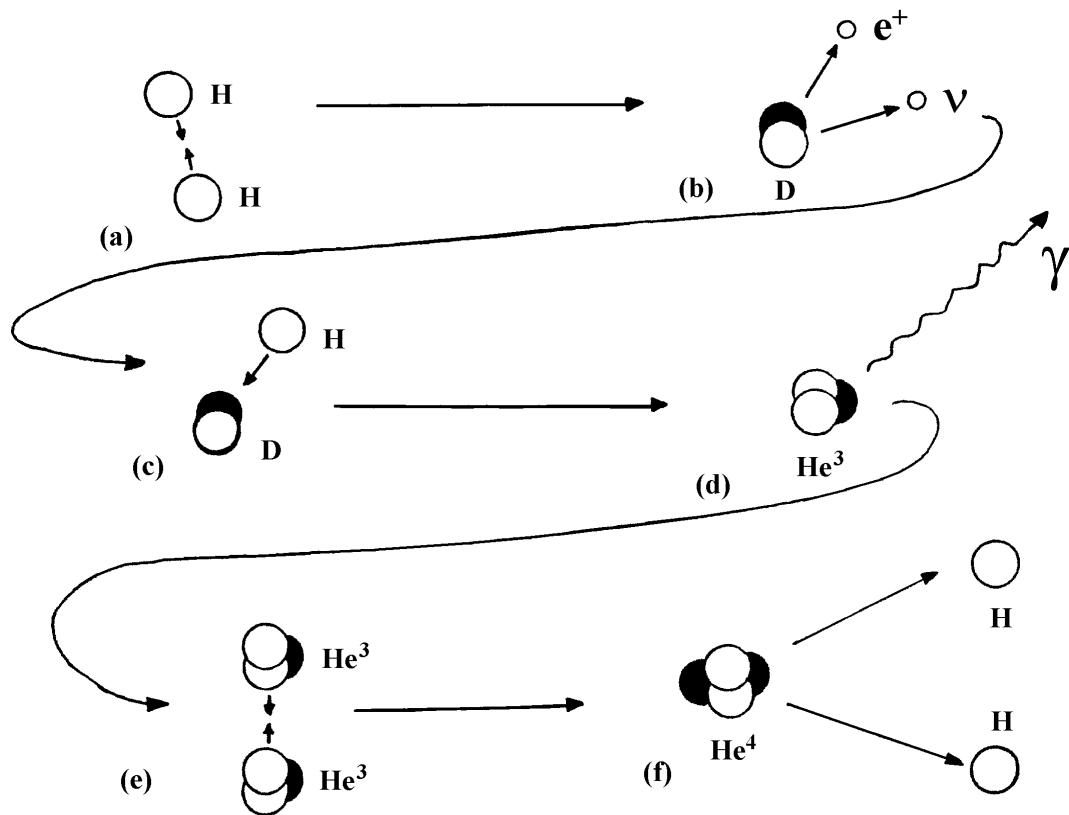


Figura. 9.2. Reação Próton - Próton.

Na figura 9.2-(a), dois prótons (núcleos de hidrogênio,  $H$ ), vão de encontro um do outro e se unem. Entretanto, dois prótons unidos possuem uma energia maior do que a necessária para ficarem unidos. Para que possam permanecer neste estado, eles devem se desfazer deste excesso de energia. Assim, eles emitem um pósitron (elétron positivo) e um neutrino; estas duas partículas carregam consigo o excesso de energia. Isto é mostrado na figura 9.2-(b), onde um dos prótons se transformou num nêutron, havendo a expulsão de um pósitron ( $e^+$ ) e de um neutrino ( $\nu$ ). O que se tem agora é um núcleo de deutério (hidrogênio pesado,  $D$ ), composto de um próton e de um nêutron.

Na figura 9.2-(c), o núcleo de deutério assim formado encontra um outro próton, que a ele se junta, dando como resultado um núcleo de hélio-3 ( $\text{He3}$ ), um isótopo leve do hélio, conforme mostrado na figura 9.2-(d). Novamente é liberada energia, desta vez na forma de radiação (fótons de raios gama,  $\gamma$ ).

Na figura 9.2-(e), um núcleo de hélio-3 encontra um outro núcleo de hélio-3, formado de forma similar, a ele se unindo e dando como resultado um núcleo de hélio-4 e mais dois prótons, na figura 9.2-(f).

O resultado final da reação é a fusão de 4 núcleos de hidrogênio para formar um núcleo de hélio, com liberação de energia no processo.

# **CAPÍTULO 10**

## ***O Sistema Terra - Lua***

**Adolfo Stotz Neto**

***Antônio C. de Lucena***

**CAPÍTULO 10**  
***PARTE 1***  
***A Terra***

***Adolfo Stotz Neto***

## Capítulo 10 – SISTEMA TERRA-LUA – Parte 1

### 10.1. A Terra

#### 10.1.1. Aspectos morfológicos

##### 10.1.1.1. Dados numéricos

Terceiro planeta do sistema solar em ordem de afastamento do Sol, do qual dista em média 149.600.00 km. Apresenta a forma de um geóide, cujos diâmetros principais são:

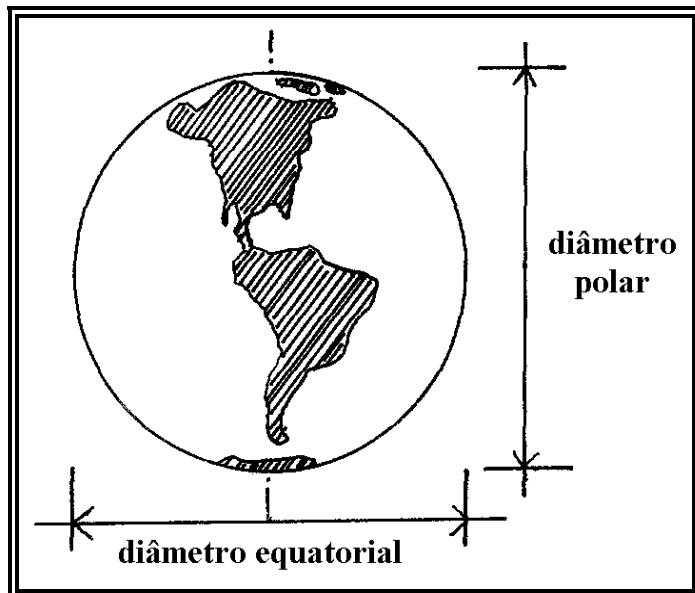


Figura 10.1. Dimensões da Terra.

$$\text{Diâmetro polar} = 12.713,8 \text{ km}$$

$$\text{Diâmetro equatorial} = 12.756,8 \text{ km}$$

O movimento de rotação que executa em torno de seu próprio eixo se efetua em 23 h 56 min 4 seg, enquanto a translação ao redor do Sol se realiza em 365,2422 dias. A massa estimada do planeta é de aproximadamente  $5,977 \times 10^{21}$  toneladas, enquanto seu volume ocupa um total de  $1,083 \times 10^{15} \text{ km}^3$ . A densidade média do planeta atinge então algo em torno de  $5,52 \text{ g/cm}^3$ . A aceleração da gravidade, na superfície do geóide, atinge  $9,8 \text{ m/s}^2$  e a velocidade necessária para um foguete "escapar" da atração da Terra é de 11,2 km/s.

### 10.1.1.2. A atmosfera

A Terra está envolta por uma camada gasosa, cujas características são únicas no sistema solar. Sua composição pode ser resumida, como segue:

Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	78,08 %
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	20,95 %
Argônio (Ar)	0,93 %
Gás carbônico (CO <sub>2</sub> )	0,03 %
Neônio (Ne)	0,0018 %
Hélio (He)	0,0005 %
Criptônio (Kr)	0,0001 %
Xenônio (Xe)	0,0001 %

A maior parte desta massa gasosa (75 %) se encontra em uma camada que, partindo do nível do mar, alcança 10 km de altura. É a zona chamada de troposfera. Nesta região, a temperatura, que a nível do mar é em média de 20°C, cai a cada quilômetro que sobe, em média um grau centígrado. A troposfera é aquecida pela radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, como reflexo da energia que alcança o planeta, advinda do Sol. Por existir na troposfera grande quantidade de vapor de água em suspensão, a temperatura tem o comportamento acima descrito, uma vez que o vapor de água é um péssimo condutor de radiações infravermelhas, sendo a região próxima da superfície a que tem as mais altas graduações.

A transição da troposfera para a próxima zona se dá quando a temperatura atinge -55°C. Isto acontece nas regiões polares em uma altura aproximada de 9 km e no equador aos 17 km.

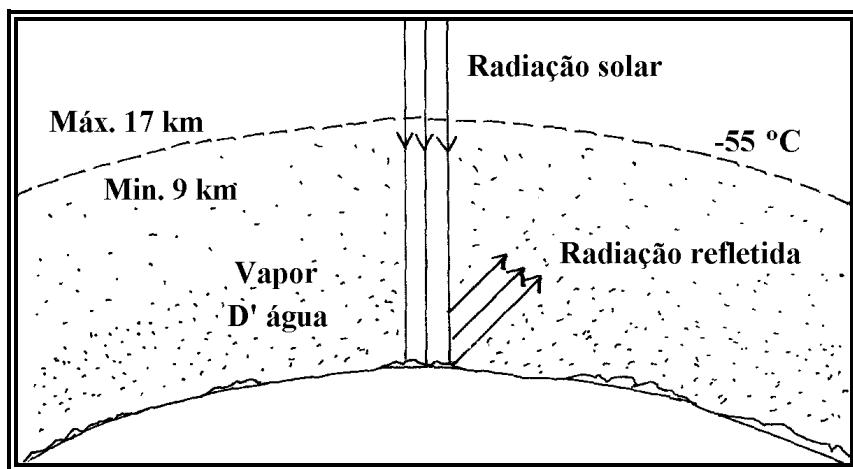


Figura 10.2. A radiação solar na atmosfera terrestre.

A região limítrofe da troposfera recebe o nome de tropopausa, que é a zona de separação para a próxima camada, a estratosfera.

Na estratosfera, a quantidade de vapor de água é insignificante, e por esta razão a temperatura tem comportamento inverso ao da camada anterior e volta a se aquecer na presença das radiações infravermelhas vindas da superfície. Quando atinge 50 km de altura, o ambiente volta mesmo a se aquecer, chegando a atingir valores ligeiramente superiores a 0°C. Isto se deve em parte à rarefação do ar nestas altitudes, o que permite à luz solar desencadear reações químicas que provocam o aparecimento do ozônio. Este gás absorve as radiações ultravioletas do Sol em sua quase totalidade, transformando-se quimicamente em oxigênio diatômico com liberação de calor. A ozonosfera varia de 20 até 60 km.

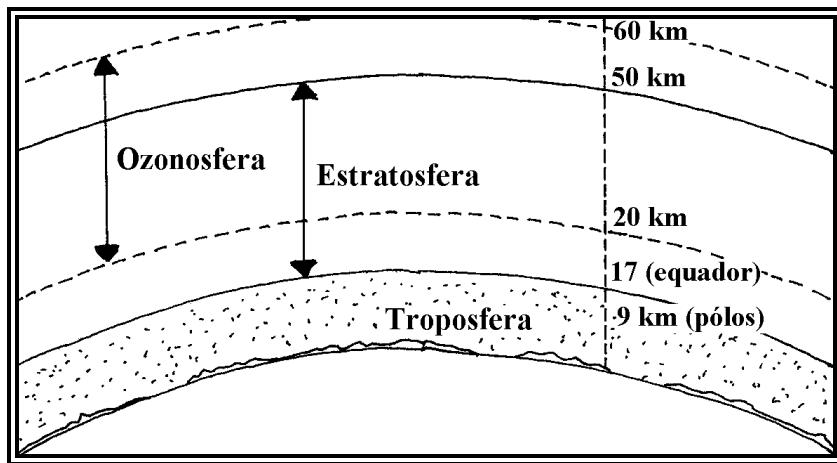


Figura 10.3. Estrutura da atmosfera terrestre.

Acima da estratosfera, se encontra a mesosfera, separada da anterior por uma zona de transição chamada estratopausa. A mesosfera atinge aproximadamente 80 km e a temperatura nesta região torna a cair até -80°C. Acima da mesosfera temos a ionosfera. Nesta região o ar é extremamente rarefeito e contém apenas traços dos elementos que compõem a atmosfera ao nível do mar. Acima dos 100 km, os átomos e moléculas são ionizados pela radiação ultravioleta do Sol e se tornam uma mistura de partículas carregadas em forma de um plasma. As ondas de rádio são refletidas pelas partículas assim carregadas, nesta região da atmosfera.

Aproximadamente acima dos 100 km tem início a termosfera, região em que a temperatura sobe até 1.000°C. Esta incrível elevação de temperatura é devida ainda à radiação ultravioleta.

O limite desta região fica próximo dos 500 km, aonde inicia a exosfera, cujo final é de difícil precisão, porém não se acredita que supere muito os 1.000 km de altura. Toda esta região é influenciada pelo Sol e seus ciclos, variando suas condições de acordo com o comportamento de nossa estrela. O gráfico abaixo resume o comportamento da atmosfera no que tange à temperatura, pressão e densidade de cada camada.

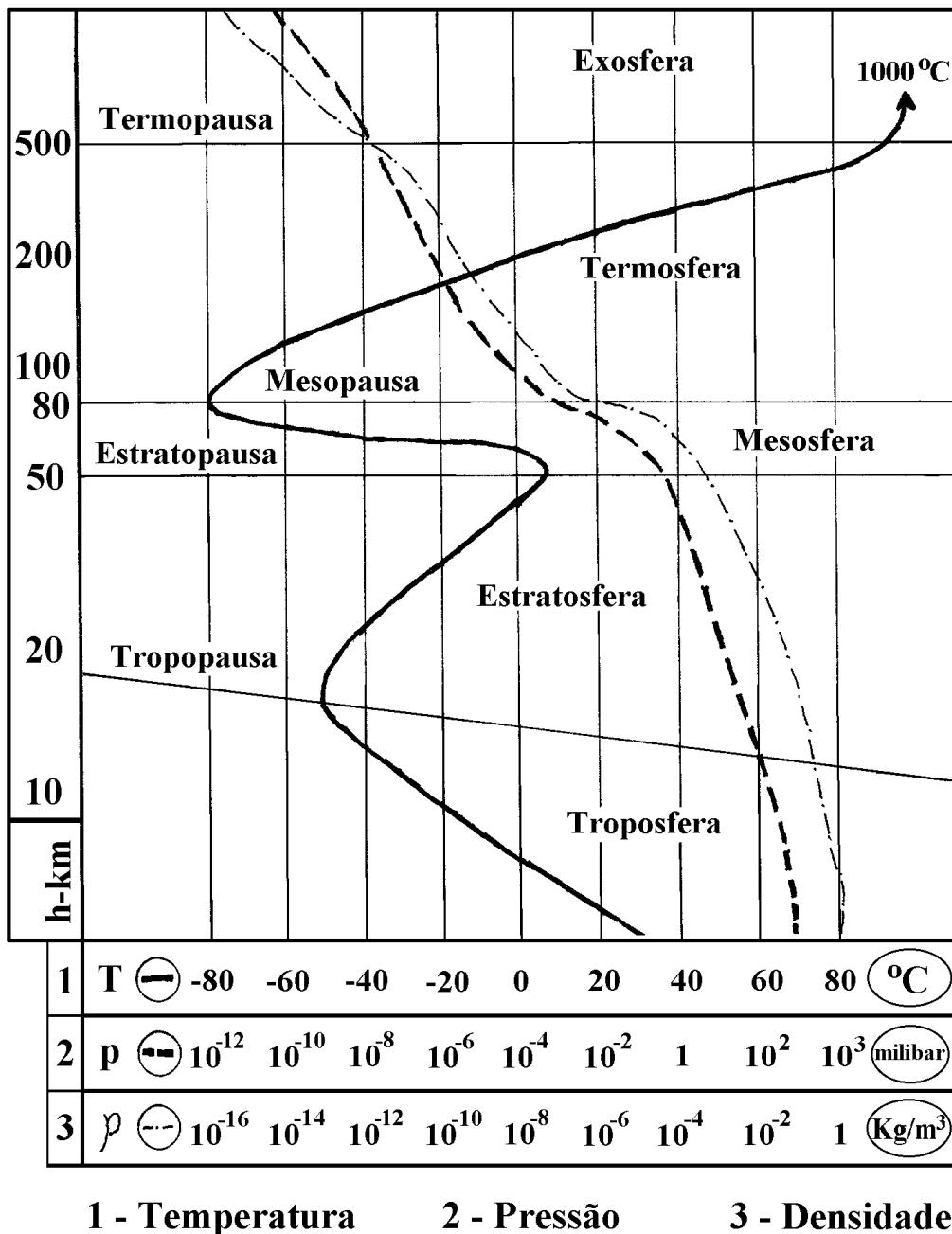


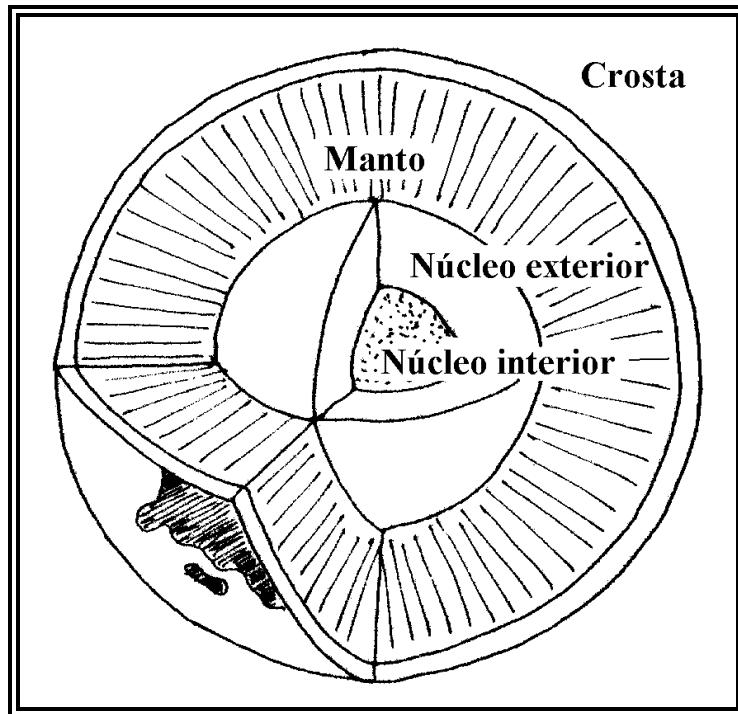
Figura 10.4. Condições existentes nas camadas da atmosfera terrestre.

#### 10.1.1.3. Geologia e interior do planeta

Habitamos a superfície da Terra em uma região que compõe o que chamamos de biosfera, ou seja, a região da vida. Estamos sobre uma fina crosta que nos separa do interior do geóide aonde forças colossais são responsáveis pelos abalos sísmicos e vulcanismo que conhecemos. pouco conseguimos penetrar em nossa fina crosta exterior e ter contato com o núcleo do planeta ainda é um desafio inatingido. O máximo que as escavações conseguiram até agora foi perfurar algo como 10 km em um projeto que se desenvolve na Alemanha.

Todo o nosso conhecimento acerca do interior do planeta vem da análise dos abalos sísmicos, dos vulcões e terremotos. Sempre que um dos fenômenos mencionados acontece, é possível medir e acompanhar as ondas de choque que se formam no interior da Terra. Quando da ocorrência de um terremoto, quatro tipos de ondas se propagam até a superfície: ondas P,

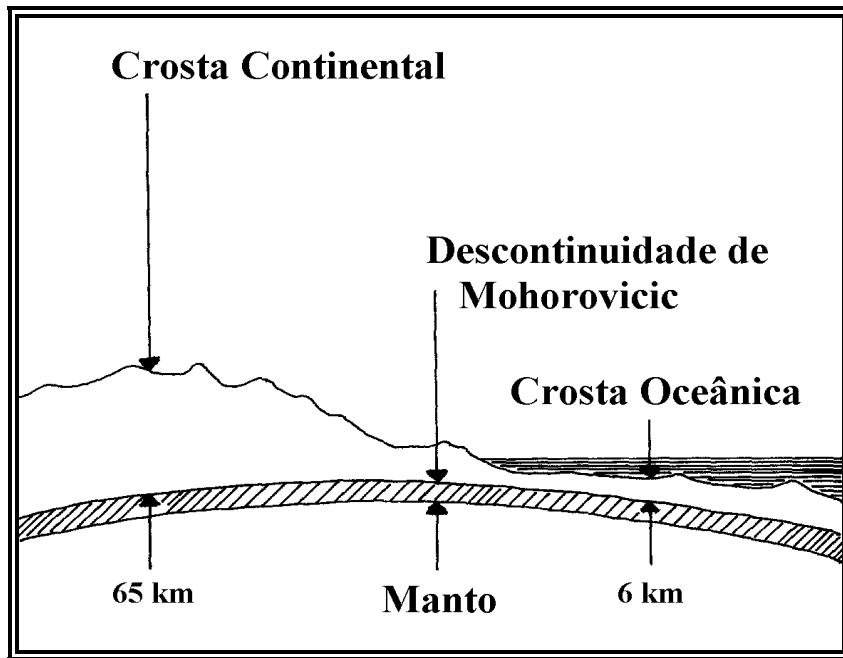
ondas S, ondas cisalhantes e ondas concêntricas. Se o interior da Terra fosse sólido e uniforme, as ondas sísmicas se propagariam em linha reta, porém tal não acontece quando os sismógrafos analisam o fenômeno; a explicação está na descontinuidade do núcleo. Em princípio, um corte no planeta mostra a configuração conforme esquema abaixo:



*Figura 10.5. Estrutura interna da Terra.*

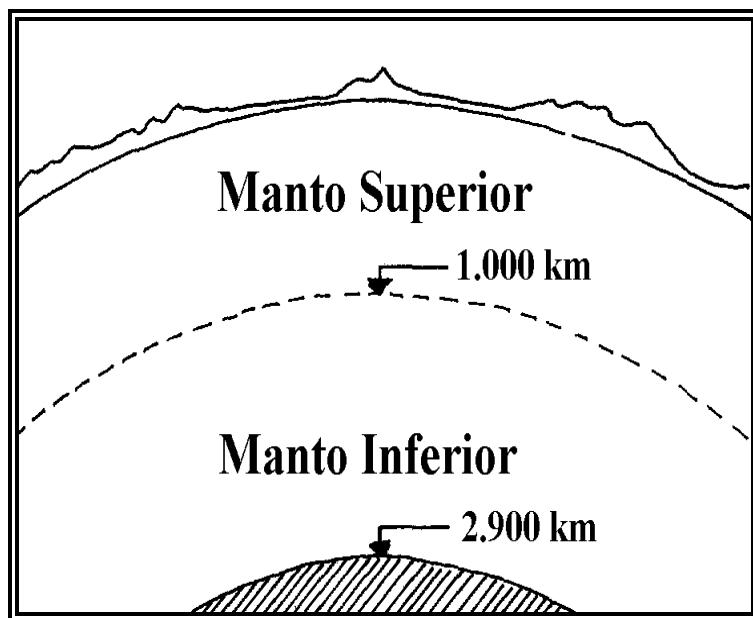
● Crosta: a crosta é a parte mais delgada do planeta e compõe a superfície da Terra. Pode ser subdividida em duas, a crosta continental e a oceânica. A parte continental é a mais espessa, chegando a profundidades que atingem 65 ou 70 km, enquanto que a crosta oceânica não ultrapassa os 6 km de espessura. A parte continental é constituída em sua maior parte de rochas basálticas pobres em silício, enquanto o crosta oceânica se apresenta como rica em rochas que contém grandes quantidades de silício, alumínio, ferro e magnésio. A densidade da crosta é algo em torno de  $2,8 \text{ g/cm}^3$ . Entre a crosta e a camada seguinte, o manto, existe uma descontinuidade, ou falha, no que tange à densidade e a composição: é a descontinuidade de Mohorovicic.

Podemos dizer, também, que a crosta continental é separada em duas, igualmente por uma falha, a descontinuidade de Conrad. Tal separação divide a crosta continental em superior e inferior. Na inferior, as rochas são ricas em silício e outros elementos.



*Figura 10.6. A crosta terrestre.*

⦿ **Manto:** esta região representa 80 % do volume do planeta e se estende até 2.900 km de profundidade. Pode ser dividido em manto superior, que atinge 1.000 km, e manto inferior, que vai até os 2.900 km mencionados. No manto superior, a formação é de silicatos compactos como a olivina e no inferior, temos a presença de sulfetos e óxidos. As densidades nos dois mantos são da ordem de  $3,3 \text{ g/cm}^3$  no superior e  $5,7 \text{ g/cm}^3$  no inferior. O manto é uma forma pastosa, quase líquida, do material ali existente. É a própria lava que conhecemos dos vulcões.



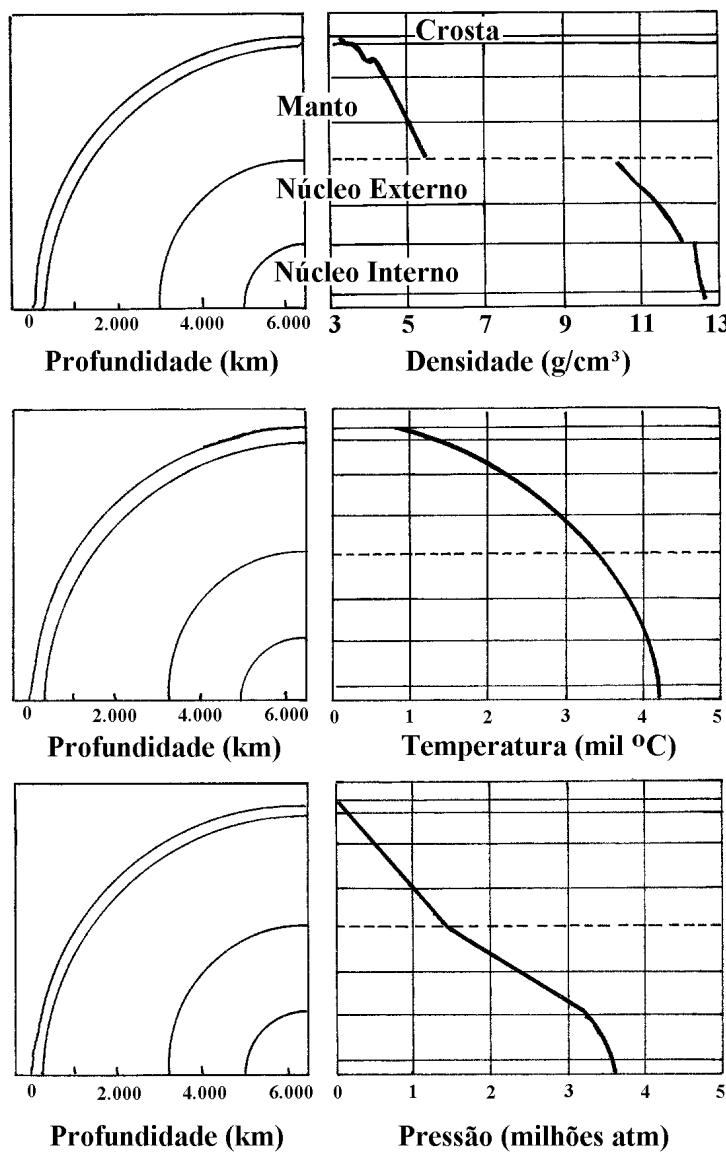
*Figura 10.7. O manto terrestre.*

⦿ **Núcleo externo:** o núcleo externo encontra-se entre 2.900 km e 5.000 km de profundidade. É constituído por uma massa líquida de ferro e níquel, por isto também é chamado de nife. A densidade atinge valores que chegam à casa dos  $9,7 \text{ g/cm}^3$ , dando

portanto um salto abrupto a partir do final e da transição do manto, camada imediatamente anterior.

◆ Núcleo interno: é a camada mais profunda e que habita o centro do planeta. É constituída igualmente de ferro e níquel, porém em estado sólido, com uma densidade que atinge  $15 \text{ g/cm}^3$ . A pressão ali reinante é de aproximadamente  $3,6 \times 10^6$  atmosferas e a temperatura atinge os  $4.000^\circ\text{C}$ .

Os valores da densidade, temperatura e pressão variam de acordo com a profundidade e a camada analisada, como abaixo:

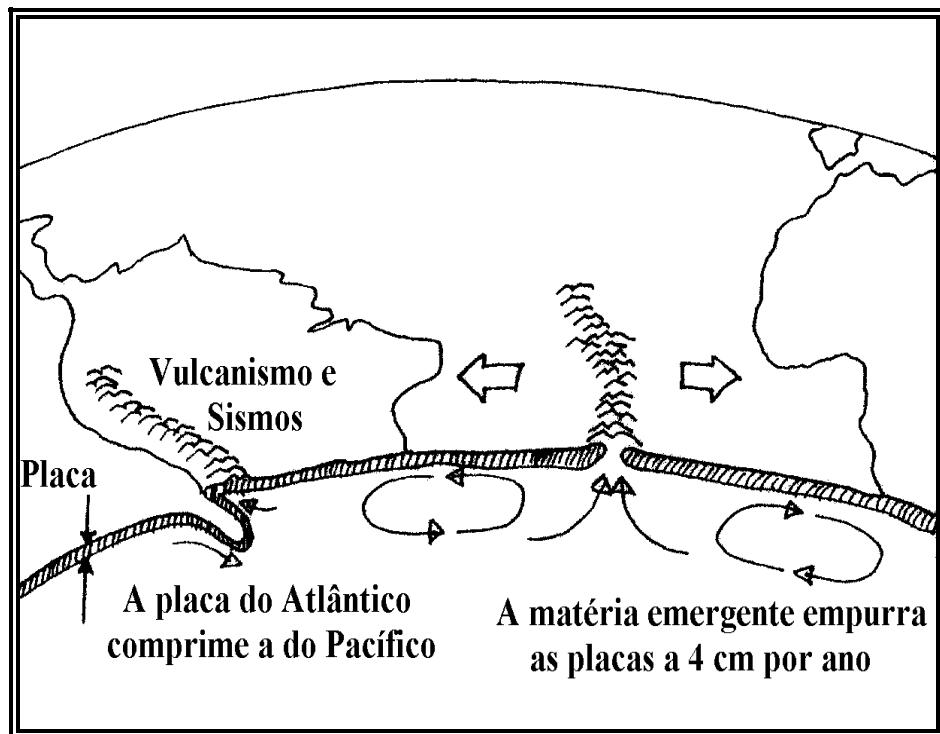


*Figura 10.8. Condições existentes no núcleo da Terra.*

◆ A deriva continental e as placas tectônicas: a região constituída pela crosta e o manto superior é chamada de litosfera. Pois esta região se desloca sobre o manto inferior, tal qual "nadasse" sobre o mesmo. O fato é que a litosfera se subdivide em placas, as quais se movem sobre o material plástico e quente. Este material está em constante movimento de convecção, provocando o deslizamento das placas.

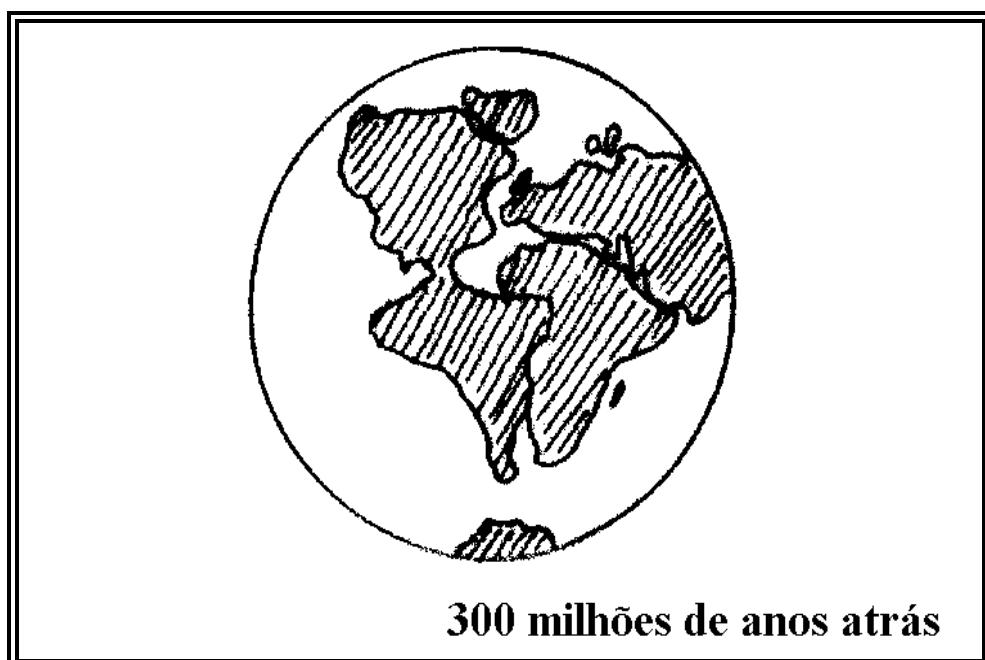
Estas placas separam-se e se afastam em função do material ejetado pelas cadeias dorsais oceânicas, que as empurram para dar lugar ao material novo emergente.

Simultaneamente, ocorre o afundamento de uma placa sob a que está sendo empurrada, provocando fissuras e o surgimento de cadeias de vulcões, como mostra o esquema abaixo que retrata o fenômeno no Atlântico, América do Sul e Pacífico.



*Figura 10.9. Deriva continental.*

Desta forma, é válido afirmar que os continentes se afastam entre si, tendo havido uma ocasião em que se encontravam unidos quase todos.



*Figura 10.10. Pangeia, a união de todos os continentes.*

## 10.1.2. Aspectos dinâmicos

### 10.1.2.1 Os movimentos da Terra

Heráclito, filósofo grego que viveu há 22 séculos atrás, vaticinou: "Nada é eterno, exceto a mudança". Pois é exatamente isto que acontece com os planetas e seus movimentos. A Terra não é diferente no aspecto de variações em suas andanças. O que nos parece bem ordenado e eternamente igual, como o durar do ano, o dia, a posição dos astros, são na verdade fenômenos transitórios e variáveis. É claro que, para o tempo de duração de nossas vidas, tais variações são imperceptíveis, mas ao longo dos séculos, as variações e os números se acumulam, fazendo com que a Terra altere suas posições e relações.

Além dos conhecidos movimentos de rotação e translação, o planeta apresenta outros tipos de movimentos que são responsáveis por alterações significativas ao longo do tempo. Assim é que trataremos aqui também de dois destes importantes movimentos que a Terra executa, a nutação e a libração.

• Rotação: movimento que a Terra executa em torno de seu próprio eixo, inclinado em relação à sua órbita de  $23^{\circ} 27'$ , no período de 23 h 56 min 4 seg numa velocidade de 1.674 km/h (na linha do equador). Este movimento é responsável pelo dia e noite, conforme a face se apresente voltada para o Sol, ou para o lado oposto.

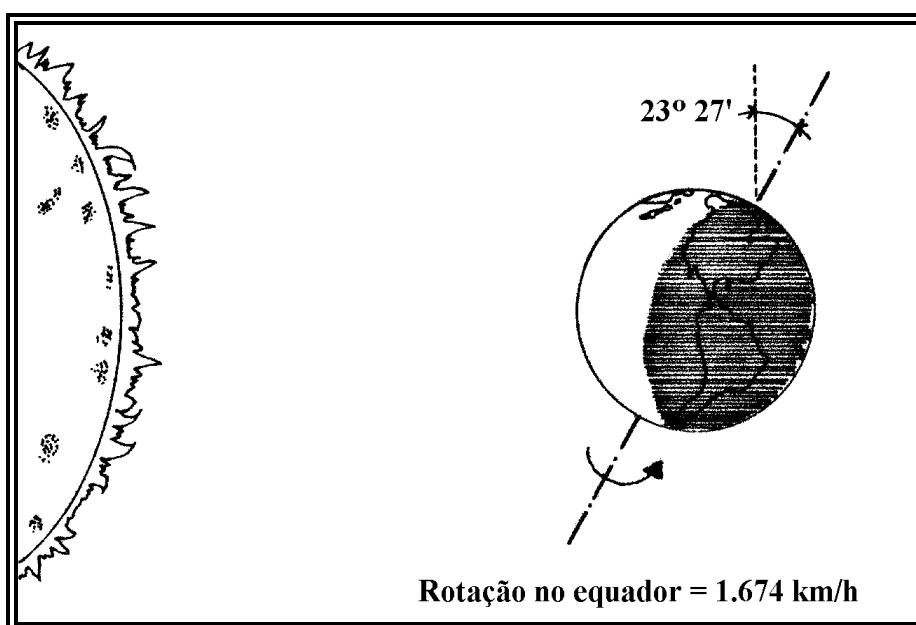


Figura 10.11. Rotação da Terra.

• Translação: é o movimento que a Terra executa em torno do Sol. Tem a forma de uma elipse, aonde o Sol ocupa um dos focos. Esta elipse, desenhada pela revolução da Terra, tem uma excentricidade de 0,017, o que a torna muito parecida com uma circunferência. Note-se que a excentricidade de uma elipse é definida como  $1 - (b/a)$ , sendo "a" e "b" os semi-eixos da figura. Em um círculo, "a" e "b" são iguais e valem o raio da circunferência, e a excentricidade vale zero.

A translação da Terra em redor do Sol, propicia o que chamamos de ano, que é responsável também pelas várias estações.

A translação dura 365 dias e 6 horas e a Terra orbita ao redor do Sol a uma velocidade de 107.000 km/h (ou 30 km/s). O caminho total do planeta em um ano soma  $9,5 \times 10^8$  km (quase um bilhão de quilômetros).

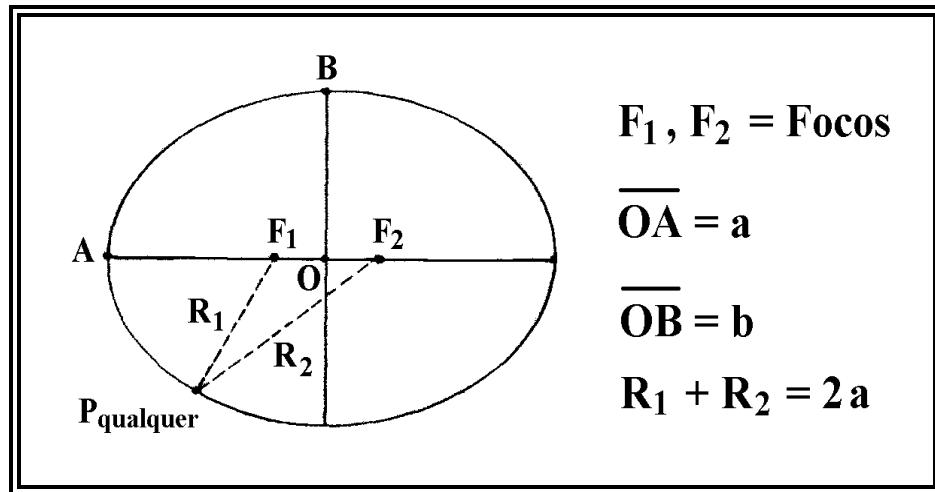
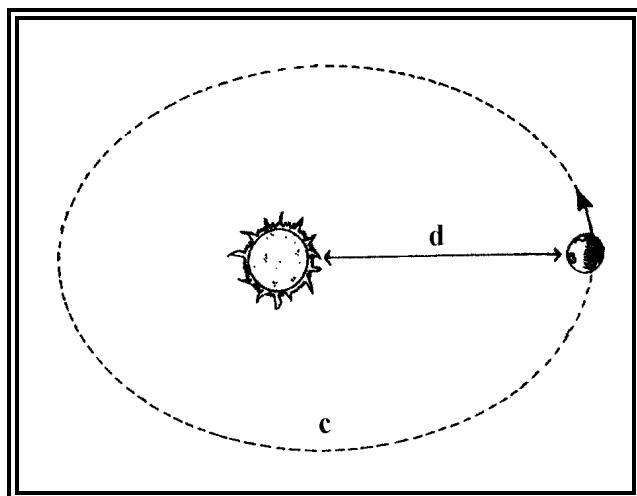


Figura 10.12. Os elementos da elipse.



$$V = 107.000 \text{ km/h, } 30 \text{ km/s}$$

$$1 - b/a = 0,017$$

$$c = 950 \text{ milhões km}$$

$$d = 149,6 \text{ milhões km}$$

Figura 10.13. A translação da Terra.

⌚ Precessão: consiste na mudança de direção do eixo de rotação da Terra, no sentido retrógrado, provocando um adiantamento dos equinócios. explica-se pelo fato de o planeta ter o comportamento de um pião quando gira no espaço. Leva aproximadamente 25.000 anos para que se complete uma precessão e a cada meio movimento o eixo se altera modificando as estações do ano.

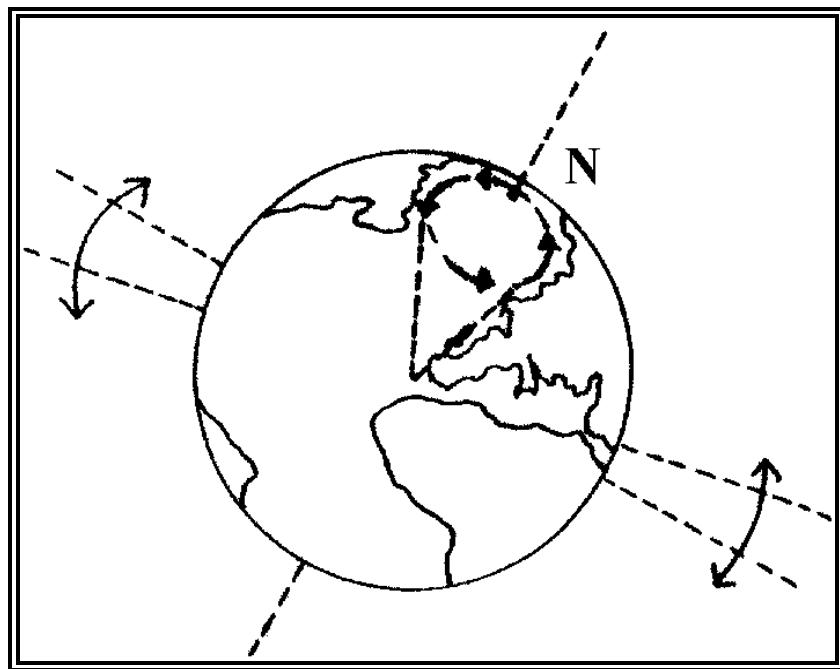


Figura 10.14. A precessão da Terra.

