

Projeto Céu Profundo

PRIMEIRA LUZ
Uma Introdução à Observação do Céu

Wandeclayt Melo

Esta publicação pode ser baixada gratuitamente de:
www.ceuprofundo.com/primeira-luz



Projeto Céu Profundo

PRIMEIRA LUZ
Uma Introdução à Observação do Céu

Wandeclayt Melo

Esta publicação pode ser baixada gratuitamente de:
www.ceuprofundo.com/primeira-luz

Inverno 2024

Certas marcas comerciais e fabricantes de equipamentos podem aparecer identificados no texto para descrever instrumentos ou procedimentos. Esta publicação não recebeu qualquer apoio financeiro ou material destas marcas e estas identificações não constituem recomendações implícitas ou explícitas de quaisquer marcas e fabricantes citados.

**Projeto Céu Profundo
37 páginas (Inverno 2024)**

**Esta publicação pode ser baixada gratuitamente de:
www.ceuprofundo.com/primeira-luz**

”Uma experiência de aprendizado é algo que te diz:
- Sabe isso que você acabou de fazer? Não faça de novo!

Douglas Adams

Prefácio

”Primeira Luz” é a expressão que usamos para nos referir à primeira observação feita com um telescópio ou outro instrumento astronômico. É a primeira exposição desse instrumento ao céu. Um batismo de luz. ”Primeira Luz” é também o nome deste livro e do curso de introdução à observação do céu e à Astronomia Cidadã ministrado pelo Projeto Céu Profundo no Museu Interativo de Ciências em São José dos Campos - SP, com apoio do Observatório de Astronomia e Física Espacial da UNIVAP. O curso e o livro pretendem apresentar os fundamentos da observação do céu em um programa acessível mas abrangente, englobando desde o reconhecimento do céu até o uso de ferramentas avançadas de análise e visualização de dados astronômicos. Esperamos que este texto seja uma porta de entrada à observação do céu mas que também sirva como um guia de referência para observadores mais experientes.

Palavras chave

astronomia, observação, telescópios, ciência cidadã, divulgação.

Conteúdo

| | |
|--|-----------|
| 1 Sistema Solar | 2 |
| 1.1 A Lua | 3 |
| 1.2 Movimentos da Lua | 9 |
| 1.3 Propriedades da Lua | 15 |
| 1.4 Regras da IAU para nomenclatura lunar | 15 |
| 1.5 Planetas | 17 |
| 1.6 Configurações planetárias | 18 |
| 1.7 Órbitas planetárias | 19 |
| 1.7.1 Leis de Kepler | 19 |
| 1.7.2 1 ^a Lei - Lei das órbitas | 19 |
| 1.7.3 2 ^a Lei - Lei das áreas | 20 |
| 1.7.4 3 ^a Lei - Lei harmônica | 20 |
| Referências | 25 |
| Apêndice A: Alfabeto Grego | 26 |
| Apêndice B: Lista de Constelações (IAU) | 28 |
| Apêndice C: Demonstrações, Equações e Scripts | 32 |
| A Superlua é mesmo Super? | 33 |
| A terceira lei de Kepler | 35 |
| Propriedades dos Logaritmos | 36 |
| Apêndice D: Histórico de Versões | 37 |

Lista de Figuras

| | | |
|---------|---|----|
| Fig. 1 | Face visível da Lua. Mosaico de imagens do satelite Lunar Reconnaissance Orbiter (LROC). créditos: NASA/Arizona State University(ASU). | 3 |
| Fig. 2 | Cratera Tycho. créditos: LROC/NASA/Arizona State University | 4 |
| Fig. 3 | Perfil de altitude da cratera Tycho. dados: LRO/LOLA/NASA. | 4 |
| Fig. 4 | Cratera da Serra da Cangalha - TO. dados: LANDSAT 8. processamento: Wandeclayt M./Projeto Ceu Profundo | 5 |
| Fig. 5 | Mapa da Lua na obra <i>Almagestum Novum</i> de Riccioli(1651). crédito: ETH-Bibliothek Zürich. | 6 |
| Fig. 6 | <i>Montes Apenninus</i> , uma cadeia de montanhas na margem sudeste do <i>Mare Imbrium</i> . créditos: NASA/Arizona State University(ASU). | 7 |
| Fig. 7 | Página de acesso à plataforma Quickmap. | 8 |
| Fig. 8 | Scientific Visualization Studio - Fase da Lua e Libração 2024 | 8 |
| Fig. 9 | Fases da lua. [créditos: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]. | 9 |
| Fig. 10 | Conjunção entre a Lua, Mercúrio e o Aglomerado do Presépio (M44) na constelação de Câncer (2024-07-07). crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo. | 10 |
| Fig. 11 | Órbita da Lua cortando o plano da Eclíptica (em amarelo). [crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 11 |
| Fig. 12 | Posição dos planetas e da Lua durante o mês de setembro de 2024. Gráfico gerado a partir de código em linguagem Python usando o pacote astroquery para consultar as coordenadas de objetos do Sistema Solar na base de dados JPL/Horizons. [código: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 11 |
| Fig. 13 | Eclipse solar total de 2 de julho de 2019, em Vicuña, no Chile. [crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 12 |
| Fig. 14 | Eclipse lunar total de 15 de maio de 2022. [crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 13 |
| Fig. 15 | Ocultação de Marte pela Lua em 2020-09-05. Observado de São José dos Campos (SP).[créditos: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 13 |
| Fig. 16 | Comparação de distâncias entre a Lua e a Terra no apogeu e no perigeu. As distâncias e diâmetros estão em escala. [dados: SVS/NASA. diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 14 |
| Fig. 17 | Variação da distância Terra-Lua durante o ano de 2025. [dados: JPL/Horizons, gráfico: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo] | 14 |
| Fig. 18 | Configurações orbitais. crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo | 18 |
| Fig. 19 | Órbita de Mercúrio, conforme a primeira Lei de Kepler. crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo | 19 |
| Fig. 20 | Segunda lei de Kepler. diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo | 20 |
| Fig. 21 | Terceira lei de Kepler - Períodos orbitais e distâncias médias ao Sol. diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo. | 21 |
| Fig. 22 | https://pds-rings.seti.org/tools/tracker3_jup.shtml | 22 |

Fig. 23 Posição heliocêntrica dos planetas no mês de setembro/2024.dados: JPL/Horizons.
diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo. 23

Introdução

A Astronomia é uma ciência ímpar. Enquanto ocupa os cientistas profissionais com os mais profundos enigmas da existência, expandindo o limite do conhecimento teórico e do desenvolvimento tecnológico como nenhuma outra ciência, beneficia-se largamente da ciência-cidadã, com dados de alta qualidade produzidos por mão de obra amadora, mas altamente qualificada.

A Astronomia é também uma ciência acessível, democrática e até romântica, dialogando com as artes, com a filosofia e com virtualmente todas as áreas do conhecimento humano. O céu se estende sobre todos nós. Basta olhar, ou apontar seus instrumentos para o alto. A mesma luz que banha o pequeno telescópio refletor de um astrônomo amador é capturada pelos grandes observatórios nas montanhas do Chile ou do Havaí.

É pouco provável que alguém consiga se aventurar de maneira amadora na Física de Partículas ou no mapeamento do Genoma. É pouco desejável que alguém se aventure de maneira amadora na Neurocirurgia. Mas a Astronomia está de portas abertas aos que não a praticam de maneira profissional. O céu é para todos. Para os que apenas contemplam sua beleza e para os que meticulosamente observam e registram seus fenômenos.

Mas antes de conhecer o céu, seus movimentos e regularidades e como localizar e identificar os objetos celestes, há pouco o que se possa fazer com um telescópio. Planetas, estrelas, aglomerados estelares, nebulosas e até galáxias podem ser observadas com pequenos telescópios e mesmo a olho nu. Mas para isso um passo inicial é indispensável: conhecer o céu.

A proposta deste texto é servir como um primeiro passo em direção ao conhecimento do céu, como uma porta de entrada à observação. Descortinando um universo vasto, mas acessível aos olhos que sabem reconhecê-lo, esperamos despertar em você o mesmo amor que nutrimos pelas estrelas, pois como escreveu Olavo Bilac: "*Amai para entendê-las, pois só quem ama pode ter ouvido, capaz de ouvir e entender estrelas*".

1. Sistema Solar

1.1 A Lua

O alvo mais óbvio para um pequeno telescópio certamente é a Lua. Fácil de identificar e de localizar e brilhante o suficiente para ser observada mesmo sob as mais severas condições de poluição luminosa, o nosso satélite natural tem muito a nos mostrar através da ocular ou de imagens capturadas através do telescópio.

Sua superfície cravejada de crateras de impacto e com vastas planícies alagadas por material vulcânico proporciona visões com variações dramáticas de contraste ao longo de uma lunação. A variação no ângulo de incidência dos raios solares pode revelar ou ocultar formações no terreno, exigindo algum planejamento quando pretendemos observar alguma região em particular na face da Lua.

Na Fig. 1 temos um mosaico de alta resolução da face visível da Lua, composto por imagens do satélite [Lunar Reconnaissance Orbiter\(LRO\)](#). Chama a atenção a vasta presença de crateras de impacto. Na imagem, percebemos também grandes regiões de terreno mais escuro, pouco craterizado, contrastando com regiões de terreno mais claro, densamente craterizadas e mais elevadas.

