

Lua, gigante cósmico! A Lua mais próxima da Terra (perigeu) e o Sol mais distante (afélio da Terra)

Luiz Ravell Andre Antonio Dias¹ e Ricardo José Vaz Tolentino²

¹Universidade Federal de Ouro Preto

²Observatório Lunar Vaz Tolentino

Resumo

O artigo explora a relação entre o Sol e a Lua, apesar de suas distâncias e tamanhos diferentes. Destaca as órbitas elípticas que causam variações nos tamanhos aparentes desses astros, levando a eventos como eclipses. Em julho de 2023, houve a coincidência de a Terra estar mais distante do Sol e a Lua mais próxima, resultando em um tamanho aparente lunar maior. O estudo destaca características físicas e orbitais para compreender tais fenômenos astronômicos.

Abstract

The article explores the relationship between the Sun and the Moon, despite their differing distances and sizes. It emphasizes the elliptical orbits causing variations in their apparent sizes, leading to events like eclipses. In July 2023, there was a coincidence of Earth being farther from the Sun and the Moon being closer, resulting in a larger apparent lunar size. The study highlights physical and orbital characteristics to comprehend such astronomical phenomena.

Palavras-chave: Lua, perigeu lunar, afélio da Terra.

Keywords: Moon, lunar perigee, Earth aphelion.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5n1.43582](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5n1.43582)

1 Introdução

Desde a antiguidade, o Sol e a Lua desempenham papéis essenciais na contagem do tempo e na percepção do céu como um relógio natural. Sua presença foi crucial para o êxito da agricultura e a sobrevivência da humanidade, moldando profundamente o cotidiano e a cultura ao longo da história. [1].

Apesar de o Sol estar aproximadamente 400 vezes mais distante da Terra do que a Lua, ele também é cerca de 400 vezes maior do que ela. Essa relação possibilita a ocorrência de eclipses totais. No entanto, devido às órbitas elípticas da Terra em torno do Sol e da Lua em torno da Terra, a distância desses astros varia, afetando seus tamanhos aparentes. Este trabalho explora não apenas esses dois corpos celestes, mas também a coincidência de eventos em julho de 2023, quando a Terra estava mais afastada do Sol e a Lua mais próxima, resultando em um tamanho aparente da Lua significativamente maior que o do Sol por al-

guns dias. O estudo aborda características físicas e orbitais para explicar esses fenômenos.

2 A Lua

A Lua é um dos mais importantes objetos do céu noturno para a humanidade. Sua formação em estudos recentes feitos com amostras de zircão coletadas pela Apollo 14 estima sua idade em 4,51 bilhões de anos [2]. Nossa Lua traz consigo uma história de um passado caótico de formação geológica em sua superfície, com estruturas antigas ainda preservadas pela ausência de atmosfera e erosão quase nula. Tal passado a torna a visão telescópica mais rica em detalhes aqui da Terra, com incontáveis alvos em sua rica topografia. É o nosso mais acessível registro da formação e evolução do sistema solar [2]. Podemos encontrar vários mares de lava escura, cordilheiras, montanhas, incontáveis crateras de impacto de todos os tamanhos, bem como crateras secundárias, fan-

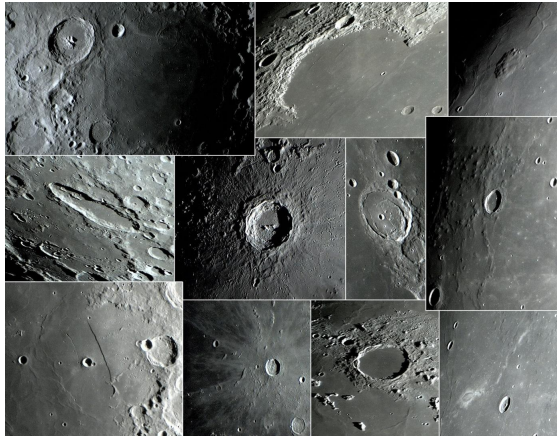


Figura 1: Algumas das diversas e belas formações presentes no rico relevo lunar.



Figura 2: Região da grande Cratera *Archimedes* (diâmetro: 81,04 km, profundidade: 1,6 km) e da longa cordilheira dos Montes *Apenninus* (extensão: 401 km, altitude máxima: 5,4 km), com a Cratera *Eratosthenes* (diâmetro: 58 km, profundidade: 3,43 km) posicionada no extremo sul da cordilheira. Capturado em 28/05/2023 às 19:45:20 (22:45:20 UT).

tasmas e vulcânicas. Da mesma forma, ela possui numerosos canais, escarpas, cristas rugosas, vulcões extintos e muito mais, tudo isso facilmente observado por telescópios terrestres, como vemos nas Figuras 1 e 2.