● Nutação: movimento conjugado ao anterior e responsável pelo traçado de uma elipse na esfera celeste pelo eixo da Terra. cada elipse demora 18 anos para ser traçada.

● Movimentos combinados e velocidades: a totalidade dos movimentos e velocidades deve ainda incluir ainda o giro do Sol e seus comandados fazem em torno da Galáxia. podemos somar a isto tudo, o próprio deslocar da Via Láctea no Cosmos e teremos então algo parecido com o esquema abaixo.

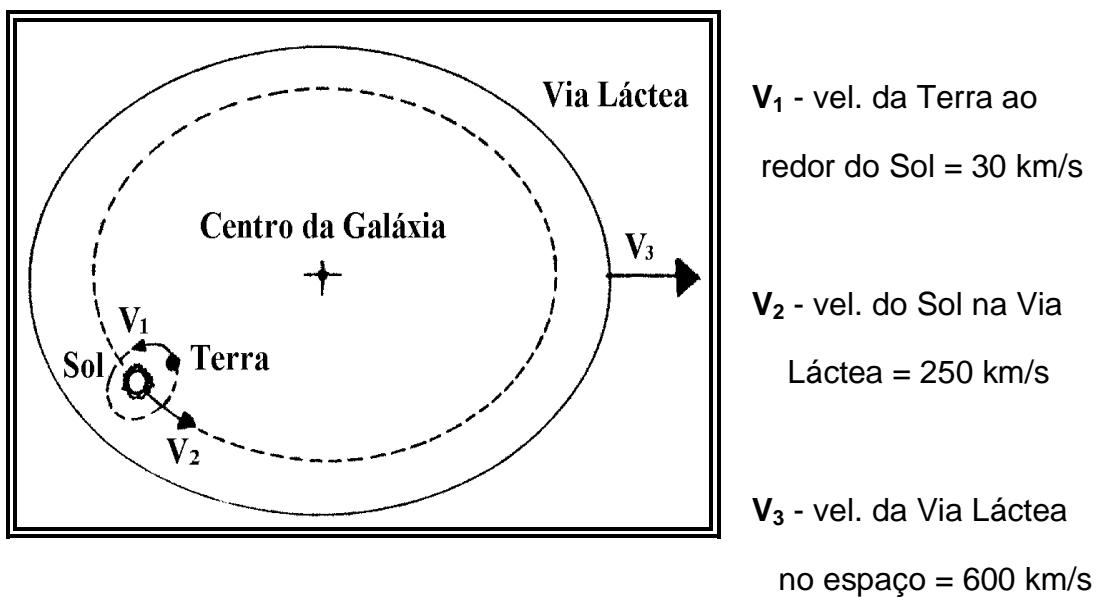


Figura 10.15. Combinação dos movimentos da Terra.

### 10.1.2.2 As estações do ano

A inclinação do eixo da Terra em relação ao plano de sua órbita não varia durante o ano. Por este simples fato, ocorrem as estações do ano. É que as quantidades de energia solar que chegam aos dois hemisférios do planeta, o norte e o sul, são de intensidade e incidência diferentes de acordo com a posição do globo terrestre em sua órbita. Em dois pontos diametralmente opostos, teremos a máxima incidência de raios solares para um hemisfério e a mínima para o outro. Estamos na presença do verão para o primeiro e inverno para o outro. Em outros dois pontos da órbita, também ortogonalmente dispostos em relação aos anteriores, teremos uma distribuição eqüitativa dos raios solares, estando a Terra em primavera e outono para os diferentes hemisférios. Os dias do ano em que ocorrem os pontos máximos das situações de incidência chamam-se Solstícios, e os máximos intermediários são os Equinócios.

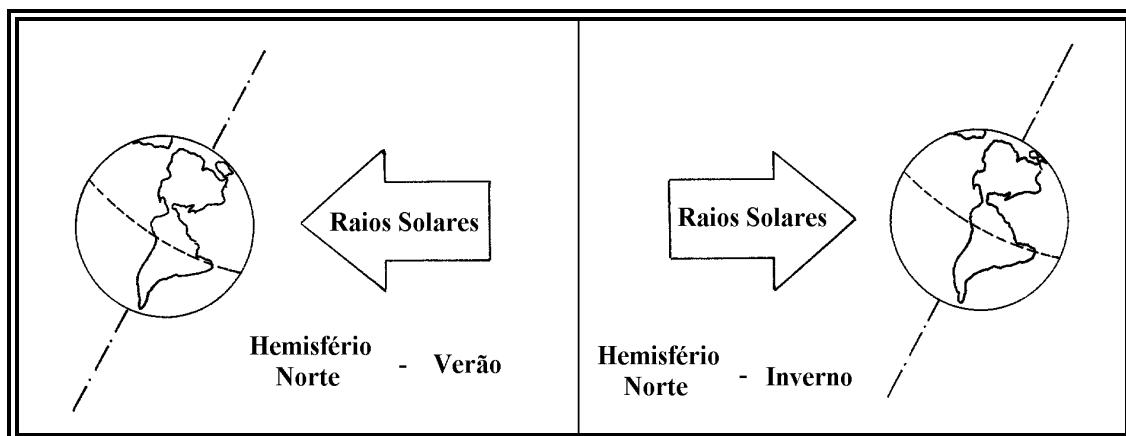


Figura 10.16. Incidência de raios solares em diferentes hemisférios.

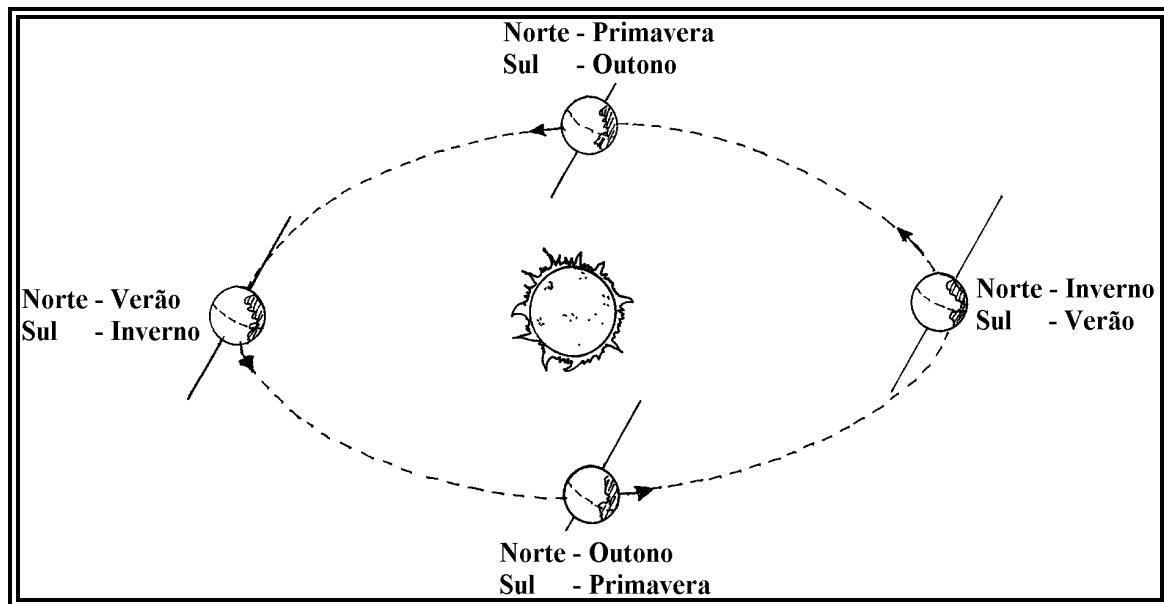


Figura 10.17. A inclinação do eixo da Terra e as estações.

### 10.1.2.3 Cinturão de Van Allen

O campo magnético da Terra exerce uma forte influência sobre as partículas carregadas eletricamente que circundam o nosso planeta. Essas partículas podem surgir de duas fontes distintas: os raios cósmicos, que se movem desde os confins da Galáxia e são constituídos por partículas pesadas; e o próprio Sol, através do vento solar.

Capturadas pelo campo magnético da Terra, essas partículas acabam formando extensas nuvens ao redor do planeta, acompanhando as linhas do campo magnético. Em 1958 descobriram-se duas regiões de alta concentração dessas partículas, uma entre 2.500 e 5.000 km de altitude e outra entre 10.000 e 50.000 km, com um máximo de intensidade aos 19.000 km de altitude. Essas regiões foram batizadas de cinturões de Van Allen. Este escudo de partículas protege a Terra das emanações de radiação e raios-X oriundas das tempestades solares, forçando o vento solar a desviar-se do campo magnético da Terra. Nas regiões polares da Terra, o cinturão de Van Allen é mais rarefeito e de menor altitude, provocando com isto um efeito atmosférico muito conhecido do choque de partículas rasantes nos pólos: a Aurora boreal.

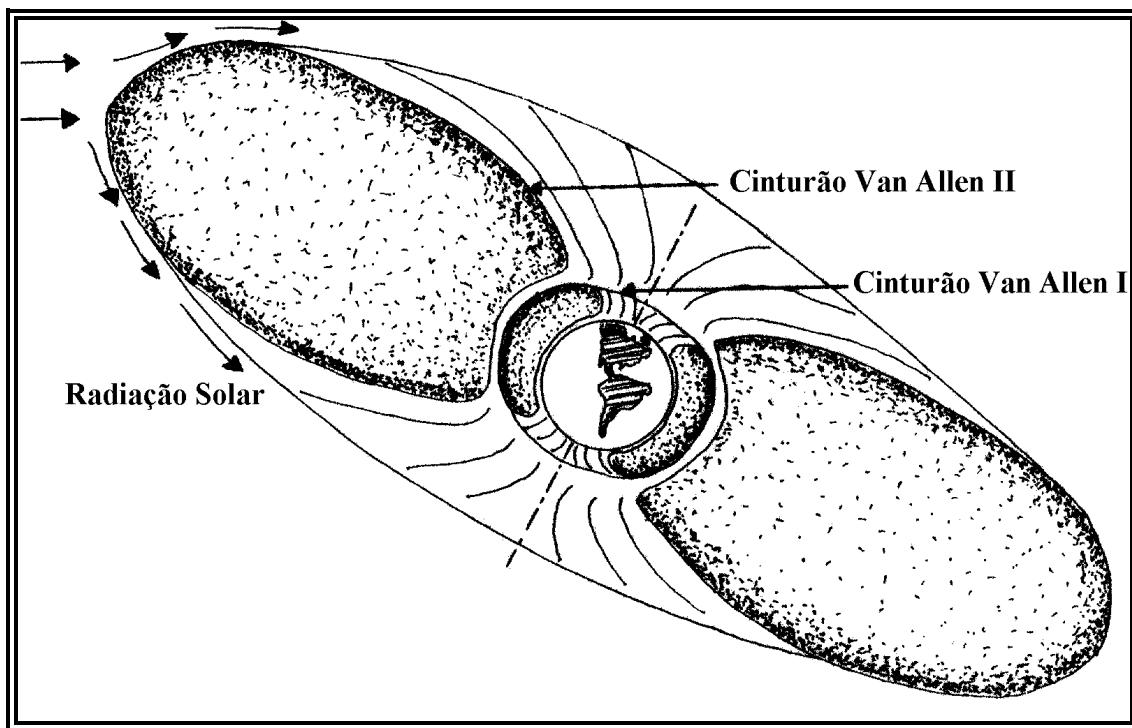


Figura 10.18. Os cinturões magnéticos da Terra.

**CAPÍTULO 10**  
**PARTE 2**  
**A Lua**

***Antônio C. de Lucena***

## **Capítulo 10 - SISTEMA TERRA-LUA – Parte 2**

### **10.2. A Lua**

#### **10.2.1. Introdução**

A Lua é o satélite natural da Terra. Devido ao enorme tamanho do satélite (Lua) perante o seu primário (Terra), alguns astrônomos preferem considerar o sistema Terra-Lua como um planeta duplo ao invés de um planeta e seu satélite. Na realidade, com exceção do sistema Plutão-Caronte, a Lua é o maior satélite de um planeta em relação ao próprio planeta. A massa da Lua é da ordem de 1/81 da massa da Terra e o seu diâmetro é aproximadamente 1/4 do diâmetro terrestre.

A tabela 10.1 lista, a título de comparação, os sete maiores satélites do sistema solar, com relação à massa, em tamanho absoluto.

satélite	diâmetro (km)	massa ( $10^{21}$ kg)	planeta
Ganimedes	5.268	149	Júpiter
Titã	5.150	137	Saturno
Calisto	4.806	106	Júpiter
Io	3.632	89	Júpiter
Lua	3.476	73	Terra
Europa	3.126	49	Júpiter
Tritão	2.720	21	Netuno

*Tabela 10.1. Os sete maiores satélites do sistema solar.*

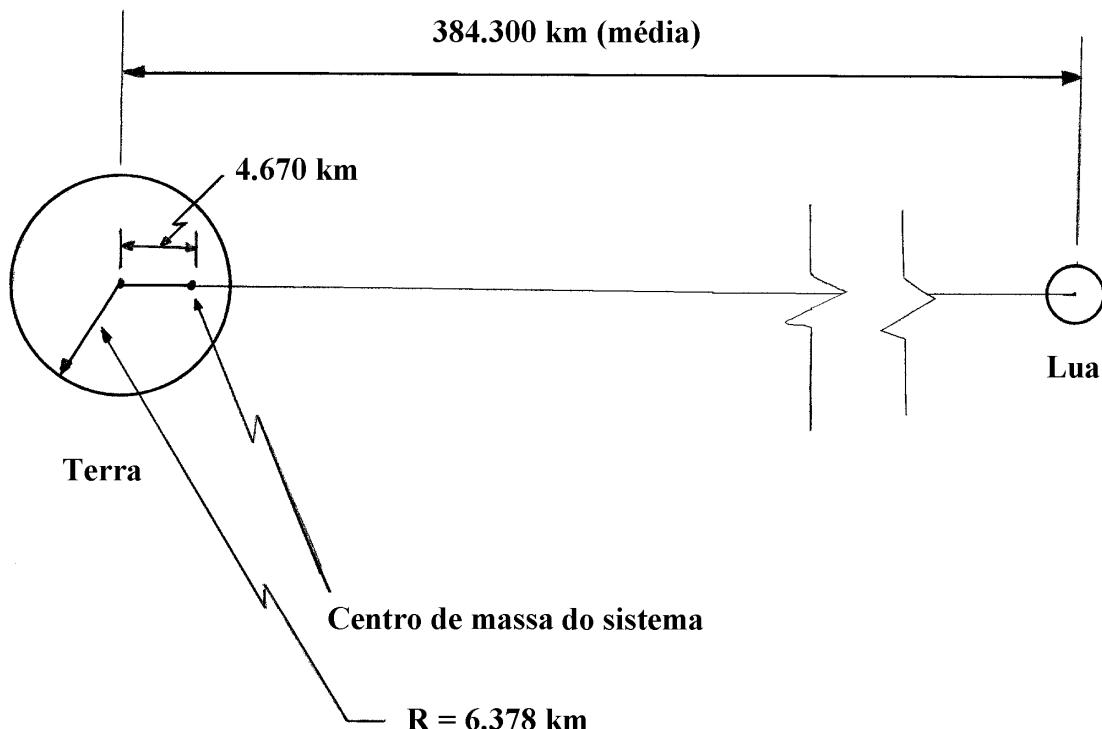
Devido à grande massa da Lua em relação a da Terra, a Lua não gira exatamente em torno da Terra. Na realidade, ambos os corpos giram em torno de um ponto comum (o centro de massa do sistema). Tal ponto se situa na linha reta que une o centro da Terra ao centro da Lua e devido a maior massa da Terra este ponto se encontra a 4.670 km do centro da Terra, ou seja, "enterrado" a uns 1.700 km de profundidade, em média.

Na tabela 10.2 estão listados os quatro maiores satélites do sistema solar, em tamanho relativo ao seu primário.

satélite	Raio do satélite (km)	primário	Raio do primário (km)	raio do primário ----- raio do satélite
Caronte	600	Plutão	1.142	1,90
Lua	1.738	Terra	6.378	3,67
Tritão	1.360	Netuno	25.269	18,58
Titã	2.575	Saturno	60.268	23,41

*Tabela 10.2. Os quatro maiores satélites do sistema solar, em tamanho relativo ao seu primário.*

Como a distância entre a Terra e a Lua varia de um mínimo de 364.300 km (quando a Lua está no perigeu) a um máximo de 406.600 km (quando a Lua está no apogeu), a distância do centro da Terra ao centro de massa do sistema varia correspondentemente de 4.420 km (Lua no perigeu) a 4.940 km (Lua no apogeu). A figura 10.19 mostra de forma esquemática o exposto.

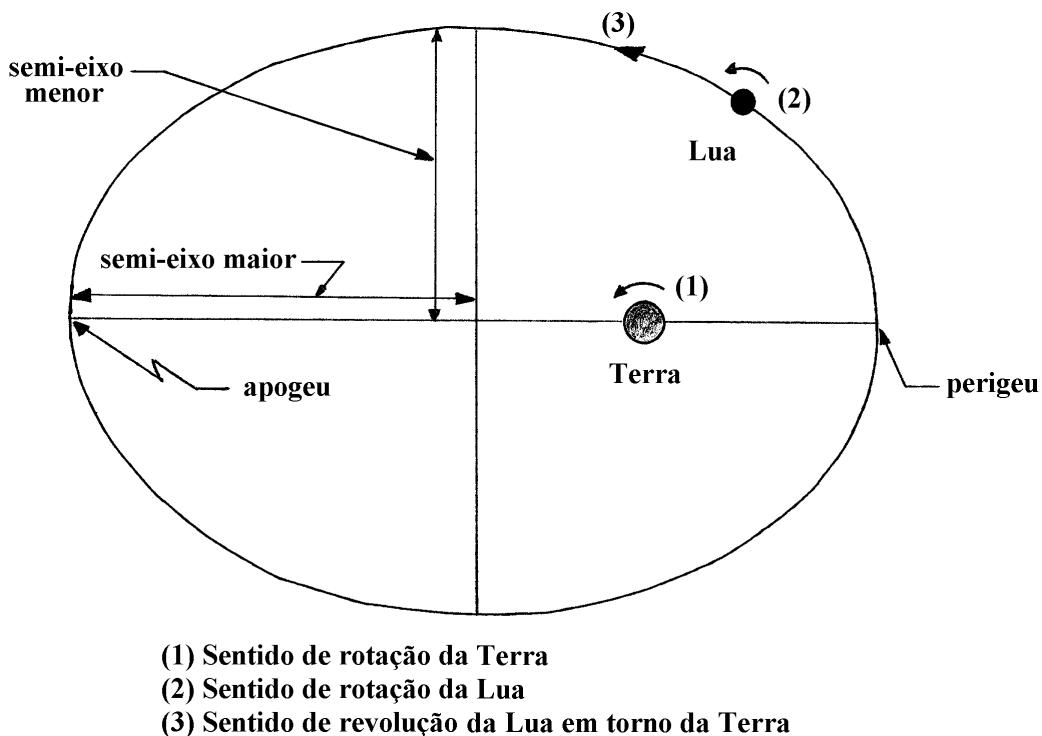


*Figura 10.19. Posição do centro de massa do sistema Terra-Lua*

### 10.2.2. Principais características orbitais

O movimento real da Lua ao redor da Terra, descrevendo a sua órbita, é extremamente complicado e se constitui num dos problemas mais difíceis da Mecânica Celeste. A razão fundamental de tal dificuldade se prende ao fato de que o movimento da Lua é muito perturbado pela ação do Sol (a Lua é o satélite natural mais próximo do Sol), bem como pelo fato de que, como a Lua está muito próxima da Terra, nos é possível observar as pequenas aberrações no movimento, aberrações estas que não nos são perceptíveis nos corpos mais distantes.

A órbita não perturbada da Lua em torno da Terra é uma elipse, na qual a Terra ocupa um dos focos. A figura 10.20 mostra, de forma esquemática, a órbita da Lua em torno da Terra, destacando alguns parâmetros importantes.



*Figura 10.20. Órbita (com excentricidade muito exagerada) da Lua em torno da Terra, como vista pelo pólo norte da eclíptica.*

A distância média da Lua (que é igual ao semi-eixo maior da elipse) é da ordem de 384.300 km. A distância no perigeu é da ordem de 364.300 km enquanto que a do apogeu é de 406.600 km.

O plano da órbita da Lua não coincide com o plano da eclíptica que, como sabemos, é o plano da órbita da Terra ao redor do Sol. Esta é a razão pela qual não se tem um eclipse solar e um eclipse lunar todos os meses. A inclinação média do plano da órbita da Lua sobre o plano da eclíptica é da ordem de 5 graus e 9 minutos de arco. A figura 10.21 mostra, em perspectiva, o exposito, enquanto que a figura 10.22 mostra o mesmo, porém de perfil.

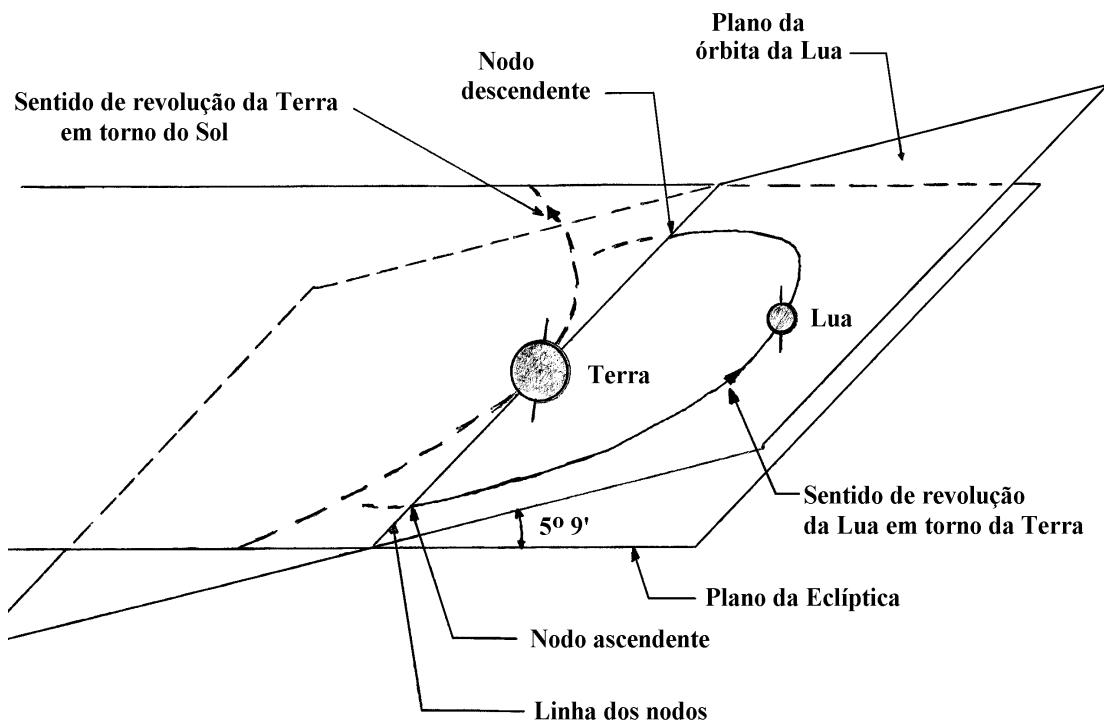


Figura 10.21. Plano da órbita da Lua e plano da eclíptica.

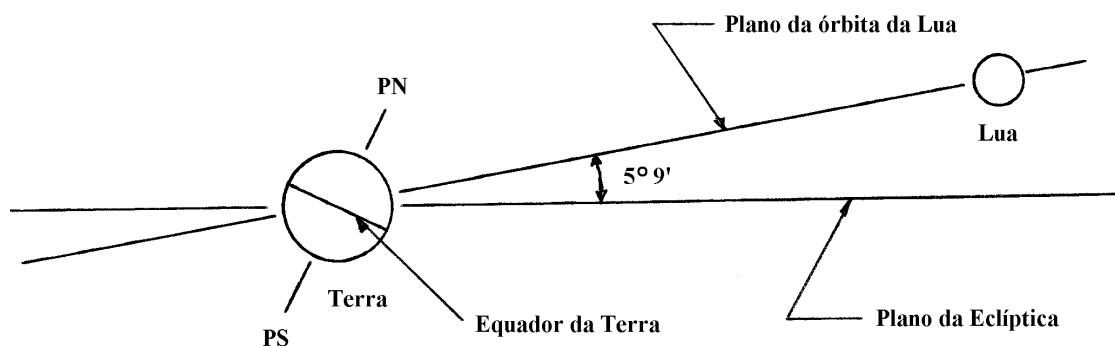
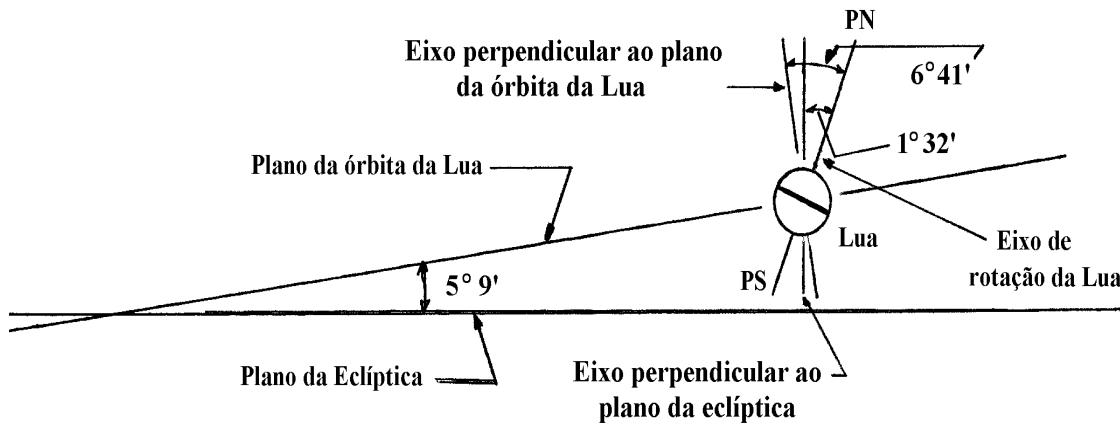


Figura 10.22. Plano da órbita da Lua e plano da eclíptica.

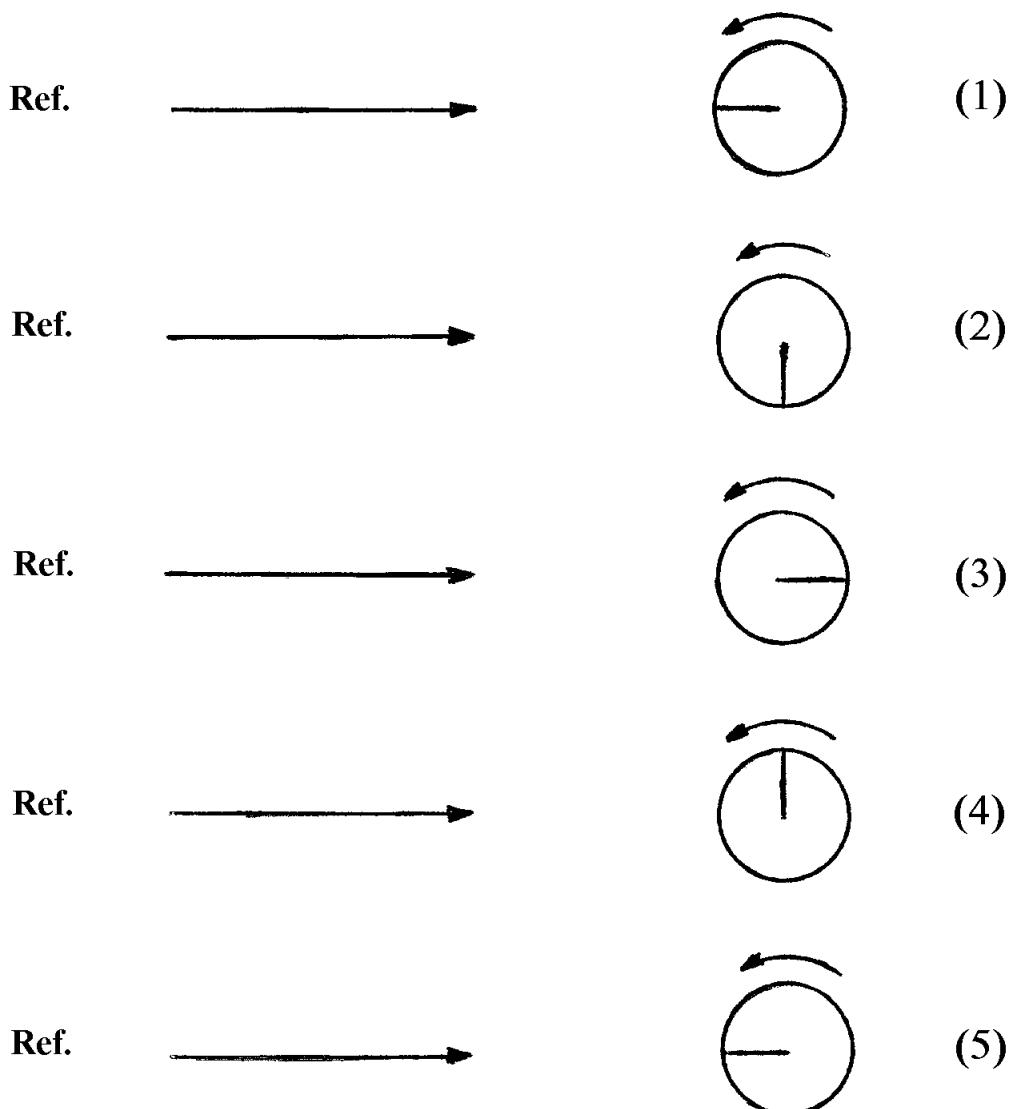
A Lua, da mesma forma que a Terra, também gira sobre um eixo imaginário que passa pelo seu centro. Este eixo forma com o plano da eclíptica um ângulo de 1 grau e 32 minutos e com o plano da órbita da Lua um ângulo de 6 graus e 41 minutos. A figura 10.23 mostra o exposto.



*Figura 10.23. Vista de perfil dos planos da eclíptica e da órbita da Lua. Indicada a inclinação do eixo de rotação da Lua.*

O tempo que a Lua leva para executar uma rotação completa sobre o seu eixo é igual ao tempo que ela leva para dar uma volta completa em torno da Terra. Devido a isto e aos sentidos dos movimentos de rotação da Lua em torno do seu eixo e de revolução em torno da Terra, a Lua nos apresenta sempre a mesma face. A dita face oculta da Lua nunca nos é visível da Terra. Todo o conhecimento adquirido da face oculta da Lua se origina através dos vôos de naves espaciais, tripuladas ou não.

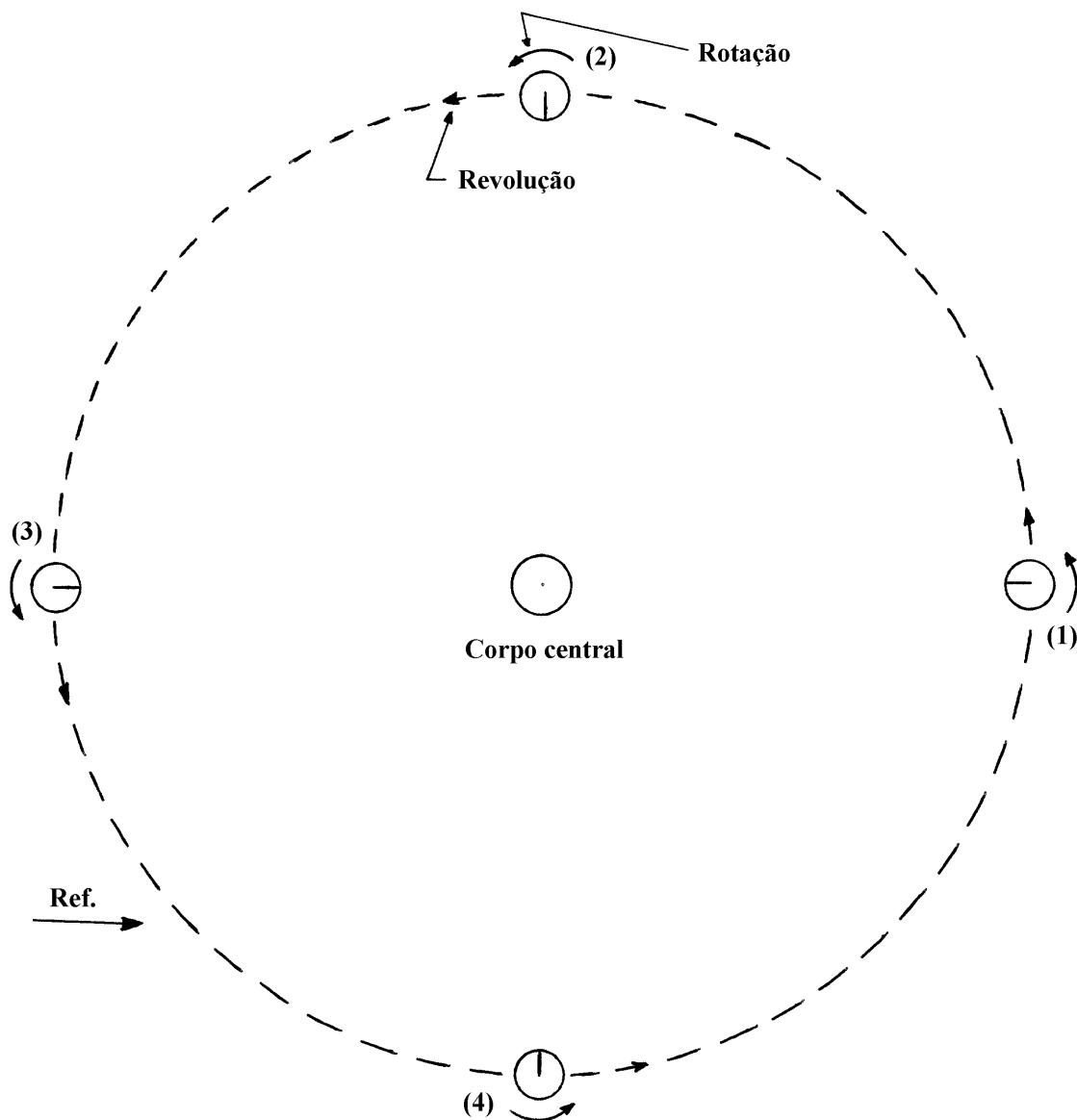
Para melhor entendermos o fenômeno, a figura 10.24 mostra as posições sucessivas de um corpo em rotação em relação a uma referência.



*Figura 10.24. Posições sucessivas de um corpo em rotação, em relação a uma referência.  
Observar a posição da marca em relação à referência.*

A figura 10.25 mostra as posições sucessivas de um corpo animado de movimento de rotação e simultaneamente de movimento de revolução (translação) em torno de um outro, com as velocidades de rotação e revolução com sentidos e valores tais a se obter a chamada rotação síncrona. Neste caso, como o próprio nome sugere, o tempo que o corpo leva para dar uma volta sobre si mesmo é igual ao tempo que ele leva para dar uma volta completa sobre o outro.

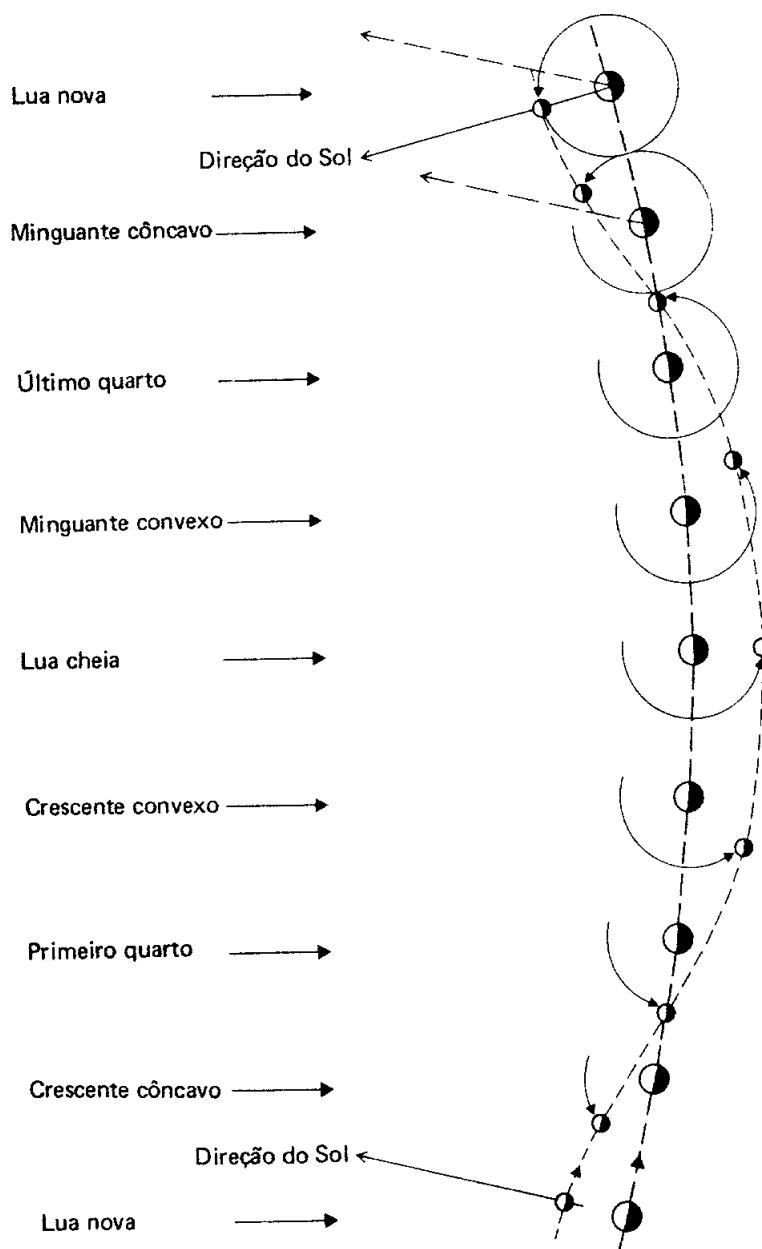
O tempo que a Lua leva para executar uma volta completa em torno do seu eixo, com relação às estrelas distantes e que é igual ao tempo que ela leva para dar uma volta completa em torno da Terra, também em relação às estrelas distantes, é da ordem de 27,32 dias e é chamado mês sideral (ou período sideral). Assim, a cada 27,32 dias a Lua volta, aproximadamente, a ocupar no céu, em relação às estrelas distantes, a mesma posição.



*Figura 10.25. Posições sucessivas de um corpo animado de movimento de rotação e revolução simultâneos e de tal modo que o período de rotação é igual ao período de revolução. Observar a posição da marca em relação à referência e comparar com a figura 6. Observar que a marca aponta sempre para o corpo central.*

Entretanto, decorrido este intervalo de tempo, a Lua não apresenta a mesma fase que tinha no início do período, isto é, supondo que no início do período tínhamos Lua nova, após decorridos 27,32 dias a Lua não será nova mas estará em quarto minguante. Isto se deve ao fato de que a Terra também se desloca em torno do Sol. Assim, para que a Lua volte a ter a mesma fase, decorre um intervalo de tempo um pouco maior, de 29,53 dias e este período é chamado de mês sinódico (ou período sinódico).

A figura 10.26 mostra, de forma esquemática, o mecanismo envolvido nos meses sideral e sinódico.



*Figura 10.26. Mecanismo dos meses sideral e sinódico.*

A órbita da Lua apresenta ainda mais duas particularidades importantes: a regressão dos nodos e a rotação da linha das ápsides.

A figura 10.27 mostra, de forma esquemática, a regressão dos nodos. Na figura, o observador se encontra no lado do pólo norte da eclíptica e se admite que o plano da figura é o plano da eclíptica. A linha cheia representa a secção da órbita "acima" e a linha tracejada a secção da órbita "abaixo" do plano da eclíptica.