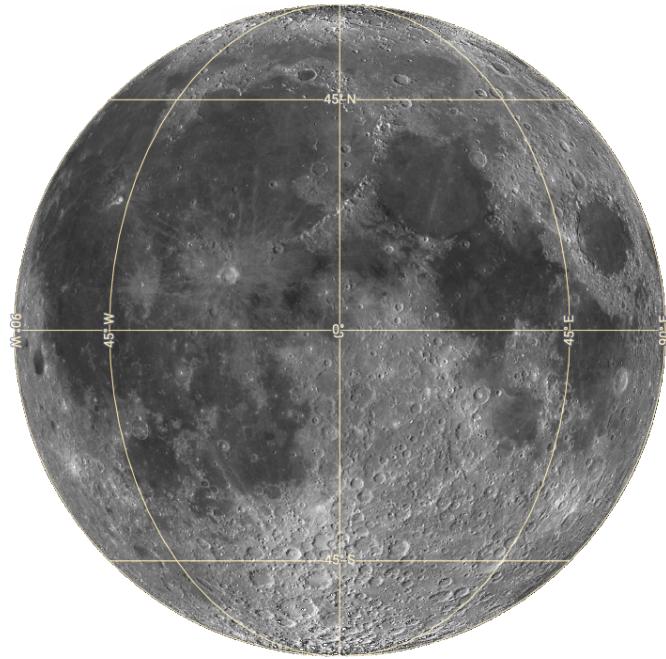


Fig. 1. Face visível da Lua. Mosaico de imagens do satélite Lunar Reconnaissance Orbiter (LROC). créditos: NASA/Arizona State University(ASU).

As crateras, formadas por violentos impactos com objetos do sistema solar, podem chegar a medir mais de uma centena de quilômetros de diâmetro e podem exceder 3 quilômetros de profundidade. A Fig. 2 mostra a cratera Tycho, medindo 85 km de diâmetro

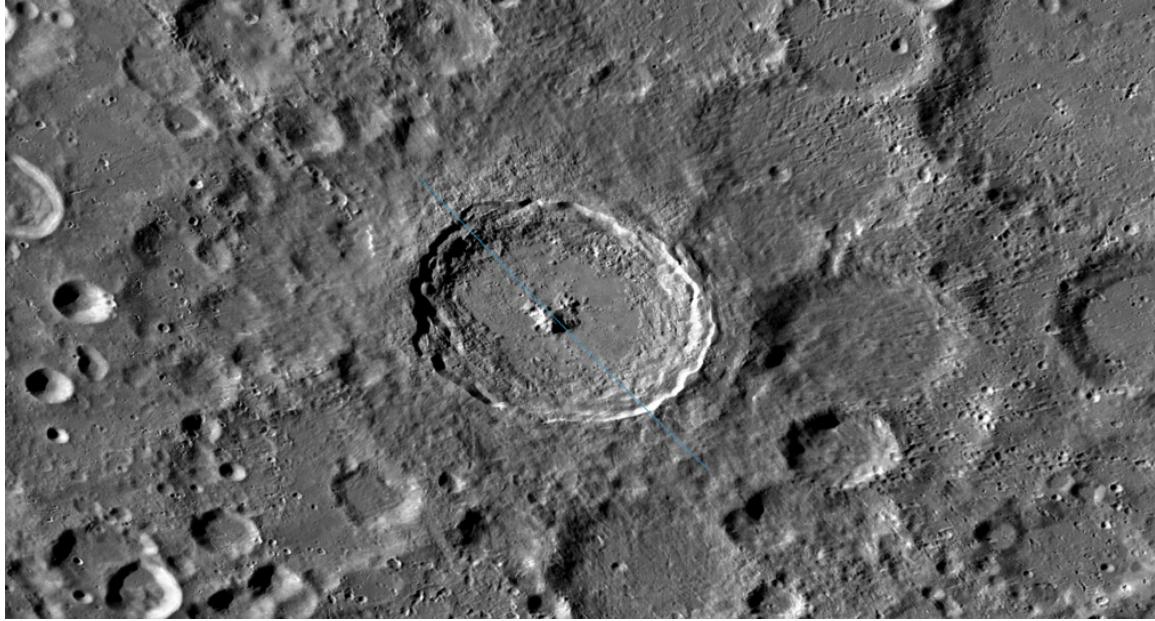


Fig. 2. Cratera Tycho. créditos: LROC/NASA/Arizona State University

e nomeada em homenagem ao astrônomo Tycho Brahe.

Tycho apresenta um proeminente pico central e borda em degraus. Um perfil de altitude ao longo da linha azul na Fig 2, construído com dados de altimetria da Lunar Reconnaissance Orbiter é mostrado na Fig. 3.

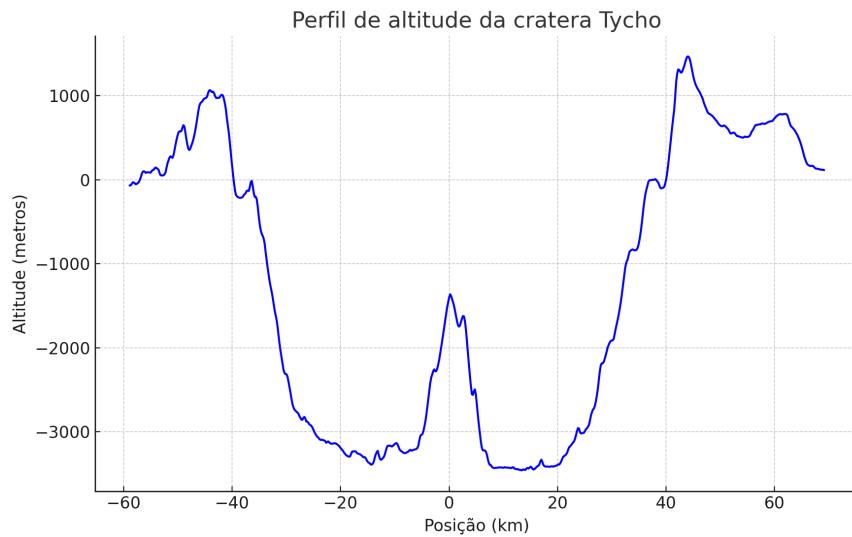


Fig. 3. Perfil de altitude da cratera Tycho. dados: LRO/LOLA/NASA.

Crateras de impacto não são formações exclusivas da superfície da Lua. Essas estruturas são comuns em corpos do Sistema Solar, especialmente nos que não contam com

a proteção de uma atmosfera densa o suficiente para fornecer proteção contra a entrada de meteoroides. A presença de uma atmosfera densa na Terra não apenas impede que a maioria dos corpos cheguem intactos na superfície, como também promove, através do vento e das chuvas, a erosão das crateras formadas em eventuais colisões. Ainda assim, há vestígios de crateras formadas por grandes colisões em diversos pontos de nosso planeta. No Brasil, a cratera da Serra da Cangalha, em Tocantins, é a mais preservada e pode ser vista em imagens de satélite. A Fig. 4 é uma imagem processada a partir de dados do satélite LANDSAT 8.



Fig. 4. Cratera da Serra da Cangalha - TO. dados: LANDSAT 8. processamento: Wandeclayt M./Projeto Ceu Profundo

Apesar de não haver na superfície lunar massas de água em estado líquido, as planícies escuras são chamadas de “mares”, “lagos”, “oceãos” e “baías”, mantendo a tradição dos primeiros cartógrafos da Lua do séc. 17. Grande parte dessa nomenclatura é herdada do mapa (Fig. 5) publicado em 1651 por Giovanni Riccioli em seu compêndio *Almagestum Novum*[1]. Johann Hevelius, contemporâneo de Riccioli, publicou o atlas lunar *Selenographia*[2] em 1647, incluindo mapas que também nomeavam as regiões escuras como mares. No entanto, foi o esquema de Riccioli, que batizava seus mares com nomes de fenômenos da natureza (Mar das Chuvas, Oceano das Tempestades...) e estados de espírito (Mar da Tranquilidade, Mar da Serenidade...) que prevaleceu na nomenclatura moderna.

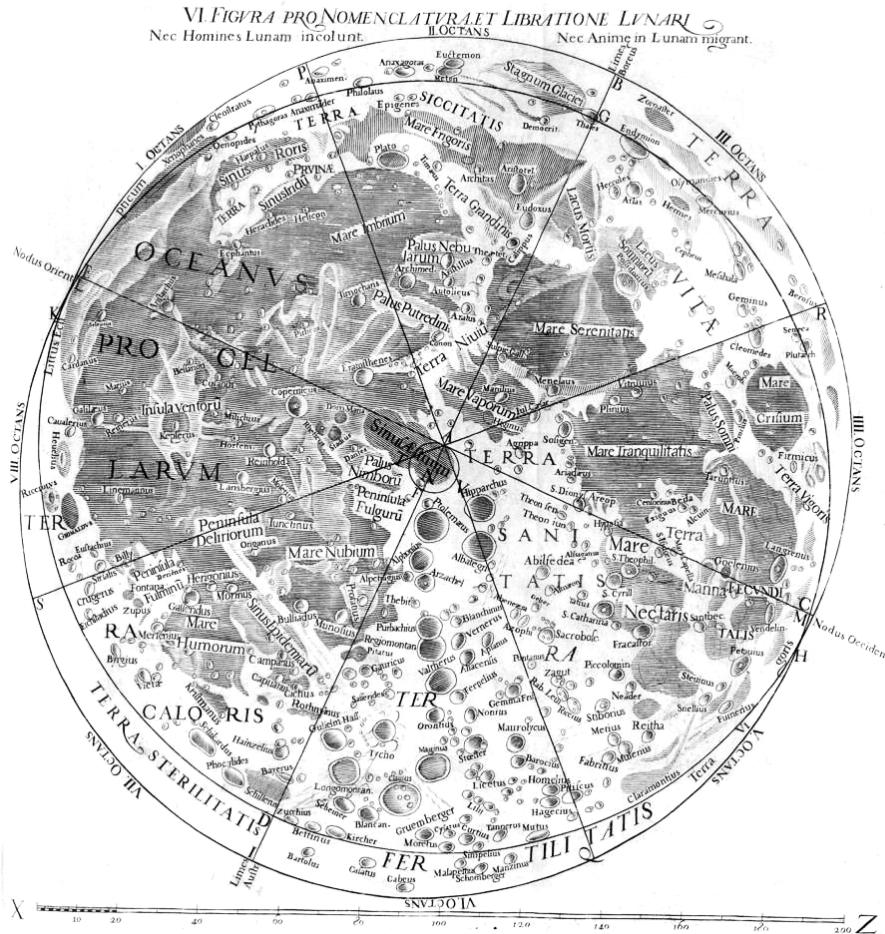


Fig. 5. Mapa da Lua na obra *Almagestum Novum* de Riccioli(1651). crédito: ETH-Bibliothek Zürich.