A selenografia é um ramo que estuda as características físicas da superfície lunar. Quando um selenógrafo observa a Lua hoje, ele enxerga

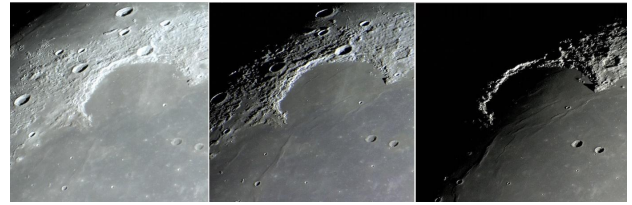


Figura 3: Os movimentos da Lua produzem mudanças de luz e sombras, que alteram dramaticamente as feições de suas formações. A bela baía do *Sinus Iridum* (diâmetro: 259 km) em três noites consecutivas.

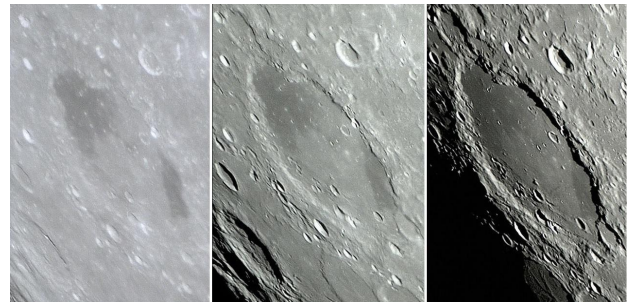


Figura 4: A grande Cratera *Schickard* (diâmetro: 206 km, profundidade: 3,08 km) em três noites consecutivas.

as consequências de incontáveis eventos ligados a impactos, vulcanismo e tectonismo dos últimos 4,51 bilhões de anos, alguns gravados e preservados até hoje. Isso nos oferece uma ideia de como era o sistema solar na época em que a Lua e nosso planeta foram formados. Estima-se que o sistema Terra-Lua se formou entre 50 a 70 milhões de anos após a formação do sistema solar [2].

Falamos das variações de inúmeros objetos que conseguimos ver na Lua. Agora, adicione uma dinâmica de iluminação nesse sistema, alternando entre luz e sombra nos crepúsculos lunares, causados pelo nascer e pôr do Sol sobre seu relevo. Isso torna o sistema mais complexo, de forma que dificilmente você verá a mesma coisa ao olhar novamente. À medida que o tempo passa e a Lua rotaciona em seu eixo, o ângulo de luz solar incidente nas crateras muda, e como consequência, temos sombras. Essas sombras evidenciam o relevo lunar, mostrando estruturas que só podem ser observadas da Terra dessa maneira. Isso possibilita estudarmos o relevo lunar sem sair do nosso planeta. Dessa forma, se você quer informações de uma região, é importante observar nos crepúsculos. Observe os exemplos dessa diferença nas Figuras 3 e 4. Dessa forma, a Lua não é tão monótona.



Figura 5: Marte se aproximando para ser ocultado pela Lua em 06/09/2020, 00:02:34 (03:02:34 UT). Esta imagem foi escolhida como “Foto do Mês” pela revista britânica “*BBC Sky At Night Magazine*”, em sua edição de novembro de 2020.

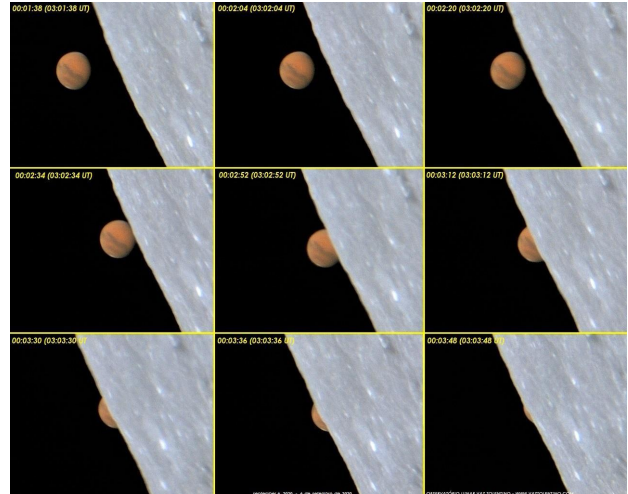


Figura 6: Sequência de imersão ou desaparecimento de Marte em seu processo de ocultação pela Lua em 06/09/2020. Esta composição foi destaque na seção “*Reader Gallery*” da revista americana *Astronomy*, na edição de março de 2021.