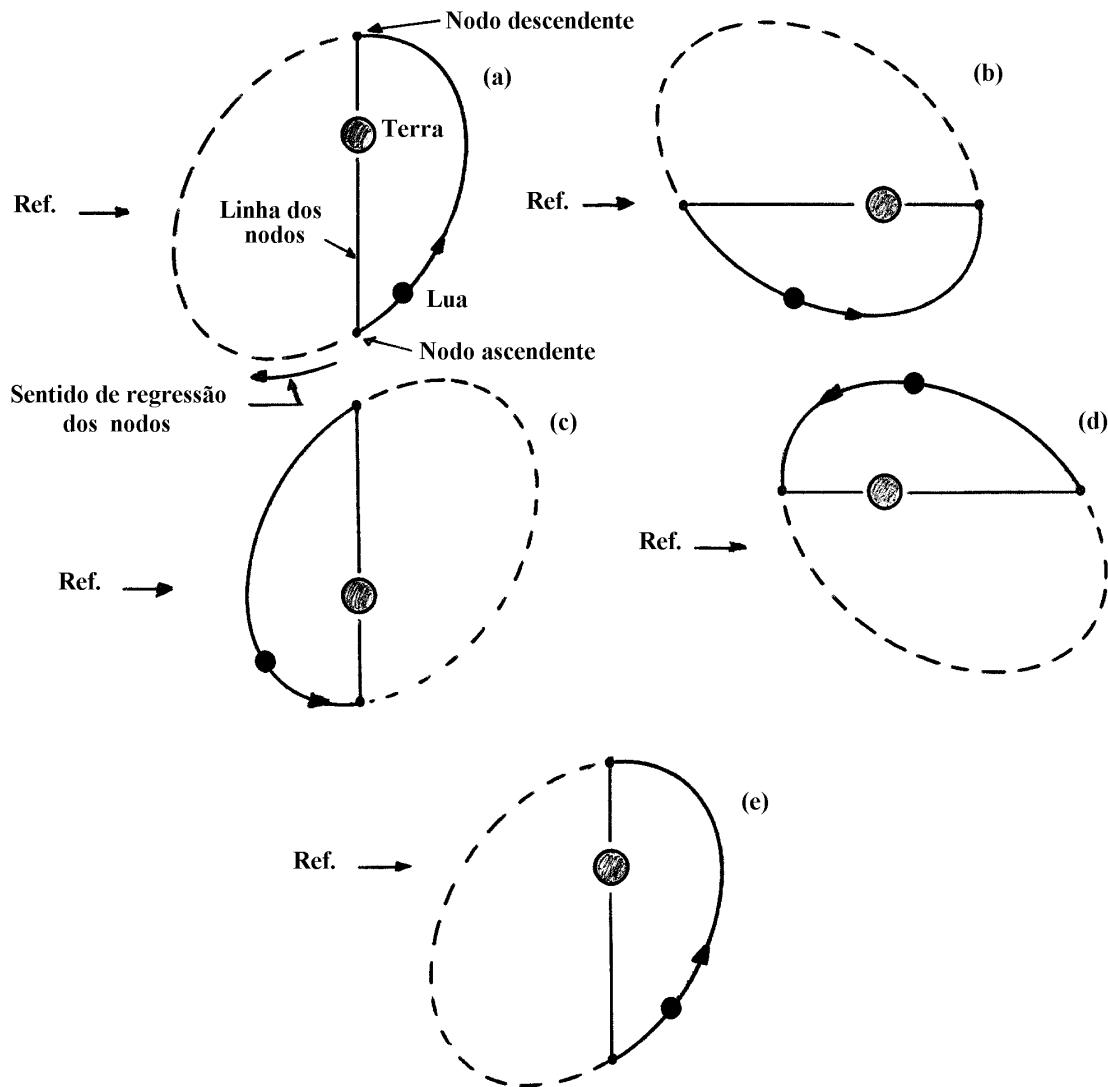
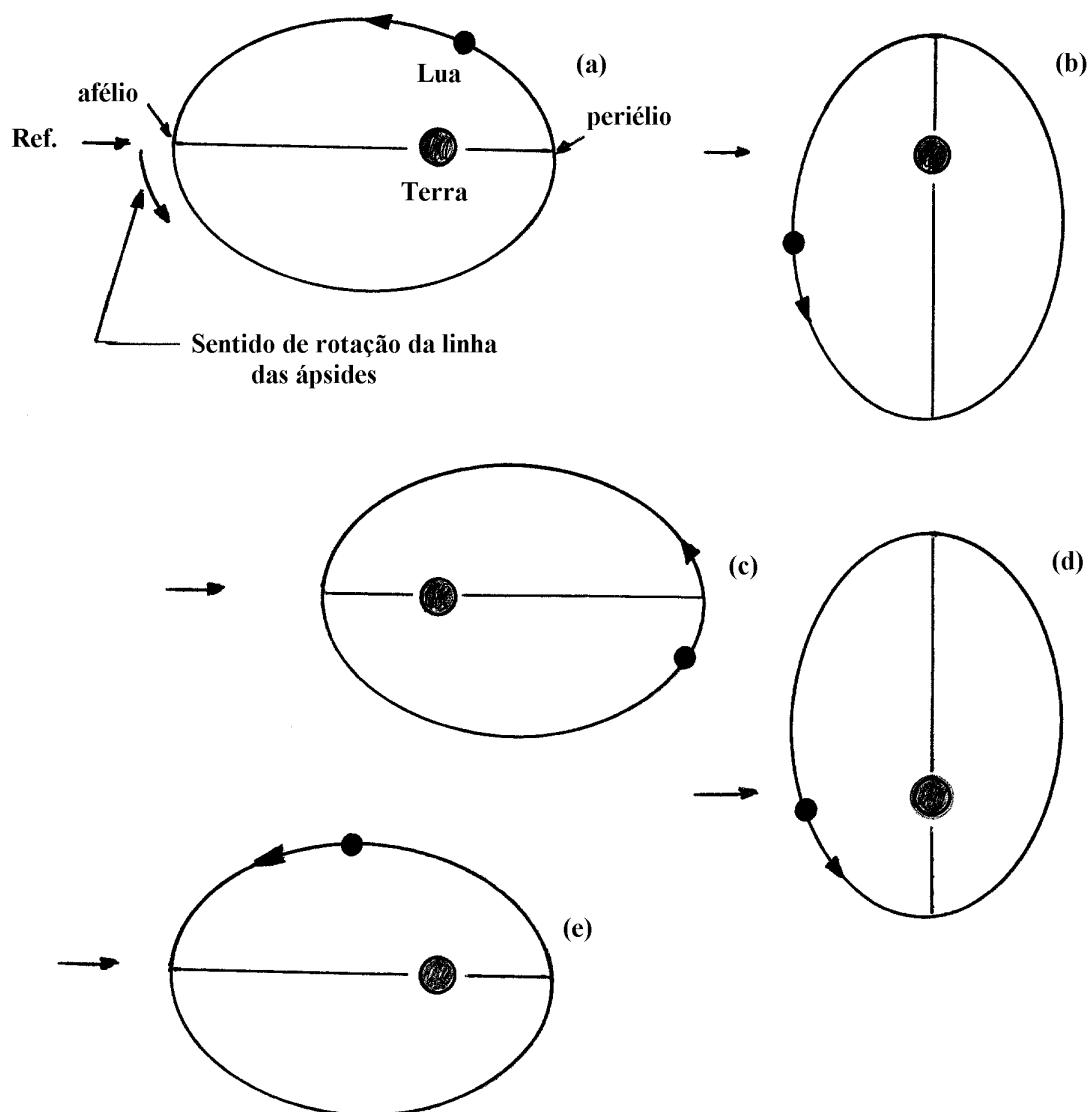


Figura 10.27. Regressão dos nodos. O intervalo de tempo que os nodos levam para dar uma volta completa é de 18,61 anos.

A figura 10.28 mostra, de forma esquemática, a rotação da linha das ápsides (linha que une o apogeu ao perigeu). A órbita da Lua foi representada por uma elipse de excentricidade muito maior do que a real, para melhorar a clareza. O observador se encontra do lado do polo norte da Lua, observando perpendicularmente ao plano da órbita da Lua.



*Figura 10.28. Rotação da linha das ápsides. O intervalo de tempo que a linha das apsides leva para dar uma volta completa é de 8,85 anos.*

### 10.2.3. Posições relativas Sol-Terra-Lua

Devido ao fato da Lua girar em torno da Terra e desta girar em torno do Sol, as posições relativas Sol-Terra-Lua variam a cada instante. Por causa desta mudança de posição relativa é que ocorrem as fases da Lua, quando vistas da Terra (bem como as fases da Terra, quando vista da Lua), bem como os eclipses lunares e solares.

### 10.2.3.1 Fases da Lua

A figura 10.29 mostra, de forma esquemática, a órbita da Lua em torno da Terra, como vista acima do plano da eclíptica (pelo pólo norte da eclíptica). Na figura estão indicadas as diversas fases da Lua. A figura 10.30 mostra a aparência da Lua para um observador terrestre, tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul.

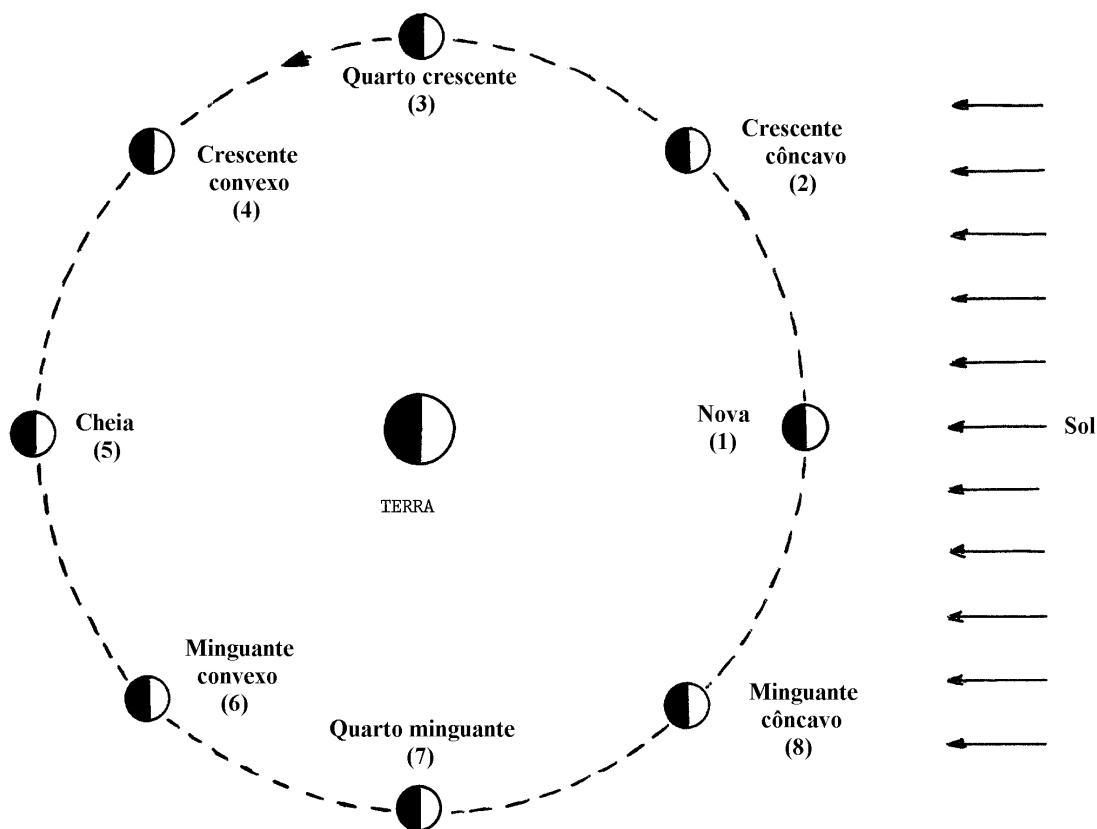


Figura 10.29. Fases da Lua.

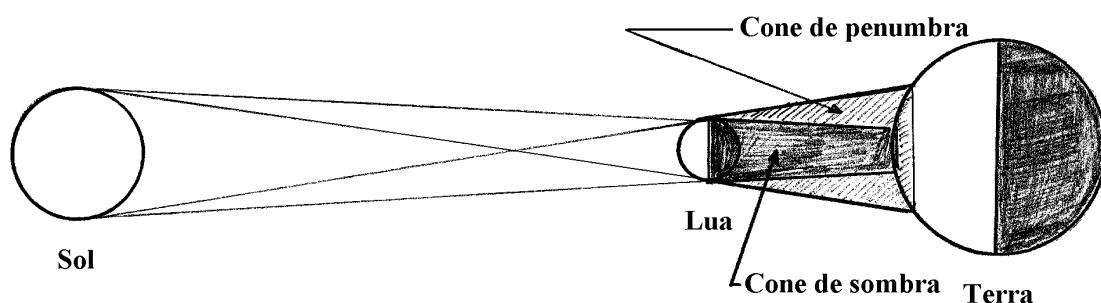
(1) Nova		
(2) Crescente côncavo		
(3) Quarto crescente		
(4) Crescente convexo		
(5) Cheia		
(6) Minguante convexo		
(7) Quarto minguante		
(8) Minguante côncavo		

Figura 10.30. Aparência da Lua, como vista pelos observadores dos hemisférios norte e sul.

### 10.2.3.2 Eclipses do Sol.

Os eclipses do Sol ocorrem quando a Lua se interpõe entre o Sol e a Terra, isto é, quando o Sol, a Lua e a Terra estão em linha reta (ou quase).

A figura 10.31, fora de escala, mostra a idéia básica.



*Figura 10.31. Mecanismo básico de um eclipse do Sol.*

Da figura é evidente que um eclipse do Sol só pode ocorrer durante a Lua Nova (ou Novilúnio).

Também da figura é fácil se observar que a Lua projeta sobre a superfície da Terra, dois cones: o cone de sombra e o cone de penumbra.

Para os observadores que se encontram dentro do cone de sombra o eclipse é total, isto é, o disco da Lua encobre completamente o disco do Sol. Já para os observadores que se encontram dentro do cone de penumbra, mas fora do cone de sombra, o eclipse é parcial, isto é, o disco da Lua encobre somente parte do disco do Sol. Finalmente, para os observadores que se encontram fora dos cones de sombra e penumbra não ocorre eclipse nenhum.

Um eclipse do Sol só pode ocorrer quando a Lua estiver num dos seus nodos (o ascendente ou o descendente), ou muito próximo deles e simultaneamente o Sol, a Lua e a Terra estiverem em alinhamento (ou quase), ou seja, a linha dos nodos estiver apontando para o Sol e a Lua estiver passando pelo nodo voltado para o Sol.

Para melhor esclarecer a idéia, a figura 10.32 mostra uma situação em que a Lua passa "entre" o Sol e a Terra e não ocorre um eclipse do Sol.

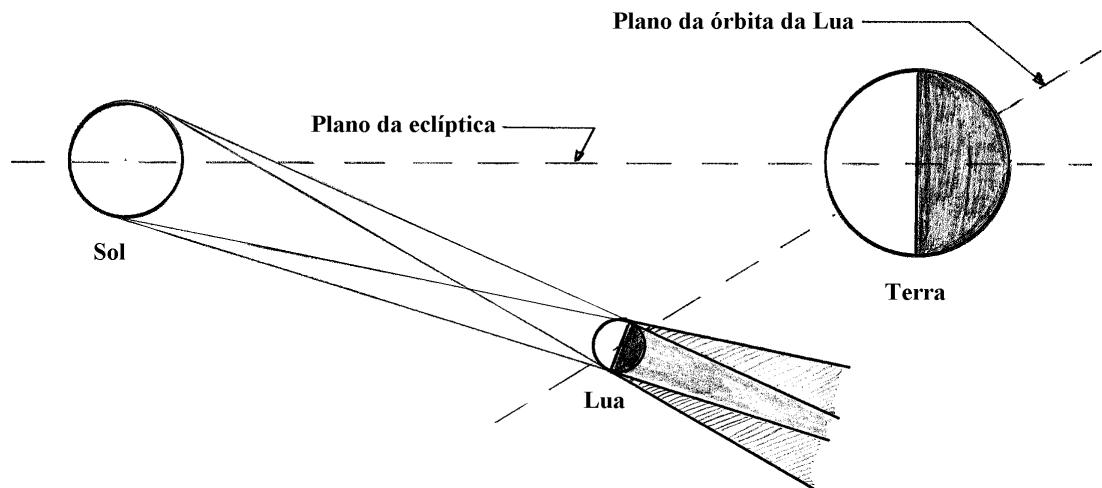


Figura 10.32. Exemplo de situação em que não há eclipse do Sol, apesar de se ter Lua Nova.

A figura 10.33 mostra, de uma forma mais geral, as condições necessárias para que ocorra um eclipse do Sol.

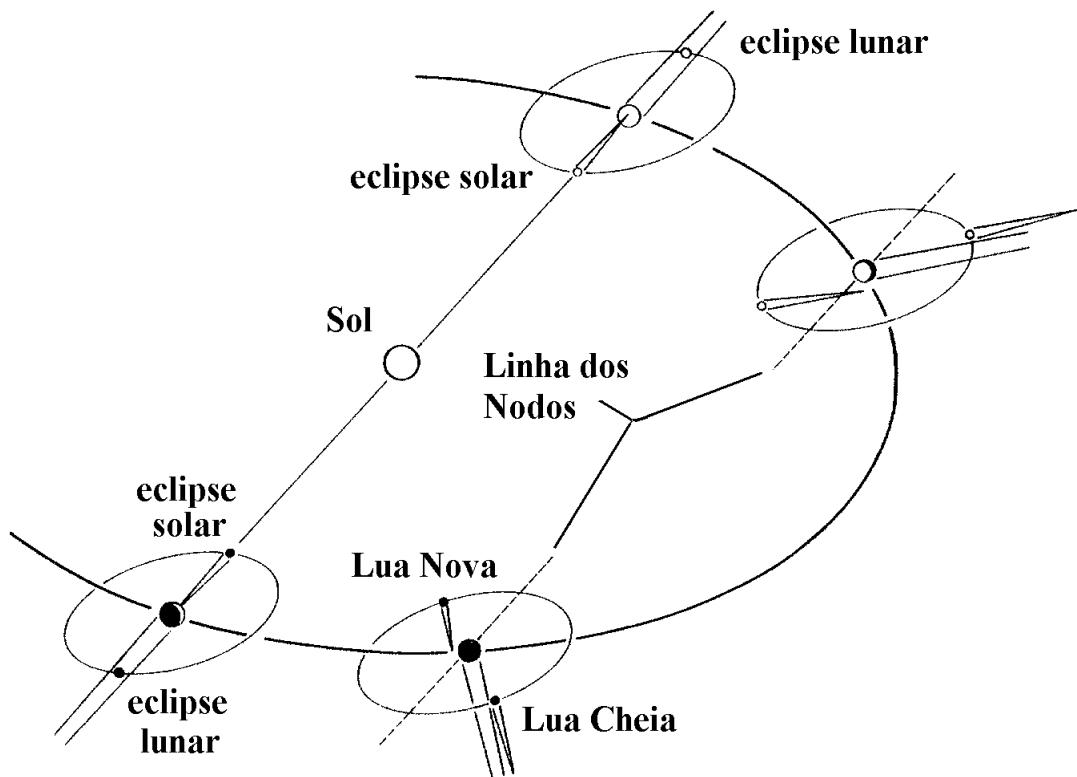
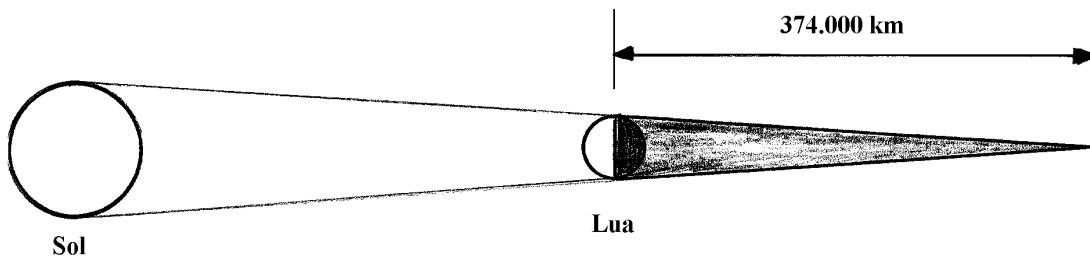


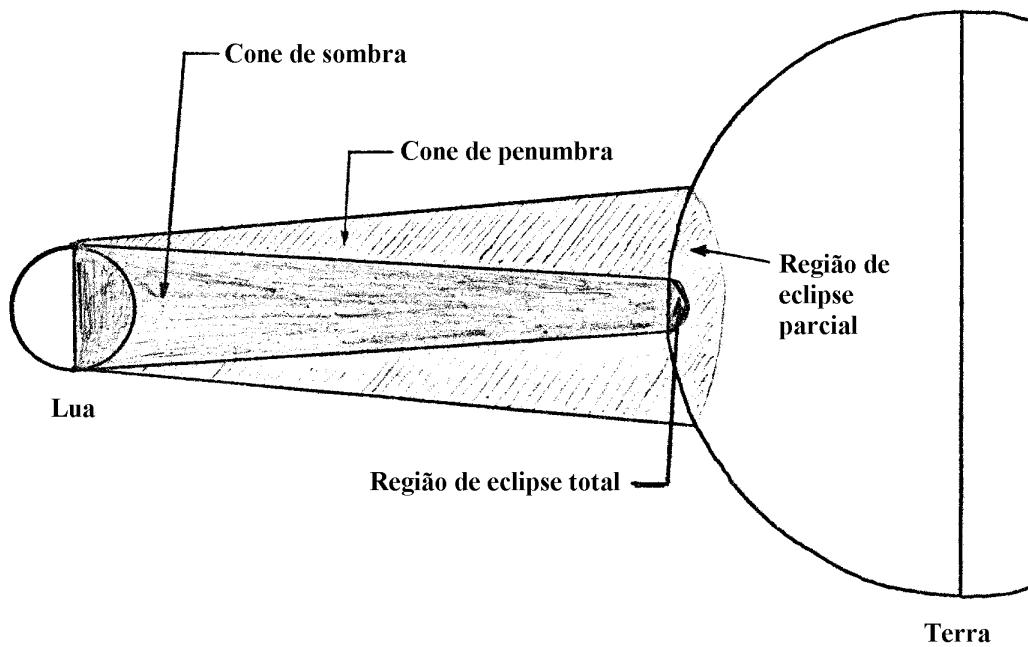
Figura 10.33. Condições para se ter um eclipse do Sol.

Devido às dimensões do Sol e da Lua, bem como da distância entre eles, o cone de sombra da Lua tem um comprimento aproximado de 374.000 km. A figura 10.34 mostra o exposto.



*Figura 10.34. Cone de sombra da Lua.*

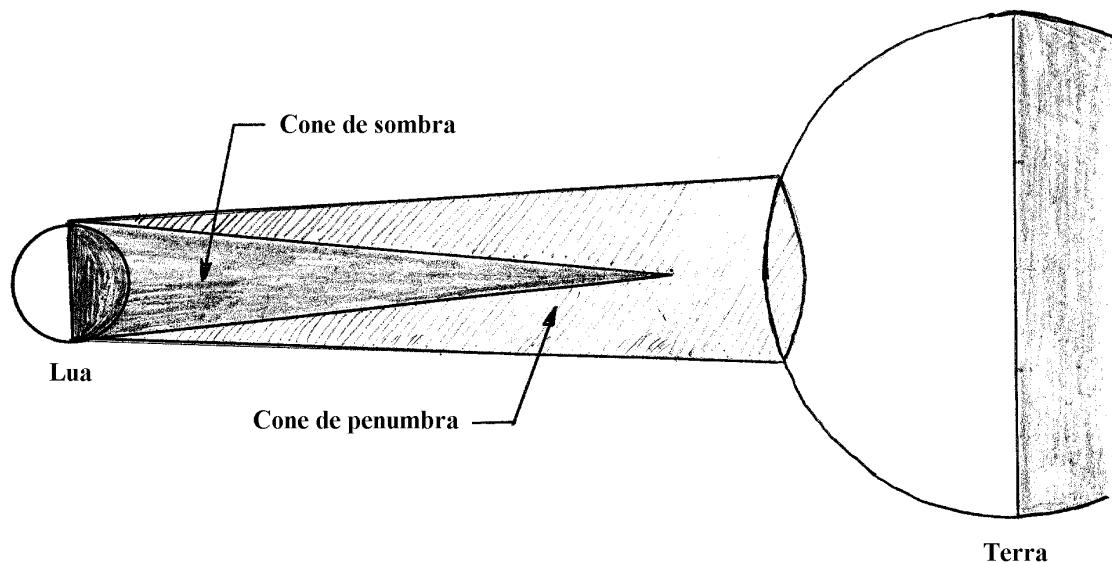
Como a distância da Terra a Lua varia de 364.300 km a 406.600 km, então, se ao ocorrer um eclipse do Sol, a distância da Terra a Lua for menor do que 374.000 km, haverá pontos na superfície da Terra em que o eclipse será total. A figura 10.35 ilustra o exposto.



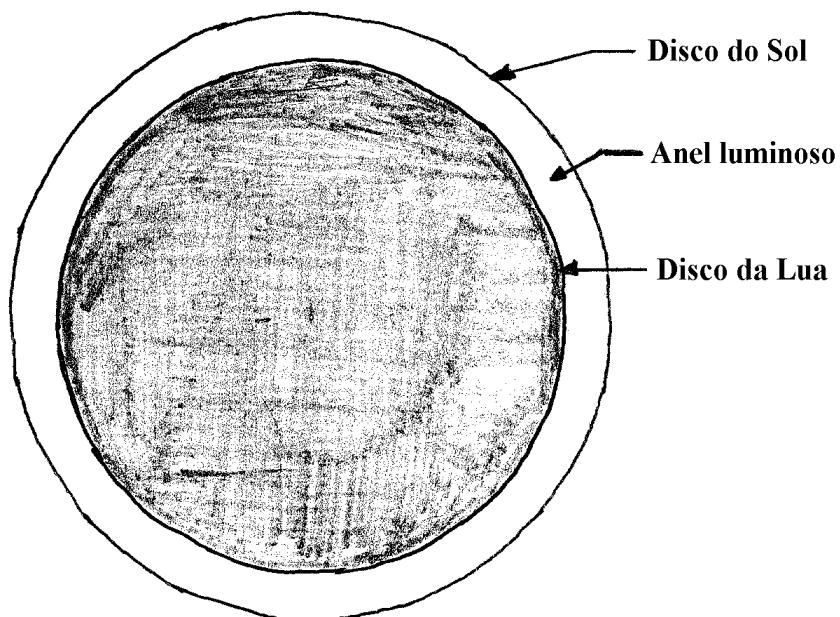
*Figura 10.35. Eclipse total do Sol.*

Por outro lado, se essa distância for maior do que 374.000 km, então não haverá nenhum ponto da superfície da Terra em que o eclipse seja total. Temos então o que se chama de eclipse anular, isto é, o disco da Lua não consegue obscurecer completamente o disco do Sol restando, ao redor do disco da Lua, um fino anel luminoso, pertencente ao disco solar. A

figura 10.36 ilustra esta condição, enquanto que a figura 10.37 mostra a aparência dos discos lunar e solar, como vistos por um observador terrestre localizado na reta Sol-Lua-Terra.



*Figura 10.36. Condições para a ocorrência de um eclipse anular do Sol.*



*Figura 10.37. Aparência de um eclipse anular do Sol.*

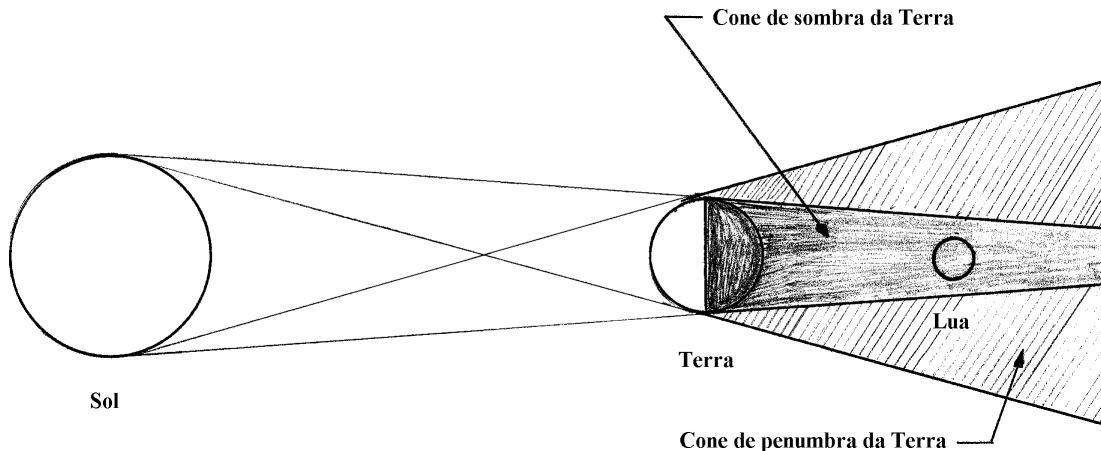
Devido às características dos movimentos da Lua em torno da Terra e da Terra em torno do Sol, todos os anos ocorrem, sem falta, dois eclipses do Sol. Em casos especiais, dentro de um mesmo ano podem haver até quatro eclipses do Sol e, em casos especialíssimos, cinco.

É importante se ressaltar que se entende que há um eclipse do Sol sempre que o cone de sombra e/ou o cone de penumbra da Lua atingem algum ponto da superfície terrestre.

### 10.2.3.3 Eclipses da Lua.

De forma similar ao que ocorre por ocasião de um eclipse solar, um eclipse da Lua somente ocorre quando o Sol, a Terra e a Lua estiverem em linha reta (ou quase). Também neste caso a Lua precisa estar num dos seus nodos (ou muito próximo dele) e a linha dos nodos precisa estar apontando na direção do Sol (ou quase).

A figura 10.38 apresenta, de forma esquemática, o mecanismo básico do fenômeno.

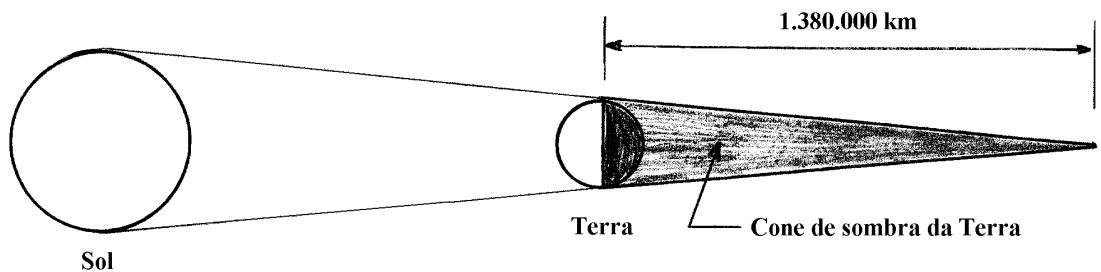


*Figura 10.38. Mecanismo básico de um eclipse lunar.*

Da figura, é evidente que um eclipse lunar somente pode ocorrer durante o plenilúcio (Lua cheia).

Comparando-se a figura 10.38 com a figura 10.31, verifica-se facilmente que o mecanismo básico dos eclipses lunares é o mesmo que o dos eclipses solares.

Da mesma forma que para a Lua, a Terra também projeta, no espaço, dois cones; o cone de sombra e o cone de penumbra. Devido às maiores dimensões da Terra e da distância Terra-Sol, o cone de sombra da Terra é maior do que o da Lua, atingindo um comprimento da ordem de 1.380.000 km, conforme mostrado na figura 10.39.

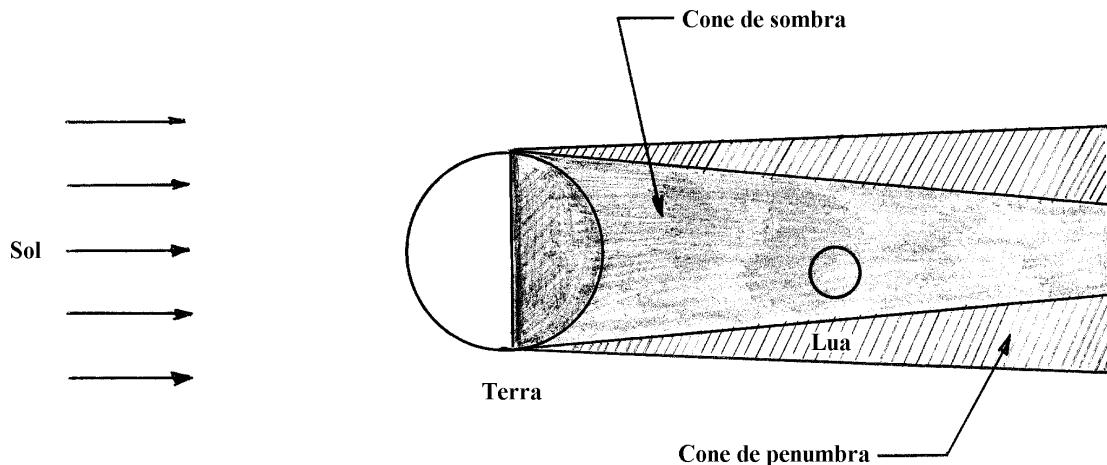


*Figura 10.39. Cone de sombra da Terra.*

Na distância em que se encontra a Lua, o cone de sombra da Terra tem a forma de um disco com um diâmetro da ordem de 9.200 km, que é maior do que o diâmetro da Lua, que é da ordem de 3.476 km. Desta forma, a sombra da Terra pode cobrir completamente a Lua, o que não acontece por ocasião dos eclipses solares, onde a sombra da Lua pode cobrir no máximo um disco de uns 270 km de diâmetro na superfície da Terra.

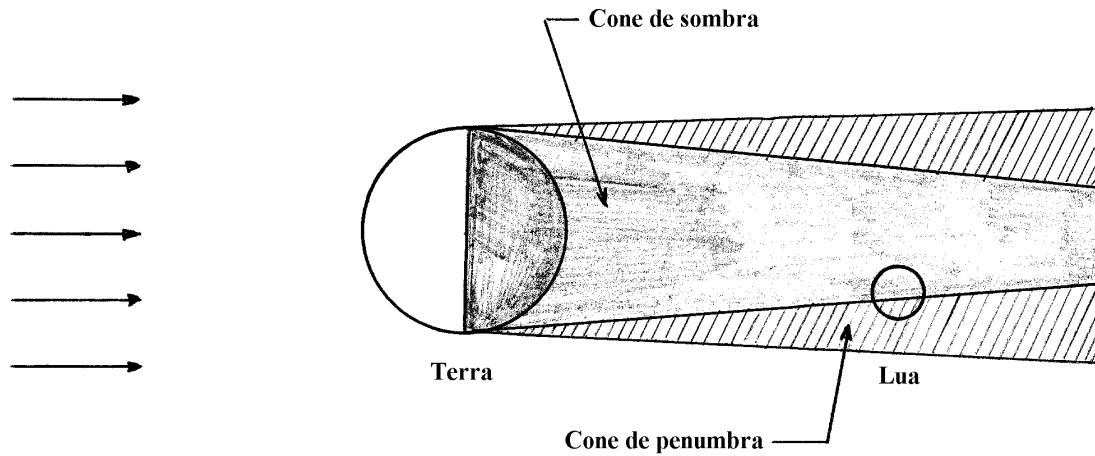
Devido aos tamanhos relativos da Lua e dos cones de sombra e penumbra da Terra podemos ter três tipos de eclipses lunares; o eclipse total, o eclipse parcial e os chamados eclipses penumbrais.

No eclipse total a Lua mergulha totalmente no cone de sombra da Terra, como mostrado na figura 10.40.



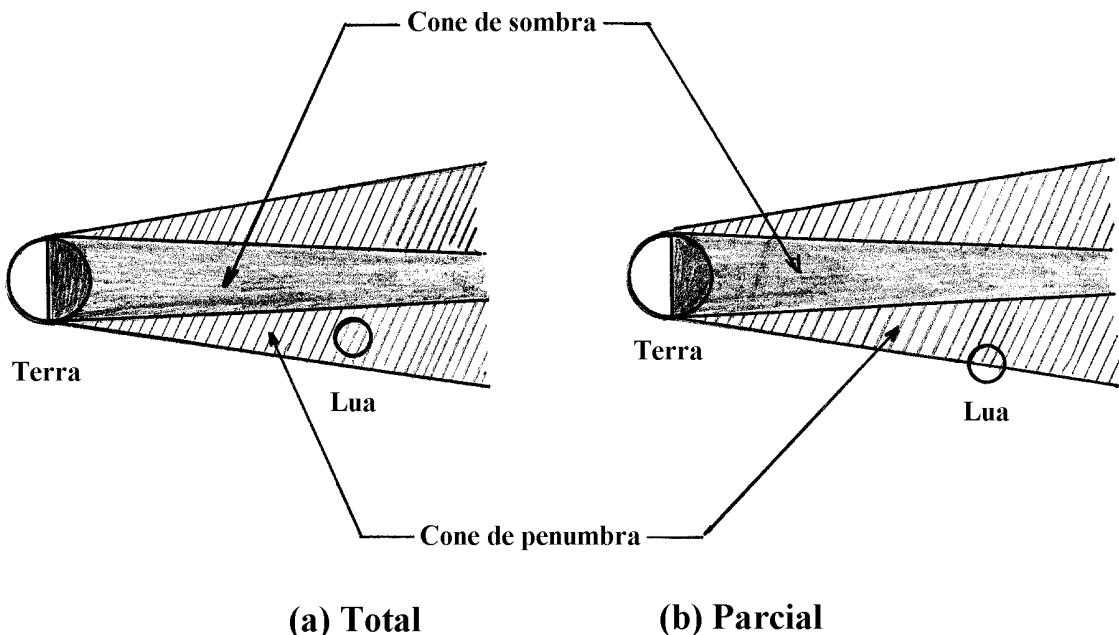
*Figura 10.40. Eclipse total da Lua.*

No eclipse parcial a Lua mergulha parcialmente no cone de sombra da Terra, ficando o restante do disco lunar imerso no cone de penumbra, com mostrado na figura 10.41.



*Figura 10.41. Eclipse parcial da Lua.*

Já nos eclipses penumbrais a Lua mergulha, no todo ou em parte, no cone de penumbra da Terra ocorrendo então os chamados eclipses penumbrais totais ou parciais, respectivamente, como mostrado nas figuras 10.42 (a) e (b).



*Figura 10.42. Eclipses penumbrais da Lua.*

A explicação para o fato de não termos, a cada Lua cheia, um eclipse da Lua é a mesma que para o fato de não termos a cada Lua nova um eclipse do Sol, ou seja, isto ocorre pelo fato de que a Lua não revoluciona em torno da Terra no mesmo plano em que esta revoluciona em torno do Sol, como já visto.

Devido às características do movimento da Lua em torno da Terra e desta em torno do Sol, pode acontecer que num determinado ano não ocorra nenhum eclipse da Lua, podendo acontecer no máximo dois e em casos especialíssimos três. Assim, os eclipses da Lua são mais raros do que os do Sol.

#### **10.2.4. Principais características físicas.**

A Terra e a Lua, apesar de apresentarem uma gênese comum, como é mais aceito atualmente, e de apresentarem consequentemente certas semelhanças, também apresentam algumas diferenças marcantes. Neste item apresentaremos alguns aspectos físicos da Lua que poderão ser facilmente comparados com os da Terra, vistos no capítulo anterior.

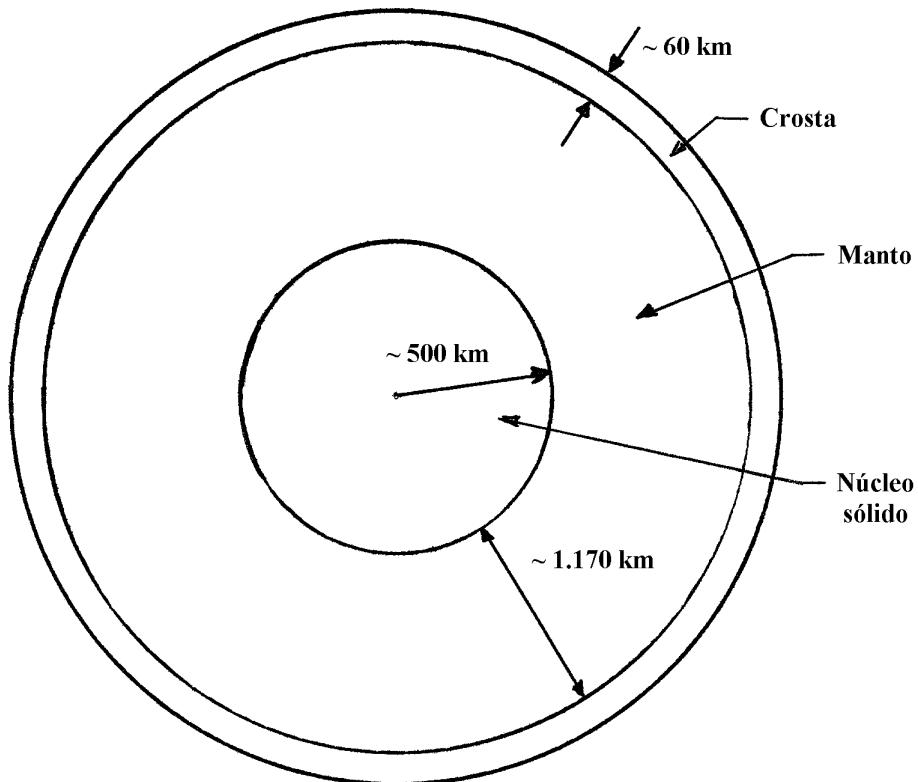
#### 10.2.4.1 O interior da Lua.

A partir da massa e do raio da Lua pode-se determinar a sua massa específica média, e esta resulta ser da ordem de  $3.370 \text{ kg/m}^3$  ( $3.37 \text{ g/cm}^3$ ). As missões lunares que recolheram amostras das rochas da superfície lunar mostraram serem estas de composição basáltica, muito semelhante as rochas basálticas terrestres, com uma massa específica média da ordem de  $3.000 \text{ kg/m}^3$ . Desta forma, a massa específica da Lua não pode aumentar muito drasticamente em direção ao seu centro, como acontece com a Terra.

Apesar de a Lua ser um corpo sismicamente sereno, uma vez que os "lunamotos" dificilmente atingem o nível 2 na escala de Richter (na Terra chegam a 8), em decorrência de estudos sísmicos feitos na Lua por estações sismológicas lá deixadas foi possível se elaborar um modelo para a estrutura da Lua, que é o mostrado na figura 10.43.

O núcleo sólido é composto de rochas (não é metálico como o da Terra), de massa específica não muito superior a  $3.500 \text{ kg/m}^3$ .

O manto é composto de rochas parcialmente fundidas, de massa específica da ordem de  $3.500 \text{ kg/m}^3$ , e a crosta é composta de rochas predominantemente basálticas, similares às rochas da crosta terrestre.