O sistema adotado por Riccioli para a nomenclatura de crateras, homenageando cientistas, filósofos, matemáticos, navegadores e engenheiros já falecidos também foi incorporado às regras modernas de nomenclatura lunar.

Além das crateras e mares, outras formações como vales, fissuras e grandes cadeias de montanhas são também nomeadas e podem ser observadas através de pequenos telescópios. Na Fig. 6 vemos a cadeia de montanhas *Montes Apenninus* margeando o *Mare Imbrium* (Mar das Chuvas).

A nomenclatura oficial das formações na superfície lunar é estabelecida pela União Astronômica Internacional (IAU) através de um grupo de trabalho dedicado à nomenclatura de objetos do Sistema Solar e das formações associadas a esses objetos. Os nomes adotados pela IAU seguem uma série de regras e convenções visando garantir clareza e evitar ambiguidades. As regras, atualizadas em 1973 na XV Assembleia Geral da IAU[3], vetam

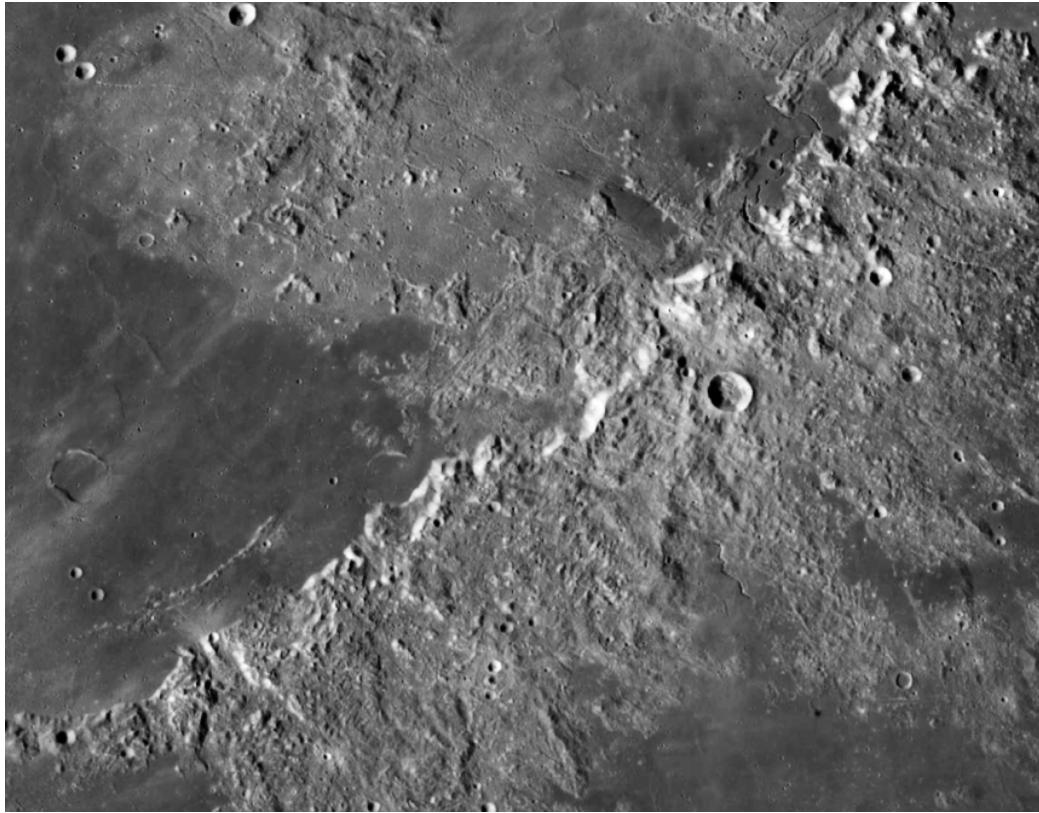


Fig. 6. *Montes Apenninus*, uma cadeia de montanhas na margem sudeste do *Mare Imbrium*.
créditos: NASA/Arizona State University(ASU).

o uso de nomes de importância política, militar ou religiosa, exceto o de figuras políticas anteriores ao século XIX.

Ao longo da história, nomes foram atribuídos e aprovados pela IAU em desacordo com as regras atuais. Essas exceções incluem os nomes de crateras homenageando astronautas e cosmonautas ainda em vida.

As regras para nomenclatura podem ser consultadas através da página [*Gazeteer Of Planetary Nomenclature*](#) mantida pelo *United States Geological Survey (USGS)* e os nomes aprovados para formações na lua podem ser consultados na seção de [**Nomenclatura Lunar**](#). Vale chamar atenção para o fato de que dos 1608 nomes de crateras aprovados até 2024 pela IAU, apenas 9 nomes tem origem nas Américas Central e do Sul.

Assim como a nomenclatura, dados de imagem da Lua são acessíveis através de bases de dados abertas. Especialmente útil é a plataforma [**Quickmap**](#) (Fig 7), para visualização de dados da *Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC)*.

Outra ferramenta de grande utilidade no planejamento de observações lunares está disponível em [**Scientific Visualization Studio - Fase da Lua 2024**](#) (Fig. 8).

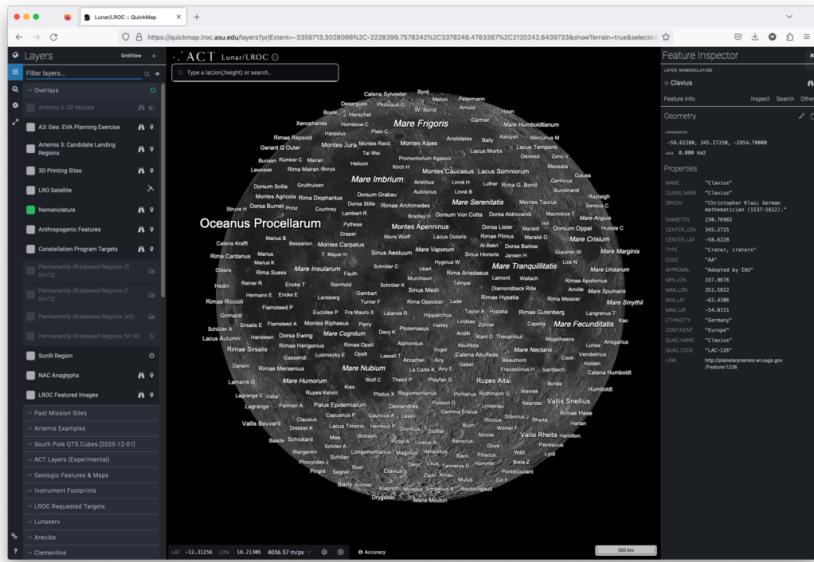


Fig. 7. Página de acesso à plataforma Quickmap.

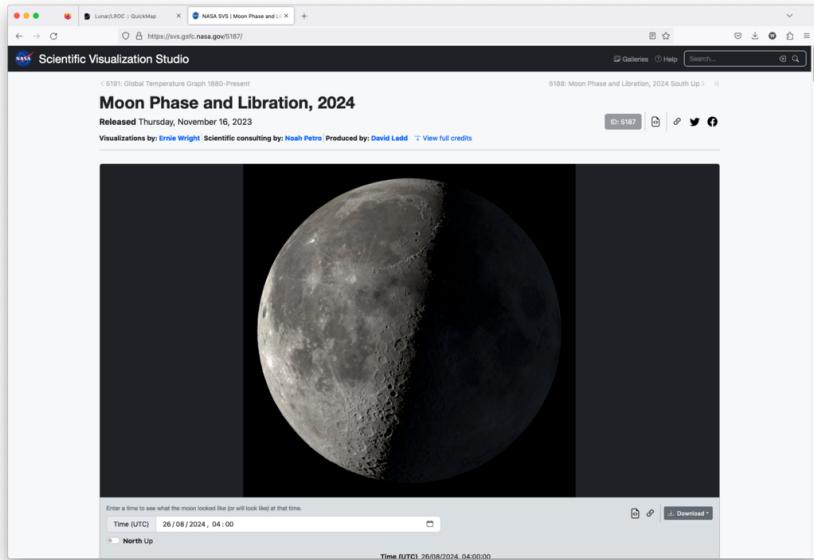


Fig. 8. Scientific Visualization Studio - Fase da Lua e Libração 2024

A plataforma Scientific Visualization Studio (SVS) da NASA disponibiliza anualmente esta interface de visualização do aspecto da Lua para a data e horário selecionados.

O uso combinado das plataformas Quickmap e SVS é um grande auxílio no planejamento de observações e na identificação de formações capturadas através de imagens. Entre os recursos oferecidos no quickmap estão a identificação de locais de pouso de missões

lunares e de outras formações e objetos antropogênicos, como crateras criadas por impactos com estágios de veículos espaciais e instrumentos científicos deixados pelas missões Apollo.

1.2 Movimentos da Lua

Orbitando a Terra a uma distância média de 384 mil km, a Lua é o corpo celeste mais próximo de nós, e o único no qual o ser humano já pisou, com o primeiro pouso de uma missão tripulada em 20 de julho de 1969.

A mudança mais evidente no aspecto da Lua é o seu ciclo de fases, ou lunação, resultante da variação da porção iluminada pelo Sol da face visível da Lua. Ao longo de um período de 29,53 dias, a Lua varia de um disco 100% iluminado, nascendo no pôr do Sol, e reduzindo a cada dia sua fração iluminada até aparecer como um arco delgado nascendo ao amanhecer, para em seguida aparecer também como um arco delgado no horizonte oeste se pondo logo após o Sol e aumentando sua face iluminada a cada dia até retornar aos 100% de iluminação. Estas fases são causadas por seu movimento orbital em torno da Terra e estão ilustradas na Fig. 9. Chamamos este ciclo completo de fases de lunação e chamamos de **período sinódico** a duração média de uma lunação[4].