Também é possível observar e registrar outros incríveis fenômenos, como as ocultações de planetas nas Figuras 5 e 6, ocultação de estrelas, os eclipses, como o lunar na Figura 7, os intensos clarões dos impactos de meteoritos e as pareidolias. Há também misteriosos e efêmeros TLP (*Transient Lunar Phenomena*), que significa fenômeno lunar transitório. São caracterizados por brilhos anormais ou mudança de cores na superfície lunar, cintilações ou até mesmo flashes, todos eventos temporários, geralmente indicando alguma manifestação vulcânica remanescente ou escape de gases.

A Lua também oferece a possibilidade de realizar descobertas surpreendentes que qualquer observador atento pode fazer. Inclusive, certas formações não catalogadas pela *International Astronomical Union* (IAU), conhecidas como “crateras fantasmas” na Figura 8. Muitas dessas crateras só podem ser vistas utilizando o contraste de luz e sombra mencionado anteriormente.

Pareidolia ocorre quando associamos um padrão visual a algo que reconhecemos, como quando as pessoas veem animais e objetos nas nuvens. Com a Lua, não é diferente. Com sua ampla variação de relevo, é fácil imaginar formas familiares nesses padrões, como a cabeça de lobo na Figura 9 e o lunar X nas Figuras 10 e 11. Muitas dessas pareidolias só são perceptíveis durante o crepúsculo, aproveitando o contraste entre luz



Figura 7: Primeira metade do Eclipse Lunar Total, ocorrido de 27 para 28 de setembro de 2015.



Figura 8: Provável cratera fantasma (não catalogada) próxima da orla sul do Mare *Serenitatis* (Norte para direita nesta foto). A suposta cratera fantasma foi descoberta pelo autor em 22/02/2011, 02:08:06 (05:08:06 UT). Esta imagem foi publicada no website americano *Lunar Photo Of the Day* (LPOD) em 13 de outubro de 2011.

e sombra.

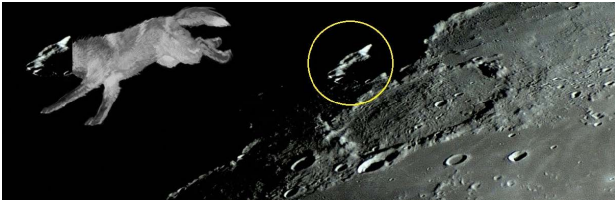


Figura 9: A intrigante pareidolia da “cabeça de lobo”, resultante da “dupla dinâmica” de luz e sombra, foi descoberta por Vaz Tolentino em 09 de junho de 2014.



Figura 10: Pareidolia lunar X, que só pode ser vista nos limites dos crepúsculos.

Como as pareidolias são fatores psicológicos, a cultura influencia diretamente no padrão que criamos com base no que conhecemos. Um exemplo claro disso são os gregos antigos e os tupi-guarani. Conhecemos bem a cultura grega, mas poucos conhecem a tupi-guarani. Esse povo desenvolveu ferramentas para ler o céu, de forma que conseguiam prever épocas ideais de plantio, colheita, caça, e até mesmo eclipses, utilizando o Gnômon, que é uma haste cravada no chão, onde observavam a sombra projetada pelo sol [3]. Ao comparar as constelações dessas duas culturas, mesmo sendo as mesmas estrelas, esses diferentes povos as associavam a mitos e enxergavam padrões muito distintos. De modo semelhante, os padrões na lua podem ser interpretados de inúmeras formas, sendo dois bem famosos o coelho lunar e São Jorge e o dragão. Uma pareidolia bem inusitada é aquela que lembra o formato do mapa do Brasil, localizado na cratera C. Mayer D

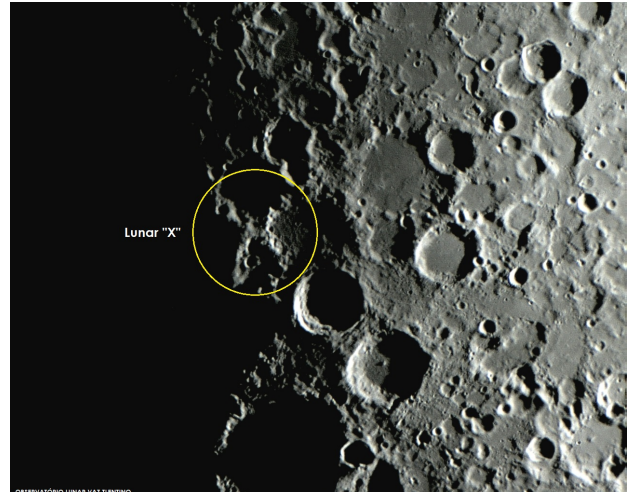


Figura 11: Pareidolia do lunar X com ampliação.