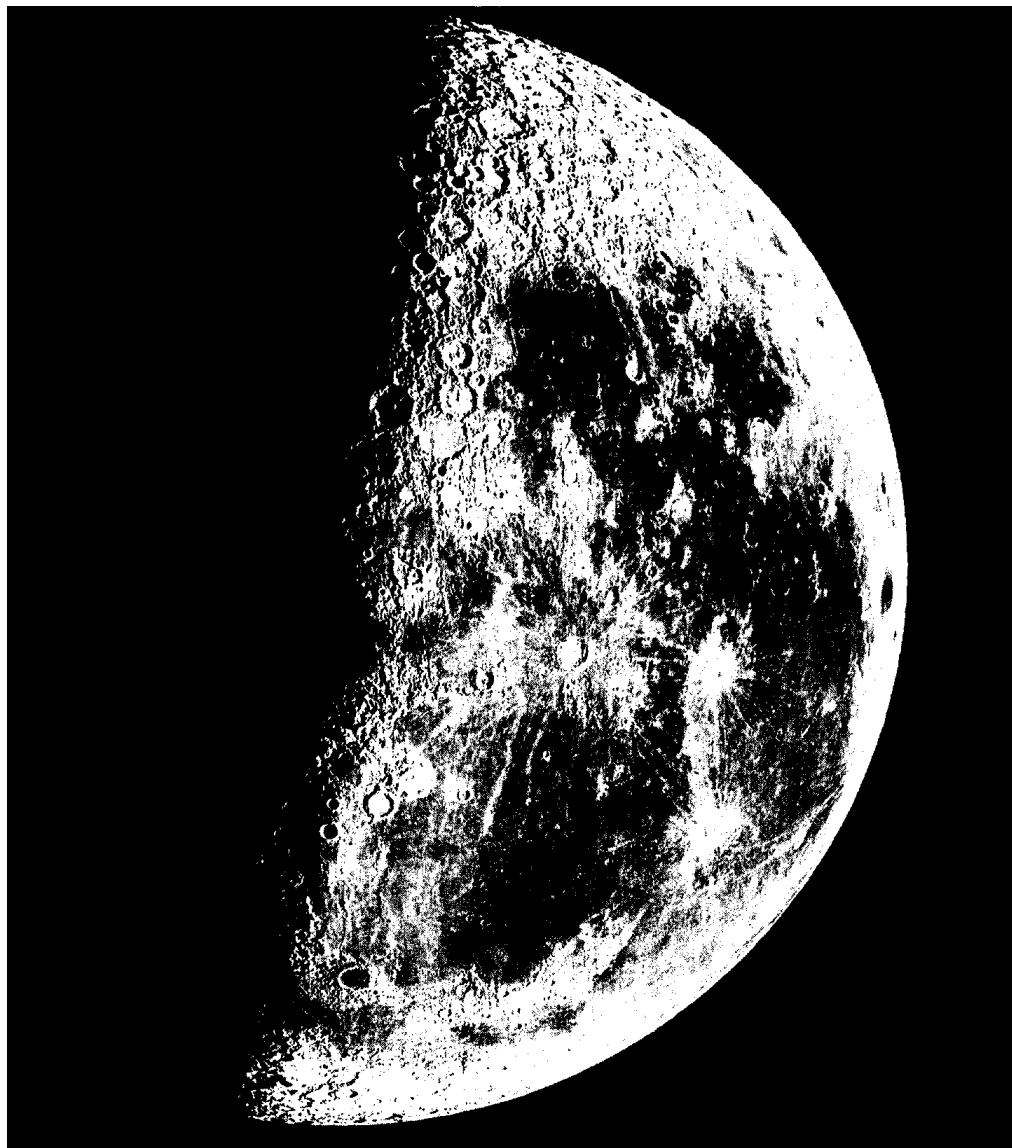


*Figura 10.43. Modelo da estrutura da Lua.*

#### **10.2.4.2 A superfície da Lua.**

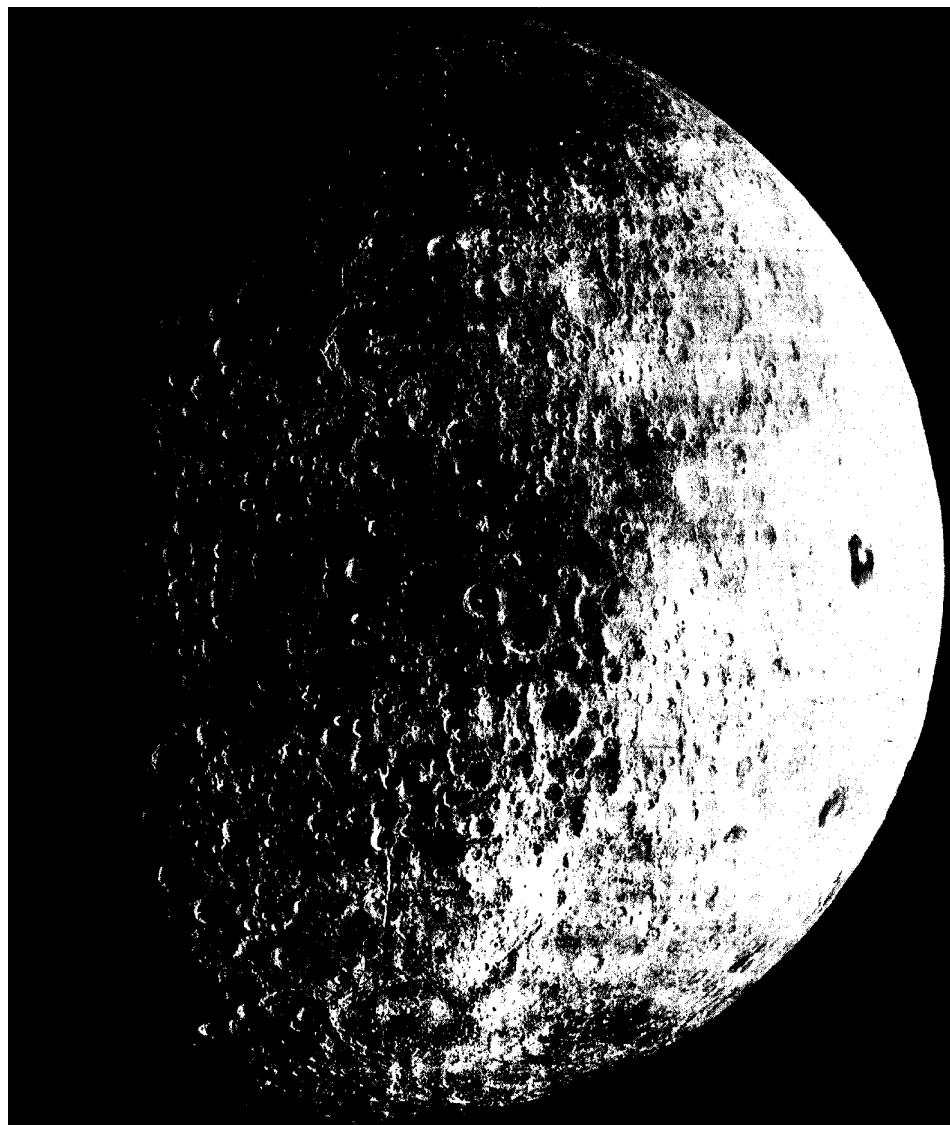
Os acidentes mais notáveis da face da Lua são sem dúvida as crateras, a grande maioria das quais são o resultado de impactos meteoríticos ocorridos, em sua grande parte, nos primórdios da história da Lua, se bem que em alguns casos existam crateras de origem vulcânica. A figura 10.44 mostra a face visível da Lua em seu quarto minguante.

Na figura 10.44 pode-se observar regiões mais escuras (os "mare"), pouco craterizadas, bem como regiões mais claras, mais intensamente craterizadas.



*Figura 10.44. Face visível da Lua.*

A figura 10.45 mostra a face oculta da Lua, onde se pode notar a intensa craterização, bem maior do que a da face visível. Pode-se notar também que as regiões escuras são pequenas se comparadas aquelas da face visível.



*Figura 10.45. A face oculta da Lua.*

As maiores concentrações de crateras se encontram nas chamadas Terras Altas (Highlands), que se apresentam ao telescópio com uma cor mais clara. As Terras Altas apresentam uma elevação média de 3 km em relação às chamadas Terras Baixas (Lowlands), também conhecidas como "mares" (maria em latim; o plural é mare).

A figura 10.46 mostra uma das mais famosas crateras da Lua, a cratera de Copérnico, facilmente visível com um pequeno telescópio, enquanto que a figura 10.47 mostra o paredão norte da mesma cratera, em maior ampliação.

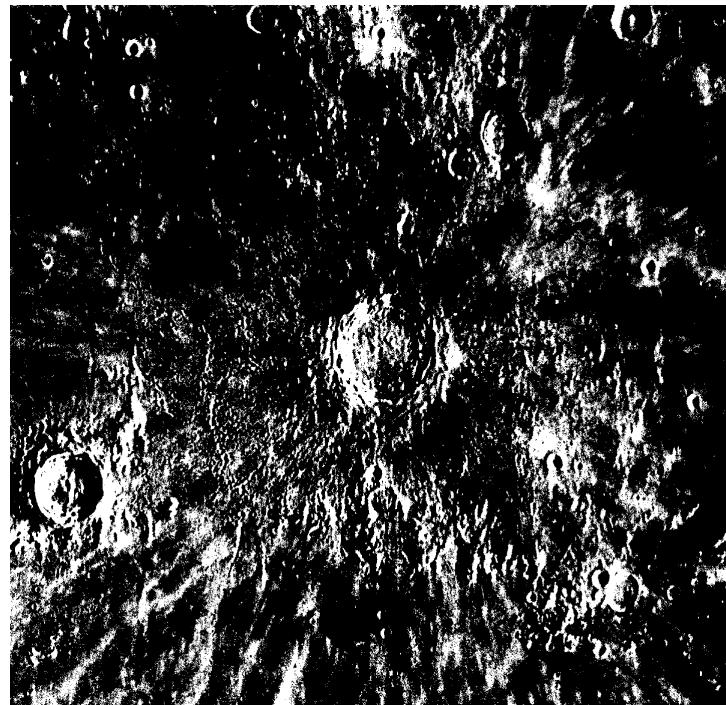


Figura 10.46. A cratera de Copérnico.

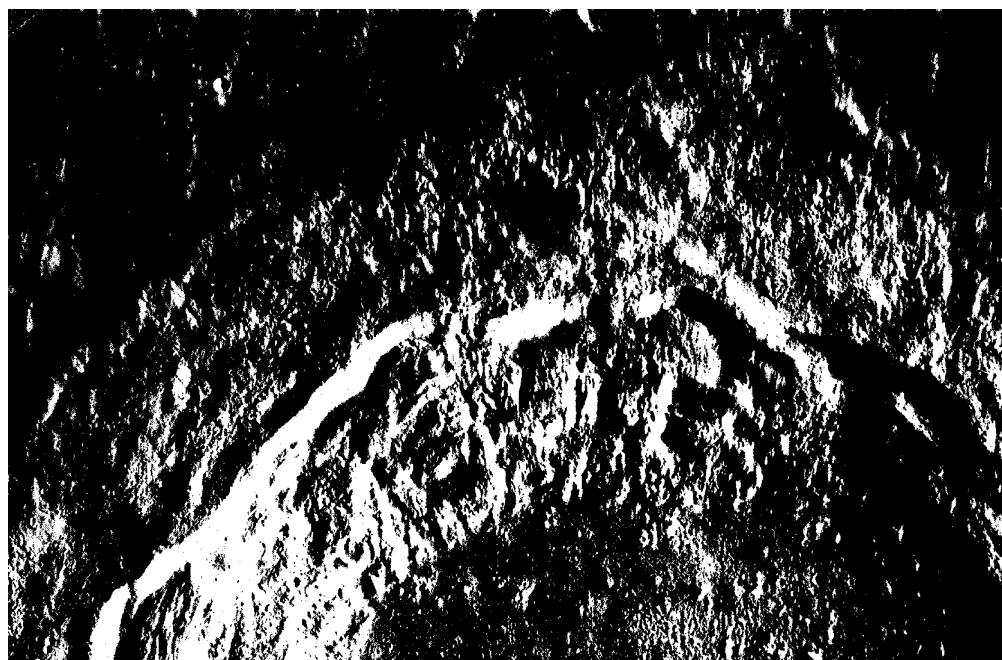
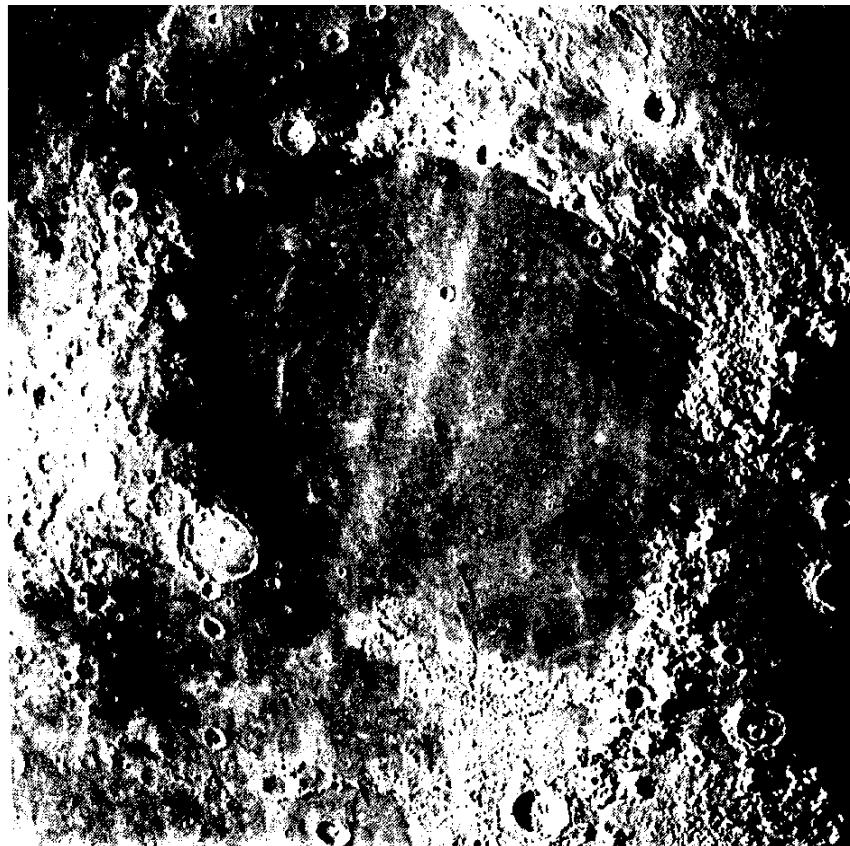


Figura 10.47. Paredão norte da cratera de Copérnico.

Os mares lunares, que evidentemente não contém o menor vestígio de água, são regiões relativamente planas, que se apresentam ao telescópio com uma cor mais escura e com pouca craterização. A figura 10.48 mostra a aparência típica de um mar lunar, na qual se pode notar a forma aproximadamente circular e a pouca craterização, quando comparada às regiões vizinhas.



*Figura 10.48. Aparência típica de um mar lunar.*

Dos 36 "mare" conhecidos, somente 4 se encontram na face oculta. Vários mares têm a forma aproximadamente circular (que é típica) com diâmetros variando de 300 km a 1.000 km. Acredita-se que, no passado, impactos meteoríticos relativamente grandes fenderam a crosta da Lua e que lava do interior da mesma subiu à superfície preenchendo a cratera resultante do impacto, originando desta forma os mares.

A tabela 10.3 lista os grandes mares lunares, que compreende 1 "oceano" e 22 "mares", enquanto que a tabela 10.4 lista os pequenos mares lunares, que compreende 5 "lagos", 4 "pântanos" e 4 "baías".

Maria	Mares
Oceanus Procellarum	Oceano das Tormentas
Mare Aestatis	Mar do Verão
Mare Anguis	Mar das Serpentes
Mare Australe	Mar do Sul
Mare Cognitum	Mar do Conhecimento
Mare Crisium	Mar das Crises
Mare Fecunditatis	Mar da Fecundidade
Mare Frigoris	Mar do Frio
Mare Humboldtianum	Mar de Humboldt
Mare Humorum	Mar da Umidade
Mare Imbrium	Mar das Chuvas
Mare Ingenii	Mar do Engenho
Mare Marginis	Mar Marginal
Mare Moscoviensae	Mar de Moscou
Mare Nectaris	Mar do Néctar
Mare Nubium	Mar das Nuvens
Mare Orientale	Mar Oriental
Mare Serenitatis	Mar da Serenidade
Mare Smythii	Mar de Smyth
Mare Spumans	Mar Espumante
Mare Tranquilitatis	Mar da Tranquilidade
Mare Undarum	Mar das Ondas
Mare Vaporum	Mar dos Vapores

Tabela 10.3. Lista dos grandes mares lunares.

Maria (Lacus, Palus, Sinus)	Mares (Lagos, Pântanos, Baías)
Lacus Mortis	Lago da Morte
Lacus Somniorum	Lago dos Sonhos
Lacus Veris	Lago da Primavera
Lacus Autumni	Lago do Outono
Lacus Aestatis	Lago do Verão
Palus Somni	Pântano do Sono
Palus Nebularum	Pântano das Doenças
Palus Putredinis	Pântano da Podridão
Palus Epidemiarum	Pântano das Epidemias
Sinus Aestuum	Baía Fervente
Sinus Iridum	Baía do Arco-Íris
Sinus Medii	Baía Central
Sinus Roris	Baía do Orvalho

*Tabela 10.4. Lista dos pequenos mares lunares.*

Além das crateras e mares, que são os acidentes mais notáveis da superfície da Lua, pode-se notar, principalmente nas terras altas, outros acidentes, tais como cordilheiras e canyons. As montanhas mais altas da Lua chegam a se elevar a mais de 9.000 m acima das regiões adjacentes.

# **CAPÍTULO 11**

## ***Planetas Terrestres***

***Marcos Boehme***

## Capítulo 11 - PLANETAS TERRESTRES

### 11.1. Introdução

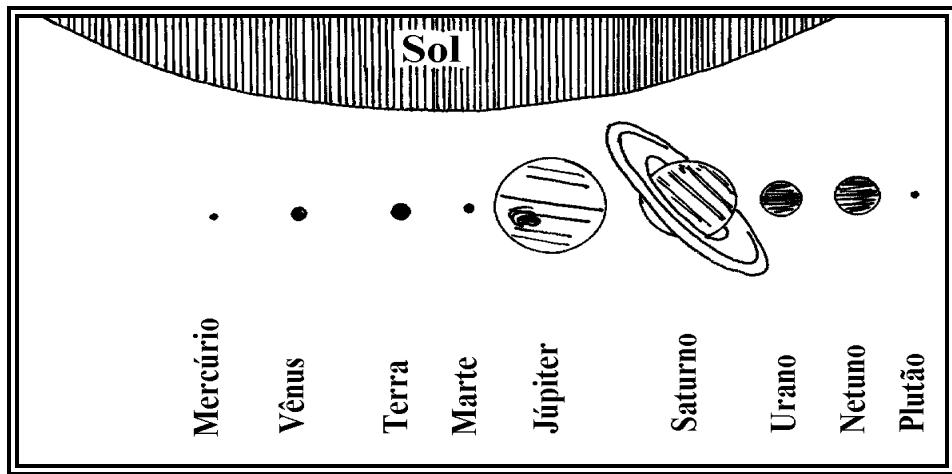
Desde que as dimensões e composição exatas dos planetas se tornaram conhecidas, graças às sondas espaciais, ficou evidente que eles podem ser divididos em classes muito diferentes entre si, como podemos ver pela tabela comparativa, abaixo:

nome	distância ao Sol (UA)	diâmetro (km)	densidade (g/cm <sup>3</sup> )	composição
Mercúrio	0,4	4.900	5,4	metais, rochas
Vênus	0,7	12.100	5,2	metais, rochas
Terra	1,0	12.700	5,5	metais, rochas
Marte	1,5	6.800	3,9	metais, rochas
Júpiter	5,2	143.900	1,3	gás (H <sub>2</sub> , He)
Saturno	9,5	120.500	0,7	gás (H <sub>2</sub> , He)
Urano	19,2	51.100	1,3	gás (H <sub>2</sub> , He)
Netuno	30,1	50.500	1,6	gás (H <sub>2</sub> , He)
Plutão	39,5	2.300	2,1	gelo (N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )

*Tabela 11.1. Características dos planetas.*

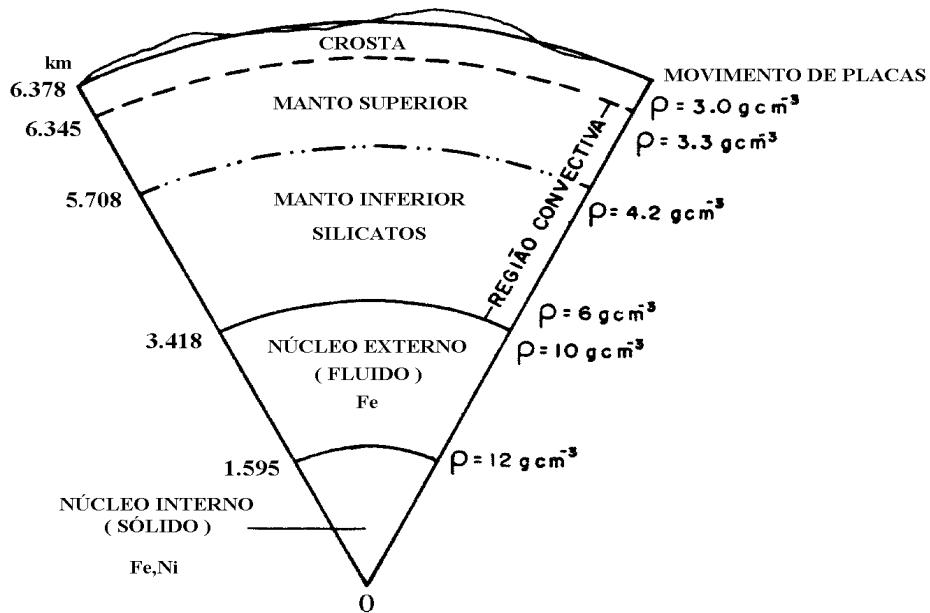
Na tabela 11.1, vemos que os quatro primeiros planetas são pequenos e feitos de material mais denso, ao passo que os quatro seguintes são grandes, e compostos de material mais volátil. O último, Plutão, é estranho aos dois grupos; talvez seja o único representante de um grupo à parte.

A classificação mais aceita sobre os corpos que compõem o sistema solar é: estrelas, das quais temos uma representante, o Sol; planetas, dos quais dispomos de nove, que por sua vez podem ser subclassificados em terrestres ou rochosos (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), jovianos ou gasosos (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) e plutonianos ou gelados (Plutão); e os pequenos corpos: asteróides, que são corpos com órbita independente em torno do Sol, originados no cinturão entre Marte e Júpiter; satélites, que orbitam os planetas, e dos quais conhecemos 63; e cometas, que são feitos de gelo e se concentram nas fronteiras do sistema solar, formando uma imensa nuvem, que deve contar com trilhões desses corpos.



*Figura 11.1. Dimensões relativas entre os planetas e o Sol.*

Aqui, trataremos de planetas terrestres. A família do planetas terrestres é composta por quatro planetas desse tipo, com características comuns: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Estes planetas são densos (sua densidade varia de 3,9 gramas por centímetro cúbico, no caso de Marte, a 5,5 no caso da Terra).

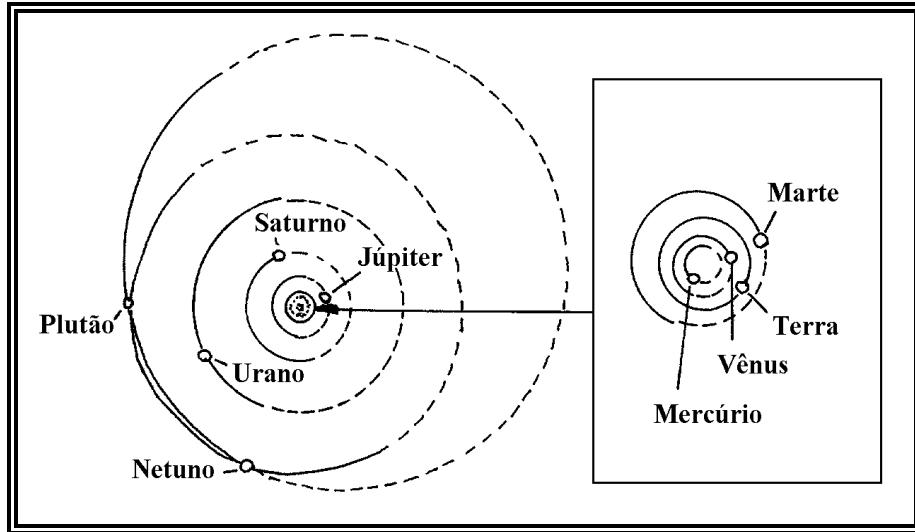


*Figura 11.2. Estrutura interna da Terra, típica dos planetas rochosos.*

A sua composição é preponderantemente de rochas e metais, possuem crosta sólida e contém pouquíssima matéria em estado gasoso; suas atmosferas são muito finas e praticamente sem importância em relação ao resto do planeta

O motivo pelo qual são constituídos dessa maneira é a sua proximidade com o Sol. Quando o sistema solar se formou, a maior parte da matéria que o formava era de gás

hidrogênio e hélio. A um certo tempo, a nuvem que se tornará o nosso sistema entrou em colapso, e o seu centro se transformou em uma estrela. O que aconteceu em seguida é que o Sol simplesmente soprou os gases leves para a parte externa do sistema solar, e o que sobrou foram apenas uns restos de rochas e metais, que formam agora os planetas terrestres, sobre os quais entraremos em detalhes a seguir.



*Figura 11.3. Órbitas dos planetas do sistema solar.*

## 11.2. Mercúrio

Mercúrio é o menor dos planetas terrestres e o mais próximo do Sol, o que o torna um planeta bastante quente. A temperatura máxima de Mercúrio, que é atingida quando este planeta atinge seu ponto mais próximo do Sol, é de 430 graus Celsius. No entanto, este não é o planeta mais quente do sistema solar. Este planeta não tem atmosfera, não havendo, assim, nenhum gás que possa armazenar e conservar o calor durante a noite mercuriana, tanto por causa do calor do Sol, que acelera as moléculas e átomos leves, como por causa da baixa gravidade do planeta. Como consequência, a temperatura desce a -180 graus, pouco antes do nascer do Sol. Este planeta tem então o recorde de amplitude térmica do sistema solar: em um ponto no equador, a temperatura pode variar 600 graus em um dia mercuriano de 60 dias terrestres.

A órbita de Mercúrio é bastante excêntrica, pois no periélio sua órbita chega a 46 milhões de quilômetros do Sol, contra 70 milhões no afélio, fato este que causa um efeito pronunciado sobre suas temperaturas de superfície. Mercúrio possui um ano de 89 dias terrestres e um período de rotação de 59 dias, o que quer dizer que, quando gira duas vezes em torno do Sol, deu três voltas em torno de si mesmo. Assim, Mercúrio, no periélio, chega a dois terços da distância que o separa do Sol no afélio, e possui um dia que é de dois terços a duração de seu ano. Esta coincidência é consequência da influência gravitacional do Sol, pela ação do efeito de maré. O Sol, gigantesco, impõe marés sólidas a esse planeta, travando a sua rotação pelo atrito gerado entre as camadas de Mercúrio. Um fenômeno parecido ocorre entre a Lua e a Terra.

Até março de 1974, quase nada se conhecia sobre esse planeta, quando a sonda Mariner 10 sobrevoou Mercúrio pela primeira vez. Suas fotografias revelaram um planeta repleto de crateras, e desde então ele foi considerado como sendo similar à Lua.

Pelo lado de fora, ele é muito parecido com a Lua, ou seja, cquivado de crateras de impacto. Possui crateras enormes, chamadas de bacias. A maior delas é a bacia Caloris, com 1.300 quilômetros de diâmetro. É o acidente mais impressionante de Mercúrio: as proporções gigantescas de Caloris são a marca do impacto de um asteróide excepcional, da ordem de 30 quilômetros, talvez. O estrago que esse asteróide causou foi tão grande que criou cadeias de montanhas concêntricas, formando anéis em torno de Caloris. Do outro lado de Mercúrio, as ondas de choque se propagaram a ponto de criar fraturas, resultado da concentração das ondas sísmicas do impacto. Suas maiores crateras são chamadas de Rodin, Goethe, Tolstoi e Beethoven, cada uma com centenas de quilômetros de diâmetro. Suas demais formações são as planícies, como Borealis Planitia e Subkou Planitia, e escarpas, como Santa Maria Rupes e Discovery Rupes.

Mercúrio é bastante denso, com uma densidade de 5,4 gramas por centímetro cúbico. Isto quer dizer que possui um núcleo muito denso e grande, provavelmente feito de ferro e níquel. Sua composição explicaria a existência de fendas em sua superfície: nos estágios iniciais de formação desse planeta, ele era incandescente, e, à medida que foi perdendo calor para o espaço, o metal encolheu e a crosta desabou, provocando fendas profundas e enrugamentos.

No mais, sua superfície é coberta de poeira escura, e não possui sinais de água em movimento. Mas foram descobertas, em 1991, regiões que têm grande capacidade de reflexão, que parecem ser calotas polares, escondidas em crateras nos pólos de Mercúrio.

### **11.3. Vênus**

Vênus é o planeta mais quente do sistema solar. Possui uma atmosfera incrivelmente espessa, com nuvens muito brancas, feita de gás carbônico a 97%, e que geraram efeito estufa descontrolado. Assim, este planeta tem uma temperatura superficial de 460 graus Celsius, que é mais ou menos uniforme em todos os pontos do planeta, graças ao efeito estufa. Contém certa quantidade de enxofre, o que pode causar chuvas ácidas, de ácido sulfúrico. Essa atmosfera exerce no solo uma pressão 92 vezes maior do que na Terra, o que quer dizer que uma pessoa, exposta à atmosfera de Vênus, sem blindagens, seria esmagada.

Vênus é considerado um planeta gêmeo da terra, pois fatores importantes, tais como tamanho, gravidade, densidade são muito parecidos com os da Terra. No entanto, também existem grandes diferenças entre estes dois planetas: Vênus não possui mares, e possui uma crosta relativamente estática, que evolui como uma única placa tectônica. E ainda mais importante: Vênus rotaciona em torno de si mesmo no sentido inverso ao do resto dos planetas, e seu dia (de 243 dias) é maior do que seu ano (de 225 dias). Este é um fato que ainda não possui explicação razoável, mas provavelmente está relacionado com fatos ocorridos durante a origem deste planeta.

Graças à sondas com radar, foi possível compor mapas precisos de sua superfície, porque a densa atmosfera não permite sua observação direta. Foi descoberto que planícies cobrem 70% da superfície de Vênus, enquanto depressões ocupam 20% e planaltos e montanhas ocupam 10% da superfície total deste planeta. Conhecem-se três maciços principais, batizados de Afrodite, Ishtar e Beta.

A Terra de Ishtar é um grande platô, situado perto do pólo norte de Vênus, e em sua parte ocidental encontra-se a cadeia Maxwell de montanhas, o ponto culminante de Vênus, com 11 mil metros acima do nível médio venusiano. Outro platô, ainda mais extenso, a Terra de Afrodite, possui 9.600 quilômetros de largura, se localiza perto do equador, e possui alguns picos com 8 quilômetros de largura. A partir de sua extremidade oriental, estende-se um grupo de grandes canyons (chamados de "chasmas") por cerca de 5.000 quilômetros. Alguns deles fendas a crosta a uma profundidade de 2,9 quilômetros abaixo do nível médio do planeta, como é o caso do mais profundo, Artemis Chasma.

Recentemente, a missão Magalhães realizou um mapeamento mais completo da superfície de Vênus, revelando que a crosta deste planeta é basicamente de origem vulcânica. Montanhas, como Ozza Mons e Theia Mons mostram indícios de atividade recente, por exemplo. A sonda Magalhães revelou uma grande variedade de tipos de relevo existente em Vênus, como a maior cratera desse planeta, Mead, diâmetro de 275 km, ou estranhos domos em forma de panqueca com um buraco central em Alfa Regio (que são vulcões, cuja lava fina sai por este orifício), ou Eistla Regio, um terreno elevado repleto de fraturas, chamado de Tesserae, ou ainda o canal Hildr, de 7.000 km de extensão. Os resultados dessa missão ainda estão sendo estudados, e mais novidades sobre Vênus devem surgir no futuro.

## 11.4. Terra

A Terra é o planeta que se encontra à distância certa ao Sol para ter uma enorme quantidade de água em estado líquido, na forma de rios, lagos e mares. Sua temperatura e pressão propicia a existência do ponto triplo da água, ou seja, a água pode ser encontrada nos três estados, com pequenas variações no ambiente.

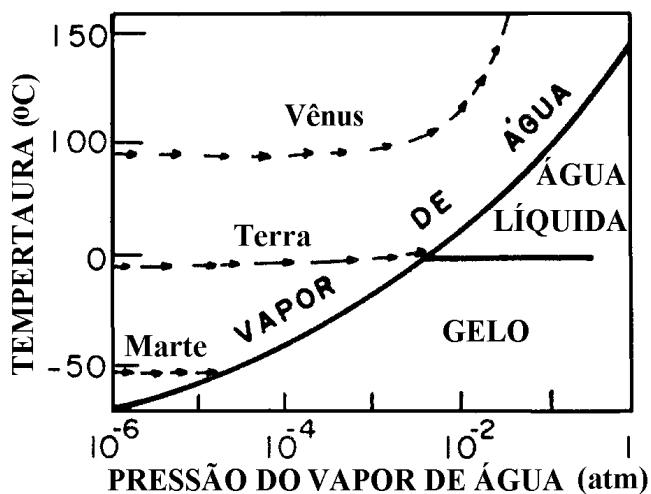


Figura 11.4. O ponto triplo da água.

Embora a molécula da água seja leve, a Terra possui gravidade maior e é fria o suficiente para que a água não escape do planeta. É justamente a água que possibilitou o aparecimento da vida na Terra. É a água, junto com o vento, a responsável pela erosão, causadora do desgaste e destruição da maioria das crateras da Terra. As crateras são a marca registrada em todos os outros planetas terrestres, inclusive a Lua. Atualmente, todas as 200 crateras ainda perceptíveis de nosso planeta sofrem pesadamente com a erosão, e apenas as mais jovens, como a cratera meteorítica do Arizona, de 50.000 anos de idade e 1,2 km de largura, estão bem definidas. A maior delas, como a de Chicxulub, no México, que possui mais de 200 km de largura, só foi descoberta recentemente (em 1991), graças a medições gravimétricas do solo da região, já que ela está completamente soterrada. Acredita-se que foi o impacto causador dessa cratera o responsável pelo desaparecimento dos dinossauros, já que seu tamanho é grande o suficiente e sua idade é a correta (65 milhões de anos).

Outro fenômeno interessante neste planeta é a deriva continental. A crosta da Terra é fina, e seu interior é suficientemente aquecido para que existam placas tectônicas, que se chocam entre si, provocando cadeias montanhosas de enrugamento, como o Himalaia e os Alpes, fenômeno que não se repete em nenhum outro planeta. Há centenas de milhões de anos atrás, todos os continentes estavam reunidos num só, chamado Pangea, e consequentemente, o único oceano existente se chamava Panthalassa. Esse fenômeno se repete periodicamente, e no futuro os continentes deverão reunir-se novamente, num fenômeno cíclico. No futuro mais imediato, no entanto (ou seja, dezenas de milhões de anos), a Califórnia deverá separar-se do continente americano, o Mediterrâneo e o Mar Vermelho encolherão, a Austrália se aproximarará da Ásia, e a África se separará da sua região oriental, que vai desde a Etiópia até o Moçambique.

O globo terrestre apresenta ainda uma anti-simetria em relação ao equador: os continentes ocupam no hemisfério norte uma área duas vezes maior que no sul; inversamente, o pólo norte repousa no oceano, enquanto o pólo sul se localiza num continente. Esta pode ser uma explicação para o fato das tempestades no hemisfério norte serem mais violentas: os oceanos são um agente que ameniza o clima, pois a água dos oceanos absorve as variações de calor com mais rapidez que a terra dos continentes.

A essas particularidades de ordem física, acrescente-se ainda mais uma característica importante: a Terra é o único astro conhecido aonde a vida se desenvolveu. Esta é organizada predominantemente a partir de átomos leves e relativamente abundantes, principalmente o carbono. Podemos dizer que a vida na Terra é baseada em cadeias moleculares de carbono, que utilizam a água como solvente. Também sabe-se que a vida influenciou a própria Terra, pois de outro modo não haveria tanto oxigênio (21% da atmosfera) e tão pouco gás carbônico (0,03%), ao contrário de Vênus e Marte, que possuem mais de 90% da atmosfera composta de gás carbônico e quase nada de oxigênio.

### **11.4.1 A Lua**

A Lua é conhecida pelos seres humanos desde a pré-história, e sempre teve um papel importante em mitos, além de ser o corpo celeste mais próximo da Terra. No entanto, a Lua é única por vários outros aspectos. Por exemplo, sua origem é difícil de explicar, pois é grande demais em relação à Terra.

Tradicionalmente, eram consideradas três hipóteses para a formação da Lua:

- Fissão, aonde a rápida rotação da Terra teria ejetado uma grande quantidade de material, formando a Lua;
- Precipitação, aonde material já em órbita da Terra teria se reunido e criado a Lua; e
- Captura, aonde a Lua teria se formado independentemente e depois capturada pela gravidade da Terra.

No entanto, o projeto Apollo trouxe novas evidências quanto à origem da Lua, e atualmente, as três teorias anteriores foram descartadas em favor de uma nova:

- Colisão, aonde um grande objeto do tamanho de Marte teria colidido com a Terra, e o material expulso, formado a Lua.

A Lua é coberta de crateras, e não tem nem atmosfera, nem água. Possui também regiões cobertas de lava (solidificada) chamadas de mares. Esses mares são visíveis da Terra a olho nu, facilmente, como zonas escuras. As zonas claras são regiões de montanhas e crateras.

A Lua possui cadeias de montanhas, vales e, mais importante, crateras imponentes. A maior cratera do lado visível é Clavius, que tem 275 quilômetros de diâmetro. Mas as mais belas são as crateras Tycho, com 84 quilômetros, e Copernicus, com 97 quilômetros. Estas duas crateras são jovens, e ainda apresentam marcas do impacto que as formou: grandes raios, feitos de material ejetado por ocasião do choque. Mas, do lado invisível da Lua, há uma bacia de impacto (similar à bacia Caloris, de Mercúrio), chamada de Mare Orientale. Ele apresenta quatro anéis concêntricos, com diâmetros de 320, 460, 650 e 850 quilômetros, e é a formação mais impressionante da Lua.

## **11.5. Marte**

Marte é um planeta bem menor que a Terra (tem cerca de metade do seu diâmetro), mas, às vezes, é considerado mais parecido com a Terra do que Vênus. Em muitos aspectos, isso é verdade: o dia marciano possui 24,5 horas; sua inclinação axial é quase a mesma, o que quer dizer que Marte possui estações e zonas de temperatura similares às da Terra; e possui também calotas polares. A sua calota polar norte possui 850 quilômetros de diâmetro, e a calota do pólo sul, 400 quilômetros.

No entanto, existem aspectos de Marte que o tornam bastante diferente da Terra. Sua atmosfera é feita de 95% de dióxido de carbono, e a pressão do ar na superfície é 200 vezes menor que na Terra. Uma pessoa em Marte explodiria, por causa da baixa pressão. Marte também não possui água em sua superfície: ela está congelada debaixo da superfície, em forma de permafrost (um termo que se refere ao solo da Sibéria, uma mistura permanente de gelo e terra). Se colocássemos água líquida em sua superfície, ou ela ferveria e se transformaria em gás, devido à baixa pressão, ou ela congelaria, já que a temperatura média em Marte é de -27 graus Celsius. Mesmo sendo bastante fraca, a atmosfera de Marte é capaz

de sustentar nuvens, até mesmo ciclones. Na verdade, já foi observada uma gigantesca tempestade de poeira, que se expandiu até obscurecer praticamente todo o planeta. Outra curiosidade interessante é que Marte é coberto de poeira de óxido de ferro (ferrugem), que é responsável por sua famosa cor de tonalidade avermelhada.

Marte é também um planeta com grande variedade de terrenos. Possui terrenos de crateras, regiões vulcânicas, campos de dunas, planícies geladas. Uma formação notável é um gigantesco calombo em sua superfície, comparável a um continente: é a projeção vulcânica de Tharsis, um escudo geológico formado há duzentos milhões de anos atrás. É no Tharsis que estão os maiores vulcões de Marte: Arsia Mons, Ascreaus Mons, Pavonis Mons (que é o ponto culminante de Marte, com 27 quilômetros acima do nível médio), e finamente Olympus Mons, que é o vulcão mais impressionante, pois possui 550 quilômetros de diâmetro (isso faz com que ele tenha uma área equivalente ao estado de São Paulo, ou o dobro da de Portugal, por exemplo) e 23 quilômetros de altura, a contar de sua base. É o maior vulcão de Marte e de todo o sistema solar, e só está mais abaixo de Pavonis porque este se localiza em cima de um ponto mais elevado do maior continente marciano, o Tharsis.

Também foram observados canais em Marte, cavados por água em estado líquido. Parece que, quando Marte era mais jovem, possuía uma atmosfera maior, que era capaz de manter uma temperatura e pressão maiores, suficientes para manter lagos e rios. Com o tempo, Marte, por sua baixa gravidade, não foi capaz de segurar essa atmosfera, que foi perdida gradativamente para o espaço. Como consequência, a água em estado líquido sumiu, mas ainda existem os canais para registrar o passado de Marte.

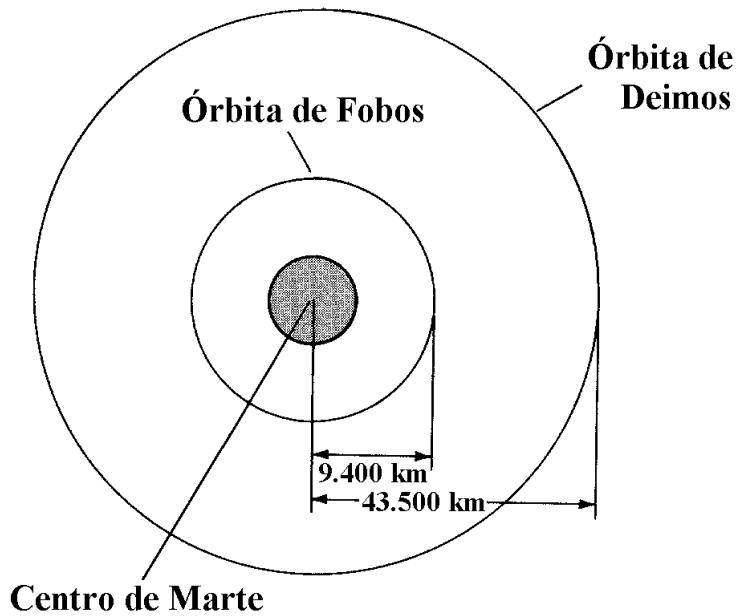
Uma outra formação impressionante é um canyon, escavado por água, que nasce no Tharsis e se estende por 4.000 quilômetros. É o Vallis Marineris, mais comprido, largo e profundo do que qualquer um encontrado na Terra. Sua largura máxima é de 350 quilômetros, com uma profundidade de 6 quilômetros.