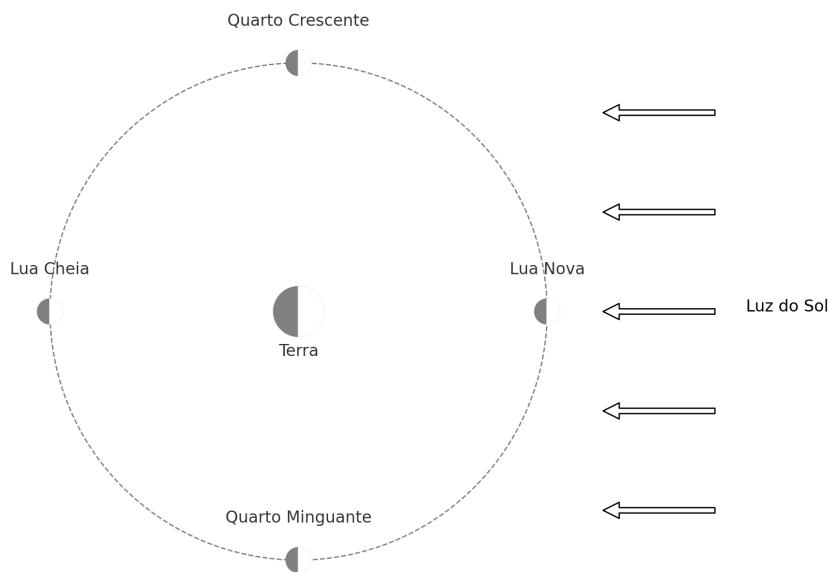


Fig. 9. Fases da lua. [créditos: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo].

No diagrama anterior (Fig. 9) o Sol está posicionado à direita e ilumina a Lua e a Terra simultaneamente. Como durante a Lua Nova a face lunar voltada para a Terra não está iluminada, não é possível visualizar a Lua. No entanto, nos dias que imediatamente antecedem e sucedem a Lua Nova, um interessante fenômeno pode ser observado: a luz cinérea. Enquanto apenas um fino arco da Lua aparece iluminado diretamente pelo Sol, a luz solar refletida na Terra ilumina a face escura da Lua, tornando-a também visível. A Fig. 10 é o registro de uma conjunção entre a Lua, o planeta Mercúrio e o aglomerado estelar Messier 44 na constelação de Câncer no dia 7 de julho de 2024, dois dias após a Lua Nova.



Fig. 10. Conjunção entre a Lua, Mercúrio e o Aglomerado do Presépio (M44) na constelação de Câncer (2024-07-07). crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo.

A Fig. 9 também nos permite concluir que um eclipse solar (quando a Lua se posiciona entre a Terra e o Sol, projetando sua sombra na superfície terrestre) só pode acontecer durante a Lua Nova. Analogamente, um eclipse lunar (quando a Lua passa pela sombra da Terra) só pode ocorrer durante a Lua cheia. No entanto, o plano da órbita lunar é inclinado $5,145^\circ$ em relação ao plano da órbita terrestre, a eclíptica, evitando a ocorrência de eclipses a cada Lua Cheia ou Nova. Os pontos de intersecção entre a órbita lunar e o plano da eclíptica são chamados de nodos. Para que um eclipse aconteça, é necessário que a Lua Cheia ou Nova ocorra durante a passagem da Lua por um dos nodos.

A Fig. 11 mostra a órbita da Lua (representada pela linha tracejada) cortando o plano da eclíptica (representado pelo plano amarelo). A inclinação foi exagerada para melhor visualização. O nodo ascendente é o ponto de da órbita lunar ocupado pela Lua ao cruzar o plano da eclíptica no sul para o norte. Ao contrário, o nodo descendente é ocupado pela

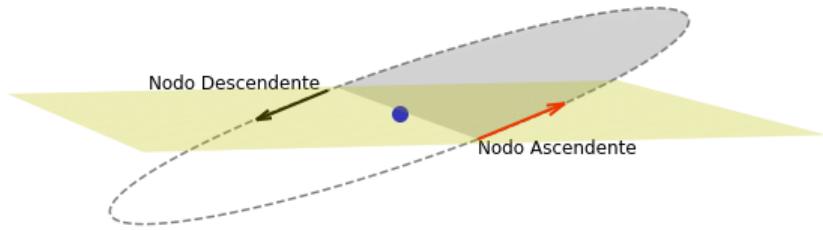


Fig. 11. Órbita da Lua cortando o plano da Eclíptica (em amarelo). [crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]

Lua ao cruzar a eclíptica do norte para o sul.

A Fig. 12 mostra a posição da Lua e dos planetas do Sistema Solar no mês de setembro/2024. A posição da Lua é representada em intervalos de 24h e as posições para os dias 1, 8, 15 e 22/09 estão identificadas. O movimento da Lua na carta é da direita para a esquerda e o movimento de cada um dos planetas está indicado pelo sentido das setas. A eclíptica está representada como uma linha tracejada.

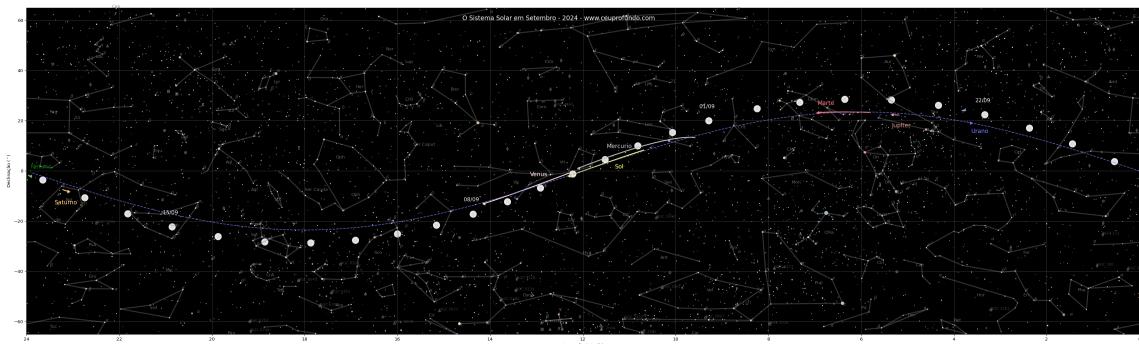


Fig. 12. Posição dos planetas e da Lua durante o mês de setembro de 2024. Gráfico gerado a partir de código em linguagem Python usando o pacote astroquery para consultar as coordenadas de objetos do Sistema Solar na base de dados JPL/Horizons. [código: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]

Considerando o movimento de translação da Lua em torno da Terra tomando as estrelas como referência, mediremos um período orbital de 27,32 dias. Chamamos esse intervalo de **período sideral**. Ao longo de um período sideral a Lua percorre toda a sua órbita, eventualmente se alinhando com o Sol (na Lua Nova) e em algum instante com cada um dos planetas do Sistema Solar. Chamamos esses alinhamentos de **conjunções**.

Quando a Lua Nova acontece durante a passagem da Lua por um dos nodos, temos um Eclipse Solar. Durante um eclipse Solar, a Lua se coloca entre a Terra e Sol, projetando sua sombra na superfície terrestre. Uma feliz coincidência é o fato de que apesar de o diâmetro da Lua corresponder a apenas 0,25% do diâmetro solar, seus diâmetros aparentes, vistos da Terra, são praticamente idênticos, correspondendo a aproximadamente 0,5°. Esta coincidência faz com que num eclipse solar total a Lua oculte exatamente o disco solar. A Fig. 13 é uma imagem do eclipse solar total de 2 de julho de 2019, registrada em Vicuña (Chile). Na imagem, capturada durante a totalidade do eclipse, o disco da Lua se ajusta exatamente sobre o Sol. Com o intenso brilho solar bloqueado, as ténues estruturas da coroa solar tornam-se visíveis.

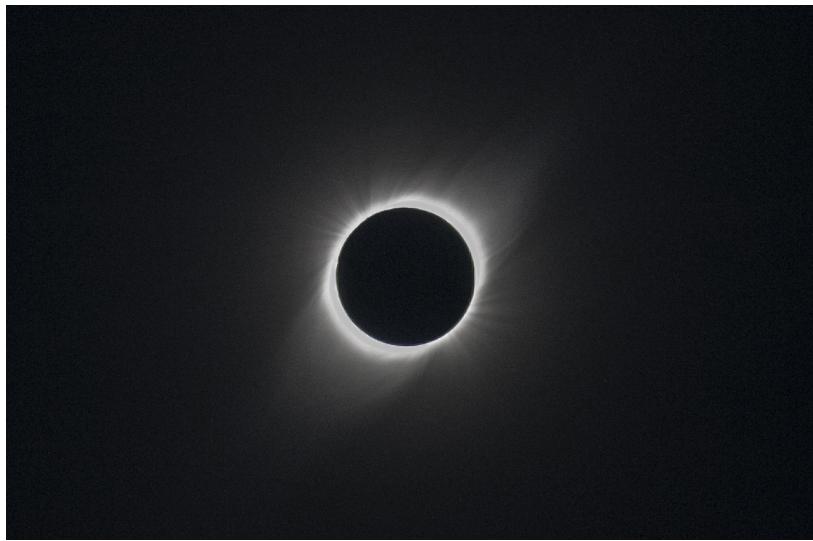


Fig. 13. Eclipse solar total de 2 de julho de 2019, em Vicuña, no Chile. [crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]

Quando a Lua Cheia ocorre durante a passagem da Lua pelas proximidades de um nodo, temos a ocorrência de um eclipse lunar. O formato da sombra projetada pela Terra fica evidente durante um eclipse lunar. A Fig. 14 é uma composição de imagens capturadas durante o eclipse lunar total de 15 de maio de 2022, no Observatório Astronômico da UNIVAP, em São José dos Campos.

Mas não é apenas o disco Solar que pode ser occultado pela Lua. Em seu movimento orbital vemos a Lua se alinhar, e por vezes occultar, estrelas e planetas. A Fig. 15 é um registro da occultação de Marte pela Lua em 5 de setembro de 2020, através do telescópio Schmidt-Cassegrain de 0,30 m do Observatório Astronômico da UNIVAP em São José dos Campos (SP).



Fig. 14. Eclipse lunar total de 15 de maio de 2022. [crédito: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]



Fig. 15. Ocultação de Marte pela Lua em 2020-09-05. Observado de São José dos Campos (SP).[créditos: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]

O site <https://www.timeanddate.com/eclipse/> fornece previsões da ocorrência e visibilidade de eclipses.

A órbita lunar traça uma elipse em torno da Terra. Com distância média (semi-eixo maior) de 384400 km e com excentricidade 0,05490. A partir destes valores computamos uma distância mínima (perigeu) de 363,3 mil km e uma distância máxima (apogeu) de 405,5 mil km (Fig. 16). No entanto, esses parâmetros são perturbados por outros corpos do Sistema Solar, especialmente pelo Sol, e a Lua pode se aproximar e se afastar além desses valores médios computados. O gráfico na Fig. 17 mostra a variação da distância Terra-Lua ao longo do ano de 2025.

Uma consequência imediata dessa variação de distância é a variação no diâmetro aparente da Lua. Considerando os valores extremos da distância Terra-Lua, o diâmetro lunar aparente no perigeu pode ser 14% maior do que no apogeu. Essa é uma diferença discreta e embora as ocasiões em que a Lua Cheia ocorre durante o perigeu sejam apelidadas de “superlua”, não é realmente uma diferença superlativa que seja facilmente identificada a olho nu.

Vale também lembrar que ao telescópio podemos utilizar grandes ampliações ao observar a Lua, fazendo que qualquer oportunidade de observação transforme a Lua em uma verdadeiramente “superlua”¹.



Fig. 16. Comparação de distâncias entre a Lua e a Terra no apogeu e no perigeu. As distâncias e diâmetros estão em escala. [dados: SVS/NASA. diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]

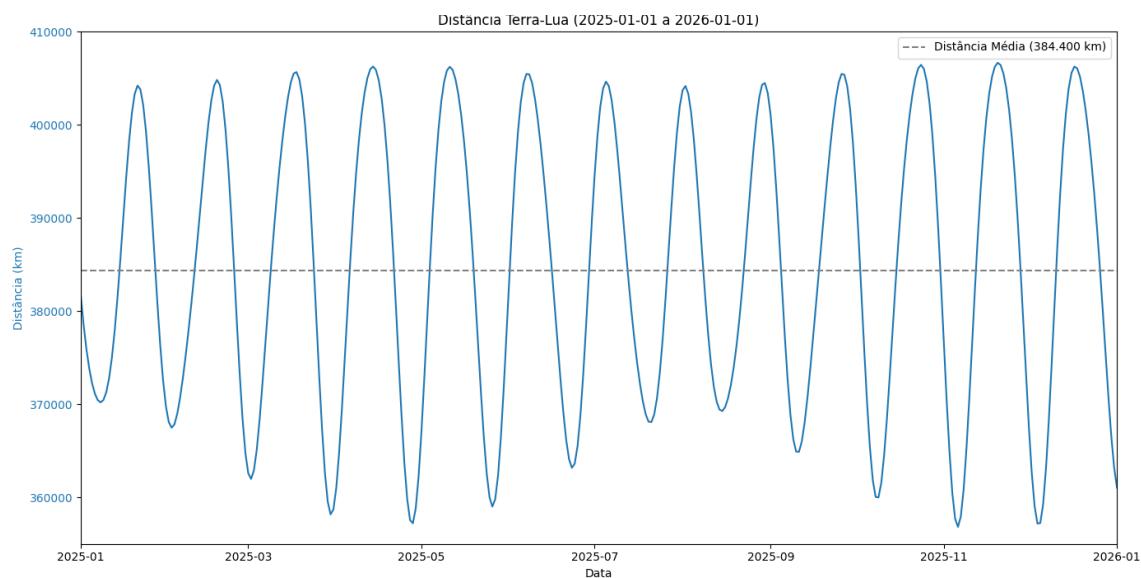


Fig. 17. Variação da distância Terra-Lua durante o ano de 2025. [dados: JPL/Horizons, gráfico: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo]

¹No apêndice calculamos a variação de brilho e de diâmetro aparente da Lua entre o perigeu e o apogeu.

1.3 Propriedades da Lua

DADOS GEOFÍSICOS (atualização 2018-Ago-15):

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| Raio médio volumétrico | = 1737.53+-0.03 km |
| Raio (gravitacional) | = 1738.0 km |
| Raio (IAU) | = 1737.4 km |
| Densidade | = 3.3437 g/cm^3 |
| Massa | = 7.349 x10^22 kg |
| Aceleração superf. | = 1.62 m/s^2 |
| Razão massa Terra/Lua | = 81.3005690769 |
| Densidade méd. da crosta | = 2.97+-0.07 g/cm^3 |
| Esp. crosta (face visível) | = 58+-8 km |
| Esp. crosta (face oposta) | = ~80 - 90 km |
| Diâmetro angular médio | = 31'05.2" |
| Albedo geométrico | = 0.12 |
| Obliquidade da órbita | = 6.67 grau |
| Semi-eixo maior, a | = 384400 km |
| Excentricidade | = 0.05490 |
| Movimento médio | = 2.6616995x10^-6 rad/s |
| Período Apsidal | = 3231.50 dias |
| Período nodal | = 6798.38 dias |
| Inclinação | = 5.145 graus |
| Dia solar médio | = 29.5306 dias |
| Período Orbital | = 27.321582 dias |

fonte: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.htm>

1.4 Regras da IAU para nomenclatura lunar

Crateras Cientistas, engenheiros e exploradores, assim como outras pessoas relacionadas à astronomia, pesquisa planetária ou espacial, que tenham feito contribuições excepcionais ou fundamentais em suas áreas. Cosmonautas russos são homenageados com crateras em e ao redor do Mare Moscoviene. Astronautas americanos são homenageados com crateras em e ao redor da cratera Apollo. Locais apropriados serão disponibilizados no futuro para outras nações que exploram o espaço. Primeiros nomes são usados para pequenas crateras de interesse especial

Mares Termos em latim descrevendo fenômenos meteorológicos e conceitos abstratos.

Montes Cadeias de montanhas terrestres, crateras próximas, cientistas com contribuições excepcionais ou fundamentais em suas áreas.

Exercícios

1. Utilizando a plataforma [Quickmap](#) para acessar os dados de imagem da LRO e suas respectivas nomenclaturas, identifique as crateras Tycho, Copernicus, Clavius e Teophilus. Use a janela de buscas da plataforma e pesquise nominalmente pelas crateras. Qual o diâmetro de cada cratera encontrada? Quais são visíveis durante a fase crescente? Quais são visíveis durante a fase minguante?
2. No menu *Layers* (Camadas) da plataforma Quickmap, habilite na opção *Overlays* (Sobreposições) a exibição da camada *Antropogenic Features*. Identifique os locais de pouso das missões Apollo. No zoom máximo da plataforma, cada pixel corresponde a 50 cm na superfície da Lua. Com este zoom você consegue identificar artefatos deixados pelas missões nos locais de pouso, como a base do módulo lunar, rastros dos astronautas e dos jipes lunares?

1.5 Planetas

Dos oito planetas do Sistema Solar, cinco são visíveis a olho nu (ou seis, se contabilizarmos a Terra, que, afinal de contas, também é perfeitamente visível sem instrumentos).

O desafio passa a ser apenas identificar quais daqueles pontos luminosos no céu não são estrelas e sim astros muito mais próximos, orbitando também em torno do Sol.

Ao observar sistematicamente o céu, podemos perceber que certos astros parecem se deslocar com relação aos padrões formados pelas estrelas. Foi esse movimento de Mercúrio, Vênus, Marte, Saturno e Júpiter na esfera celeste, deslocando-se entre as “estrelas fixas”, que deu a estes corpos a alcunha de “*astros errantes*”, ou “ $\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\eta\varsigma$ ” (planétes) em grego.

Além dos planetas visíveis a olho nu, o Sistema Solar tem ainda mais dois planetas, que embora gigantes, não são visíveis a olho nu: Urano e Netuno. Completando a família de objetos de nosso Sistema Solar somam-se os planetas anões, os satélites e os “*Pequenos Corpos do Sistema Solar*”.

A resolução B5 da União Astronômica Internacional (IAU)[5], adotada em agosto de 2006 na XXV Assembleia Geral em Praga, estabelece a definição moderna de planeta e cria a categoria planeta anão:

1. Um planeta é um corpo celeste que
 - (a) está em órbita em torno do Sol,
 - (b) tem massa suficiente para assumir uma forma em equilíbrio hidrostático (aproximadamente redonda), e
 - (c) limpou as vizinhanças de sua órbita.
2. Um “planeta anão” é um corpo celeste que
 - (a) está em órbita em torno do Sol,
 - (b) tem massa suficiente para assumir uma forma em equilíbrio hidrostático (aproximadamente redonda),
 - (c) não limpou as vizinhanças de sua órbita, e
 - (d) não é um satélite.
3. Todos os outros objetos, exceto satélites, orbitando o Sol devem ser chamados coletivamente de “*Pequenos Corpos do Sistema Solar*”.

A resolução B6, adotada na mesma data, estabelece que por estas regras Plutão é um planeta anão e o reconhece como o protótipo de uma nova categoria de Objetos Transnetunianos (TNOs).

Conhecendo a definição oficial da IAU para os planetas, podemos partir em busca desses objetos no céu.

1.6 Configurações planetárias

A observação dos planetas está condicionada à configuração relativa entre cada planeta e a Terra. Em certas condições um planeta permanece visível durante toda a noite no céu. Em outras, é possível vê-lo apenas no ocaso ou no amanhecer. Ou ainda, em outras condições, um planeta pode não ser visível no céu noturno.

Certas configurações são de interesse especial e estão representadas na Fig. 18.

A melhor condição para a observação de Mercúrio e Vênus, planetas com órbitas internas à da Terra, corresponde às máximas elongações a leste e a oeste. Nestas configurações os planetas atingem a maior separação em relação ao Sol.