### **11.5.1 Os satélites de Marte**

Marte possui dois satélites, ambos descobertos pelo astrônomo norte-americano Asaph Hall, em 1.877. Ele chamou-os de Fobos (medo) e Deimos (terror), duas entidades mitológicas que conduziam a carregagem de Marte, o deus da guerra. Estes satélites são bastante pequenos, e orbitam Marte a uma distância bastante pequena. Fobos, o satélite mais interno, orbita Marte a apenas 9.300 km de seu centro, mais próximo de seu planeta do que qualquer outro satélite, enquanto Deimos orbita a 23.000 km.

A superfície de Fobos é marcada por crateras. A maior delas, Stickney (em homenagem à esposa de Hall), possui 10 km de largura. Graças ao seu pequeno tamanho e gravidade, Fobos possui um formato irregular: é um elipsóide triaxial, de 20 por 23 por 28 km. Fobos também exibe uma série de fendas em sua superfície, causada possivelmente pela influência gravitacional de Marte, na forma de efeitos de maré.

Deimos, ainda menor de Fobos, é outro corpo irregular, com dimensões de 10x12x16 km. No entanto, este difere de Fobos em aspectos importantes: não possui grandes crateras e nem fendas em sua superfície. Além disso, ambos os satélites parecem estar cobertos por uma fina camada de poeira, interceptada enquanto caía em Marte.



*Figura 11.1. Satélites de Marte*

Os satélites marcianos devem ser asteróides capturados, pois é improvável que Fobos e Deimos tenham se formado na mesma época que Marte. Além disso, o grande cinturão de asteróides se situa logo depois da órbita marciana.

# **CAPÍTULO 12**

## ***Planetas Jovianos***

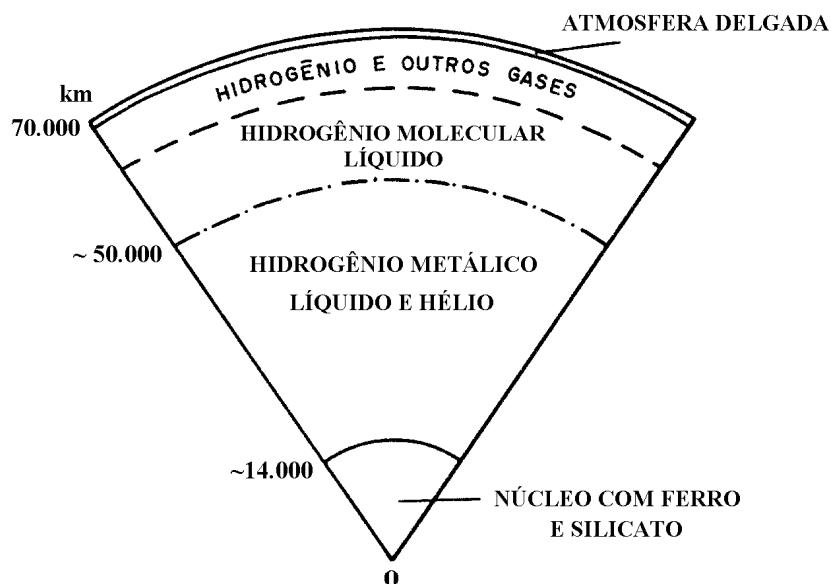
***Marcos Boehme***

## Capítulo 12 - PLANETAS JOVIANOS

### 12.1. Introdução

Existem quatro planetas grandes e compostos principalmente de gás (hidrogênio e hélio), características que os colocam na mesma família. Estes planetas são os gigantescos Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, também chamados de jovianos. Embora Plutão não seja um planeta gasoso como os jovianos, mas um planeta gelado, ele foi incluído neste capítulo.

A hipótese que explica melhor a diferença de forma e constituição dos planetas do nosso sistema nos diz que os planetas jovianos são constituídos dessa maneira por causa de sua distância do Sol. Quando o Sol acendeu, expulsou os gases e materiais voláteis para o exterior do sistema, material este que foi capturado pelos planetas mais frios. Por causa disto, Júpiter é o maior planeta do sistema solar: ele se localiza na fronteira do sistema solar aonde alguns gases voláteis se congelam, e capturou mais matéria. Na região mais externa do sistema solar, o calor do Sol não foi capaz de expulsar os gases leves, e estes planetas acumularam a matéria expulsa do interior do sistema solar. Outra característica interessante dos planetas gasosos é o fato de eles não possuírem crosta, ou seja, não possuem uma camada exterior sólida, apenas atmosfera, hidrosfera e núcleo gigantes.



*Figura 12.1. Estrutura interna de Júpiter, típica dos planetas gasosos.*

## 12.2. Júpiter

Júpiter é o maior planeta do sistema solar, maior do que todos os outros planetas, asteróides, cometas e satélites reunidos, pois possui 318 vezes a massa da Terra, e seu diâmetro é de 143.000 km. Também possui o campo magnético mais poderoso do sistema solar, depois do Sol. Essa massa toda faz com que as camadas interiores sejam pressionadas com muita força, o que faz com que, a uma certa altura, os elétrons sejam espremidos dos átomos de hidrogênio. O resultado é uma camada de hidrogênio com propriedades metálicas, o "hidrogênio metálico", jamais reproduzido na Terra, pois exige pressão de três milhões de atmosferas. Possivelmente, essa camada é a responsável pelo campo magnético de Júpiter, associado à sua rápida rotação, de apenas 9 horas e 50 minutos.

Tudo o que vemos de Júpiter é sua superfície gasosa, extremamente espessa. Ela não é um simples envoltório de gases, como na Terra, mas uma verdadeira camada do planeta, altamente complexa. O que quer dizer que é impossível pousar em Júpiter: se alguma nave atravessar a camada de nuvens, irá penetrar por milhares de quilômetros até ser esmagada pela alta pressão, ainda nas suas camadas superiores.

Portanto, podemos considerar Júpiter como um planeta gasoso, composto em 95% de gás hidrogênio e 4% de hélio (portanto, é deformável por sua própria rotação), e que gira muito rapidamente, a cada 9 horas e 51 minutos. O resultado é que Júpiter tem uma forma achatada, facilmente visível ao telescópio. Seu achatamento é de 6%, ou seja, seu eixo equatorial é 6% mais comprido do que o eixo polar.

Em Júpiter, podemos ver as nuvens da atmosfera se organizando em faixas claras e escuras. As claras são chamadas de "zonas" e as escuras de "cinturões". Os mais largos são as brilhantes zonas equatoriais norte e sul, que juntos ocupam um oitavo da superfície de Júpiter, divididos por uma estreita faixa escura, o cinturão equatorial. Mas a marca mais proeminente de Júpiter é o cinturão equatorial norte, marcadamente escuro e destacado do disco do planeta, e além disso é extremamente ativa, frequentemente apresentando manchas ou projeções escuras para as zonas claras vizinhas. Seu irmão do hemisfério oposto, o cinturão equatorial sul, é turbulento e variável, além de possuir a famosa Grande Mancha Vermelha. Também são dignos de nota as zonas tropicais sul (que é fortemente perturbado, e às vezes deformado, pela Grande Mancha Vermelha) e norte e os cinturões temperados sul e norte.

Os cinturões e zonas não formam faixas perfeitamente uniformes em torno do planeta, e variam de largura de um lugar para outro. Além disso, podem aparecer manchas, claras ou escuras, ao longo dos cinturões, persistindo por períodos maiores ou menores, formando um panorama em contínua mutação.

No entanto, existem compostos de outras substâncias em Júpiter, que fazem com que este planeta apresente manchas e cinturões coloridos para um observador. Há quantidades bastante razoáveis de metano, amônia, etano e acetileno, por exemplo. Para complicar mais ainda, os planetas gasosos não rotacionam como um corpo sólido, mas sim de maneira diferencial, ou seja, certas regiões giram mais rápido do que outras, fazendo com que certos compostos se concentrem em certas latitudes e se espalhem, formando os cinturões. Isto torna a mecânica atmosférica de Júpiter ainda mais complexa.

Foi observada, há trezentos anos atrás, uma irregularidade no cinturão equatorial sul, uma imensa mancha vermelha na superfície de Júpiter, que existe até hoje, enquanto outras manchas, de colorações branca, preta ou vermelha têm um tempo de vida bem menor, da ordem de meses ou anos. Atualmente, sabe-se que a Grande Mancha Vermelha é uma regiõ

de alta pressão, que rotaciona contra o sentido horário, sugando material de níveis inferiores por dentro e expelindo por cima e por fora. Os detalhes exatos deste fluxo de material ainda são desconhecidos. No entanto, se sabe que sua cor é devida aos gases de amônia e metano, que refletem a cor vermelha e absorvem as outras. Esta mancha é extraordinária, não só pelo seu tamanho (três vezes mais extensa que a Terra, com 43.000 km de comprimento por 13.000 de largura), mas também por ser a única mancha de longa duração

Outro fenômeno percebido em Júpiter é o fato dele emitir mais calor do que recebe do Sol. Será que esta energia extra significa que há fusão nuclear no seu interior, e em breve ele se transformará em uma estrela? Na verdade, não. A Terra e outros planetas também fazem isto, devido ao calor residual que os planetas retêm desde a formação do sistema solar. Para que Júpiter se transformasse em uma estrela, transformando o nosso sistema em um sistema binário, seria necessário que Júpiter tivesse uma massa cerca de cinquenta vezes maior, para gerar fusão nuclear em seu centro.

### **12.2.1 Sistema de anéis de Júpiter**

Outro resultado inesperado da missão Voyager foi a descoberta de anéis de partículas em torno de Júpiter, similar aos existentes em Saturno e Urano. É um sistema de anéis bastante modesto, visto que só possui três componentes e é feito de poeira microscópica, ao invés de grãos e blocos de gelo como os de Saturno. O anel principal reúne a maior quantidade de material e é o mais visível, enquanto que os demais são mais opacos e têm seu material bastante espalhado.

nome	distância ( $10^3$ km)	largura ( $10^3$ km)
Halo	100,0 - 122,8	22,8
Principal	122,8 - 129,2	6,4
Gossamer	129,2 - 214,2	85,0

*Tabela 12.1. Os anéis de Júpiter.*

### **12.2.2 Sistema de satélites de Júpiter**

Júpiter tem dezesseis satélites, que podem ser divididos em quatro grupos: o dos quatro mais próximos, liderados por Amaltéia, todos pequenos; o dos quatro satélites descobertos por Galileu, todos de grandes dimensões, dos quais três são maiores que a Lua; e mais dois grupos de quatro satélites cada. Acredita-se que estes dois últimos grupos se formaram de asteróides que se despedaçaram, pois os satélites de seus grupos são muito próximos entre si e possuem órbitas parecidas.

O grupo mais interno é composto dos satélites Amaltéia, o maior, descoberto em 1892, e dos satélites Métis, Adastréia e Tebe, descobertos em 1980 pelas sondas Voyager. São todos satélites pequenos e irregulares, pois sua baixa massa e gravidade não são capazes de tornar seus corpos muito esféricos. Os mais próximos, M étis (com cerca de 40 km de diâmetro) e Adrastéia (dimensões de 26 por 20 por 16 km), estão próximos dos pequenos anéis de Júpiter, interferindo na órbita de suas partículas. São, portanto, duas "luas pastoras" dos anéis.

Amaltéia, descoberto no final do século XIX, foi o último satélite descoberto por observação visual direta (os demais foram descobertas comparando fotografias ou com sondas). Sua cor é avermelhada, provavelmente devido a enxofre expelido pelos vulcões do satélite Io, e sua forma é muito alongada (262x146x134 km), deformação causada pelo forte puxão gravitacional de Júpiter. O quarto satélite interno é Tebe, com cerca de 100 km de diâmetro e pouco se conhece sobre ele.

O próximo grupo, o dos satélites galileanos, é constituído por quatro satélites grandes e bem conhecidos, descobertos por Galileu Galilei em sete de janeiro de 1610. Por ordem de afastamento, são Io, Europa, Ganimedes e Calisto, que são nomes de personagens mitológicos que atraíram as paixões amorosas de Júpiter; Io, Europa e Calisto eram belas ninfas e Ganimedes um belo rapaz.

Io possui 3.632 km de diâmetro, ligeiramente maior que a nossa Lua. Este satélite é fortemente influenciado gravitacionalmente por Júpiter, de um lado, e pelos demais satélites galileanos, de outro; por isso, sua superfície sofre grande tensão, e a fricção resultante produz calor suficiente para que seu núcleo seja liquefeito. Consequentemente, esse calor é liberado na crosta através de vulcanismo. Uma das primeiras fotografias deste satélite mostra uma nuvem de material em forma de guarda-chuva com 280 km de altura, ejetada por um dos grandes vulcões ioanos; suas explosões são tão violentas que um mapa de Io estaria irreconhecível em poucas décadas. Io apresenta uma coloração vermelho-alaranjada, devido ao enxofre expulso do interior que recobre a maior parte de sua superfície. Os maiores vulcões de Io são Pele (com 1.200 km de largura), Loki e Prometeus.

A lua seguinte, Europa, é a menor das luas galileanas, e é também a única menor que a nossa Lua, possuindo 3.126 km de diâmetro. Estranhamente, este satélite praticamente não possui crateras ou relevo vertical, possuindo uma superfície bastante lisa, com linhas escuras se entrecruzando e formando um padrão bastante complicado. Suas formações predominantes no relevo são as "linea" (uma linha escura ou brilhante, fina ou curva), "flexus" (marcas alongadas e curvas) e "macula" (uma mancha escura, às vezes irregular). Acredita-se que Europa apresente este relevo devido a uma crosta de gelo, bastante fraturada, com as fraturas sendo preenchida por gelo "sujo", misturado com material escuro.

O terceiro satélite galileano é Ganimedes, o maior dos satélites de Júpiter e do sistema solar, é maior até do que Plutão e Mercúrio, com 5.268 km de diâmetro. A primeira impressão que se tem de sua superfície é a sua semelhança com a Lua, pela grande quantidade de crateras de vários tipos. No entanto, sua superfície é composta, em grande parte, de gelo, possuindo menos crateras que a Lua e com um terreno menos marcado e mais homogêneo. Em geral, existem dois tipos de relevo em Ganimedes: o terreno densamente craterado, mais antigo e escuro, porém formando regiões isoladas entre si (ilhas de crateras); e o terreno mais recente e claro, formado por faixas de cavidades longas e paralelas, como se extensas regiões de Ganimedes tivessem sido aradas. Para descrever estas regiões, foi criado o termo "sulcus"; além da Terra, Ganimedes é o único mundo do sistema solar que apresenta falhamento tectônico lateral. A maior das regiões escuras deste satélite é Galileo Regio, que exibe muitas crateras e cobre cerca de um sexto de toda a sua superfície (com um diâmetro médio de 3.200 km), enquanto que o maior "sulcus" é Tiamat Sulcus, que mede 2.000 km de comprimento por 150 de largura.

O último dos galileanos é Calisto, cuja superfície é bastante escura e composto em maior parte de gelo. Calisto possui 4.806 km de diâmetro, quase do tamanho de Mercúrio. Seu relevo parece ser bastante simples: gelo solidificado, totalmente coberto de crateras antigas. Na verdade, Calisto parece ser o corpo celeste mais pesadamente bombardeado que se conhece, com pouquíssimas alterações geológicas que apagassem as crateras. Entretanto, existem conjuntos de vários anéis concêntricos, dos quais o mais impressionante é Valhalla. Valhalla é uma vasta estrutura, com uma mancha circular e brilhante no centro com 600 km de diâmetro, cercada por dezenas de anéis, dos quais o mais exterior possui 3.000 km de diâmetro. Esta foi a primeira bacia de impacto encontrada no sistema jupiteriano, sendo comparada a Mare Orientale na Lua, Bacia Caloris em Mercúrio e Hellas em Marte. O corpo que caiu em Calisto para produzir esta formação esteve próximo de penetrar a crosta do satélite (se é que não o fez), causando derretimento do gelo circundante e ondas de choque, com um recongelamento relativamente rápido, conservando os anéis como resultado das ondas de choque. Existem outras formações semelhantes, como Asgard, com metade de seu tamanho, mas nada que rivalize com Valhalla.

Dos oito satélites restantes, todos são bastante pequenos, descobertos através de fotografias. Os quatro primeiros possuem órbitas que os deixam de 11,1 a 11,7 milhões de km de Júpiter, cerca de 30 graus de inclinação ao equador de seu planeta, todos orbitando no mesmo sentido da rotação de Júpiter. Na ordem, eles são Leda, com 10 km, Himalia (o maior), com 170 km, Lisitéia, com 24 e Elara, com 80.

Os quatro exteriores possuem órbitas que os deixam de 20,7 a 23,7 milhões de km de Júpiter, cerca de 150 graus de inclinação ao equador jupiteriano e todos orbitando no sentido contrário ao da rotação de Júpiter. Por ordem de distância, eles são Ananke, com 20 km, Carme, com 30 km, Pasífae, com 36 km e Sínope, com 28 km de diâmetro.

Estas duas famílias de satélites possuem características orbitais bastante semelhantes entre si, e a grande distância em relação à Júpiter torna difícil afirmar que os seus oito satélites exteriores se formaram ali mesmo. Atualmente, se crê que estes sejam corpos capturados, cada família originária de um corpo anterior que se partiu em quatro pedaços, antes ou depois de sua captura por Júpiter. É possível que, num futuro distante, o Sol os arranque do controle jupiteriano, dando-lhes um novo destino, ainda desconhecido.

### **12.3. Saturno**

Assim como Júpiter, Saturno possui uma rotação rápida (de 10 horas e 40 minutos) e diferencial, o que causa a formação de faixas e manchas em sua atmosfera. Sua taxa de achatamento é ainda maior, de 11%, por causa de sua densidade muito baixa (o que quer dizer que seu núcleo, feito de rochas e metais, é pequeno). No entanto, como está mais distante do Sol, é menos colorido e turbulento, pois é em parte a energia do Sol que provoca a circulação atmosférica. Também apresenta cinturões, mas estes têm uma coloração pouco distinta e fraca, tendendo para o amarelado. Os dois cinturões mais evidentes são os equatoriais norte e sul, e os cinturões temperados norte e sul são mais discretos. A aparência quase uniforme de Saturno é devida à uma camada de névoa sobre o topo das nuvens subjacentes. Podem ser observadas grandes manchas temporárias em Saturno, mas elas são raras em comparação, e a imagem mental que se costuma fazer desse planeta é de uma grande bola alaranjada.

Recentemente, entre 1990 e 1991, foi observada a existência de um fenômeno interessante: o surgimento de uma imensa mancha branca, que se expandiu até cobrir um

terço do equador de Saturno (ou seja, cerca de 200.000 quilômetros de comprimento). Depois de algum tempo, começou a encolher e atualmente não é mais visível.

### **12.3.1 Sistema de anéis de Saturno**

De todos os planetas, Saturno é o mais parecido com Júpiter, por causa da composição, tamanho e vários outros fatores. No entanto, existe algo que torna Saturno diferente: são os espetaculares anéis de Saturno, os quais fazem que este planeta seja apelidado de "jóia do sistema solar". Vistos num bom telescópio, é possível perceber os anéis A e B e o vazio entre eles, a divisão de Cassini. Os anéis se situam no plano equatorial do planeta, e são feitos de inúmeros blocos e pedaços de gelo, cada um deles se comportando como um mini-satélite diferente.

Posteriormente, foram sendo descobertos mais anéis menores, e as sondas espaciais revelaram que o comportamento dos anéis é bastante complexo, com cada um dos anéis grandes divididos em uma enorme quantidade de sub-anéis internos. O mais largo e brilhante é o anel B, que possui uma largura de mais de 25.000 km, logo seguido pelo anel A, mais distante do planeta, com quase 15.000 km de largura. O anel C é mais fraco que os dois anteriores, mas também é bastante largo, e é mais próximo de Saturno que o anel B. Além desses anéis principais, existem os anéis pequenos: o anel D, composto de partículas que orbitam pouco acima da atmosfera de Saturno, muito pouco espesso e fraco; além dos anéis principais, o anel F, que é fino e sofre a interferência de satélites próximos, como Prometeu e Pandora; depois, o anel G, mais tênue que F, se situa entre a distância que separa o satélite Mimas dos satélites Janus e Epimeteus; e finalmente, há o anel E, que é o mais largo dos anéis, mas não é brilhante o suficiente para ser visto da Terra, é composto de poeira, e envolve a órbita do satélite Enceladus.

A explicação para a origem dos anéis, e para todos os sistemas de anéis em geral, é que um objeto (como um satélite, cometa ou asteróide) se aproximou o suficiente para sofrer um processo de disruptão, ou seja, foi despedaçado pela força gravitacional de Saturno. Considerando a grande extensão e massa dos anéis de Saturno, o objeto que os originou deve ter sido bastante grande. Logo após o despedaçamento, os fragmentos do corpo original devem ter circundado Saturno em vários planos, até que, pouco a pouco, o efeito de maré do planeta forçou os fragmentos a orbitar Saturno no seu plano do equador, formando uma estrutura fina, de apenas cerca de 150 metros de grossura.

nome	distância ( $10^3$ km)	largura (km)
Anel D	66,97 - 74,5	7.500
Divisão Guerin	74,5	50
Anel C	74,51 - 91,9	17.500
Divisão Maxwell	87,48	270
Anel B	91,9 - 117,52	25.500
Div. Huygens	117,7	430
Divisão Cassini	119,76	4.450
Anel A	122,17 - 136,81	14.600
Divisão Encke	133,57	328
Divisão Keeler	136,53	31
Anel F	140,21	400
Anel G	165,8 - 173,8	8.000
Anel E	180 - 480	300.000

*Tabela 12.2. Os anéis de Saturno.*

### 12.3.2 Sistema de satélites de Saturno

Depois dos satélites galileanos, foi descoberto um satélite em Saturno, pelo astrônomo holandês Christian Huygens. Era um satélite bastante grande, e como o deus Kronos (ou Saturno, pai de Zeus/Júpiter) pertencia ao grupo de deuses chamado de titãs, o novo satélite foi chamado de Titã. Na medida em que se aperfeiçoaram os telescópios, corpos menores e mais obscuros puderam ser vistos orbitando Saturno. Entre 1670 e 1680, o italiano Giovanni Cassini descobriu mais quatro satélites, Tétis, Dione, Réia e Iapeto, titãs irmãos de Kronos.

O sistema saturniano é dominado por um grande satélite, Titã, quatro médios, Réia, Iapeto, Dione e Tétis, e mais treze pequenos: Encélado, Mimas, Hipérion, Febe, Janus, Prometeu, Epimeteu, Pandora, Atlas, Helene, Telesto, Calipso e Pã. Existem ainda indícios de mais cinco satélites de Saturno, que estão à espera de confirmação.

Quanto aos aspectos físicos destes satélites, os quatro primeiros, Pã, de 20 km, Atlas, de 35 km, Prometeu, de 120 km e Pandora, de 100 km de diâmetro, que foram descobertos

pela Voyager, são típicos satélites pequenos, próximos o suficiente para interferir gravitacionalmente com os anéis A e F.

A seguir, encontramos Janus, de 190 km, e Epimeteus, de 110 km, que também são satélites pequenos, mas, estranhamente, compartilham de órbitas quase iguais. Na verdade, Epimeteus orbita Saturno a 50 km de distância a mais que Janus. A cada quatro anos, eles se aproximam, e Janus ultrapassa Epimeteus, sem colidir. Aparentemente, a fraca gravidade de Epimeteus acelera Janus o suficiente para que Janus desvie o suficiente para evitar a colisão, através de um curioso mecanismo de troca de órbitas, ou estes dois corpos já teriam desaparecido.

Mimas, o satélite seguinte, já foi observado da Terra, se transformando em um satélite "clássico". Possui 400 km de diâmetro, e sua formação mais interessante é a grande cratera Herschel, de 130 km de largura, que apresenta paredes de 5 km de altura e um pico central de 6 km de altura, tão grande que deve representar o máximo que este satélite poderia suportar sem ser destruído, pois representa um terço do diâmetro do satélite. Sua superfície é extremamente povoada por crateras menores, e apresenta fendas, como Camelot Chasma e Avalon Chasma.

Depois, há Encélado, com 500 km. Não apresenta grandes formações, mas é repleto de pequenas crateras de 10 a 30 km de largura. Por causa deste detalhe, é possível que haja um mecanismo de renovação da superfície, que apague as formações antigas e alise o terreno. Esta teoria é reforçada pela existência de planícies, aonde o terreno é relativamente liso e novo, e pela existência de falhas alongadas, por onde poderia sair o material novo, como Harran Sulci e Samarkand Sulci.

Tétis, o satélite seguinte, possui 1.050 km de diâmetro, sendo portanto de tamanho médio. Apresenta a grande cratera de Odysseus, de 400 km de largura, porém bastante achatada, além de Penélope, Telêmaco, Ajax e Circe. Possui também uma grande fenda, Ithaca Chasma, que passa desde o pólo norte até as vizinhanças do sul e não possui nada de semelhante em outros corpos do sistema solar. Na órbita de Tétis, também residem os satélites coorbitais de Telesto, de 30 km e Calipso, de 25 km, que ocupam os pontos gravitacionais de Lagrange, 60 graus adiante (Telesto) e 60 graus atrás (Calipso).

A seguir, temos Dione, com 1.120 km. O brilho desse satélite não é uniforme, pois possui um lado duas vezes mais brilhante que outro. Sua maior formação é Amata, que possui 240 km de largura, de natureza incerta, que é o centro de um sistema de raios brilhantes e extensos, provavelmente resultantes de material expulso de seu interior, como Carthage Linea, Padua Linea e Palatina Linea. Dione também possui um satélite coorbital, Helene, de 35 km.

Réia, com 1.530 km, é o segundo maior membro do sistema saturniano. A exemplo de outros satélites, Réia é densamente craterado; no entanto, não possui grande quantidade de grandes crateras, das quais só se observa Izanagi, e algumas falhas de terreno.

Só então chegamos a Titã, o maior satélite de Saturno, e o segundo maior do sistema solar, graças a seus 5.150 km de diâmetro, composto metade por gelos diversos e metade por rochas. Sua gravidade é suficientemente forte para ter mantido uma atmosfera, o único satélite do sistema solar a possuí-la. Essa atmosfera é 94% de nitrogênio, 6% de hélio e traços de metano, etano, propano, acetileno e outros compostos, e sua pressão ao nível do chão é 1,6 vezes superior à da Terra, e 200 km de espessura. Titã não apresenta superfície visível, e tudo o que se pode ver é a sua grossa atmosfera, de cor alaranjada. A temperatura em Titã é próxima ao ponto triplo do metano, o que sugere que este composto possa ser encontrado nas formas sólida, líquida e gasosa, formando oceanos. Medições de radar a partir da Terra

sugerem que este satélite apresente continentes de tamanho significativo, tornando-o um satélite altamente complexo e interessante.

Além de Titã, encontramos Hipérion, bastante irregular, com diâmetro variando de 360 a 240 km. Foi proposto que sua forma irregular é resultado de uma colisão, razoavelmente recente.

Iápeto, o último dos satélites médios, possui 1.440 km, e uma grande variação de brilho, conforme o lado observado. Seu lado claro é cerca de dez vezes mais brilhante que seu lado negro, possivelmente coberto de material expulso de outro satélite através de impacto, ou vulcanismo, mas há muita controvérsia sobre o assunto. Nada foi observado do lado escuro, enquanto que do lado claro foram registradas algumas crateras, como Othon e Ogier, além da planície de Roncevaux Terra.

O limite exterior do sistema de Saturno é Febe, com 200 km de diâmetro. Esse satélite, por ser distante, é também pouco conhecido, mas, pela sua órbita irregular, deve ser um asteróide capturado.

## 12.4. Urano

Wilhelm Herschel, nascido na Alemanha, mas que se tornou súdito inglês, era um gênio autodidata da astronomia, e construiu os melhores telescópios existentes na época. Então, em 13 de março de 1781, Herschel observou um objeto em forma de disco (e não em forma de ponto, como uma estrela). Inicialmente, ele pensou que se tratava de um cometa, mas não havia nebulosidade alguma que o caracterizasse, e a imagem apresentava uma borda nítida. Uma vez feitas as observações necessárias para o cálculo da órbita, ficou claro que esta era quase circular e se localizava além de Saturno. Isto obrigou Herschel a aceitar que havia descoberto, por acaso, um novo planeta, pela primeira vez na história.

Herschel escolheu, para o novo planeta, o nome de Georgium Sidus, ou seja, estrela de Jorge, o rei inglês da época, do qual Herschel era súdito. No entanto, astrônomos de outros países não viam por que um planeta deveria receber seu nome de um monarca inglês. Alguns astrônomos ingleses sugeriram o nome do próprio Herschel, mas isto também não mereceu aprovação dos outros. Foi decidido que o nome do novo planeta deveria seguir a tradição da mitologia grega, sendo escolhido o nome de Urano, que era o pai de Saturno. Verificou-se que Urano é visível a olho nu, embora não muito facilmente, e sua posição foi registrada pelo menos 19 vezes, por vários astrônomos, mas nunca ninguém notou que ele mudava de posição de noite para noite, pensando que se tratava de uma simples estrela. E assim, a glória da descoberta cabe exclusivamente à Herschel.

Urano também é um planeta gasoso, mas não mostra sinais de cinturões de gás. Sua atmosfera é pouco ativa, bem mais "sossegado", por assim dizer, do que Júpiter e Saturno, talvez por causa de seu afastamento do Sol e temperatura menor, conjugado com o fato de que não possui uma fonte intensa de calor interno. Tudo o que foi detectado, no que diz respeito à circulação atmosférica, é uma nuvem branca, razoavelmente extensa, perto de seu equador. Sua coloração é verde-azulada, devida à proporção de metano em sua atmosfera.

Um mistério que cerca Urano é a grande inclinação de seu eixo de rotação, de 98 graus, o que faz com que esse planeta pareça "rolar" em sua órbita; pode ser chamado de o "planeta

deitado". Este fenômeno ainda não possui uma explicação razoável, e a única teoria que os astrônomos podem formular é a de uma colisão na etapa de formação desse planeta, que tenha desviado o eixo de rotação de Urano. É possível que Urano, e seu irmão quase gêmeo, Netuno, tenham se formado do ajuntamento de corpos gelados, e a colisão de um deles com Urano, ainda em formação, tenha desviado seu eixo.

Um detalhe que diferencia Urano de Netuno, seu irmão quase gêmeo, é o fato de Urano possuir maiores dimensões, mas uma massa menor. Assim, Urano é maior do que Netuno, mas possui menos massa, graças à sua densidade menor.

#### **10.4.1 Sistema de anéis de Urano**

Em 1977, Urano passou em frente da estrela SAO 158.687, e foram observadas certas oscilações regulares no brilho desta estrela, tanto antes quanto depois da ocultação. A única maneira de explicar o que havia acontecido seria supor a existência de anéis envolvendo Urano. A passagem da sonda Voyager 2 confirmou a existência de 11 anéis em torno deste planeta. Em comparação com os anéis de Saturno, os de Urano são mais estreitos, seu material é mais espalhado e são feitos de material bastante escuro. É também possível que estes anéis tenham sido formados recentemente, devido à grande quantidade de poeira microscópica, que já deveria ter sido "varrida", devido aos efeitos gravitacionais combinados de Urano e seus satélites mais próximos. De todos os anéis, o mais notável é o épsilon, mais brilhante e denso.

nome	distância ( $10^3$ km)	largura (km)
1986 UR2	39,0	2.500
6	41,8	2
5	42,2	3
4	42,6	4
Alfa	44,7	10
Beta	45,7	8
Eta	47,2	6
Gama	47,6	2
Delta	48,3	6
1986 UR1	50,0	1
Epsilon	51,2	50

*Tabela 12.3. Os anéis de Urano.*

## 12.4.2 Sistema de satélites de Urano

O sistema uraniano é composto por quinze satélites, dos quais dez descobertos em 1986 pela sonda Voyager 2.

Os dois primeiros a serem descobertos são maiores e mais distantes de Urano. Wilhelm Herschel, depois de descobrir Urano, manteve-o sobre observação, e em 1787 descobriu dois satélites: Oberon, o mais externo, e Titânia, mais próximo a Urano, o maior satélite deste planeta. Eles foram os primeiros mundos do sistema solar que não tiveram nomes retirados da mitologia grega ou romana. Titânia e Oberon eram a rainha e o rei dos contos de fadas de Shakespeare, na sua peça *Sonho de Uma Noite de Verão*.

Em 1851, o astrônomo inglês William Lassell descobriu outros dois satélites, mais próximos de Urano que os de Herschel. Foram chamados de Ariel e Umbriel. Ariel continuou o toque de Shakespeare, pois representa o espírito do ar em *A Tempestade*. Umbriel é um espírito triste e lamurioso, do poema *O Roubo da Madeixa de Cabelo*, de Alexander Pope. E em 1948, Gerard Peter Kuiper detectou um quinto satélite, ainda mais próximo de Urano que os outros e o chamou de Miranda, a heroína de *A Tempestade*.

Os dez satélites seguintes, com órbita inferior à de Miranda, são bem pequenos, e a União Astronômica resolveu seguir a tradição Shakespeareana e os nomeou de acordo com personagens de suas obras. Por ordem de aproximação a Urano, são: Puck, Belinda, Rosalinda, Pórtia, Julieta, Desdêmona, Créssida, Bianca, Ofélia e finalmente Cordélia, o mais próximo de todos do centro de Urano.

Fisicamente, os satélites de Urano podem ser classificados em grandes (os cinco primeiros) e pequenos (os outros dez). São descritos a seguir:

Dos grandes, o maior é Titânia, com 1.580 km de diâmetro, que apresenta muitas crateras, um grande vale, Messina Chasmata, de 1.500 km de comprimento, e uma grande cratera, Gertrude.

Oberon, ligeiramente menor, possui 1.524 km, além de possuir uma montanha de 6 km de altura e várias crateras grandes, como Hamlet, Otelo e Falstaff, mas parece ser menos geologicamente ativo que Titânia, pois seus terrenos apresentam menor número de vales e falhas.

Umbriel, com 1.172 km, é o satélite de Urano que apresenta a superfície mais escura, refletindo apenas seis por cento da luz que recebe do Sol. Possui uma cratera de 110 km, Skynd, e uma formação brilhante, perto de seu limbo, com 140 km, chamada de Wunda, mas de natureza ainda incerta.

Ariel, de 1.158 km, possui numerosos vales cortando sua superfície, como Korrican Chasma e Kewpie Chasma, além de várias escarpas, elevações e falhas, indicando certa atividade geológica no passado; também possui várias crateras, as maiores sendo dotadas de sistemas de raios. Miranda, com apenas 484 km, é surpreendente e enigmático; é como se fosse constituído de retalhos de terrenos diferentes. Miranda apresenta um certo terreno que parece antigo e cheio de crateras, vizinho de um terreno sem crateras mas muito enrugado, que abruptamente se transforma em um terreno oval com vales curvilíneos. Sua formação mais interessante é Inverness Corona, de forma retangular, com uma grande marca branca em ângulo reto. A teoria mais aceita para explicar estas formações é uma colisão com um bólido, que fragmentou Miranda em vários pedaços, os quais depois se aproximaram lentamente e se uniram, reconstituindo o satélite.

Dos demais satélites, descobertos em 1986, os maiores são Puck, de 160 km, Portia, de 110 km, e Julieta, de 80 km.

Em 1997, foram descobertos mais dois pequenos satélites, batizados provisoriamente de S/ 1997 U1 e S/ 1997 U2. Estes satélites estão bem afastados do planeta, e provavelmente foram capturados.

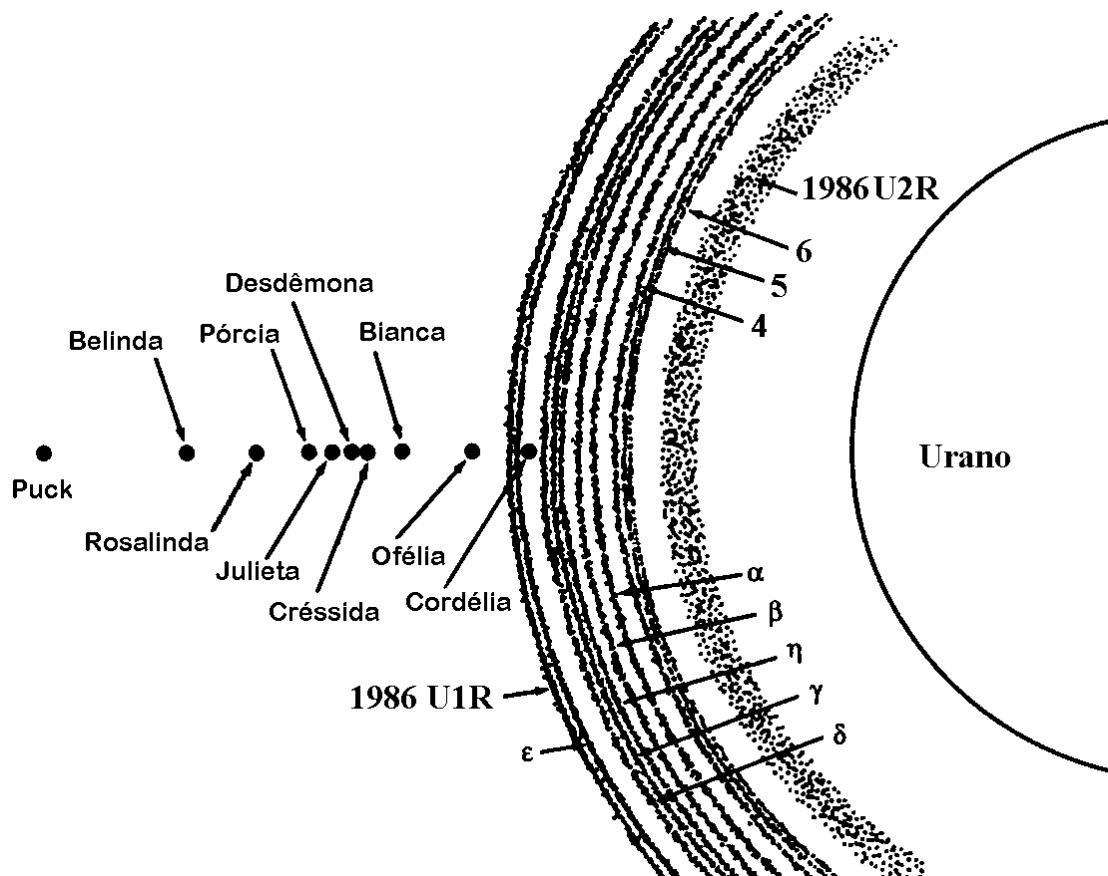


Figura 12.2. Anéis e satélites internos de Urano.

## 12.5. Netuno

Ao seguirem a órbita de Urano, os astrônomos perceberam certa irregularidade em seu movimento. Pensaram que isto seria devido à existência de outro planeta, localizado mais além. Desta forma, foram realizados cálculos matemáticos, simultaneamente, por dois cientistas: o inglês John Couch Adams e o francês Urbain Jean Joseph Leverrier, de maneira independente. Adams enviou seus resultados para os astrônomos James Challis e George Airy em 1845, mas, infelizmente, os astrônomos ingleses estavam ocupados demais para atendê-lo, ou não o levaram a sério, e trabalharam com grande lentidão. Enquanto isso, Leverrier também enviou seus cálculos para Airy, mas como não obteve resposta, também os remeteu para o

Observatório de Berlim, aonde o astrônomo Johann Gottfried Galle confirmou a existência de Netuno, em 23 de setembro de 1846. Quando a notícia foi dada, Challis conferiu suas anotações e descobriu que tinha observado Netuno em quatro ocasiões diferentes, mas nunca havia comparado as posições, e portanto não sabia o que tinha visto. Atualmente, Leverrier e Adams compartilham o crédito da descoberta (com um pouco de vantagem para Leverrier, que foi mais persistente) junto com Galle, o primeiro a identificar o planeta.

Analizando registros de outros astrônomos, descobriu-se que, a oito de maio de 1794, Joseph Jerome de Lalande registrou Netuno como uma estrela, e descobriu, dois dias depois, abismado, que cometeu um erro na posição (na verdade, era Netuno que se moveu). Lalande então registrou a nova posição e esqueceu o assunto.

Pensou-se em batizar o novo planeta de Leverrier, mas os astrônomos não-franceses não acharam uma boa idéia. O próprio Leverrier, notando que o planeta parecia mais azulado que Urano, batizou-o de Netuno, deus romano dos mares.

Quando a sonda Voyager 2 passou por Netuno, os astrônomos tiveram uma grande surpresa: se esperava um planeta ainda menos ativo, atmosféricamente, que Urano. Surpreendentemente, Netuno era um planeta com grande atividade atmosférica, com grande variedade de nuvens. Uma delas foi chamada de Grande Mancha Escura, pois, relativamente ao tamanho de Netuno, é do mesmo tamanho, localização e comportamento no que se refere à Grande Mancha Vermelha de Júpiter. Parece ser provável que o mesmo mecanismo de dinâmica atmosférica que criou uma mancha, criou a outra também.

Também foram detectadas nuvens brancas, do tipo cirrus, e outra mancha escura, com um ponto branco no centro, perto de um dos pólos. Esta grande atividade é devida à energia fornecida pelo interior de Netuno: este é um planeta mais denso, que provavelmente atraiu material com mais força para si do que Urano, obtendo mais energia cinética e calor, o que, por sua vez, cria uma atmosfera mais turbulenta.

### **12.5.1 Sistema de anéis de Netuno**

Também neste planeta gasoso foram encontrados sistemas de anéis. Netuno possui cinco anéis: os três primeiros a serem descobertos são finos e mais compactos, compostos em grande parte de poeira; os outros dois são extensos mas difusos, e seus limites se confundem com os dos outros anéis.