As configurações em que os planetas se encontram alinhados na mesma direção que o Sol são as conjunções. No caso dos planetas interiores, Mercúrio e Vênus, há duas possibilidades de conjunção: com o planeta entre a Terra e o Sol (conjunção inferior) ou com o Sol entre a Terra e o planeta (conjunção superior).

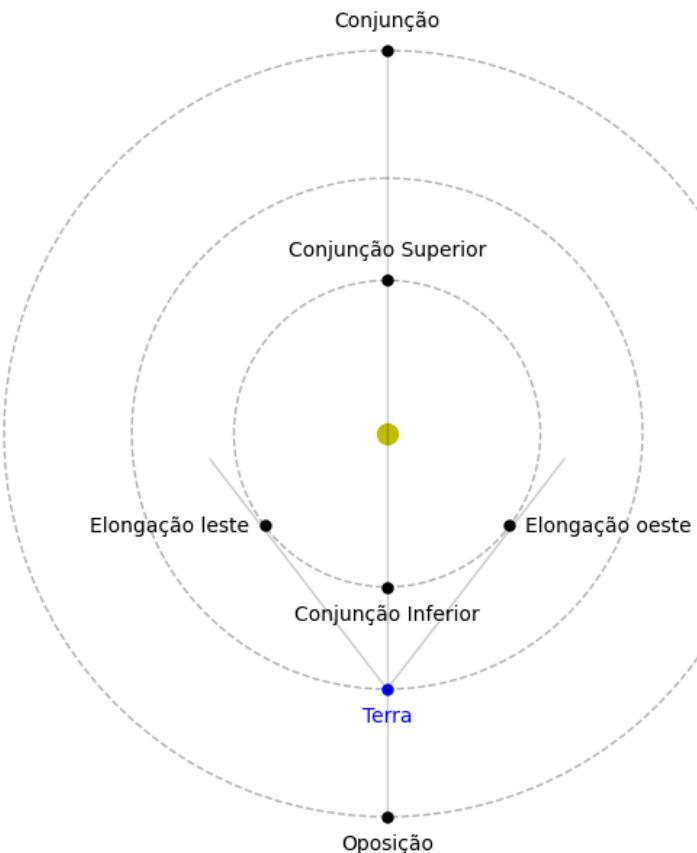


Fig. 18. Configurações orbitais. crédito: Wandecley M./Projeto Céu Profundo

A condição ideal para a observação de planetas com órbitas de raio maior que o da Terra é a oposição. Nesta configuração, além do planeta estar na menor distância à Terra, atin-

gindo seu maior brilho e tamanho aparente, ele será visível durante toda a noite, nascendo ao pôr do Sol e se pondo ao amanhecer, cruzando o meridiano local no meio da noite.

1.7 Órbitas planetárias

1.7.1 Leis de Kepler

Todas essas configurações são consequência do movimento orbital, que obedece às leis enunciadas pelo astrônomo e matemático Johannes Kepler no início do séc. XVII. Kepler baseou-se nos dados precisos das coordenadas de Marte, obtidas pelo astrônomo Tycho Brahe, para elaborar suas três leis do movimento planetário:

1. A órbita dos planetas é uma elipse, com o Sol em um dos focos.
2. O raio vetor que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
3. O quadrado do período orbital é proporcional ao cubo do semi-eixo maior das órbitas.

1.7.2 1^a Lei - Lei das órbitas

A órbita dos planetas é uma elipse, com o Sol em um dos focos.

A Fig. 19 mostra a geometria da órbita de Mercúrio, conforme a primeira lei de Kepler. O Sol está posicionado em um dos focos. O ponto C é o centro da elipse. O ponto F_2 é o segundo foco. O periélio é o ponto da órbita mais próximo do Sol e o afélio, o mais distante.

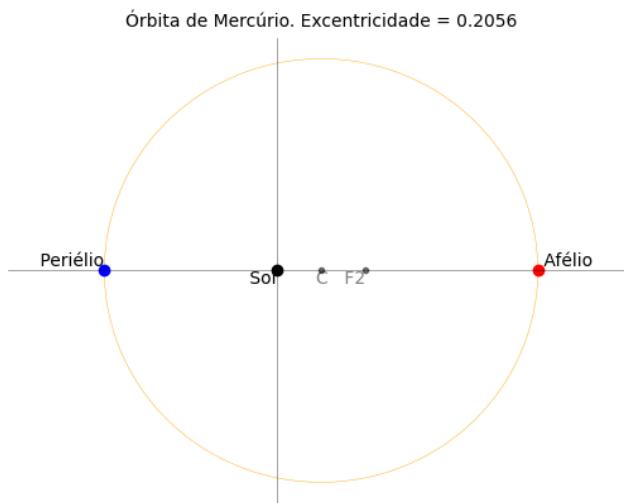


Fig. 19. Órbita de Mercúrio, conforme a primeira Lei de Kepler. crédito: Wandeclayty M./Projeto Céu Profundo

1.7.3 2^a Lei - Lei das áreas

O raio vetor que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

A segunda lei de Kepler é uma descrição do movimento planetário. Ela está ilustrada na Fig. 20: Se as áreas preenchidas em azul e em cinza são iguais, o tempo que o planeta leva para se deslocar do ponto A ao ponto B é o mesmo que ele leva para se deslocar de C a D.

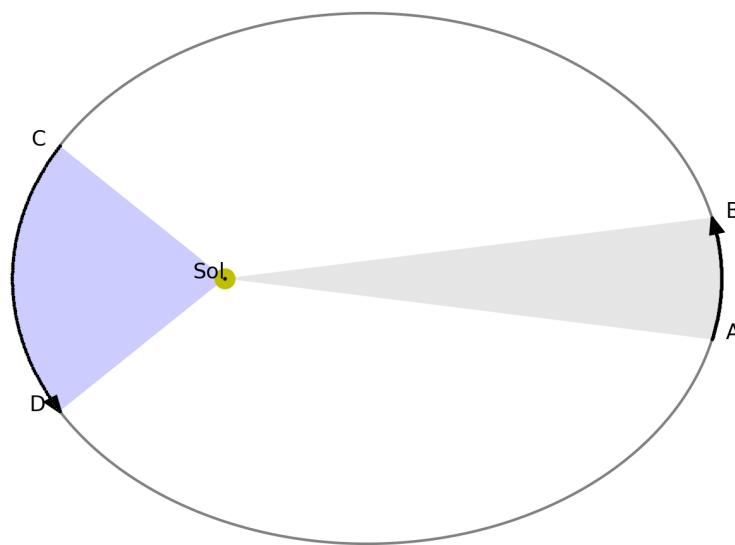


Fig. 20. Segunda lei de Kepler. diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo

1.7.4 3^a Lei - Lei harmônica

O quadrado do período orbital é proporcional ao cubo do semi-eixo maior das órbitas.

A terceira lei enunciada por Kepler relaciona o período orbital e a distância média do planeta ao Sol. Kepler estabelece que a razão entre o cubo da distância média do planeta ao Sol e o quadrado do período orbital é uma constante, para todos os planetas:

$$A^3 : T^2 = \text{constante}.$$

O gráfico na Fig. 21, com eixos logarítmicos, relaciona o período orbital e a distância média ao Sol dos 8 planetas do Sistema Solar e dos planetas anões Ceres e Plutão. No gráfico fica evidente a constância da razão $A^3 : T^2$. Se as distâncias são dadas em Unidades Astronômicas² e os períodos em anos, a razão $A^3 : T^2 = 1$.

²1 Unidade Astronômica (UA) equivale à distância média da Terra ao Sol, ou, 149,597 milhões de km.

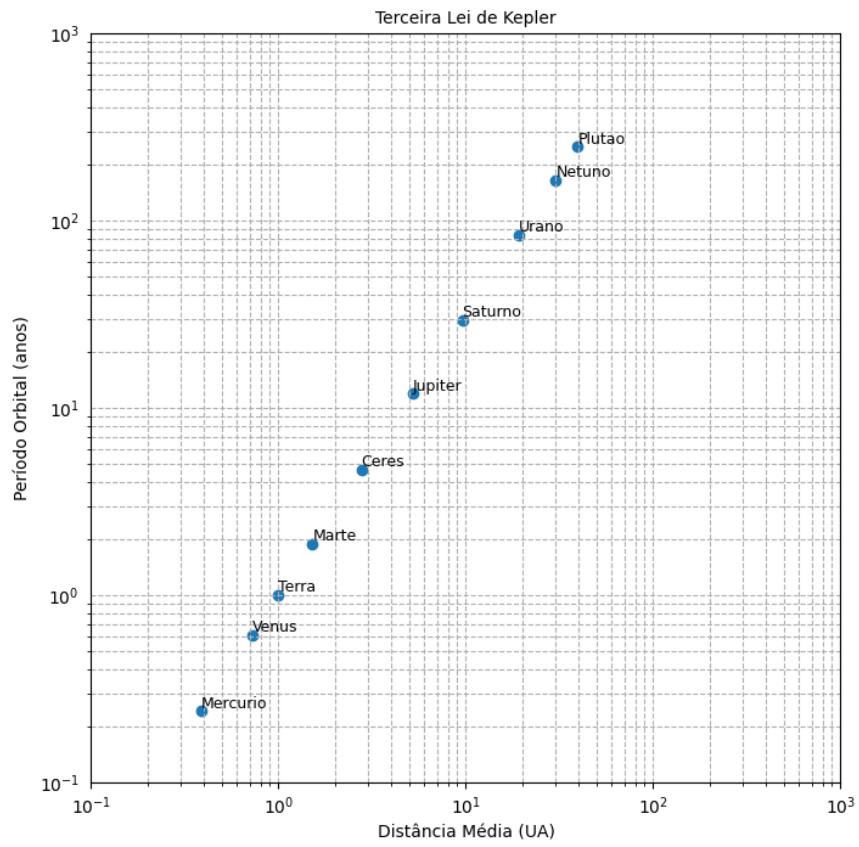
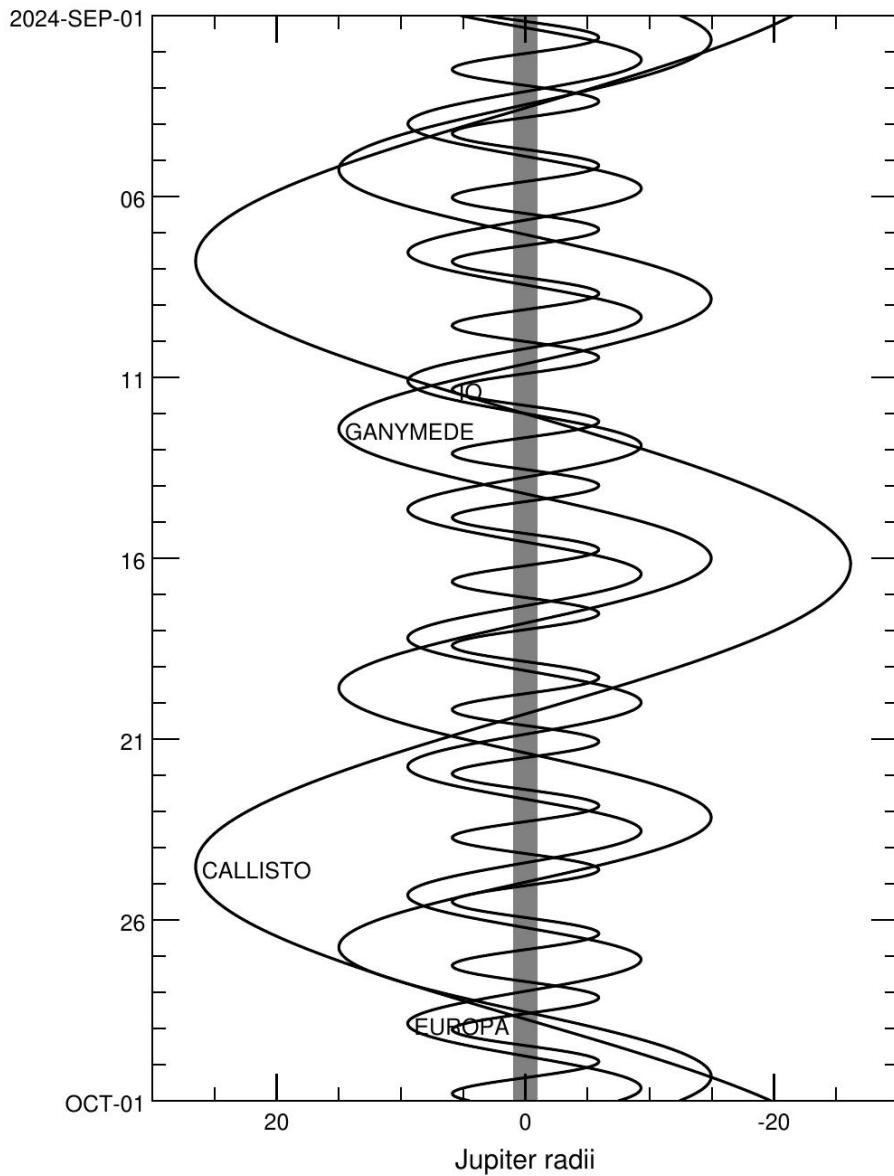


Fig. 21. Terceira lei de Kepler - Períodos orbitais e distâncias médias ao Sol. diagrama: Wandecley M./Projeto Céu Profundo.

A Fig. 23 exibe a configuração dos planetas do Sistema Solar durante o mês de setembro de 2024.

Satélites de Júpiter - 01 a 30 de setembro de 2024



Ephemeris: JUP365 + DE440

Viewpoint: Earth's center

Generated by the Jupiter Tracker Tool, PDS Ring-Moon Systems Node, Mon Sep 2 17:41:55 2024

Fig. 22. https://pds-rings.seti.org/tools/tracker3_jup.shtml

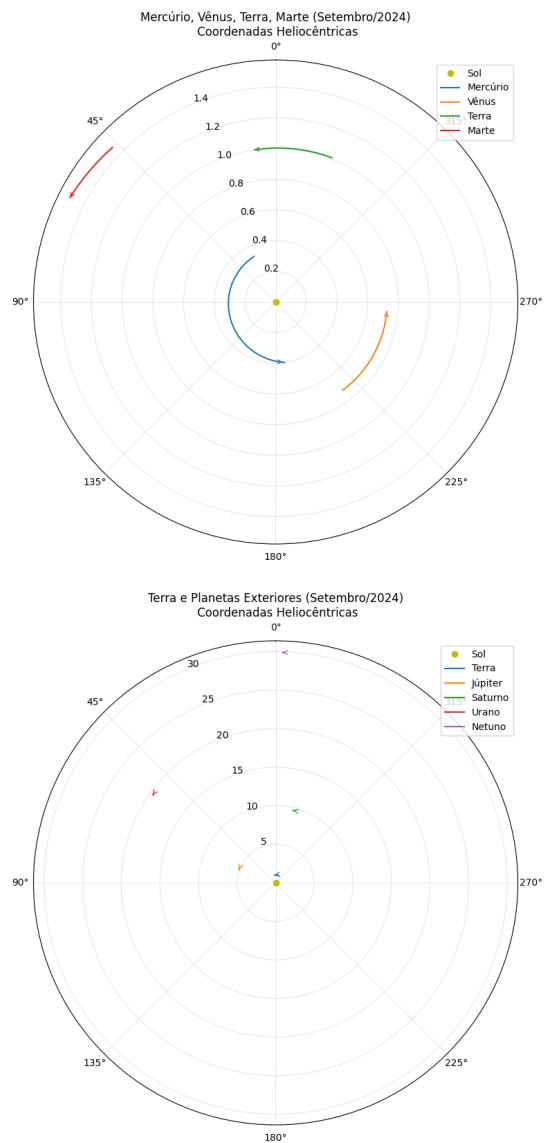


Fig. 23. Posição heliocêntrica dos planetas no mês de setembro/2024.dados: JPL/Horizons.
diagrama: Wandeclayt M./Projeto Céu Profundo.

Referências

- [1] Riccioli GB (1651) *Almagestum novum* (ETH-Bibliothek Zürich), . <https://doi.org/10.3931/e-rara-520>
- [2] Hevelius J (1647) *Selenographia* (ETH-Bibliothek Zürich), . <https://doi.org/10.3931/e-rara-238>
- [3] IAU (1973) *Commission 17: The Moon (La Lune). Transactions of the International Astronomical Union.* (Cambridge University Press), . <https://doi.org/10.1017/S0251107X00031412>
- [4] Bozcko R (2022) *Conceitos de Astronomia* (Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, SP), 2nd Ed. <https://doi.org/10.11606/9786588233061>
- [5] IAU (2006) *Resolution B5. Definition of a Planet in the Solar System*, . Available at https://iau.org/static/resolutions/Resolution_GA26-5-6.pdf.

Apêndice A: Alfabeto Grego

Tabela 1. Alfabeto Grego.

| | |
|---------------|---------|
| α | alfa |
| β | beta |
| γ | gamma |
| δ | delta |
| ε | epsilon |
| ζ | zeta |
| η | eta |
| θ | theta |
| ι | iota |
| κ | kappa |
| λ | lambda |
| μ | mi |
| ν | ni |
| ξ | xi |
| \omicron | omicron |
| π | pi |
| ρ | rô |
| σ | sigma |
| τ | tau |
| υ | upsilon |
| ϕ | fi |
| χ | qui |
| ψ | psi |
| ω | ômega |

Apêndice B: Constelações Oficiais (IAU), Abreviaturas, Genitivos, Tradução.

| Código | Nome Latino | Genitivo | Tradução Português |
|---------------|--------------------|-------------------|---------------------------|
| And | Andromeda | Andromedae | Andrômeda |
| Ant | Antlia | Antliae | Máquina Pneumática |
| Aps | Apus | Apodis | Ave-do-paraíso |
| Aql | Aquila | Aquilae | Águia |
| Aqr | Aquarius | Aquarii | Aquário |
| Ara | Ara | Arae | Altar |
| Ari | Aries | Arietis | Carneiro |
| Aur | Auriga | Aurigae | Cocheiro |
| Boo | Boötes | Bootis | Boieiro |
| Cae | Caelum | Caeli | Cinzel |
| Cam | Camelopardalis | Camelopardalis | Girafa |
| Cnc | Cancer | Cancri | Caranguejo |
| CVn | Canes Venatici | Canum Venaticorum | Cães de Caça |
| CMa | Canis Major | Canis Majoris | Cão Maior |
| CMi | Canis Minor | Canis Minoris | Cão Menor |
| Cap | Capricornus | Capricorni | Capricórnio |
| Car | Carina | Carinae | Quilha |
| Cas | Cassiopeia | Cassiopeiae | Cassiopeia |
| Cen | Centaurus | Centauri | Centauro |
| Cep | Cepheus | Cephei | Cefeú |
| Cet | Cetus | Ceti | Baleia |
| Cha | Chamaeleon | Chamaeleontis | Camaleão |
| Cir | Circinus | Circini | Compasso |
| Col | Columba | Columbae | Pomba |
| Com | Coma Berenices | Comae Berenices | Cabeleira de Berenice |
| CrA | Corona Australis | Coronae Australis | Coroa Austral |
| CrB | Corona Borealis | Coronae Borealis | Coroa Boreal |
| Crv | Corvus | Corvi | Corvo |
| Crt | Crater | Crateris | Taça |
| Cru | Crux | Crucis | Cruzeiro do Sul |
| Cyg | Cygnus | Cygni | Cisne |
| Del | Delphinus | Delphini | Golfinho |
| Dor | Dorado | Doradus | Dourado |
| Dra | Draco | Draconis | Dragão |
| Equ | Equuleus | Equulei | Potro |
| Eri | Eridanus | Eridani | Eridano |
| For | Fornax | Fornacis | Fornalha |
| Gem | Gemini | Geminorum | Gêmeos |
| Gru | Grus | Gruis | Grou |
| Her | Hercules | Herculis | Hércules |
| Hor | Horologium | Horologii | Relógio |