O anel R1, o mais visível, apresenta anéis incompletos, em forma de arco, ou seja, seu material parece se acumular em certas regiões do anel.

nome	distância ( $10^3$ km)	largura (km)
Galle - R3	41,9	15
Leverrier - R2	53,2	30
1989 N4R	53,2	1.000
1989 N5R	56,0	4.000
Adams - R1	62,93	50

*Tabela 12.4. Os anéis de Netuno.*

### 12.5.2 Sistema de satélites de Netuno

Três semanas após a descoberta de Netuno, em 10 de outubro de 1846, foi descoberto um satélite seu pelo astrônomo inglês William Lassell. O satélite foi chamado de Tritão, nome do filho de Poseidon (Netuno) na mitologia grega, e possui 2.720 km de diâmetro, tornando-se o menor dos sete grandes satélites do sistema solar. Um século depois, em 1949, Gerard Kuiper descobriu o segundo satélite de Netuno, chamado de Nereida, um das ninfas femininas que serviam a Poseidon (Netuno) na mitologia grega.

Em 1989, a sonda Voyager 2 descobriu mais seis satélites de Netuno, que receberam nomes de divindades marítimas auxiliares de Netuno: Náiade, Talassa, Despina, Galatéia, Larissa e Proteus, em ordem de distância crescente. Todos são de pequenas dimensões, se destacando Proteus, com 420 km, que supera Nereida (340 km) em tamanho.

Tritão é um satélite muito interessante, pois é do tamanho aproximado de Plutão, e da mesma cor rósea daquele: talvez seja seu irmão gêmeo. É coberto de gelo de nitrogênio e metano, resultando em neve cor-de-rosa. Também foram detectados lagos e gêiseres gelados, que expulsam material escuro a dezenas de quilômetros, tornando Tritão estranhamente ativo, e bastante peculiar.

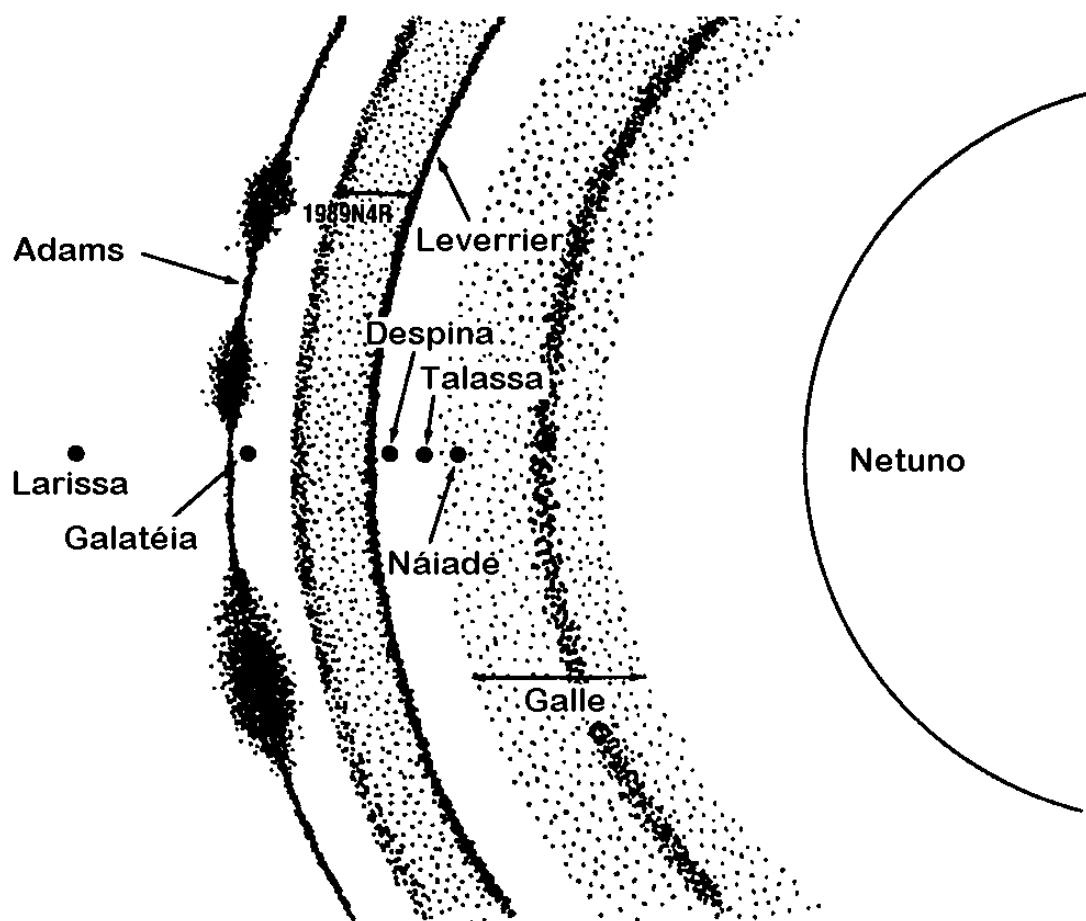


Figura 12.3. Anéis e satélites internos de Netuno.

## 12.6. Plutão e Caronte

Acompanhando a órbita de Netuno por algumas décadas, os astrônomos julgaram encontrar anomalias no seu movimento, provavelmente causadas por um outro planeta, localizado mais além. Os dois estudos mais cuidadosos foram os de dois astrônomos americanos, Percival Lowell e William Henry Pickering. Em seus cálculos, Lowell deparou com um planeta além de Netuno que parecia ter uma órbita um tanto inclinada e elíptica. Estimou que sua distância ao Sol variava de 5,1 bilhões de quilômetros no periélio a 7,7 bilhões no afélio. Por outro lado, Pickering calculou a existência do planeta com uma órbita menos inclinada e elíptica, embora mais distante do Sol do que a suposição de Lowell.

Pickering, tendo feito sua previsão, não se esforçou muito para constatá-la, mas Lowell chamou a si a tarefa com ardor. Trabalhou no observatório que havia construído no ar claro do deserto de Flagstaff, Arizona. Seu método era fotografar uma parte do céu na região em que ele pensava estar o planeta e novamente fotografar a mesma região, três dias depois. Em três dias, mesmo o movimento lento de um planeta trans-netuniano (ou seja, além de Netuno) produziria um desvio visível na posição.

Após obter pares de fotos de cada região, Lowell podia comparar as muitas estrelas de uma com as muitas de outra, uma por uma, numa verificação lenta e cansativa. Por onze anos, ele fez e refez o seu trabalho, estudando pontos diminutos em chapas fotográficas e comparando-

os. Por várias vezes, encontrou desvios nos pontos, mas em todas eram tão grandes que representavam asteróides. Até que Lowell morreu, em 1916.

Lowell foi sucedido por Milton Humason, que também não teve êxito. O próximo seguidor de Lowell foi Clyde William Tombaugh, que iniciou suas pesquisas no Observatório Lowell em 1929. Tombaugh teve a sorte de poder contar com telescópios melhores, e com um aparelho chamado cintilador, que projetava alternadamente fotos tiradas em diferentes dias, facilitando a descoberta de pontos que mudassem de posição. Finalmente, em 18 de fevereiro de 1930, Tombaugh reconheceu um pequeno desvio de posição, e ao comparar fotos anteriores da mesma região do céu, pôde calcular a órbita desse ponto. Foi confirmado que se tratava de um novo planeta, anunciado no dia 13 de março de 1930, o 75º aniversário do nascimento de Percival Lowell.

O planeta foi batizado de Plutão, versão romana do deus grego Hades, que governava o inferno subterrâneo (que na mitologia era escuro e gelado), o que combina com um planeta como Plutão, tão distante do Sol. Além disso, as suas duas primeiras letras são iguais às iniciais de Percival Lowell.

Verificou-se que a órbita de Plutão é muito irregular, substancialmente diferente dos cálculos iniciais de Lowell e Pickering, e parece que a sua descoberta foi mais questão de coincidência e pesquisa sistemática do que da precisão de cálculos.

Plutão é o planeta mais longínquo conhecido, pois sua distância média do Sol é em um terço maior do que a de Netuno, e sua órbita demora 247,7 anos terrestres para ser completada. Sua órbita é a mais inclinada também: 17 graus em relação à órbita da Terra, e sua excentricidade o leva, por vinte anos, para mais perto do Sol do que Netuno, como no período entre 1979 e 1999. Entretanto, isto não significa que esses planetas possam chocar-se: eles nunca se aproximam mais do que 2,5 bilhões de quilômetros.

A princípio, pensou-se que Plutão deveria ter o tamanho da Terra, mas em 1950 sua estimativa foi baixada pela metade, ou seja, 6.000 km de diâmetro. Novas observações fizeram crer que Plutão fosse menor ainda, de dimensões inferiores a 3.000 km, menor até mesmo que a nossa Lua.

Se verificou também que sua rotação é bastante lenta: 6,4 dias. Este fato só é justificável caso Plutão tenha passado parte da sua história próximo a um corpo que lhe roubasse energia de rotação. Surgiu então a teoria que ele fosse um satélite desgarrado de Netuno: um corpo qualquer teria interferido no sistema de Netuno, invertido a revolução de Tritão, alongado a órbita de Nereida e expulsado Plutão para uma órbita independente.

No entanto, em 1978, foi descoberto um satélite de Plutão, chamado de Caronte, que, segundo a mitologia, era o barqueiro do inferno, que levava as almas ao Hades através do rio Estige.

Essa descoberta prova que Plutão é um planeta legítimo, ou não poderia possuir um satélite. Caronte é grande em relação a Plutão pois possui dez por cento de sua massa, o que faz com que o centro de gravidade do sistema Plutão-Caronte não se localize em Plutão, mas em um ponto do espaço entre os dois corpos, fazendo deste sistema um planeta duplo, e ao mesmo tempo explicando a perda de energia de rotação de Plutão.

Observações mais recentes, inclusive pelo Telescópio Espacial Hubble, nos dizem que sua estimativa atual de diâmetro é de 2.800 km, com 1.200 km para Caronte; os dois corpos são separados por apenas 20.000 km, o que justifica a demora na descoberta de Caronte. A massa total do sistema Plutão-Caronte é cerca de 400 vezes menor que a da Terra. Sua

superfície é coberta de gelo de metano ( $\text{CH}_4$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), fazendo sua coloração tender para o cor-de-rosa. Plutão, o último planeta do sistema solar, e o único a não ser visitado por uma sonda e fotografado de perto, ainda esconde muitos enigmas, que não deverão ser revelados tão cedo.

## 12.7. Planeta X

Agora, se sabe que as perturbações para as órbitas de Urano e Netuno não foram fornecidas por Plutão, devido à sua pequena massa. Levantaram-se dúvidas em torno de um presumível décimo planeta, a ser descoberto no futuro. Várias tentativas foram feitas para fornecer a posição do hipotético planeta X, como a de J. D. Anderson, do Laboratório de Propulsão a Jato, que sugere que esse planeta tenha a órbita fortemente excêntrica e inclinada, com um período de 700 a 1.000 anos.

No entanto, ao observar as órbitas de Urano e Netuno por mais tempo, a maioria das perturbações pode ser explicada, e o resto pode ser deixado por conta dos erros de imprecisão de posição e cálculo dos astrônomos anteriores. Atualmente, não há evidências ou indícios de que possa existir mais um planeta no sistema solar.

Assim, os astrônomos preferem procurar planetas em outros sistemas solares. Nos últimos anos, várias oscilações foram observadas em pulsares e também em estrelas semelhantes ao Sol, que foram atribuídas à existência de planetas gigantes nas suas redondezas.

# **CAPÍTULO 13**

## ***Os Pequenos Corpos***

***Alfredo Martins***

## **Capítulo 13 - PEQUENOS CORPOS**

### **13.1. Introdução**

Até um século atrás, o sistema solar era visto como um lugar ordenado, com umas poucas classes de habitantes bem definidos. Havia planetas, satélites, asteróides e cometas. Os satélites, observados no sentido norte-sul, giravam em torno dos planetas do mesmo modo que os planetas giram em torno do Sol, isto é, no sentido contrário ao dos ponteiros. Os asteróides estavam confinados entre Marte e Júpiter, apresentando-se como corpos rochosos. Os cometas eram distintos, apresentando cabeleira e caudas enormes.

Posteriormente, com o aumento das descobertas de outros corpos do sistema solar, verificou-se que ele era muito diferente do que havia se pensado. Tritão, satélite de Netuno, orbita no sentido retrógrado, ou seja, no sentido dos ponteiros dos relógios. Fobos e Deimos, satélites de Marte, apresentam-se como objetos tipo asteróide. Apolo, asteróide descoberto em 1932, foi encontrado em órbita interna a da Terra. Cometas perdiam suas caudas e tornavam-se indistinguíveis dos asteróides como também asteróides apresentavam-se com estrutura cometária. É o caso de Chiron, descoberto em 1977 e classificado como asteróide. Inesperadamente, em 1988 este "asteróide" exibiu-se com cabeleira, uma característica exclusiva dos cometas.

Para esclarecer estes fatos, devemos compreender como o sistema solar se formou. Quando a nuvem de gás (H, He, O, N, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> etc.) e poeira (Fe, Si, Ca, Al, Mg, S, Na etc.) condensou-se gradativamente, deu origem a uma estrela central, o Sol. Em torno da estrela também houveram condensações de matéria formando pequenos corpos cujos diâmetros variavam de centenas de quilômetros para um quilômetro ou menos. Estes corpos foram chamados coletivamente de Planetesimais. Dependendo da distância deles até a estrela central, houveram condensações de diferentes tipos de matéria. Quando mais perto do Sol, devido as altas temperaturas, mais rochosos (Fe, Si, Ni...) eram os planetesimais. Quando mais afastados do Sol devido a baixa temperatura, mais gasosos (H, He, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O...) eles eram. Com o passar do tempo, os planetesimais foram se agregando e formando os planetas e satélites e demais corpos do sistema solar.

É fácil observar que Mercúrio, Vênus, Terra e Marte são planetas rochosos ao contrário de Júpiter, Saturno, Urano e Netuno que são predominantemente gasosos. Em relação aos outros corpos, especialmente asteróides e cometas, intimamente relacionados com os planetesimais, igualmente observa-se uma diferenciação baseada no tipo de condensação que sofreram. Aqueles formados próximo do Sol são predominantemente não-voláteis (rochosos) enquanto os mais afastados são predominantemente voláteis (carbonáceos).

## 13.2. Asteróides

Os asteróides e seus precursores foram planetesimais que formaram-se em toda parte do sistema solar durante a acriação planetária (aglomeração de matéria). Houve acumulação lenta com choques e disruptura seguida de nova coalescência. Este processo de disruptura colisional continua até hoje em diminuta taxa. A grande acumulação destes corpos entre Marte e Júpiter deve-se ao fato da influência gravitacional de Júpiter e outros planetas terem impedido acumulação de planetesimais e consequente formação de um outro planeta. Nós ainda hoje observamos falhas neste chamado Cinturão de Asteróides devido às interações gravitacionais dos asteróides com Júpiter. São as chamadas Falhas de Kirkwood.

A forma dos asteróides é grosseiramente redonda para alongada. O maior deles, Ceres, tem um diâmetro de 930 km. A distribuição no cinturão apresenta uma distinção entre a Parte Interna e a Parte Externa. Esta transição situa-se a distância de 2,5 unidades astronômicas do Sol e separa os asteróides metálicos (internamente) dos carbonáceos (externamente).

A classificação dos Asteróides deriva da análise de sua coloração e consequente composição mineralógica. Há dois tipos principais:

- ◆ Asteróides tipo S (Stony) - são claros; formados de elementos não voláteis tipo Ferro, Níquel, Silício, Magnésio, Alumínio (compostos tipo piroxene, olivina); localizados na parte interna do cinturão (próximos à Marte).

- ◆ Asteróides tipo C (Carbonaceous) - são escuros; enriquecidos ou depletados de matérias oriundas do processo de evolução planetária; apresentam núcleo metálico e crosta de matéria mineralogicamente rica em carbono e água (condritos carbonaceos). Representam 3/4 da população; localizados na parte externa do cinturão (próximos à Júpiter).

Asteróides ocorrem também em agrupamentos particulares, formando as chamadas Famílias que levam o nome de seu mais representativo componente. Exemplificamos com as Famílias Apolo, Flora, Amor, Hilda e os Troianos.

Atualmente mais de 4.000 dos incontáveis asteróides estão numerados e denominados. O estudo destes astros permanece ativo e confirmações e novas descobertas são esperadas. Sua relação com a Terra e seus habitantes é antiga. Há 65 milhões de anos atrás, um deles possivelmente visitou nosso planeta. O resultado, entre outros, teria sido a extinção dos dinossauros.

## 13.3. Cometas

A origem dos Cometas esta reportada na história da formação do sistema solar. Como já antecipado, uma nuvem interestelar de gás e poeira sofreu contração gravitacional formando um disco achatado e rotante chamado de Nebulosa solar. No centro formou-se o Sol. Na periferia o material coalesceu em pequenas rochas e gelo que acumularam-se formando os Planetesimais. Estes também aglomeraram-se formando os Planetas. O Sol aqueceu a região interna do sistema evaporando os gases dos Planetesimais mais próximos, deixando rochas densas que formaram Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Na região exterior, o calor era insuficiente para volatilizar os gases (H, He, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> etc.). Nessa região formaram-se os

Gigantes Gasosos - Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Ocorre que nem todos Planetesimais foram devorados na formação destes planetas gigantes. Alguns foram ejetados para fora do sistema e outros permaneceram retidos nas suas fronteiras. Eventualmente, por influências gravitacionais, estes pequenos corpos ricos em material volátil orbitam próximo do Sol exibindo-se na forma de Cometas.

As principais partes de um cometa são o Núcleo, a Coma ou Cabeleira e a Cauda.

⇒ Núcleo - é o corpo central e a fonte de todo fenômeno cometário. Apresenta diâmetro típico de 1 km. É bastante escuro devido sua constituição rica em carbono. Sua crosta, formada de poeira (matéria sólida fragmentada) e gelo (qualquer substância gasosa ou líquida congelada - H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO etc.). Sua forma é irregular.

⇒ Coma - é o envoltório de gás e poeira que desprende-se do núcleo quando ele aproxima-se a uma distância de 3 UA do Sol. Isto acontece devido ao aquecimento proporcionado pelos raios solares. Os gases e água congelada sofrem sublimação e são ejetados do núcleo a uma velocidade de 1 km/s estendendo-se à distância de 100.000 para 1 milhão de km. Moléculas, átomos e íons formam a coma. Quando o núcleo aproxima-se do Sol, partículas sólidas (Na, Fe, K, Ca, Mn, Ni, Cu, Si, Al etc.) são ejetadas junto os jatos de gás. Ao afastar-se do sol, a temperatura decai e a atividade cometária cessa.

A coma do cometa Halley em sua recente passagem era constituída de 80% de H<sub>2</sub>O, 10% de CO, 3,5% de CO<sub>2</sub> e formaldeído (H<sub>2</sub>CO)n além de traços de numerosas outras substâncias.

⇒ Cauda - é a projeção de componentes da coma no sentido oposto ao Sol, carregada pelo vento solar. Usualmente observa-se dois tipos de cauda. Uma amarelada formada por poeira e outra azulada formada por substâncias ionizadas (H<sup>+</sup>, CO<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub><sup>+</sup> etc.). Sua extensão pode alcançar 10 milhões de quilômetros.

Atualmente dispõe-se de informações detalhadas sobre órbitas de 750 cometas. Destes, 150 têm período menor do que 200 anos apresentando na grande maioria órbitas diretas (mesmo sentido dos planetas) e com inclinação para a eclíptica de 30 graus ou menos.

Em 1950, o astrônomo holandês Jan Oort estudando cuidadosamente as órbitas dos cometas concluiu que eles residem numa região esférica em torno do Sol cujo raio é de 20.000 para 100.000 UA - é a chamada Nuvem de Oort. Estima-se que ela contenha 1 trilhão de cometas com uma massa total de 25 vezes a da terra. Perturbações gravitacionais ou ondas de choque devido explosões estelares poderiam modificar suas órbitas projetando-os para dentro do sistema solar. Alguns ficariam retidos e apareceriam periodicamente.

Consideração importante deve-se fazer sobre a contribuição dos cometas na formação da atmosfera terrestre. Em época primordial, atraídos gravitacionalmente para nosso planeta, eles podem ter sido uma fonte de moléculas orgânicas necessárias para o desenvolvimento da vida na Terra.

## **CAPÍTULO 14**

# ***Formação e Localização do Sistema Solar***

***Adolfo Stotz Neto***

## **Capítulo 14 - FORMAÇÃO E ENDEREÇO DO SISTEMA SOLAR**

### **14.1. Introdução**

Anteriormente ao século XVII, as teorias cosmológicas e de formação do sistema solar eram restritas, fantasiosas e calcadas apenas nos ideais e interesses da época. A experiência e o rigor científico como palavra final eram então incipientes, quiçá inexistentes. Durante o obscuro período da idade média e até a renascença, a cultura ocidental se viu tolhida de novas idéias e qualquer visão menos Aristotélica era lançada, junto com seu autor, à fogueira. O mundo de Ptolomeu era então imutável e eterno, obedecendo aos desígnios de uma verdade bíblica inconteste, cega e inibidora. O geocentrismo se bastava e o sistema solar não passava de pano de fundo para o cenário de um criador. Porém os espíritos inquietos dos estudiosos acabaram por vencer a viseira eclesiástica, e pouco a pouco o mundo pode respirar os ares de uma verdade mais arejada e segura, aonde a comprovação do fato se tornou mais importante que a elocubração mental interesseira dos mandatários. Em 1644, então, surge a primeira teoria de formação do sistema solar, autoria do matemático René Descartes. A hipótese falava em uma nuvem inicial que seria a responsável pela origem do Sol e seus planetas. As idéias de Descartes só foram retomadas no século seguinte, quando o filósofo alemão Immanuel Kant reafirma a hipótese da nebulosa primordial e vai além, afirmando que o Sol e seu séquito de planetas pertenciam a um "universo-ilha" vagando juntamente com outros pares no cosmos infindo. Estava lançada aí, também, a idéia da Galáxia.

As idéias e teorias de Kant receberam tratamento matemático do astrônomo francês Pierre Simon de Laplace, já no início do século XIX.

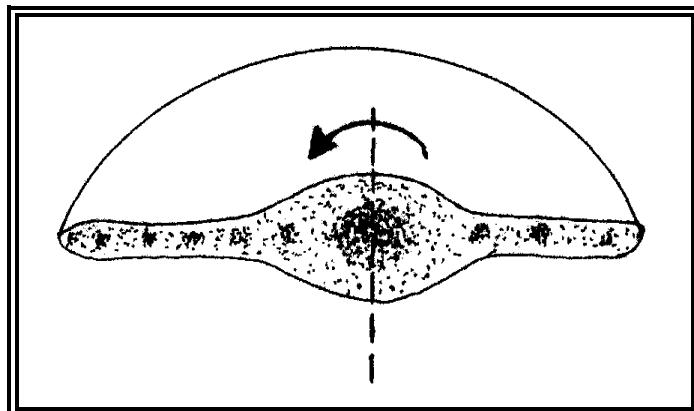
Durante muito tempo a hipótese da nebulosa formadora teve uma rival na possibilidade defendida pelos dualistas, cuja versão do surgimento do sistema solar foi idealizada por George Buffon. Segundo esta hipótese, o sistema surgiu de uma colisão entre algum astro e o Sol, com desprendimento de matéria responsável pelo surgimento dos planetas. Esta teoria foi definitivamente afastada em 1945, quando o progresso alcançado pelas ciências pôde corroborar a hipótese de Laplace como a mais aceitável. O caso defendido pelos dualistas exige uma coincidência de um choque de um corpo massivo contra o Sol de tal ordem que a possibilidade de sua ocorrência não supera uma em alguns bilhões. A ciência não trava relacionamento sério com coincidências desta ordem, mas sim com modelos repetitivos e reproduzíveis, o que torna a hipótese de Buffon uma simples piada astronômica.

### **14.2. Teoria da formação do sistema solar**

Seguindo a correta idéia de Kant, Thomas Wright publicou em "Uma Teoria Original do Universo", por volta de 1750, que o Sol pertencia a um aglomerado imenso de estrelas, em forma de um disco achatado, no qual elas girariam em torno do centro. Com grande acerto, surgia a primeira idéia concreta sobre a forma e o comportamento das estrelas em uma galáxia como a nossa. Afirmava ainda, com toda a razão, que o Sol era uma entre milhares, inúmeras outras estrelas nesta "ilha cósmica". Hoje sabemos que cem bilhões de sóis habitam nossa

galáxia, chamada pelos gregos como Via Láctea pelo seu aspecto difuso e comprido no céu, marca do leite derramado pela deusa Juno no caminho que percorria para amamentar seus filhos.

Há cerca de 4,5 bilhões de anos atrás, na periferia da Via Láctea, uma nuvem de gás e poeira inicia um processo de condensação.



*Figura 14.1. Nebulosa protosolar em rotação.*

Sob efeito da atração gravitacional das partículas que se agregam na nuvem, tem início a contração e o giro desta massa periférica. Com o aumento gradativo da concentração e com o incremento da velocidade de giro, a nuvem pouco a pouco toma a forma de um disco achatado, cujo centro abriga a maior quantidade de massa. A temperatura aumenta consideravelmente com os choques, cada vez mais frequentes, das moléculas envolvidas no processo.

No centro massivo e quente do disco, forma-se finalmente um proto-sol que desencadeia reações nucleares de fusão atômica em função da elevada temperatura e pressão ali reinantes. Ao seu redor, as poeiras e gases residuais, menos densos e quentes, vão se aglomerando em corpos diversos, formando assim o restante do sistema.



*Figura 14.2. Formação dos planetas.*

É portanto simultaneamente que se forma o sistema solar, ou seja, tudo teve início num mesmo processo formador.

Os planetas mais próximos do Sol se formaram a partir da concentração dos elementos mais pesados como o carbono, oxigênio, ferro, silício etc., ao passo que mais distante da fornalha nuclear, se aglomeraram os elementos leves como o metano, amônia e outros. Nas distâncias mais longínquas, estes elementos mais leves formaram os planetas gigantescos e

gasosos do sistema solar. Tais planetas capturaram ainda seus próprios satélites, sólidos, em função de suas enormes forças gravitacionais.

### 14.3. Endereço completo da Terra

Nosso planeta é o terceiro a partir de uma estrela em torno da qual giram os corpos de um sistema específico. Este sistema, o Sistema Solar, habita um dos ramos de uma galáxia, que em síntese é um sistema isolado no espaço, contendo 100 bilhões de estrelas, além de poeira e gás.

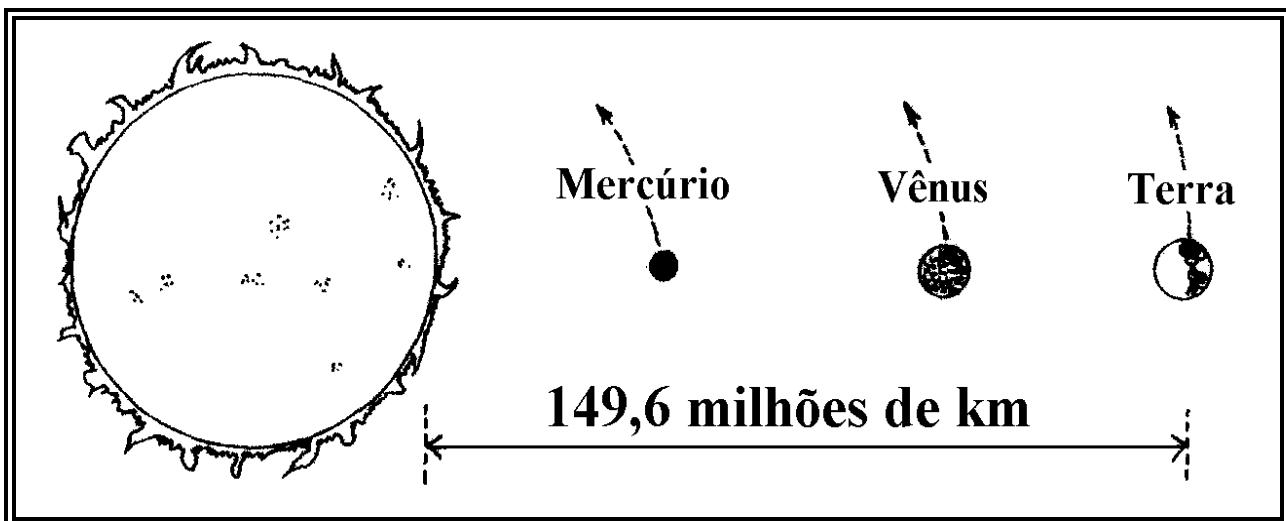


Figura 14.3. Endereço da Terra no sistema solar.

O braço da galáxia que abriga o Sol se encontra a uma distância de 26.000 anos luz do centro da mesma. A Via Láctea, nossa galáxia, é do tipo espiral e contém quatro braços principais e outro tanto de formações secundárias. O Sol se encontra no braço secundário Órion, entre os massivos braços de Perseu e Sagitário-Carena.

O Sol em seu giro ao redor do centro galáctico, viaja em uma velocidade de 250 km/s e sendo o diâmetro da Via Láctea algo em torno de 100.000 anos luz, nossa estrela leva 225.000.000 anos para completar uma volta. Desta forma, desde que surgiu, o Sol não deu mais que vinte voltas em torno do centro galático.

Nossa galáxia não está só em seu caminho pelo cosmos. Junto a ela se encontram duas galáxias satélites de menor porte, que são as nuvens de Magalhães. A menor delas contém aproximadamente  $2 \times 10^9$  estrelas e dista 200.000 anos luz da Via Láctea. A maior, com cinco bilhões de estrelas, está mais próxima, a 160.000 anos luz de distância.

Algumas outras galáxias estão relativamente próximas ao sistema da Via Láctea e seus dois satélites, e são o que se chama de agrupamento local. Tal grupo contém cerca de vinte galáxias ao todo, espalhadas em um raio de  $2,5 \times 10^6$  anos luz. O grupo local, por sua vez, se encontra inserido em um sistema maior, que denominamos de superaglomerado local. O

superaglomerado alcança um raio da ordem de  $50 \times 10^6$  anos luz. Além desta distância os objetos são considerados pertencentes a outros agrupamentos.

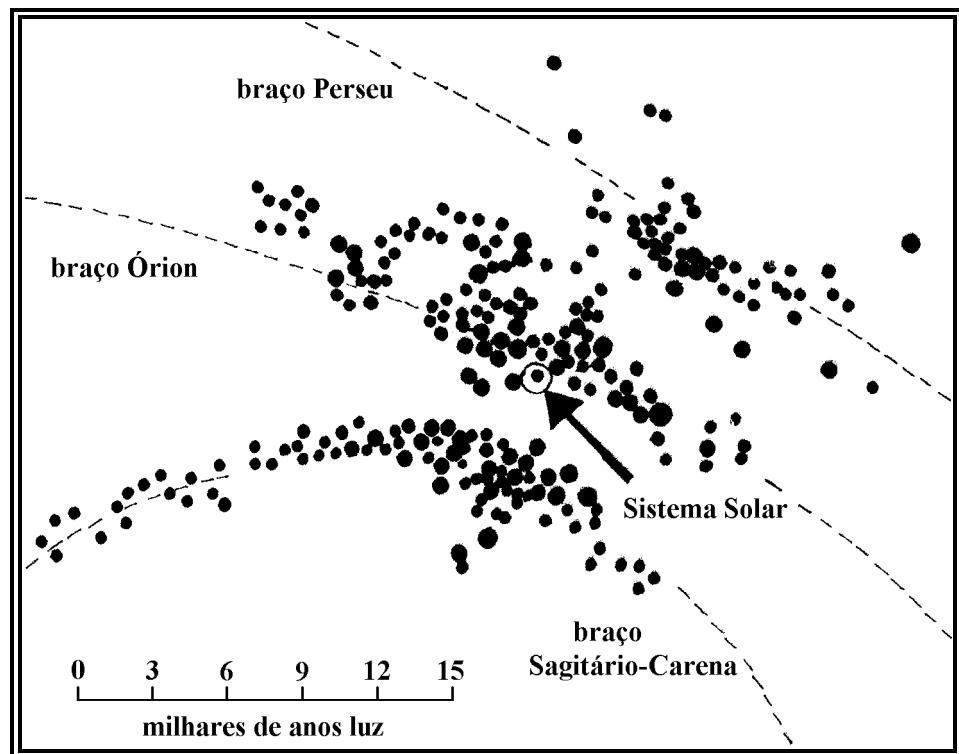


Figura 14.4. O sistema solar no braço de Órion.

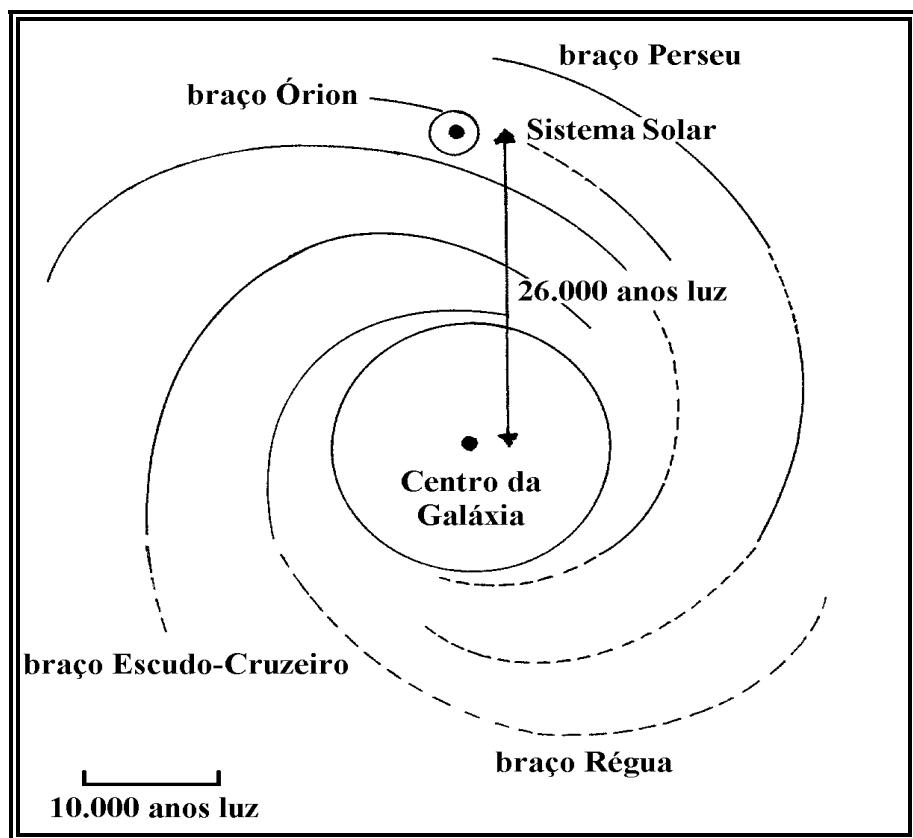
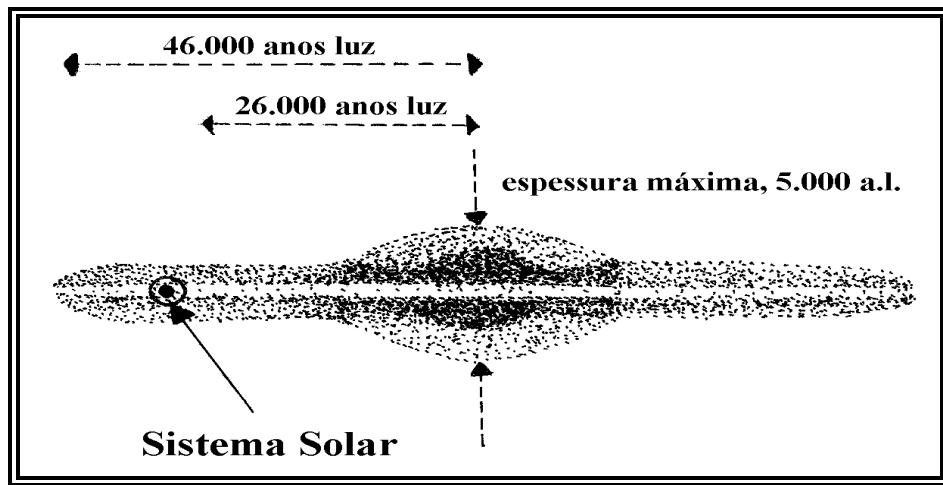
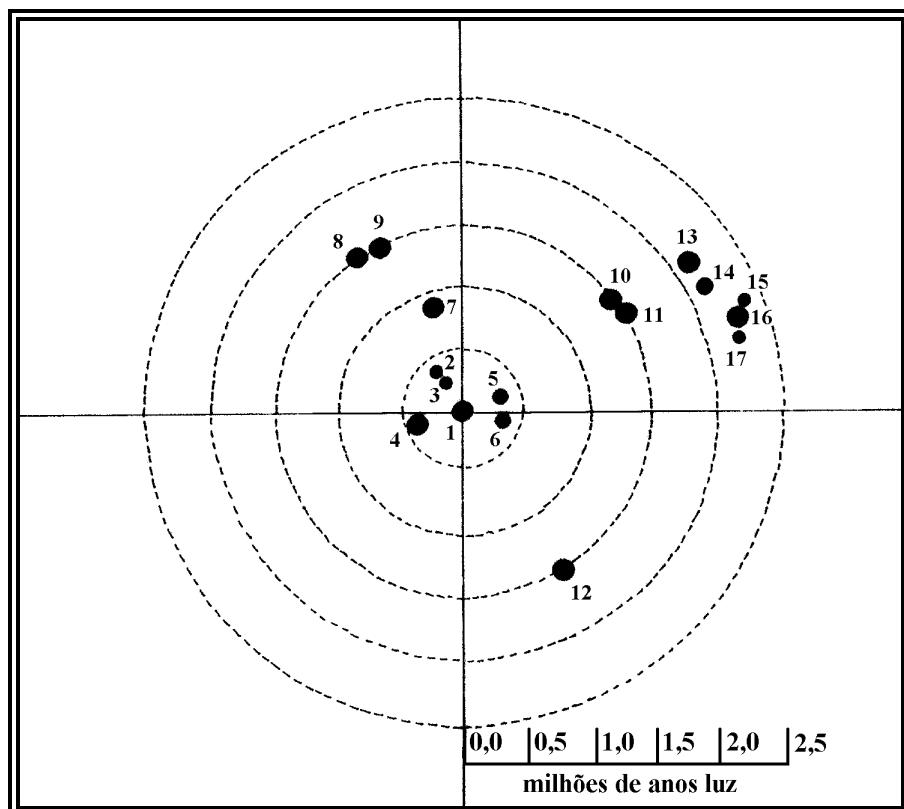


Figura 14.5. O sistema solar e o braço Órion na Galáxia.



*Figura 14.6. Posição do sistema solar em um corte no disco da Galáxia.*



- |                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| 1 - Via Láctea                 | 10 - NGC 185  |
| 2 - Grande Nuvem de Magalhães  | 11 - NGC 147  |
| 3 - Pequena Nuvem de Magalhães | 12 - NGC 6822 |
| 4 - Escultor                   | 13 - M 33     |
| 5 - Dragão                     | 14 - IC 1613  |
| 6 - Ursa Menor                 | 15 - M 32     |
| 7 - Fornax                     | 16 - M 31     |
| 8 - Leo I                      | 17 - NGC 205  |
| 9 - Leo II                     |               |

*Figura 7. A Via Láctea e as galáxias do Grupo Local.*

## ***Bibliografia***

## **BIBLIOGRAFIA**

### **CAPÍTULO 1 - Generalidades**

- BOCZKO, Roberto. Conceitos de Astronomia. São Paulo, Edgar Blucher, 1984. 429 p.
- DIVERSOS. Astronomia: Curso Prático ao alcance de todos. Rio de Janeiro, Rio Gráfica, 1985. 548 p.
- MOURÃO, Ronaldo R. F. Dicionário Enclopédico de Astronomia e Astronáutica. Rio de Janeiro, N.Fronteira, 1987. 914 p.
- RIDPATH, Ian. O Mundo Maravilhoso dos Astros. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1978. 96 p.
- RONAN, Colin A. História Ilustrada da Ciência. Rio de Janeiro, Zahar, 1987.

### **CAPÍTULO 2 - A Esfera Celeste**

- BOCZKO, Roberto. Conceitos de Astronomia. São Paulo, Edgar Blucher, 1984. 429 p.
- MÉDICI, Roberto N. Astronomia de Posição. Rio de Janeiro, Forense, 1989. 187 p.

### **CAPÍTULO 3 - Instrumentos Astronômicos**

- BAKULIN, P.I., KONONOVICH, E.V., MOROZ, V.F. Curso de Astronomia General, Moscou, MIR, 1987. 568 p.
- NICOLINI, Jean. Manual do Astrônomo Amador. Campinas, Papirus, 1985. 224 p.
- DIVERSOS. Astronomia: Curso Prático ao alcance de todos. Rio de Janeiro, Rio Gráfica, 1985. 548 p.

### **CAPÍTULO 4 - As Constelações**

- MOURÃO, Ronaldo R. F. Uranografia. Rio de Janeiro, F. Alves, 1989. 344p.

## CAPÍTULO 5 - Observação das Estrelas

ALLEN, Richard H. Star Names: Their Lore and Meaning. New York, Dover, 1963. 563 p.

ASIMOV, Isaac. Alfa Centauri. Rio de Janeiro, Alves, 1983. 132p.

MOORE, Patrick. Guia de las Estrellas y los Planetas. Barcelona, Folio, 1982. 144 p.

OTTEWELL, Guy. The Astronomical Companion. Greenville, Astronomical Workshop, 1979. 73 p.

## CAPÍTULO 6 - Observação dos Planetas

KITT, Michael. The Moon: an Observing Guide for Backyard Telescopes. Waukesha, Kalmbach, 1992. 80 p.

MOORE, Patrick. Guia de las Estrellas y los Planetas. Barcelona, Folio, 1982. 144 p.

NICOLINI, Jean. Manual do Astrônomo Amador. Campinas, Papirus, 1985. 224 p.

PASACHOFF, Jay M. & MENZEL, Donald H. Stars and Planets. New York, Houghton Mifflin, 1992. 502 p.

## CAPÍTULO 7 - Observação de Outros Corpos Celestes

BAKER, David. The Country Life Guide to Astronomy. Middlesex, Hamlyn, 1984. 288 p.

MOORE, Patrick. Guia de las Estrellas y los Planetas. Barcelona, Folio, 1982. 144 p.

MOORE, Patrick. The New Atlas to the Universe.

MOURÃO, Ronaldo R. F. Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica. Rio de Janeiro, N.Fronteira, 1987. 914 p.

MOURÃO, Ronaldo R. F. Atlas Celeste. Petrópolis, Vozes, 1981. 175p.

## CAPÍTULO 8 - O Sistema Solar

### Parte I - Estrutura

COTARDIERE, Philippe. Larousse Astronomy. London, 1987, Hamlyn. 326 p.

Dictionary of Astronomy. London, Pan, 1981.

MOURÃO, Ronaldo R. F. Anuário de Astronomia. Rio de Janeiro, F. Alves, 1991. 207 p.

#### Parte II - Dinâmica

BAKULIN, P.I, KONONOVICH, E.V., MOROZ, V.F. Curso de Astronomia General. Moscou, MIR, 1987. 568 p.

ZEILIK, M. & SMITH, E. P. Introductory Astronomy and Astrophysics. New York, Saunders, 1987. 503 p.

#### CAPÍTULO 9 - O Sol

BAKULIN, P.I, KONONOVICH, E.V., MOROZ, V.F. Curso de Astronomia General. Moscou, MIR, 1987. 568 p.

MOURÃO, Ronaldo R. F. Dicionário Enclopédico de Astronomia e Astronáutica. Rio de Janeiro, N.Fronteira, 1987. 914 p.

MOURÃO, Ronaldo R.F. Da Terra às Galáxias: Uma Introdução à Astrofísica. Petrópolis, Vozes, 1982. 360 p.

ZEILIK, M. & SMITH, E. P. Introductory Astronomy and Astrophysics. New York, Saunders, 1987. 503 p.

#### CAPÍTULO 10 - Sistema Terra-Lua

##### Parte I - A Terra

DIVERSOS. Astronomia: Curso Prático ao alcance de todos. Rio de Janeiro, Rio Gráfica, 1985. 548 p.

EVANS, I. O. O Planeta Terra. Melhoramentos.

MOURÃO, Ronaldo R. F. Dicionário Enclopédico de Astronomia e Astronáutica. Rio de Janeiro, N.Fronteira, 1987. 914 p.

RIDPATH, Ian. O Mundo Maravilhoso dos Astros. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1978. 96 p.

SAGAN, Carl & LEONARD, Jonathan N. Os Planetas. Rio de Janeiro, José Olímpio, 1970. 208 p.

ZHARKOV, V. N. Estructura Interior de la Tierra y de los Planetas. Moscou, MIR, 1985. 479 p.

## Parte II - A Lua

BAKULIN, P.I, KONONOVICH, E.V., MOROZ, V.F. Curso de Astronomia General. Moscou, MIR, 1987. 568 p.

CADOGAN, Peter. Lua, Nosso Planeta Irmão. Rio de Janeiro, F. Alves, 1985. 528 p.

ZEILIK, M. & SMITH, E. P. Introductory Astronomy and Astrophysics. New York, Saunders, 1987. 503 p.

## CAPÍTULO 11 - Os Planetas Terrestres

ASIMOV, Isaac. Marte. Rio de Janeiro, F. Alves, 1982. 154 p.

CAYEUX, Andre de & BRUNIER, Serge. Os Planetas. Rio de Janeiro, F. Alves, 1985. 191 p.

CADOGAN, Peter. Lua, Nosso Planeta Irmão. Rio de Janeiro, F. Alves, 1985. 528 p.

MOORE, Patrick & HUNT, Garry. The Atlas of the Solar System. New York, Crescent, 1990. 463 p.

MOURÃO, Ronaldo R. F. Marte, da Imaginação à Realidade. Rio de Janeiro, F. Alves, 1988. 155 p.

## CAPÍTULO 12 - Os Planetas Jovianos

ASIMOV, Isaac. Júpiter. Rio de Janeiro, F. Alves, 1976. 204 p.

---. Saturno. Rio de Janeiro, F. Alves, 1983. 119 p.

CAYEUX, Andre de, & BRUNIER, Serge. Os Planetas. Rio de Janeiro, F. Alves, 1985. 191 p.

MOORE, Patrick & HUNT, Garry. The Atlas of the Solar System. New York, Crescent, 1990. 463 p.

## CAPÍTULO 13 - Os Pequenos Corpos

AUDOUZE, Jean & ISRAEL, Guy. The Cambridge Atlas of Astronomy. Cambridge, 1988.

BEATTY, J. K. & CHAIKIN, A. The New Solar System. New York, Sky Publishing, 1990. 326 p.

**CAPÍTULO 14 - Formação e Localização do Sistema Solar**

DIVERSOS. Astronomia: Curso Prático ao alcance de todos. Rio de Janeiro, Rio Gráfica, 1985. 548 p.

RIDPATH, Ian. O Mundo Maravilhoso dos Astros. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1978. 96 p.

SAGAN, Carl & LEONARD, Jonathan N. Os Planetas. Rio de Janeiro, José Olímpio, 1970. 208 p.

SILK, Joseph. O Big Bang. Brasília, Un. Brasília, 1984. 379 p.

***ANEXO - Características físicas e orbitais do sistema solar***

## A1. Sol

### A.1.1. Características físicas do Sol

diâmetro equatorial	1.392.530 quilômetros = 109,16 terra
achatamento	0,000017 (23 quilômetros)
volume	$1,414 \times 10^{18} \text{ km}^3 = 1.305.000 \text{ terra}$
massa	$1,9891 \times 10^{30} \text{ quilogramas} = 332.950 \text{ terra}$
densidade	1,407 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	273,8 metros por segundo <sup>2</sup> = 27,9 terra
velocidade de escape	617,3 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	26,8 dias
inclinação axial	7,25 graus
temperatura superficial	6.030 graus Celsius (5.755 Kelvin)
magnitude aparente	-26,88
magnitude absoluta	+4,72
emitância energética	$6,29 \times 10^4 \text{ KW/m}^2$
luminosidade total	$3,86 \times 10^{23} \text{ KW}$
tipo espectral	G2v

### A.1.2. Características estruturais do Sol

região	espessura da camada	principais componentes
Corona	500%	H (75%), He (24%) muito ionizados
Cromosfera	2%	H (75%), He (24%) pouco ionizados
Fotosfera	0,2%	H (74%), He (25%) pouco ionizados
Zona convectiva	18,8%	H (75%), He (24%) pouco ionizados
Zona irradiativa	58%	H (75%), He (24%) muito ionizados
Núcleo	23%	H (64%), He (35%) totalmente ionizados

## A.2. Mercúrio

### A.2.1. Características físicas de Mercúrio

diâmetro equatorial	4.878 quilômetros = 0,382 terra
achatamento	não há
volume	$6,077 \times 10^{10}$ km cúbicos = 0,056 terra
massa	$3,3022 \times 10^{23}$ quilogramas = 0,0553 terra
densidade	5,443 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	3,704 metros/segundo <sup>2</sup> = 0,378 terra
velocidade de escape	4,25 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	58 dias, 15 horas e 30 min = 58,65 dias
inclinação axial	0 graus
albedo	0,055
temperatura superficial	-180 a 430 graus Celsius (93 a 703 Kelvin)
magnitude visual (quadratura)	máxima: 0,0

### A.2.2. Características estruturais de Mercúrio

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	0%	traços de He, Na, O
Crosta	2%	silicatos rochosos e metais
Manto	24%	silicatos e óxidos metálicos
Núcleo	74%	ferro e níquel

### A.2.3. Características orbitais de Mercúrio

distância máxima ao Sol	$69,817 \times 10^6$ quilômetros = 0,4667 UA
distância média ao Sol	$57,909 \times 10^6$ quilômetros = 0,3871 UA
distância mínima ao Sol	$46,001 \times 10^6$ quilômetros = 0,3075 UA
excentricidade	0,2056
inclinação orbital	7,004 graus
revolução sideral	87,969 dias = 0,241 anos
velocidade orbital média	47,87 quilômetros por segundo
período sinódico	115,88 dias

## A.3. Vênus

### A.3.1. Características físicas de Vênus

diâmetro equatorial	12.104 quilômetros = 0,949 terra
achatamento	não há
volume	$9,2851 \times 10^{11}$ km cúbicos = 0,857 terra
massa	$4,8689 \times 10^{24}$ quilogramas = 0,815 terra
densidade	5,244 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	8,869 metros/segundo <sup>2</sup> = 0,905 terra
velocidade de escape	10,36 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	243 dias, 0 horas e 30 minutos
inclinação axial	177,3 graus
albedo	0,76
temperatura superficial	446 a 482 graus Celsius (719 a 755 Kelvin)
pressão superficial	95.200 milibares
magnitude visual (quadratura)	-4,4

### A.3.2. Características estruturais de Vênus

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	3%	CO <sub>2</sub> (97%), N <sub>2</sub> (2%), Ar, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O
Crosta	0,5%	silicatos rochosos e metais
Manto	52,5%	silicatos e óxidos metálicos
Núcleo interno	30%	ferro e níquel líquidos
Núcleo externo	17%	ferro e níquel sólidos

### A.3.3. Características orbitais de Vênus

distância máxima ao Sol	$108,943 \times 10^6$ quilômetros = 0,7282 UA
distância média ao Sol	$108,209 \times 10^6$ quilômetros = 0,7233 UA
distância mínima ao Sol	$107,475 \times 10^6$ quilômetros = 0,7184 UA
excentricidade	0,0068
inclinação orbital	3,394 graus
revolução sideral	224,701 dias = 0,615 anos
velocidade orbital média	35,02 quilômetros por segundo
período sinódico	583,94 dias

## A.4. Terra

### A.4.1. Características físicas da Terra

diâmetro equatorial	12.756,28 quilômetros
diâmetro polar	12.713,51 quilômetros
achatamento	0,003353
volume	$1,083310^{12}$ quilômetros cúbicos
massa	$5,974 \times 10^{24}$ quilogramas
densidade	5,517 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	9,798 metros por segundo <sup>2</sup>
velocidade de escape	11,18 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	23 horas, 56 minutos e 4,1 segundos
inclinação axial	23,44 graus
albedo	0,39
temperatura superficial	-88 a 58 graus Celsius (185 a 331 Kelvin)
pressão superficial	1.013 milibares
número de satélites	1

### A.4.2. Características estruturais da Terra

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	2,5%	N <sub>2</sub> (76%), O <sub>2</sub> (21%), Ar(1%), CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Crosta	0,5%	silicatos rochosos e metais
Manto	44,5%	silicatos e óxidos metálicos
Núcleo externo	35%	ferro e níquel líquidos
Núcleo interno	20%	ferro e níquel sólidos

### A.4.3. Características orbitais da Terra

distância máxima ao Sol	$152,099 \times 10^6$ quilômetros = 1,0167 UA
distância média ao Sol	$149,598 \times 10^6$ quilômetros = 1,0000 UA
distância mínima ao Sol	$147,097 \times 10^6$ quilômetros = 0,9833 UA
excentricidade	0,01672
inclinação orbital	0 graus
revolução sideral	365,356 dias
velocidade orbital média	29,78 quilômetros por segundo
período sinódico	não se aplica

## A.5. Lua

### A.5.1. Características físicas da Lua

diâmetro equatorial	3.476 quilômetros = 0,272 terra
volume	$2,1939 \times 10^{10}$ km cúbicos = 0,020 terra
massa	$7,3483 \times 10^{22}$ quilogramas = 0,012 terra
densidade	3,34 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	1,623 metros por segundo <sup>2</sup> = 0,16 terra
velocidade de escape	2,37 quilômetros por segundo
inclinação axial	1,53 graus
albedo	0,07
temperatura superficial	-130a 110 graus Celsius (143a 383 Kelvin)
magnitude visual (oposição)	-12,7

### A.5.2. Características estruturais da Lua

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	0%	traços de Ar, Ne, H, He
Crosta	6%	silicatos rochosos
Manto	72%	silicatos e óxidos metálicos
Núcleo	22%	ferro e níquel

### A.5.3. Características orbitais da Lua

distância máxima à Terra	$405,495 \times 10^3$ quilômetros
distância média à Terra	$384,392 \times 10^3$ quilômetros
distância mínima à Terra	$363,289 \times 10^3$ quilômetros
excentricidade	0,0549
inclinação orbital	5,145 graus
revolução sideral	27,332 dias
velocidade orbital média	1,02 quilômetros por segundo
período sinódico	29,53 dias

## A.6. Marte

### A.6.1. Características físicas de Marte

diâmetro equatorial	6.794 quilômetros = 0,533 terra
diâmetro polar	6.759 quilômetros
achatamento	0,0052
volume	$1,6336 \times 10^{11}$ km cúbicos = 0,1508 terra
massa	$6,387 \times 10^{23}$ quilogramas = 0,1069 terra
densidade	3,933 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	3,693 metros por segundo <sup>2</sup> = 0,377 terra
velocidade de escape	5,01 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	24 horas, 37 minutos e 22,6 segundos
inclinação axial	23,98 graus
albedo	0,154
temperatura superficial	-126 a 27 graus Celsius (143 a 300 Kelvin)
pressão superficial	5,4 milibares
magnitude visual (oposição)	-2,8
número de satélites	2

### A.6.2. Características estruturais de Marte

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	2%	CO <sub>2</sub> (95%), N <sub>2</sub> (3%), Ar(2%), O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Crosta	1,5%	silicatos rochosos e metais
Manto	60%	silicatos e óxidos metálicos
Núcleo	38,5%	ferro e níquel

### A.6.3. Características orbitais de Marte

distância máxima ao Sol	$249,228 \times 10^6$ quilômetros = 1,6660 UA
distância média ao Sol	$227,941 \times 10^6$ quilômetros = 1,5237 UA
distância mínima ao Sol	$206,654 \times 10^6$ quilômetros = 1,3814 UA
excentricidade	0,0934
inclinação orbital	1,85 graus
revolução sideral	668,6 dias = 1,83 anos
velocidade orbital média	24,13 quilômetros por segundo
período sinódico	779,88 dias

## A.7. Júpiter

### A.7.1. Características físicas de Júpiter

diâmetro equatorial	143.884 quilômetros = 11,28 terra
diâmetro polar	134.200 quilômetros
achatamento	0,072
volume	$1,433 \times 10^{15}$ km cúbicos = 1.323 terra
massa	$1,899 \times 10^{27}$ quilogramas = 317,9 terra
densidade	1,326 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	24,48 metros por segundo <sup>2</sup> = 2,50 terra
velocidade de escape	60,22 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	9 horas, 50 min e 30 segundos = 0,41 dias
inclinação axial	3,12 graus
albedo	0,73
temperatura superficial	-140 graus Celsius (133 Kelvin)
magnitude visual (oposição)	-2,5
número de satélites	16

### A.7.2. Características estruturais de Júpiter

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	12%	nuvens de amônia, água, H molecular, He
Manto	68%	H metálico líquido e He
Núcleo	20%	metais, silicatos e gelos

### A.7.2. Características orbitais de Júpiter

distância máxima ao Sol	$816,052 \times 10^6$ quilômetros = 5,4550 UA
distância média ao Sol	$778,328 \times 10^6$ quilômetros = 5,2028 UA
distância mínima ao Sol	$740,604 \times 10^6$ quilômetros = 4,9506 UA
excentricidade	0,0484
inclinação orbital	1,395 graus
revolução sideral	4.332,6 dias = 11,86 anos
velocidade orbital média	13,06 quilômetros por segundo
período sinódico	398,88 dias

## A.8. Saturno

### A.8.1. Características físicas de Saturno

diâmetro equatorial	120.536 quilômetros = 9,45 terra
diâmetro polar	*108.728 quilômetros
achatamento	0,117
volume	$8,215 \times 10^{14}$ km cúbicos = 759,2 terra
massa	$5,6846 \times 10^{26}$ quilogramas = 95,14 terra
densidade	0,6873 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	10,44 metros por segundo <sup>2</sup> = 1,07 terra
velocidade de escape	35,47 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	10 horas e 14 minutos = 0,43 dias
inclinação axial	26,73 graus
albedo	0,45
temperatura superficial	-160 graus Celsius (113 Kelvin)
magnitude visual (oposição)	-0,4
número de satélites	18

### A.8.2. Características estruturais de Saturno

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	50%	nuvens de amônia e água, H molecular, He
Manto	28%	H metálico líquido e He
Núcleo	22%	metais, silicatos e gelos

### A.8.3. Características orbitais de Saturno

distância máxima ao Sol	$1,5063 \times 10^9$ quilômetros = 10,0693 UA
distância média ao Sol	* $1,4294 \times 10^9$ quilômetros = 9,5388 UA
distância mínima ao Sol	$1,3476 \times 10^9$ quilômetros = 9,0084 UA
excentricidade	0,0556
inclinação orbital	2,450 graus
revolução sideral	10.759,2 dias = 29,45 anos
velocidade orbital média	9,64 quilômetros por segundo
período sinódico	378,08 dias

## A.9. Urano

### A.9.1. Características físicas de Urano

descobrimento	13/03/1781, por William Herschel
diâmetro equatorial	51.118 quilômetros = 4,01 terra
diâmetro polar	49.946 quilômetros
achatamento	0,0235
volume	$6,45 \times 10^{13}$ km cúbicos = 64,56 terra
massa	$8,6832 \times 10^{25}$ quilogramas = 13,7 terra
densidade	1,2707 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	8,34 metros por segundo <sup>2</sup> = 0,85 terra
velocidade de escape	20,65 quilômetros por segundo
periodo de rotação sideral	16 horas e 42 minutos = 0,70 dias
inclinação axial	97,86 graus
albedo	0,93
temperatura superficial	-180 graus Celsius (93 Kelvin)
magnitude visual (oposição)	5,6
número de satélites	17

### A.9.2. Características estruturais de Urano

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	30%	nuvens de metano, H molecular, He, CH <sub>4</sub>
Manto	42%	gelos de NH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O e CH <sub>4</sub>
Núcleo	28%	metais, silicatos e gelos

### A.9.3. Características orbitais de Urano

distância máxima ao Sol	$3,005 \times 10^9$ quilômetros = 20,088 UA
distância média ao Sol	$2,87099 \times 10^9$ quilômetros = 19,182 UA
distância mínima ao Sol	$2,733 \times 10^9$ quilômetros = 18,275 UA
excentricidade	0,0472
inclinação à eclíptica	0,773 graus
revolução sideral	30.684,8 dias = 83,99 anos
velocidade orbital média	6,80 quilômetros por segundo
período sinódico	369,65 dias

## A.10. Netuno

### A.10.1. Características físicas de Netuno

descobrimento	23/09/1843 por Leverrier e Adams
diâmetro equatorial	*49.532 quilômetros = 3,96 terra
diâmetro polar	49.600 quilômetros
achatamento	0,0189
volume	$6,633 \times 10^{13}$ km cúbicos = 61,2 terra
massa	$1,0247 \times 10^{26}$ quilogramas = 18,21 terra
densidade	1,640 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	11,37 metros por segundo <sup>2</sup> = 1,16 terra
velocidade de escape	23,97 quilômetros por segundo
periodo de rotação sideral	16 horas e 7 minutos = 0,67 dias
inclinação axial	29,56 graus
albedo	0,53
temperatura superficial	-200 graus Celsius (73 Kelvin)
magnitude visual (oposição)	7,9
número de satélites	8

### A.10.2. Características estruturais de Netuno

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	30%	nuvens de metano, H molecular, He, CH <sub>4</sub>
Manto	40%	oceano iônico de prótons hidratados, CH <sub>4</sub> , HO
Núcleo	30%	metais, silicatos e gelos

### A.10.3. Características orbitais de Netuno

distância máxima ao Sol	$4,535 \times 10^9$ quilômetros = 30,316 UA
distância média ao Sol	* $4,504 \times 10^9$ quilômetros = 30,058 UA
distância mínima ao Sol	$4,458 \times 10^9$ quilômetros = 29,800 UA
excentricidade	0,00859
inclinação à eclíptica	1,774 graus
revolução sideral	60.190,5 dias = 164,74 anos
velocidade orbital média	5,43 quilômetros por segundo
período sinódico	367,48 dias

## A.11. Plutão

### A.11.1. Características físicas de Plutão

descobrimento	em 18/2/1930, por Clyde Tombaugh
diâmetro médio	2.274 quilômetros = 0,18 terra
volume	$6,24 \times 10^9 \text{ km}^3 = 0,006 \text{ terra}$
massa	$1,27 \times 10^{22} \text{ quilogramas} = 0,002 \text{ terra}$
densidade	2,0 gramas por centímetro cúbico
gravidade superficial	0,65 metros por segundo <sup>2</sup> = 0,067 terra
velocidade de escape	1,23 quilômetros por segundo
período de rotação sideral	6 dias, 9 horas e 18 minutos
inclinação axial	118 graus
albedo	0,54
temperatura superficial	-215 graus Celsius (58 Kelvin)
constituição atmosférica	CH <sub>4</sub> , Ar, N <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub>
magnitude visual (oposição)	14,5
número de satélites	1

### A.11.2. Características estruturais de Plutão

região	espessura	principais componentes da camada
Atmosfera	0%	CH <sub>4</sub> , Ar, N <sub>2</sub> , CO
Crosta	1%	gelo de CH <sub>4</sub>
Manto	20%	gelo de H <sub>2</sub> O
Núcleo	79%	gelos e silicatos rochosos

### A.11.3. Características orbitais de Plutão

distância máxima ao Sol	$7,422 \times 10^9 \text{ quilômetros} = 49,61 \text{ UA}$
distância média ao Sol	$*5,91352 \times 10^9 \text{ quilômetros} = 39,68 \text{ UA}$
distância mínima ao Sol	$4,441 \times 10^9 \text{ quilômetros} = 29,75 \text{ UA}$
excentricidade	0,2502
inclinação orbital	17,17 graus
revolução sideral	90.465 dias = 247,6 anos
velocidade orbital média	4,73 quilômetros por segundo
período sinódico	366,73 dias

## A.12. Tabela de satélites planetários

Glossário:

Nome - Nome oficial do satélite, aprovado pela IAU (União Astronômica Internacional)

Num - Número do satélite

Diam - diâmetro médio do satélite em quilômetros. Alguns satélites possuem forma irregular, sendo apresentados seus diâmetros máximo e mínimo.

Dist - distância entre os centros do satélite e de seu planeta, em milhares de quilômetros.

Rev - revolução sideral, tempo no qual o satélite realiza uma volta em torno de seu planeta, em relação às estrelas, em dias.

Dens - densidade média do satélite, em gramas por centímetro cúbico.

Mass - massa aproximada, em quilogramas.

nome	num	diam	dist	rev	dens	mass
<b>Terra</b>						
Lua	I	3476	384,4	27,33	3,34	7,35 E22
<b>Marte</b>						
Fobos	I	27x19	9,47	0,32	1,7	9,6 E15
Deimos	II	15x11	23,38	1,26	2,1	2,0 E15
<b>Júpiter</b>						
Métis	XVI	44	127,6	0,29	3,0	1,0 E17
Adrastéia	XV	26x16	128,4	0,30	4,5	2,0 E17
Amaltéia	V	270x150	180,9	0,50	3,5	1,2 E19
Tebe	XIV	110x90	222,4	0,68	1,4	7,5 E17
Io	I	3632	421,8	1,77	3,53	8,92 E22
Europa	II	3126	671,1	3,55	3,03	4,87 E22
Ganimedes	III	5268	1070,5	7,15	1,93	1,49 E23
Calisto	IV	4806	1882,9	16,69	1,79	1,07 E23
Themisto	XVIII	9	7507,0	130,00	?	?
Leda	XIII	15	11070,0	238,50	3,0	6,4 E15
Himália	VI	180	11370,0	247,90	3,0	1,0 E19
Elara	VII	75	11670,0	259,80	3,0	7,0 E17
Lisitéia	X	35	11820,0	260,20	3,0	7,3 E16
S/2000 J11		4	12420,0	284,30	?	?
S/2003 J20		3	17100,0	456,50	?	?
S/2003 J3		2	18339,9	504,00	?	?
S/2003 J12		1	19002,5	533,30	?	?
S/2001 J10		2	19302,0	550,70	?	?
Harpalyke	XXII	4	20350,0	595,40	?	?

nome	num	diam	dist	rev	dens	mass
S/2003 J18		2	20700,0	606,30	?	?
S/2001 J9		2	20721,0	622,60	?	?
S/2001 J7		3	20799,0	620,60	?	?
Ananke	XII	30	20940,0	620,90	2,8	4,0 E16
S/2001 J2		4	20940,0	627,30	?	?
S/2003 J6		4	20979,1	617,30	?	?
S/2003 J16		2	21000,0	595,40	?	?
Praxidike	XXVII	6	21240,0	657,40	?	?
locaste	XXIV	5	21840,0	657,00	?	?
S/2003 J15		2	22000,0	668,40	?	?
S/2003 J17		2	22000,0	690,30	?	?
Carme	XI	40	22140,0	672,00	3,0	1,0 E17
Erinome	XXV	3	22140,0	672,00	?	?
S/2003 J11		2	22395,4	683,00	?	?
Taygete	XX	5	22440,0	686,70	?	?
S/2003 J9		1	22441,7	683,00	?	?
Chaldene	XX					
I 5	22640,0					
741,50	?	?				
S/2003						
J19 2	228					
00,0	701,30					
?	?	S/20				
01						
J4 3	2286					
5,0	717,30					
?	?	Isonoe				
XXVI 4	22					
890,0	712,20					
?	?	S/20				
02						
J1 3	2293					
1,0	723,90					
?	?	S/200				
1						
J1 4	2303					
9,0	762,70					
?	?	S/200				
1						
J6 2	2309					
6,0	719,50					
?	?	S/200				
1						
J8 2	2321					
7,0	729,50					
?	?	S/200				
1						
J11 3	232					
31,0	730,20					
?	?	S/20				
03						
J4 2	2325					

7,9	723,20
? ?	Pasífa
e VIII	50 2
3340,0	730,5
0 2,9	1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	?
Sínope	IX 3
5 23640,0	7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2 24000,0	
737,80	?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite XIX	6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2 24249,6	
767,00	?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2 25000,0	
807,80	?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
XXI	5 22640

,0	741,50	?
?	S/2003	
J19	2	228
00,0	701,30	
?	?	S/20
01		
J4	3	2286
5,0	717,30	
?	?	Isonoe
XXVI	4	22
890,0	712,20	
?	?	S/20
02		
J1	3	2293
1,0	723,90	
?	?	S/200
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
?	?	S/200
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
?	?	S/200
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
?	?	S/200
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
?	?	Pasífa
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	

? ? Kalyke
XXIII 6 23
940,0 759,70
? ? S/20
03 J13
2 24000,0
737,80 ? ?
S/2003
J5 4 2408
4,2 759,70
? ? Megac
lite XIX 6 2
4240,0 770,7
0 ? ? S/2
003 J10
2 24249,6
767,00 ? ?
S/2003
J8 3 2451
4,1 781,60
? ? S/200
3
J1 4 2455
7,3 781,60
? ? S/200
3 J14
2 25000,0
807,80 ? ?
S/2003
J2 2 2857
0,4 982,50
? ?
5 22640,0 7
41,50 ? ?
22640,0 741,
50 ? ? S/
2003
J19 2 228
00,0 701,30
? ? S/20
01
J4 3 2286
5,0 717,30
? ? Isonoe
XXVI 4 22
890,0 712,20
? ? S/20
02
J1 3 2293
1,0 723,90
? ? S/200
1

J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		0
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?

S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	
3	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
741,50 ? ?	
? ? S/200	
3	
J19 2 228	
00,0 701,30	
? ? S/20	
01	
J4 3 2286	
5,0 717,30	
? ? Isonoe	
XXVI 4 22	
890,0 712,20	
? ? S/20	
02	
J1 3 2293	
1,0 723,90	
? ? S/200	
1	
J1 4 2303	
9,0 762,70	
? ? S/200	
1	
J6 2 2309	
6,0 719,50	
? ? S/200	
1	
J8 2 2321	
7,0 729,50	
? ? S/200	
1	
J11 3 232	
31,0 730,20	
? ? S/20	
03	
J4 2 2325	
7,9 723,20	
? ? Pasífa	

e	VIII	50	2
3340,0	730,5		
0	2,9	1,9	
E17	S/2001		
J5	2	2348	
7,0	748,30		
? ?	Callirr		
hoe	XVII	10	
	23490,0	73	
7,80	?	?	
Sínope	IX	3	
5	23640,0	7	
45,10	3,3	8,	
0			
E16	S/2003		
J7	4	2380	
7,6	748,80		
? ?	Kalyke		
	XXIII	6	23
940,0	759,70		
? ?	S/20		
03	J13		
2	24000,0		
737,80	?	?	
	S/2003		
J5	4	2408	
4,2	759,70		
? ?	Megac		
lite	XIX	6	2
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003	J10		
2	24249,6		
767,00	?	?	
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3	J14		
2	25000,0		
807,80	?	?	
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
	S/2003		
J19	2	228	
00,0	701,30		

?	?	S/20
01		
J4	3	2286
5,0	717,30	
? ?	Isonoe	
XXVI	4	22
890,0	712,20	
? ?	S/20	
02		
J1	3	2293
1,0	723,90	
? ?	S/200	
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	? ?	
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	

03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2003	
J19	2 228
00,0	701,30
? ?	S/20
01	
J4	3 2286
5,0	717,30
? ?	Isonoe
XXVI	4 22
890,0	712,20
? ?	S/20
02	
J1	3 2293
1,0	723,90
? ?	S/200
1	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	

J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	

3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2003	
J19	2 228
00,0	701,30
? ?	S/20
01	
J4	3 2286
5,0	717,30
? ?	Isonoe
XXVI	4 22
890,0	712,20
? ?	S/20
02	
J1	3 2293
1,0	723,90
? ?	S/200
1	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
	23490,0 73
7,80	? ?

Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003		S/2
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
2	22800,0	
2	22800,0	7
01,30	?	?
22800,0	701,	
30	?	?
2001		S/
J4	3	2286
5,0	717,30	
? ?	Isonoe	
XXVI	4	22
890,0	712,20	
? ?	S/20	
02		

J1	3	2293
1,0	723,90	
? ?	S/200	
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	? ?	
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	? ?	
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	

0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3			
	J14		
2	25000,0		
807,80	?	?	
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
701,30	?	?	
?	?	S/200	
1			
J4	3	2286	
5,0	717,30		
?	?	Isonoe	
XXVI	4	22	
890,0	712,20		
?	?	S/20	
02			
J1	3	2293	
1,0	723,90		
?	?	S/200	
1			
J1	4	2303	
9,0	762,70		
?	?	S/200	
1			
J6	2	2309	
6,0	719,50		
?	?	S/200	
1			
J8	2	2321	
7,0	729,50		
?	?	S/200	
1			
J11	3	232	
31,0	730,20		
?	?	S/20	
03			
J4	2	2325	
7,9	723,20		
?	?	Pasífa	

e	VIII	50	2
3340,0		730,5	
0	2,9	1,9	
E17		S/2001	
J5	2	2348	
7,0		748,30	
? ?		Callirr	
hoe	XVII	10	
	23490,0	73	
7,80	?	?	
Sínope	IX	3	
5	23640,0	7	
45,10	3,3	8,	
0			
E16		S/2003	
J7	4	2380	
7,6		748,80	
? ?		Kalyke	
	XXIII	6	23
940,0		759,70	
? ?		S/20	
03		J13	
2		24000,0	
737,80	?	?	
		S/2003	
J5	4	2408	
4,2		759,70	
? ?		Megac	
lite	XIX	6	2
4240,0		770,7	
0	?	?	S/2
003		J10	
2		24249,6	
767,00	?	?	
		S/2003	
J8	3	2451	
4,1		781,60	
? ?		S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3		781,60	
? ?		S/200	
3		J14	
2		25000,0	
807,80	?	?	
		S/2003	
J2	2	2857	
0,4		982,50	
? ?			
?		S/2001	
J4	3	2286	
5,0		717,30	

? ? Isonoe
XXVI 4 22
890,0 712,20
? ? S/20
02
J1 3 2293
1,0 723,90
? ? S/200
1
J1 4 2303
9,0 762,70
? ? S/200
1
J6 2 2309
6,0 719,50
? ? S/200
1
J8 2 2321
7,0 729,50
? ? S/200
1
J11 3 232
31,0 730,20
? ? S/20
03
J4 2 2325
7,9 723,20
? ? Pasífa
e VIII 50 2
3340,0 730,5
0 2,9 1,9
E17 S/2001
J5 2 2348
7,0 748,30
? ? Callirr
hoe XVII 10
23490,0 73
7,80 ? ?
Sínope IX 3
5 23640,0 7
45,10 3,3 8,
0
E16 S/2003
J7 4 2380
7,6 748,80
? ? Kalyke
XXIII 6 23
940,0 759,70
? ? S/20
03 J13
2 24000,0
737,80 ? ?
S/2003

J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	S/2001	
J4	3	2286
5,0	717,30	
? ?	Isonoe	
XXVI	4	22
890,0	712,20	
? ?	S/20	
02		
J1	3	2293
1,0	723,90	
? ?	S/200	
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		

J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17	S/2001	
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		

S/2001	
J4	3 2286
5,0	717,30
? ?	Isonoe
XXVI	4 22
890,0	712,20
? ?	S/20
02	
J1	3 2293
1,0	723,90
? ?	S/200
1	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirrhoe
XVII	10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13

	2	24000,0	
	737,80	?	?
	S/2003		
J5	4	2408	
4,2	759,70		
? ?	Megac		
lite	XIX	6 2	
4240,0	770,7		
0 ? ?	S/2		
003	J10		
	2	24249,6	
	767,00	?	?
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3	J14		
	2	25000,0	
	807,80	?	?
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
	3	22865,0	
3	22865,0	7	
17,30	?	?	
22865,0	717,		
30	?	?	Is
onoe	XXVI		
717,30	?	?	
? ?	Isonoē		
XXVI	4	22	
890,0	712,20		
? ?	S/20		
02			
J1	3	2293	
1,0	723,90		
? ?	S/200		
1			
J1	4	2303	
9,0	762,70		
? ?	S/200		
1			
J6	2	2309	
6,0	719,50		
? ?	S/200		
1			
J8	2	2321	

7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14

2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
?	Isonoë X
XVI	4 22890
,0	712,20 ?
?	S/2002
J1	3 2293
1,0	723,90
? ?	S/200
1	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23

940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
Isonoe XXV	
I	4 22890,0
712,20	? ?
S/2002	
J1	3 2293
1,0	723,90
? ?	S/200
1	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20

?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003		S/2
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	

?	?
Isonoe	XXVI
4	22890,0
XXVI	4 228
90,0	712,20
? ?	S/20
02	
J1	3 2293
1,0	723,90
? ?	S/200
1	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13

2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
4	22890,0	7
12,20	?	?
22890,0	712,	
20	?	?
S/		
2002		
J1	3	2293
1,0	723,90	
? ?	S/200	
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		

J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17	S/2001	
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		

712,20	?	?
?	?	S/200
2		
J1	3	2293
1,0	723,90	
?	?	S/200
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
?	?	S/200
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
?	?	S/200
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
?	?	S/200
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
?	?	Pasífa
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
XXIII	6	23
940,0	759,70	
?	?	S/20
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	

? ? Megac
lite XIX 6 2
4240,0 770,7
0 ? ? S/2
003 J10
2 24249,6
767,00 ? ?
S/2003
J8 3 2451
4,1 781,60
? ? S/200
3
J1 4 2455
7,3 781,60
? ? S/200
3 J14
2 25000,0
807,80 ? ?
S/2003
J2 2 2857
0,4 982,50
? ?
?
S/2002
J1 3 2293
1,0 723,90
? ? S/200
1
J1 4 2303
9,0 762,70
? ? S/200
1
J6 2 2309
6,0 719,50
? ? S/200
1
J8 2 2321
7,0 729,50
? ? S/200
1
J11 3 232
31,0 730,20
? ? S/20
03
J4 2 2325
7,9 723,20
? ? Pasífa
e VIII 50 2
3340,0 730,5
0 2,9 1,9
E17 S/2001
J5 2 2348
7,0 748,30

? ? Callirr	
hoe XVII 10	
23490,0 73	
7,80 ? ?	
Sínope IX 3	
5 23640,0 7	
45,10 3,3 8,	
0	
E16 S/2003	
J7 4 2380	
7,6 748,80	
? ? Kalyke	
XXIII 6 23	
940,0 759,70	
? ? S/20	
03 J13	
2 24000,0	
737,80 ? ?	
S/2003	
J5 4 2408	
4,2 759,70	
? ? Megac	
lite XIX 6 2	
4240,0 770,7	
0 ? ? S/2	
003 J10	
2 24249,6	
767,00 ? ?	
S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	
3	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
S/2002	
J1 3 2293	
1,0 723,90	
? ? S/200	
1	
J1 4 2303	
9,0 762,70	
? ? S/200	
1	

J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	? ?	
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	? ?	
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	? ?	S/2
003		J10
2	24249,6	
767,00	? ?	
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	

3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
 S/2002		
J1	3	2293
1,0	723,90	
? ?	S/200	
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	

? ? Kalyke
XXIII 6 23
940,0 759,70
? ? S/20
03 J13
2 24000,0
737,80 ? ?
S/2003
J5 4 2408
4,2 759,70
? ? Megac
lite XIX 6 2
4240,0 770,7
0 ? ? S/2
003 J10
2 24249,6
767,00 ? ?
S/2003
J8 3 2451
4,1 781,60
? ? S/200
3
J1 4 2455
7,3 781,60
? ? S/200
3 J14
2 25000,0
807,80 ? ?
S/2003
J2 2 2857
0,4 982,50
? ?
3 22931,0
3 22931,0 7
23,90 ? ?
22931,0 723,
90 ? ? S/
2001
J1 4 2303
9,0 762,70
? ? S/200
1
J6 2 2309
6,0 719,50
? ? S/200
1
J8 2 2321
7,0 729,50
? ? S/200
1
J11 3 232
31,0 730,20

?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003		S/2
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	

?	?	
723,90	?	?
? ?	S/200	
1		
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2

4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003	J10		
2	24249,6		
767,00	?	?	
S/2003			
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3	J14		
2	25000,0		
807,80	?	?	
S/2003			
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
?	S/2001		
J1	4	2303	
9,0	762,70		
?	?	S/200	
1			
J6	2	2309	
6,0	719,50		
?	?	S/200	
1			
J8	2	2321	
7,0	729,50		
?	?	S/200	
1			
J11	3	232	
31,0	730,20		
?	?	S/20	
03			
J4	2	2325	
7,9	723,20		
?	?	Pasífa	
e	VIII	50	2
3340,0	730,5		
0	2,9	1,9	
E17	S/2001		
J5	2	2348	
7,0	748,30		
?	?	Callirr	
hoe	XVII	10	
23490,0	73		
7,80	?	?	
Sínope	IX	3	
5	23640,0	7	

45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	? ?	
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	? ?	S/2
003	J10	
2	24249,6	
767,00	? ?	
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	? ?	
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
		S/2001
J1	4	2303
9,0	762,70	
? ?	S/200	
1		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	

?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
003		S/2
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	

?	?
S/2001	
J1	4 2303
9,0	762,70
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	0
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2

003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
4	23039,0
4	23039,0 7
62,70	? ?
23039,0	762,
70	? ? S/
2001	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,

0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
	762,70 ? ?
? ?	S/200
1	
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325

7,9	723,20
? ?	Pasífa
e VIII	50 2
3340,0	730,5
0 2,9	1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	?
Sínope	IX 3
5 23640,0	7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
?	S/2001

J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	? ?	
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13
2	24000,0	
737,80	? ?	
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	? ?	S/2
003		J10
2	24249,6	
767,00	? ?	
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	

3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
	S/2001
J6	2 2309
6,0	719,50
? ?	S/200
1	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
	23490,0 73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
	XXIII 6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003

J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
 S/2001		
J6	2	2309
6,0	719,50	
? ?	S/200	
1		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7

45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	? ?	
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	? ?	S/2
003	J10	
2	24249,6	
767,00	? ?	
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	? ?	
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
2	23096,0	
2	23096,0	7
19,50	? ?	
23096,0	719,	
50	? ?	S/
2001		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325

7,9	723,20
? ?	Pasífa
e VIII	50 2
3340,0	730,5
0 2,9	1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	?
Sínope	IX 3
5 23640,0	7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2 24000,0	
737,80	?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite XIX	6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2 24249,6	
767,00	?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2 25000,0	
807,80	?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
719,50	?

? ?	S/200
1	
J8 2	2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11 3	232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4 2	2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e VIII	50 2
3340,0	730,5
0 2,9	1,9
E17	S/2001
J5 2	2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe XVII	10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope IX	3
5 23640,0	7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7 4	2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII 6	23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5 4	2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite XIX 6	2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8 3	2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1 4	2455

7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
? S/2001	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2

003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2001	
J8	2 2321
7,0	729,50
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13

2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
S/2001		
J8	2	2321
7,0	729,50	
? ?	S/200	
1		
J11	3	232
31,0	730,20	
? ?	S/20	
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0 2,9	1,9	
E17	S/2001	
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,

0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
	2 23217,0
2	23217,0 7
29,50	? ?
23217,0	729,
50 ? ?	S/
2001	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0 2,9	1,9

E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
	729,50 ? ?
? ?	S/200
1	
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20

03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	

?	S/2001
J11	3 232
31,0	730,20
? ?	S/20
03	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0

807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
S/2001		
J11	3	232
31,0	730,20	
?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
?	?	Pasífa
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17	S/2001	
J5	2	2348
7,0	748,30	
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
XXIII	6	23
940,0	759,70	
?	?	S/20
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
?	?	Megac
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	S/2
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
?	?	S/200
3		

J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
?	?	
 S/2001		
J11	3	232
31,0	730,20	
?	?	S/20
03		
J4	2	2325
7,9	723,20	
?	?	Pasífa
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
	23490,0	73
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
	XXIII	6 23
940,0	759,70	
?	?	S/20
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
?	?	Megac
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	S/2
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?