| Código | Nome Latino | Genitivo | Tradução Português |
|--------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Hya | Hydra | Hydrae | Hidra |
| Hyi | Hydrus | Hydri | Hidra Macho |
| Ind | Indus | Indi | Índio |
| Lac | Lacerta | Lacertae | Lagarto |
| Leo | Leo | Leonis | Leão |
| LMi | Leo Minor | Leonis Minoris | Leão Menor |
| Lep | Lepus | Leporis | Lebre |
| Lib | Libra | Librae | Balança |
| Lup | Lupus | Lupi | Lobo |
| Lyn | Lynx | Lyncis | Lince |
| Lyr | Lyra | Lyrae | Lira |
| Men | Mensa | Mensae | Mesa |
| Mic | Microscopium | Microscopii | Microscópio |
| Mon | Monoceros | Monocerotis | Unicórnio |
| Mus | Musca | Muscae | Mosca |
| Nor | Norma | Normae | Esquadro |
| Oct | Octans | Octantis | Octante |
| Oph | Ophiuchus | Ophiuchi | Serpentário |
| Ori | Orion | Orionis | Orion |
| Pav | Pavo | Pavonis | Pavão |
| Peg | Pegasus | Pegasi | Pégaso |
| Per | Perseus | Persei | Perseu |
| Phe | Phoenix | Phoenicis | Fênix |
| Pic | Pictor | Pictoris | Pintor |
| Psc | Pisces | Piscium | Peixes |
| PsA | Piscis Austrinus | Piscis Austrini | Peixe Austral |
| Pup | Puppis | Puppis | Popa |
| Pyx | Pyxis | Pyxidis | Bússola |
| Ret | Reticulum | Reticuli | Retículo |
| Sge | Sagitta | Sagittae | Flecha |
| Sgr | Sagittarius | Sagittarii | Sagitário |
| Sco | Scorpius | Scorpii | Escorpião |
| Scl | Sculptor | Sculptoris | Escultor |
| Sct | Scutum | Scuti | Escudo |
| Ser | Serpens | Serpentis | Serpente |
| Sex | Sextans | Sextantis | Sextante |
| Tau | Taurus | Tauri | Touro |
| Tel | Telescopium | Telescopii | Telescópio |
| Tri | Triangulum | Trianguli | Triângulo |
| TrA | Triangulum Australe | Trianguli Australis | Triângulo Austral |
| Tuc | Tucana | Tucanae | Tucano |

| Código | Nome Latino | Genitivo | Tradução Português |
|---------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| Uma | Ursa Major | Ursae Majoris | Ursa Maior |
| UMi | Ursa Minor | Ursae Minoris | Ursa Menor |
| Vel | Vela | Velorum | Vela |
| Vir | Virgo | Virginis | Virgem |
| Vol | Volans | Volantis | Peixe Voador |
| Vul | Vulpecula | Vulpeculae | Raposa |

Apêndice C: Demonstrações, Equações e Scripts

A Superlua é mesmo Super?

A Lua Cheia de perigeu costuma receber o apelido de Superlua e ser amplamente noticiada como um evento em que a Lua aparece muito maior e mais brilhante qdo que quando a Lua Cheia ocorre em outro ponto da órbita lunar.

Podemos, conhecendo as distâncias médias da Lua no perigeu e no apogeu, determinar a diferença de diâmetro aparente e magnitude da Lua entre esses pontos e concluir se a Superlua é mesmo Super.

A formula geral para calcular a magnitude aparente de um objeto celeste é

$$m = m_0 - 2,5 \log \left(\frac{F}{F_0} \right), \quad (1)$$

Onde m é a magnitude aparente, m_0 é a magnitude de referência, e F/F_0 é a razão entre o fluxo de radiação observado e o fluxo de referência. Este é um processo de comparação de magnitudes e é necessária uma magnitude de referência m_0 para determinar a magnitude aparente m de um segundo objeto ou do mesmo objeto em instantes diferentes.

Como o fluxo observado da Lua corresponde à fração da radiação solar refletida pela superfície lunar, podemos escrever

$$F = \frac{L \cdot A \cdot S}{d^2}. \quad (2)$$

Onde L é a constante solar, ou seja, o fluxo de radiação solar recebido na superfície da Lua. A é o albedo lunar, a fração da radiação solar refletida pela Lua. S é a área da superfície lunar visível da Terra. E d é a distância entre a Terra e a Lua.

Como L , A e S permanecem constantes no perigeu e no apogeu, a razão F/F_0 se torna

$$\frac{F}{F_0} = \frac{d^2}{d_0^2}. \quad (3)$$

A variação na magnitude aparente da Lua entre o perigeu e o apogeu fica então

$$\Delta m = m_{\text{apogeu}} - m_{\text{perigeu}} = -2,5 \log \left(\frac{d_{\text{perigeu}}^2}{d_{\text{apogeu}}^2} \right). \quad (4)$$

Utilizando os valores médios de distância entre a Terra e a Lua no perigeu e no apogeu, $d_{\text{perigeu}} = 363300$ km e $d_{\text{apogeu}} = 405500$ km, encontramos

$$\Delta m = -5 \log \left(\frac{363300}{405500} \right) \approx -5 \log(0,896) \approx 0,24. \quad (5)$$

No perigeu a Lua é 0,24 magnitudes mais brilhante que no apogeu. Esta é uma diferença sutil, dificilmente perceptível a olho nu.

O diâmetro aparente da Lua também é um parâmetro que varia com a distância e é dado por

$$\theta = 2 \arctan \frac{D}{2d}, \quad (6)$$

onde θ é o diâmetro aparente (angular) da Lua, D é o diâmetro real da Lua ($D = 3478,8$ km) e d é a distância geocêntrica entre a Terra e a Lua.

A razão entre o diâmetro aparente no perigeu e no apogeu fica

$$\frac{\theta_{\text{perigeu}}}{\theta_{\text{apogeu}}} = \frac{2 \arctan(D/2d_{\text{perigeu}})}{2 \arctan(D/2d_{\text{apogeu}})}. \quad (7)$$

Para pequenos ângulos, $\arctan(x) \approx x$, e a razão $\theta_{\text{perigeu}}/\theta_{\text{apogeu}}$ pode ser simplificada como

$$\frac{\theta_{\text{perigeu}}}{\theta_{\text{apogeu}}} \approx \frac{D/2d_{\text{perigeu}}}{D/2d_{\text{apogeu}}} = \frac{d_{\text{apogeu}}}{d_{\text{perigeu}}}. \quad (8)$$

Utilizando os valores médios de distância no apogeu e no perigeu, resulta

$$\frac{\theta_{\text{perigeu}}}{\theta_{\text{apogeu}}} = \frac{405,5}{363,3} \approx 1,116, \quad (9)$$

indicando um diâmetro aparente 11,6% maior no perigeu. Assim como a diferença de brilho entre os pontos extremos da órbita lunar, de apenas 0,24 magnitudes, a diferença no diâmetro aparente também é sutil e dificilmente perceptível.

Leis de Kepler

Terceira lei de Kepler

A força gravitacional entre dois corpos de massas M e m separados por uma distância r é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles e é direcionada ao longo da linha que une os corpos:

$$\vec{F}_g = G \frac{M \cdot m}{r^2} \hat{r} \quad (10)$$

A força centrípeta que leva um corpo de massa m a descrever uma órbita circular de raio r , com módulo de velocidade v é:

$$\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp} = m \frac{v^2}{r} \hat{r} \quad (11)$$

Fica claro que, no caso de órbitas planetárias, a força centrípeta é a força gravitacional:

$$\vec{F}_g = \vec{F}_{cp} \quad (12)$$

Igualando as eq. 10 e 11:

$$G \frac{M \cdot m}{r^2} \hat{r} = m \frac{v^2}{r} \hat{r} \quad (13)$$

Dividindo ambos os lados da equação por m e fazendo $v = 2\pi r/T$, onde T é o período orbital e r é o raio da órbita, resulta:

$$G \frac{M}{r^2} = \frac{v^2}{r} = \left(\frac{2\pi \cdot r}{T} \right)^2 \frac{1}{r} \quad (14)$$

Reordenando os termos, encontramos:

$$\frac{GM}{4\pi^2} = \frac{r^3}{T^2}. \quad (15)$$

Como $GM/4\pi^2$ é constante, demonstramos que a razão $r^3 : T^2 = \text{constante}$, conforme enunciado por Kepler em sua terceira lei.

Kepler publicou suas leis entre 1609 e 1619, elaborando-as de maneira puramente empírica, baseando-se nas observações realizadas por seu mentor, o astrônomo Tycho Brahe. Os princípios teóricos da mecânica e da gravitação newtoniana usados nesta demonstração não estavam disponíveis para Kepler, uma vez que Newton só nasceria décadas mais tarde.

Perceba que é possível isolar M na eq. 15 e que conhecendo r e T de um objeto de massa $m \ll M$ orbitando um corpo central, podemos encontrar a massa M :

$$M = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2}. \quad (16)$$

Propriedades dos logaritmos.

$$\log_b A = x \implies b^x = A. \quad (17)$$

$$\log_b(AB) = \log_b A + \log_b B \quad (18)$$

$$\log_b\left(\frac{A}{B}\right) = \log_b A - \log_b B \quad (19)$$

$$\log_b(A^n) = n \log_b A \quad (20)$$

$$\log_b(A) = \frac{\log_c A}{\log_c b} \quad (21)$$

$$\log_b(1) = 0 \quad (22)$$

$$\log_b(b) = 1 \quad (23)$$

Apêndice D: Histórico de Versões

V 0.0.1 Incluído capítulo “A Lua”.

V 0.0.2 Atualização do capítulo “Lua”. Inclusão de diagrama de posições do Sistema Solar.

V 0.0.3 Atualização do capítulo “Lua”. Inclusão de gráfico de distância Terra-Lua. Inclusão de tabela de dados geofísicos. Correções no texto.

V 0.1.0 Inclusão do cálculo da variação de brilho e diâmetro aparente da Lua nos apêndices. Inclusão da subseção “Planetas”. Revisão geral.