	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
	2 25000,0
	807,80 ? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
	3 23231,0
3	23231,0 7
30,20	? ?
23231,0	730,
20	? ? S/
2003	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
	23490,0 73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
	XXIII 6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
	2 24000,0
	737,80 ? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac

lite	XIX	6	2
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3		J14	
2	25000,0		
807,80	?	?	
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
730,20	?	?	
?	?	S/200	
3			
J4	2	2325	
7,9	723,20		
?	?	Pasífa	
e	VIII	50	2
3340,0	730,5		
0	2,9	1,9	
E17		S/2001	
J5	2	2348	
7,0	748,30		
?	?	Callirr	
hoe	XVII	10	
23490,0	73		
7,80	?	?	
Sínope	IX	3	
5	23640,0	7	
45,10	3,3	8,	
0			
E16		S/2003	
J7	4	2380	
7,6	748,80		
?	?	Kalyke	
XXIII	6	23	
940,0	759,70		
?	?	S/20	
03		J13	
2	24000,0		
737,80	?	?	
	S/2003		

J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	S/2003	
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
	23490,0	73
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
	XXIII	6 23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?

S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2003	
J4	2 2325
7,9	723,20
? ?	Pasífa
e	VIII 50 2
3340,0	730,5
0	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0

737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
S/2003		
J4	2	2325
7,9	723,20	
? ?	Pasífa	
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17	S/2001	
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	

2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
2	23257,9
2	23257,9 7
23,20	? ?
23257,9	723,
20 ? ?	Pa
sífae	VIII 50
23340,0	73
0,50	2,9 1,9
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70

?	?	S/20
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
?	?	Megac
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	S/2
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
?	?	S/200
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
?	?	S/200
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
?	?	
723,20	?	?
?	?	Pasífa
e	VIII	50 2
3340,0	730,5	
0	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
	23490,0	73
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
	XXIII	6 23
940,0	759,70	
?	?	S/20

03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
? Pasífae	
Pasífae	VIII
50	23340,0
730,50	2,9
1,9	
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13

2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
Pasífae	VIII	
VIII	50	2334
0,0	730,50	
50	23340,0	
23340,0	730,	
50	2,9	1,9
E17		S/2001
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03		J13

2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
730,50	2,9	
2,9	1,9	
E17	S/2001	
J5	2	2348
7,0	748,30	
? ?	Callirr	
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408

4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
1,9	
E17	S/2001
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	0
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2

003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2001	
J5	2 2348
7,0	748,30
? ?	Callirr
hoe	XVII 10
23490,0	73
7,80	? ?
Sínope	IX 3
5	23640,0 7
45,10	3,3 8,
0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60

?	?	S/200
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
?	?	S/200
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
?	?	
 S/2001		
J5	2	2348
7,0	748,30	
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
XXIII	6	23
940,0	759,70	
?	?	S/20
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
?	?	Megac
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	S/2
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
?	?	S/200
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
?	?	S/200
3		J14

2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
2	23487,0	
2	23487,0	7
48,30	?	?
23487,0	748,	
30	?	?
Ca		
llirrhoe	XVII	
748,30	?	?
?	?	Callirr
hoe	XVII	10
23490,0	73	
7,80	?	?
Sínope	IX	3
5	23640,0	7
45,10	3,3	8,
0		
E16	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
XXIII	6	23
940,0	759,70	
?	?	S/20
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?
S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
?	?	Megac
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	?
S/2		
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
?	?	S/200
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
?	?	S/200
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?

	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
?	Callirrhoe
XVII	10 23
490,0	737,80
? ?	Síno
pe	IX 35 2
3640,0	745,1
0	3,3 8,0
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
	Callirrhoe X
VII	10 2349
0,0	737,80
Callirrhoe XV	
II	10 23490,

0	737,80	?
XVII	10	234
90,0	737,80	
?	?	Síno
pe	IX	35 2
3640,0	745,1	
0	3,3	8,0
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke
XXIII	6	23
940,0	759,70	
?	?	S/20
03		J13
2	24000,0	
737,80	?	?
		S/2003
J5	4	2408
4,2	759,70	
?	?	Megac
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	?	S/2
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
		S/2003
J8	3	2451
4,1	781,60	
?	?	S/200
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
?	?	S/200
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
		S/2003
J2	2	2857
0,4	982,50	
?	?	
10	23490,0	
23490,0	737,	
80	?	?
nope	IX	35
23640,0	74	
5,10	3,3	8,0
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
?	?	Kalyke

XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	? ?	
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	? ?	
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	? ?	
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
737,80	? ?	
? ?	Sínop	
e	IX	35 23
640,0	745,10	
3,3	8,0	
E16		S/2003
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	? ?	
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	

0	?	?	S/2
003			J10
2	24249,6		
767,00	?	?	
			S/2003
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3			J14
2	25000,0		
807,80	?	?	
			S/2003
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
?		Sínope I	
X	35	23640,	
0	745,10	3,	
3	8,0		
E16		S/2003	
J7	4	2380	
7,6	748,80		
?	?	Kalyke	
		XXIII 6 23	
940,0	759,70		
?	?	S/20	
03		J13	
2	24000,0		
737,80	?	?	
		S/2003	
J5	4	2408	
4,2	759,70		
?	?	Megac	
lite	XIX	6 2	
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
		S/2003	
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3			J14

2	25000,0		
807,80	?	?	
S/2003			
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
Sínope	IX		
Sínope	IX	3	
5	23640,0	7	
45,10	3,3	8,	
0			
E16		S/2003	
J7	4	2380	
7,6	748,80		
?	?	Kalyke	
XXIII	6	23	
940,0	759,70		
?	?	S/20	
03		J13	
2	24000,0		
737,80	?	?	
S/2003			
J5	4	2408	
4,2	759,70		
?	?	Megac	
lite	XIX	6 2	
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
S/2003			
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3		J14	
2	25000,0		
807,80	?	?	
S/2003			
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
IX	35	23640	
,0	745,10	3,	
3	8,0		
E16		S/2003	
J7	4	2380	

7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
35	23640,0
23640,0	745,
10	3,3 8,0
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
	S/2003
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7

0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3		J14	
2	25000,0		
807,80	?	?	
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
745,10	3,3		
3,3	8,0		
E16		S/2003	
J7	4	2380	
7,6	748,80		
?	?	Kalyke	
	XXIII	6 23	
940,0	759,70		
?	?	S/20	
03		J13	
2	24000,0		
737,80	?	?	
	S/2003		
J5	4	2408	
4,2	759,70		
?	?	Megac	
lite	XIX	6 2	
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3		J14	
2	25000,0		
807,80	?	?	

S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
8,0	
E16	S/2003
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2003	
J7	4 2380
7,6	748,80
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	

J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	S/2003	
J7	4	2380
7,6	748,80	
? ?	Kalyke	
XXIII	6	23
940,0	759,70	
? ?	S/20	
03	J13	
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	

3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
4	23807,6
4	23807,6 7
48,80	? ?
23807,6	748,
80	? ? Ka
lyke	XXIII 6
23940,0	75
9,70	? ?
748,80	? ?
? ?	Kalyke
XXIII	6 23
940,0	759,70
? ?	S/20
03	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0	? ? S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
? ?	Kalyke X
XIII	6 23940
,0	759,70 ?

?	S/2003	
J13		
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	Kalyke	XXII
I	6	23940,0
759,70	?	?
	S/2003	
J13		
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003		J10
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455

7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	? ?	
	S/2003	
J2	2 2857	
0,4	982,50	
? ?		
 Kalyke XXIII		
6	23940,0	
XXIII	6 2394	
0,0	759,70	
6	23940,0 7	
59,70	? ?	
23940,0	759,	
70	? ? S/	
2003	J13	
2	24000,0	
737,80	? ?	
	S/2003	
J5	4 2408	
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX 6 2	
4240,0	770,7	
0	? ? S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	? ?	
	S/2003	
J8	3 2451	
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4 2455	
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	? ?	
	S/2003	
J2	2 2857	
0,4	982,50	
? ?		
 759,70 ? ?		
? ?	S/200	
3	J13	
2	24000,0	
737,80	? ?	
	S/2003	

J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	S/2003	
J13		
2	24000,0	
737,80	?	?
	S/2003	
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0 ? ?	S/2	
003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	

?	?
S/2003	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
S/2003	
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
S/2003	J13
2	24000,0
737,80	? ?
S/2003	
J5	4 2408
4,2	759,70
? ?	Megac
lite	XIX 6 2
4240,0	770,7
0 ? ?	S/2
003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
S/2003	
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14

2	25000,0		
807,80	?	?	
S/2003			
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
2	24000,0		
2	24000,0	7	
37,80	?	?	
24000,0	737,		
80	?	?	S/
2003			
J5	4	2408	
4,2	759,70		
?	?	Megac	
lite	XIX	6 2	
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
S/2003			
J8	3	2451	
4,1	781,60		
?	?	S/200	
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
?	?	S/200	
3		J14	
2	25000,0		
807,80	?	?	
S/2003			
J2	2	2857	
0,4	982,50		
?	?		
737,80	?	?	
?	?	S/200	
3			
J5	4	2408	
4,2	759,70		
?	?	Megac	
lite	XIX	6 2	
4240,0	770,7		
0	?	?	S/2
003		J10	
2	24249,6		
767,00	?	?	
S/2003			
J8	3	2451	
4,1	781,60		

? ? S/200	
3	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
? S/2003	
J5 4 2408	
4,2 759,70	
? ? Megac	
lite XIX 6 2	
4240,0 770,7	
0 ? ? S/2	
003 J10	
2 24249,6	
767,00 ? ?	
S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	
3	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
S/2003	
J5 4 2408	
4,2 759,70	
? ? Megac	
lite XIX 6 2	
4240,0 770,7	
0 ? ? S/2	
003 J10	
2 24249,6	
767,00 ? ?	
S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	

3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
	2	25000,0
	807,80	? ?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
 S/2003		
J5	4	2408
4,2	759,70	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	? ?	S/2
003		J10
	2	24249,6
	767,00	? ?
	S/2003	
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
	2	25000,0
	807,80	? ?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
 4 24084,2		
4	24084,2	7
59,70	? ?	
24084,2	759,	
70	? ?	M
egaclite	XIX	
6	24240,0	
759,70	? ?	
? ?	Megac	
lite	XIX	6 2
4240,0	770,7	
0	? ?	S/2
003		J10
	2	24249,6
	767,00	? ?

S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	
3	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
?	Megaclite
XIX 6 242	
40,0 770,70	
? ? S/20	
03 J10	
2 24249,6	
767,00 ? ?	
S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	
3	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
Megaclite X	
IX 6 24240,	
0 770,70 ?	
Megaclite XI	
X 6 24240,0	
770,70 ? ?	
S/2003	
J10	
2 24249,6	
767,00 ? ?	
S/2003	
J8 3 2451	
4,1 781,60	
? ? S/200	

3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
 XIX	6 24240
,0	770,70 ?
	? S/2003
J10	
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003
J2	2 2857
0,4	982,50
? ?	
 6	24240,0 7
70,70	? ?
24240,0	770,
70	? ? S/
2003	J10
2	24249,6
767,00	? ?
	S/2003
J8	3 2451
4,1	781,60
? ?	S/200
3	
J1	4 2455
7,3	781,60
? ?	S/200
3	J14
2	25000,0
807,80	? ?
	S/2003

J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
770,70	?	?
? ?	S/200	
3	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
? ?	S/2003	
J10		
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3	J14	
2	25000,0	
807,80	?	?
S/2003		
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
S/2003	J10	
2	24249,6	
767,00	?	?
S/2003		
J8	3	2451
4,1	781,60	
? ?	S/200	
3		

J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3		J14	
2	25000,0		
807,80	? ?		
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
S/2003	J10		
2	24249,6		
767,00	? ?		
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3		J14	
2	25000,0		
807,80	? ?		
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
2	24249,6		
2	24249,6	7	
67,00	? ?		
24249,6	767,		
00	? ?	S/	
2003			
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3		J14	
2	25000,0		
807,80	? ?		
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
767,00	? ?		
? ?	S/200		

3			
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3	J14		
2	25000,0		
807,80	? ?		
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3	J14		
2	25000,0		
807,80	? ?		
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			
J1	4	2455	
7,3	781,60		
? ?	S/200		
3	J14		
2	25000,0		
807,80	? ?		
	S/2003		
J2	2	2857	
0,4	982,50		
? ?			
	S/2003		
J8	3	2451	
4,1	781,60		
? ?	S/200		
3			

J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
	2	25000,0
	807,80	? ?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	3	24514,1
3	24514,1	7
81,60	? ?	
24514,1	781,	
60	? ?	S/
2003		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
	2	25000,0
	807,80	? ?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	781,60	? ?
? ?	S/200	
3		
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
	2	25000,0
	807,80	? ?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		
	? S/2003	
J1	4	2455
7,3	781,60	
? ?	S/200	
3		J14
	2	25000,0
	807,80	? ?
	S/2003	
J2	2	2857
0,4	982,50	
? ?		

S/2003	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
 S/2003	
J1 4 2455	
7,3 781,60	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
 4 24557,3	
4 24557,3 7	
81,60 ? ?	
24557,3 781,	
60 ? ? S/	
2003 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
 781,60 ? ?	
? ? S/200	
3 J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	
J2 2 2857	
0,4 982,50	
? ?	
 ? S/2003	
J14	
2 25000,0	
807,80 ? ?	
S/2003	

J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
S/2003 J14 2 25000,0 807,80 ? ? S/2003	
J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
S/2003 J14 2 25000,0 807,80 ? ? S/2003	
J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
2 25000,0 2 25000,0 8 07,80 ? ? 25000,0 807, 80 ? ? S/ 2003	
J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
807,80 ? ? ? ? S/200 3	
J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
? S/2003 J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
S/2003 J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
S/2003 J2 2 2857 0,4 982,50 ? ?	
2 28570,4	

2	28570,4	9
82,50	?	?
28570,4	982,	
50	?	?
	982,50	?
	?	?
	?	

nome	num	d
iam	dist	rev
	dens	mass

### Saturno

<b>Saturno</b>		
	Pa	
n	XVIII	20
	Pan	
	XVIII	20 1
33,6	0,58	1,
0	4,2	
E15	Atlas	
	Pan	
	Pan X	
VIII	20	133,
6	0,58	1,0
	Pan	XVI
II	20	133,6
	Pan	XVIII
	20	133,6 0
,58	1,0	4,2
E15	Atlas	
	Pan	XVIII
Pan	XVIII	2
0	133,6	0,5
8	1,0	4,2
E15	Atlas	
XVIII	20	133
,6	0,58	1,0
20	133,6	0,
58	1,0	4,2
E15	Atlas	
	133,6	0,58
0,58	1,0	4,2
E15	Atlas	
1,0	4,2	
E15	Atlas	

4,2	
E15	Atlas
	Atlas XV 3
7x27	137,6
Atlas	XV 37
x27	137,6 0,
61	0,7 1,8
E16	Promet
eu	XVI 148x
68	139,3 0,
61	1,0 5,3
E17	Pandor
a	XVII 110x
62	141,7 0,
63	1,0 3,1
E17	Janus
X	194x154
151,4	0,69
1,2	1,1
E18	Epimet
eu	XI 138x1
10	151,5 0,
69	1,0 8,7
E17	Mimas
I	390 185,
5	0,94 1,2
XV	37x27 1
37,6	0,61 0,
7	1,8
E16	Promet
eu	XVI 148x
68	139,3 0,
61	1,0 5,3
E17	Pandor
a	XVII 110x
62	141,7 0,
63	1,0 3,1
E17	Janus
X	194x154
151,4	0,69
1,2	1,1
E18	Epimet
eu	XI 138x1
10	151,5 0,
69	1,0 8,7
E17	Mimas
I	390 185,
5	0,94 1,2
37x27	137,6
0,61	0,7 1,
8	
E16	Promet
eu	XVI 148x

68 139,3 0,  
61 1,0 5,3  
E17 Pandor  
a XVII 110x  
62 141,7 0,  
63 1,0 3,1  
E17 Janus  
X 194x154  
151,4 0,69  
1,2 1,1  
E18 Epimet  
eu XI 138x1  
10 151,5 0,  
69 1,0 8,7  
E17 Mimas  
I 390 185,  
5 0,94 1,2  
137,6 0,61  
0,61 0,7 1,8  
E16 Promet  
eu XVI 148x  
68 139,3 0,  
61 1,0 5,3  
E17 Pandor  
a XVII 110x  
62 141,7 0,  
63 1,0 3,1  
E17 Janus  
X 194x154  
151,4 0,69  
1,2 1,1  
E18 Epimet  
eu XI 138x1  
10 151,5 0,  
69 1,0 8,7  
E17 Mimas  
I 390 185,  
5 0,94 1,2  
0,7 1,8  
E16 Promet  
eu XVI 148x  
68 139,3 0,  
61 1,0 5,3  
E17 Pandor  
a XVII 110x  
62 141,7 0,  
63 1,0 3,1  
E17 Janus  
X 194x154  
151,4 0,69  
1,2 1,1  
E18 Epimet  
eu XI 138x1

10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
1,8		
E16	Promet	
eu	XVI	148x
68	139,3	0,
61	1,0	5,3
E17	Pandor	
a	XVII	110x
62	141,7	0,
63	1,0	3,1
E17	Janus	
X	194x154	
151,4	0,69	
1,2	1,1	
E18	Epimet	
eu	XI	138x1
10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
Prometeu	X	
VI	148x68	1
39,3	0,61	1,
0	5,3	
E17	Pandor	
a	XVII	110x
62	141,7	0,
63	1,0	3,1
E17	Janus	
X	194x154	
151,4	0,69	
1,2	1,1	
E18	Epimet	
eu	XI	138x1
10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
Prometeu	XV	
I	148x68	13
9,3	0,61	1,0
5,3		
E17	Pandor	
a	XVII	110x
62	141,7	0,
63	1,0	3,1
E17	Janus	

X 194x154	
151,4 0,69	
1,2 1,1	
E18 Epimet	
eu XI 138x1	
10 151,5 0,	
69 1,0 8,7	
E17 Mimas	
I 390 185,	
5 0,94 1,2	
XVI 148x68	
148x68 139,	
3 0,61 1,0	
139,3 0,61	
0,61 1,0 5,3	
E17 Pandor	
a XVII 110x	
62 141,7 0,	
63 1,0 3,1	
E17 Janus	
X 194x154	
151,4 0,69	
1,2 1,1	
E18 Epimet	
eu XI 138x1	
10 151,5 0,	
69 1,0 8,7	
E17 Mimas	
I 390 185,	
5 0,94 1,2	
1,0 5,3	
E17 Pandor	
a XVII 110x	
62 141,7 0,	
63 1,0 3,1	
E17 Janus	
X 194x154	
151,4 0,69	
1,2 1,1	
E18 Epimet	
eu XI 138x1	
10 151,5 0,	
69 1,0 8,7	
E17 Mimas	
I 390 185,	
5 0,94 1,2	
5,3	
E17 Pandor	
a XVII 110x	
62 141,7 0,	
63 1,0 3,1	
E17 Janus	
X 194x154	

	151,4 0,69
	1,2 1,1
E18	Epimet
eu	XI 138x1
10	151,5 0,
69	1,0 8,7
E17	Mimas
I	390 185,
5	0,94 1,2
Pandora	X
VII	110x62
Pandora	XVII
	110x62 141
,7	0,63 1,0
XVII	110x62
	141,7 0,63
	1,0 3,1
E17	Janus
X	194x154
151,4	0,69
1,2	1,1
E18	Epimet
eu	XI 138x1
10	151,5 0,
69	1,0 8,7
E17	Mimas
I	390 185,
5	0,94 1,2
110x62	141,
7	0,63 1,0
141,7	0,63
0,63	1,0 3,1
E17	Janus
X	194x154
151,4	0,69
1,2	1,1
E18	Epimet
eu	XI 138x1
10	151,5 0,
69	1,0 8,7
E17	Mimas
I	390 185,
5	0,94 1,2
1,0	3,1
E17	Janus
X	194x154
151,4	0,69
1,2	1,1
E18	Epimet
eu	XI 138x1
10	151,5 0,
69	1,0 8,7
E17	Mimas

I	390	185,
5	0,94	1,2
3,1		
E17	Janus	
X	194x154	
151,4	0,69	
1,2	1,1	
E18	Epimet	
eu	XI	138x1
10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
Janus	X	1
94x154	151,	
4	0,69	1,2
Janus	X	194
x154	151,4	
X	194x154	
194x154	151	
,4	0,69	1,2
151,4	0,69	
0,69	1,2	1,1
E18	Epimet	
eu	XI	138x1
10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
1,2	1,1	
E18	Epimet	
eu	XI	138x1
10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
1,1		
E18	Epimet	
eu	XI	138x1
10	151,5	0,
69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
Epimeteu	X	
I	138x110	1
51,5	0,69	1,
0	8,7	
E17	Mimas	
I	390	185,

5	0,94	1,2
Epimeteu	XI	
138x110	15	
1,5	0,69	1,0
8,7		
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
XI	138x110	
138x110	151	
,5	0,69	1,0
151,5	0,69	
0,69	1,0	8,7
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
1,0	8,7	
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
8,7		
E17	Mimas	
I	390	185,
5	0,94	1,2
Mimas	I	3
90	185,5	0,
94	1,2	3,9
E19	Encéla	
do	II	500
38,0	1,37	1,
3	7,8	
E19	Tétis	I
II	1046	294,
7	1,89	1,3
Mimas	I	390
185,5	0,94	
1,2	3,9	
E19	Encéla	
do	II	500
38,0	1,37	1,
3	7,8	
E19	Tétis	I
II	1046	294,
7	1,89	1,3
I	390	185,5
0,94	1,2	3,
9		
E19	Encéla	
do	II	500
38,0	1,37	1,
3	7,8	
E19	Tétis	I
II	1046	294,

7 1,89 1,3	
390 185,5 0	
,94 1,2 3,9	
E19 Encéla	
do II 500 2	
38,0 1,37 1,	
3 7,8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	
7 1,89 1,3	
185,5 0,94	
0,94 1,2 3,9	
E19 Encéla	
do II 500 2	
38,0 1,37 1,	
3 7,8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	
7 1,89 1,3	
1,2 3,9	
E19 Encéla	
do II 500 2	
38,0 1,37 1,	
3 7,8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	
7 1,89 1,3	
3,9	
E19 Encéla	
do II 500 2	
38,0 1,37 1,	
3 7,8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	
7 1,89 1,3	
Encélado II	
500 238,0	
Encélado II	
II 500 238,0	
1,37 1,3 7,	
8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	
7 1,89 1,3	
500 238,0 1	
,37 1,3 7,8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	
7 1,89 1,3	
238,0 1,37	
1,37 1,3 7,8	
E19 Tétis I	
II 1046 294,	

7	1,89	1,3
1,3	7,8	
E19	Tétis I	
II	1046	294,
7	1,89	1,3
7,8		
E19	Tétis I	
II	1046	294,
7	1,89	1,3
	Tétis III	10
46	294,7	1,
89	1,3	7,79
E20	Telest	
o	XIII	34x26
	294,7	1,89
	1,0	1,3
E16	Calips	
o	XIV	34x22
	294,7	1,89
	1,0	8,6
E15	Dione	
IV	1120	3
77,4	2,74	1,
4	1,05	
E21	Helene	
XII	36x28	
Tétis	III	104
6	294,7	1,8
9	1,3	7,79
E20	Telest	
o	XIII	34x26
	294,7	1,89
	1,0	1,3
E16	Calips	
o	XIV	34x22
	294,7	1,89
	1,0	8,6
E15	Dione	
IV	1120	3
77,4	2,74	1,
4	1,05	
E21	Helene	
XII	36x28	
III	1046	294
,7	1,89	1,3
1046	294,7	
294,7	1,89	
1,89	1,3	7,7
9		
E20	Telest	
o	XIII	34x26
	294,7	1,89
	1,0	1,3

E16	Calips
o	XIV 34x22 294,7 1,89 1,0 8,6
E15	Dione
	IV 1120 3 77,4 2,74 1, 4 1,05
E21	Helene
	XII 36x28 1,3 7,79
E20	Telest
o	XIII 34x26 294,7 1,89 1,0 1,3
E16	Calips
o	XIV 34x22 294,7 1,89 1,0 8,6
E15	Dione
	IV 1120 3 77,4 2,74 1, 4 1,05
E21	Helene
	XII 36x28 7,79
E20	Telest
o	XIII 34x26 294,7 1,89 1,0 1,3
E16	Calips
o	XIV 34x22 294,7 1,89 1,0 8,6
E15	Dione
	IV 1120 3 77,4 2,74 1, 4 1,05
E21	Helene
	XII 36x28 Telesto XIII 34x26 294, 7 1,89 1,0
	Telesto XIII XIII 34x26 2 94,7 1,89 1, 0 1,3
E16	Calips
o	XIV 34x22 294,7 1,89 1,0 8,6
E15	Dione
	IV 1120 3

77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
34x26 294,7  
1,89 1,0 1,  
3  
E16 Calips  
o XIV 34x22  
294,7 1,89  
1,0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
294,7 1,89  
1,89 1,0 1,3  
E16 Calips  
o XIV 34x22  
294,7 1,89  
1,0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
1,0 1,3  
E16 Calips  
o XIV 34x22  
294,7 1,89  
1,0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
1,3  
E16 Calips  
o XIV 34x22  
294,7 1,89  
1,0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
Calipso XIV  
34x22 294,

7 1,89 1,0  
Calipso XIV  
XIV 34x22 2  
94,7 1,89 1,  
0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
34x22 294,7  
1,89 1,0 8,  
6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
294,7 1,89  
1,89 1,0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
1,0 8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
8,6  
E15 Dione  
IV 1120 3  
77,4 2,74 1,  
4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
Dione IV 1  
120 377,4 2  
,74 1,4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
Dione IV 11  
20 377,4 2,  
74 1,4 1,05  
E21 Helene  
XII 36x28  
IV 1120 377

,4	2,74	1,4
1120	377,4	
377,4	2,74	
2,74	1,4	1,0
5		
E21	Helene	
XII	36x28	
1,4	1,05	
E21	Helene	
XII	36x28	
1,05		
E21	Helene	
XII	36x28	
Helene	XII	
36x28	377,	
4	2,74	1,0
Helene	XII	3
6x28	377,4	
XII	36x28	3
77,4	2,74	1,
0	1,8	
E16	Réia	
36x28	377,4	
2,74	1,0	1,
8		
E16	Réia	
377,4	2,74	
2,74	1,0	1,8
E16	Réia	
1,0	1,8	
E16	Réia	
1,8		
E16	Réia	
Réia	V	15
28	527,0	4,
52	1,3	2,24
E21	Titã	V
I	5150	1221
,8	15,95	1,8
8	1,35	
E23	Hipérico	
n	VII	360x2
36	1481,1	2
1,28	2,7	3,3
E19	Jápeto	
VIII	1436	
Réia	V	1528
527,0	4,52	
1,3	2,24	
E21	Titã	V
I	5150	1221
,8	15,95	1,8
8	1,35	

E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
V	1528 527,
0	4,52 1,3
1528	527,0
527,0	4,52
4,52	1,3 2,2
4	
E21	Titã V
I	5150 1221
,8	15,95 1,8
8	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
1,3	2,24
E21	Titã V
I	5150 1221
,8	15,95 1,8
8	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
2,24	
E21	Titã V
I	5150 1221
,8	15,95 1,8
8	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
	Titã VI 51
50	1221,8 1
5,95	1,88 1,
35	
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto

VIII	1436
Titã	VI 5150
	1221,8 15,
	95 1,88 1,3
	5
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
VI	5150 122
1,8	15,95 1,
88	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
5150	1221,8
	15,95 1,88
	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
1221,8	15,95
	1,88 1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
15,95	1,88
1,88	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
	1,35
E23	Hipérico
n	VII 360x2
36	1481,1 2
1,28	2,7 3,3
E19	Jápeto
	VIII 1436
	Hipérion VII

360x236	14
81,1	21,28
Hipérion	VII
VII	360x236
1481,1	21,
28	2,7 3,3
E19	Jápeto
VIII	1436
360x236	148
1,1	21,28 2,
7	3,3
E19	Jápeto
VIII	1436
1481,1	21,28
2,7	3,3
E19	Jápeto
VIII	1436
21,28	2,7 3,
3	
E19	Jápeto
VIII	1436
2,7	3,3
E19	Jápeto
VIII	1436
3,3	
E19	Jápeto
VIII	1436
Jápeto	VIII
1436	3561,
3	79,33 1,2
1,86	
E21	S/2000
S5	17 113
70,0	449,00
? ?	S/20
00	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
Jápeto	VIII
VIII	1436 35
61,3	79,33
1436	3561,3

79,33	1,2
3561,3	79,33
1,2	1,86
E21	S/2000
S5	17 113
70,0	449,00
?	?
00	S/20
S6	14 113
70,0	453,00
?	?
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
?	?
00	S/20
S8	8 1556
0,0	723,00
79,33	1,2 1,
86	
E21	S/2000
S5	17 113
70,0	449,00
?	?
00	S/20
S6	14 113
70,0	453,00
?	?
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
?	?
00	S/20
S8	8 1556
0,0	723,00
1,2	1,86
E21	S/2000
S5	17 113
70,0	449,00
?	?
00	S/20
S6	14 113
70,0	453,00
?	?
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1

E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
1,86	
E21	S/2000
S5	17 113
70,0	449,00
? ?	S/20
00	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
S/2000	
S5	17 113
70,0	449,00
? ?	S/20
00	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
S/2000	
S5	17 113
70,0	449,00
? ?	S/20
00	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12

952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
17	11370,0
449,00	? ?
	S/2000
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
17	11370,0
11370,0	449,
00	? ? S/
2000	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
449,00	? ?
? ?	S/200
0	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151

10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
? ?	S/2000
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
S/2000	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
S/2000	
S6	14 113
70,0	453,00
? ?	Febe
IX	220 12
952,0	550,34
1,1	6,1
E18	S/2000
S2	25 151
10,0	690,00
? ?	S/20
00	
S8	8 1556
0,0	723,00
14	11370,0
453,00	? ?
Febe	IX
14	11370,0
11370,0	453,
00	? ? Fe

be IX 220	
453,00 ? ?	
? ? Febe	
? Febe IX	
220 12952,	
0 550,34 1,	
1 6,1	
E18 S/2000	
S2 25 151	
10,0 690,00	
? ? S/20	
00	
S8 8 1556	
0,0 723,00	
Febe IX 2	
20 12952,0	
Febe IX 220	
12952,0 55	
0,34 1,1 6,1	
E18 S/2000	
S2 25 151	
10,0 690,00	
? ? S/20	
00	
S8 8 1556	
0,0 723,00	
IX 220 1295	
2,0 550,34	
220 12952,0	
550,34 1,1	
6,1	
E18 S/2000	
S2 25 151	
10,0 690,00	
? ? S/20	
00	
S8 8 1556	
0,0 723,00	
12952,0 550,	
34 1,1 6,1	
E18 S/2000	
S2 25 151	
10,0 690,00	
? ? S/20	
00	
S8 8 1556	
0,0 723,00	
550,34 1,1	
1,1 6,1	
E18 S/2000	
S2 25 151	
10,0 690,00	
? ? S/20	

00			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
6,1			
E18		S/2000	
S2	25	151	
10,0	690,00		
? ?	S/20		
00			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
S/2000			
S2	25	151	
10,0	690,00		
? ?	S/20		
00			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
S/2000			
S2	25	151	
10,0	690,00		
? ?	S/20		
00			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
25	15110,0		
690,00	? ?		
S/2000			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
25	15110,0		
15110,0	690,		
00	? ?	S/	
2000			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
690,00	? ?		
? ?	S/200		
0			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
? ?	S/2000		
S8	8	1556	
0,0	723,00		
S/2000			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
S/2000			
S8	8	1556	
0,0	723,00		
8	15560,0		
8	15560,0	7	
23,00	? ?		

15560,0	723,
00	? ? S/
2000	
S11	30 16
310,0	778,00
?	? S/20
00	
S3	45 178
00,0	884,00
?	? S/20
00	
S10	10 17
800,0	884,00
?	? S/20
00	
S4	16 178
00,0	891,00
?	? S/20
03	
S1	8 1871
9,0	956,20
723,00	? ?
?	? S/200
0	
S11	30 16
310,0	778,00
?	? S/20
00	
S3	45 178
00,0	884,00
?	? S/20
00	
S10	10 17
800,0	884,00
?	? S/20
00	
S4	16 178
00,0	891,00
?	? S/20
03	
S1	8 1871
9,0	956,20
?	S/2000
S11	30 16
310,0	778,00
?	? S/20
00	
S3	45 178
00,0	884,00
?	? S/20
00	
S10	10 17
800,0	884,00

?	?	S/20
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
	S/2000	
S11	30	16
310,0	778,00	
?	?	S/20
00		
S3	45	178
00,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
	S/2000	
S11	30	16
310,0	778,00	
?	?	S/20
00		
S3	45	178
00,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
30	16310,0	
778,00	?	?
	S/2000	
S3	45	178
00,0	884,00	
?	?	S/20
00		

S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
? ?	S/20	
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
30	16310,0	
16310,0	778,	
00	? ?	S/
2000		
S3	45	178
00,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
? ?	S/20	
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
778,00	? ?	
? ?	S/200	
0		
S3	45	178
00,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
? ?	S/20	
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
? ?	S/2000	
S3	45	178
00,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	

00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
	S/2000	
S3	45	178
00,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
	S/2000	
S3	45	178
00,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S10	10	17
800,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
45	17800,0	
884,00	?	?
	S/2000	
S10	10	17
800,0	884,00	
?	?	S/20
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
45	17800,0	
17800,0	884,	
00	?	?
	S/	

2000		
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
? ?	S/20	
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
884,00	? ?	
? ?	S/200	
0		
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
? ?	S/20	
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
? ?	S/2000	
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	
? ?	S/20	
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
S/2000		
S10	10	17
800,0	884,00	
? ?	S/20	
00		
S4	16	178
00,0	891,00	

?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
10	17800,0	
884,00	?	?
		S/2000
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
10	17800,0	
17800,0	884,	
00	?	?
		S/2000
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
884,00	?	?
?	?	S/2000
0		
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
?		S/2000
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
		S/2000
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	
		S/2000
S4	16	178
00,0	891,00	
?	?	S/20
03		
S1	8	1871
9,0	956,20	

16 17800,0 891,00 ? ? S/2003	
S1 8 1871 9,0 956,20 16 17800,0 17800,0 891, 00 ? ? S/ 2003	
S1 8 1871 9,0 956,20 891,00 ? ? ? ? S/200 3	
S1 8 1871 9,0 956,20 ? S/2003	
S1 8 1871 9,0 956,20 S/2003	
S1 8 1871 9,0 956,20 8 18719,0 8 18719,0 9 56,20 ? ? 18719,0 956, 20 ? ? S/ 2000	
S9 7 1885 0,0 964,00 956,20 ? ? ? ? S/200 0	
S9 7 1885 0,0 964,00 ? S/2000	
S9 7 1885 0,0 964,00 S/2000	
S9 7 1885 0,0 964,00 7 18850,0 7 18850,0 9 64,00 ? ? 18850,0 964, 00 ? ? S/ 2000	

S12	7	197
40,0	1034,00	
?	?	S/20
00		
S7	7	2005
0,0	1063,00	
?	?	S/20
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
?	?	
964,00	?	?
?	?	S/200
0		
S12	7	197
40,0	1034,00	
?	?	S/20
00		
S7	7	2005
0,0	1063,00	
?	?	S/20
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
?	?	
?		S/2000
S12	7	197
40,0	1034,00	
?	?	S/20
00		
S7	7	2005
0,0	1063,00	
?	?	S/20
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
?	?	
		S/2000
S12	7	197
40,0	1034,00	
?	?	S/20
00		
S7	7	2005
0,0	1063,00	
?	?	S/20
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
?	?	
		S/2000
S12	7	197
40,0	1034,00	
?	?	S/20

00		
S7	7	2005
0,0	1063,00	
? ?	S/20	
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
? ?		
7	19740,0	
7	19740,0	1
034,00	? ?	
19740,0	103	
4,00	? ?	
1034,00	? ?	
	S/2000	
S7	7	2005
0,0	1063,00	
? ?	S/20	
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
? ?		
? ?	S/200	
0		
S7	7	2005
0,0	1063,00	
? ?	S/20	
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
? ?		
? ?	S/2000	
S7	7	2005
0,0	1063,00	
? ?	S/20	
00		
S1	20	228
90,0	1289,00	
? ?		
	S/2000	
S7	7	2005
0,0	1063,00	
? ?	S/20	
00		
S1	20	228

90,0	1289,00
? ?	
7	20050,0
7	20050,0 1
063,00	? ?
20050,0	106
3,00	? ?
1063,00	? ?
S/2000	
S1	20 228
90,0	1289,00
? ?	
? ?	S/200
0	
S1	20 228
90,0	1289,00
? ?	
? S/2000	
S1	20 228
90,0	1289,00
? ?	
S/2000	
S1	20 228
90,0	1289,00
? ?	
20 22890,0	
1289,00	?
20 22890,0	
22890,0	128
9,00	? ?
1289,00	? ?
? ?	
?	

nome num diam dist rev  
dens mass

**Urano**  
num diam di  
st rev dens  
mass  
**Urano**  
diam dist re  
v dens mas

s	
<b>Urano</b>	
dist rev den	
s mass	
<b>Urano</b>	
rev dens ma	
ss	
<b>Urano</b>	
dens mass	
mass	
<b>Urano</b>	
<b>Urano</b>	
C	
ordélia VI 2	
6 49,8 0,33	
1,3 2,3	
E15 Ofélia	
VII 30 53,	
8 0,37 1,8	
Cor	
délia VI 26	
Cordé	
lia VI 26 49	
,8 0,33 1,3	
Cordéli	
a VI 26 49,	
8 0,33 1,3	
Cordélia	
VI 26 49,8	
0,33 1,3 2,	
3	
E15 Ofélia	
VII 30 53,	
8 0,37 1,8	
Cordélia	
Cordélia VI	
26 49,8 0,	
33 1,3 2,3	
E15 Ofélia	
VII 30 53,	
8 0,37 1,8	
Cordélia VI	
VI 26 49,8	
26 49,8 0,3	
3 1,3 2,3	
E15 Ofélia	
VII 30 53,	
8 0,37 1,8	
49,8 0,33 1,	
3 2,3	

E15	Ofélia				
VII	30	53,			
8	0,37	1,8			
0,33	1,3	2,3			
E15	Ofélia				
VII	30	53,			
8	0,37	1,8			
1,3	2,3				
E15	Ofélia				
VII	30	53,			
8	0,37	1,8			
2,3					
E15	Ofélia				
VII	30	53,			
8	0,37	1,8			
Ofélia	VII				
Ofélia	VII	30			
53,8	0,37				
VII	30	53,8			
0,37	1,8				
30	53,8	0,3			
7	1,8				
53,8	0,37	1,			
8					
0,37	1,8				
1,8					
Bianca	VIII	42	59,2	0,43	1,6
Créssida	IX	62	61,8	0,46	1,3
Desdêmona	X	54	62,7	0,47	1,7
Julieta	XI	84	64,3	0,49	1,5
Pórtia	XII	108	66,1	0,51	1,6
Rosalinda	XIII	54	69,9	0,56	1,7
Belinda	XIV	66	75,3	0,62	1,6
Puck	XV	170x160	85,9	0,76	1,8
Miranda	V	484	129,4	1,41	1,4
Ariel	I	1158	191,0	2,52	1,66
Umbriel	II	1172	266,3	4,14	1,51
Titânia	III	1580	435,9	8,71	1,68
Oberon	IV	1524	583,5	13,46	1,58
Caliban	XVI	60x80	7200,0	580,00	?
Stephano	XX	30	7900,0	675,00	?
S/2001 U1		10	8571,0	758,10	?
Sicorax	XVII	120x160	12300,0	1290,00	?
Prospero	XVIII	30x40	16300,0	2000,00	?
Setebos	XIX	20	17300,0	2200,00	?
<b>Netuno</b>					
Náïade	III	50	48,2	0,29	1,8
Thalassa	IV	90	50,1	0,31	1,1
Despina	V	140	52,5	0,33	1,8
Galatéia	VI	160	61,9	0,43	2,1
Larissa	VII	210x190	73,6	0,56	1,3
Proteus	VIII	435x400	117,6	1,12	1,3
Tritão	I	2720	355,3	5,88	2,03

Nereida	II	340	5561,9	359,88	2,1
S/2002 N2		20	20200,0	2525,40	?
S/2002 N3		20	21390,0	2751,80	?
S/2002 N1		20	21990,0	2868,40	?
<b>Plutão</b>					
Caronte	I	1192	19,6	6,39	2,0

## Glossário

**Achatamento** - Taxa de achatamento, obtida pela diferença entre os diâmetros equatorial e polar, dividida pelo diâmetro polar.

**Albedo** - É a proporção de luz recebida que um corpo reflete. Este valor, multiplicado por cem, mostra a percentagem de luz refletida.

**Densidade** - Densidade média ou massa específica média de um corpo, em gramas por centímetro cúbico.

**Distância ao Sol** - Distâncias mínima, média e máxima entre os centros do planeta e do Sol, em quilômetros ou UA.

**Excentricidade orbital** - Valor que mede o achatamento de uma órbita. Quanto mais próximo de zero, mais a órbita se parecerá com um círculo.

**Inclinação axial** - Ângulo formado pelo eixo de rotação de um corpo e uma linha perpendicular ao seu plano de revolução.

**Inclinação orbital** - Inclinação existente entre o plano orbital de um corpo e a eclíptica (plano da órbita terrestre).

**Magnitude visual** - Brilho aparente, ou seja, o brilho que um corpo parece ter quando visto da Terra. A escala de magnitudes é logarítmica, onde cada unidade de magnitude a menos indica que o brilho do objeto é 2,5 vezes maior.

**Período de rotação sideral** - Tempo no qual um corpo realiza uma volta em torno de si mesmo, em relação às estrelas.

**Período sinódico** - Intervalo de tempo entre dois alinhamentos sucessivos entre dois corpos e um terceiro, o qual orbitam.

**Revolução sideral** - Tempo no qual um corpo realiza uma volta em torno de outro em relação às estrelas.

**UA** - Iniciais de Unidade Astronômica, ou seja, a distância média que separa a Terra do Sol. Equivalente a 149,59787 milhões de quilômetros.

**Velocidade de escape** - velocidade necessária para que um corpo escape completamente da atração gravitacional de outro.

**Velocidade orbital** - é a velocidade com a qual um corpo percorre sua órbita em torno de outro.

**Volume** - Volume aproximado do corpo, em quilômetros cúbicos.