Figura 12: A pareidolia do mapa do Brasil na cratera C. Mayer D.

(Figura 12), cujo padrão foi descoberto por Vaz Tolentino.

3 O Sol

A estrela mais próxima da Terra, o Sol, é a fonte primária de energia para a vida. Este gigante solar acumula quase toda a massa do sistema solar, evitando o colapso devido ao equilíbrio hidrostático entre a força gravitacional e a pressão termodinâmica [4]. Composto principalmente de hidrogênio e hélio, o Sol possui frações muito pequenas de outros elementos. [1]. O Sol possui seis estruturas principais: Cromosfera, Fo-

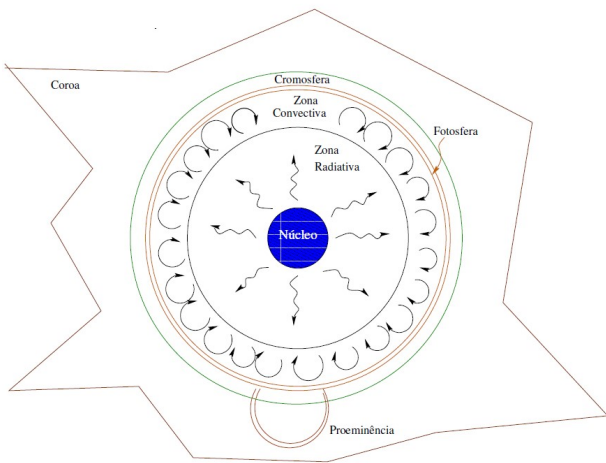


Figura 13: As 6 principais estruturas do Sol. [1].

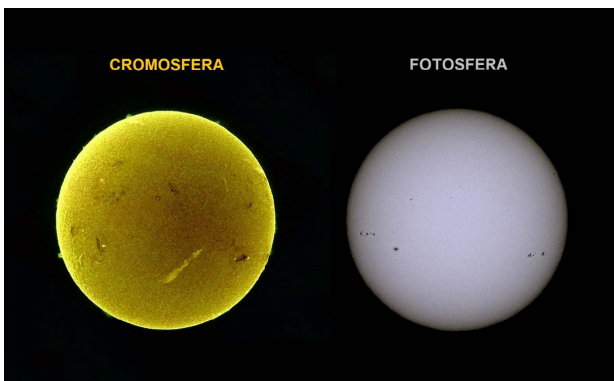


Figura 14: O Sol foi fotografado na manhã de 02 de junho de 2023. Foram utilizados um filtro H-Alpha para capturar a cromosfera e um filtro Baader Luz Visível para a fotosfera.

tosfera, Zona Convectiva, Zona Radiativa, Núcleo e a Coroa. Enquanto a superfície do Sol é composta pela camada conhecida como fotosfera, a atmosfera solar é formada pela cromosfera e pela coroa. O interior do Sol é composto pelas camadas convectiva e radiativa, além do núcleo. [1]. Observe o modelo da estrutura solar na Figura 13 e as fotografias da cromosfera e fotosfera na Figura 14.

A fonte de energia do Sol provém das reações termonucleares que ocorrem em seu núcleo, onde os núcleos de hidrogênio (prótons) são fundidos a uma temperatura de 10 milhões de Kelvin, resultando na formação de átomos de hélio [1]. Nesse processo, a massa final é menor que a inicial, e como sabemos, massa é energia. Na Figura 15, observamos que a fusão nuclear também gera como subprodutos pósitrons, neutrinos e muita

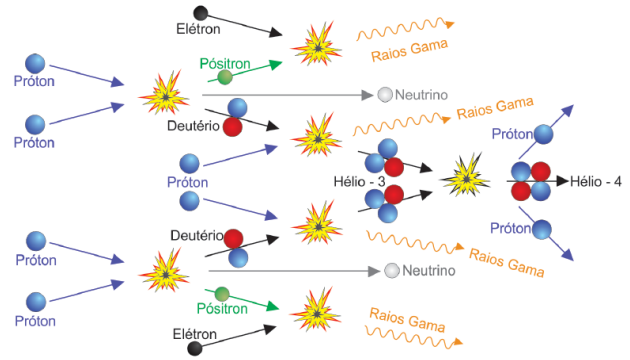


Figura 15: Simplificação do processo de fusão nuclear de núcleos de prótons em hélio no núcleo do sol. [1]

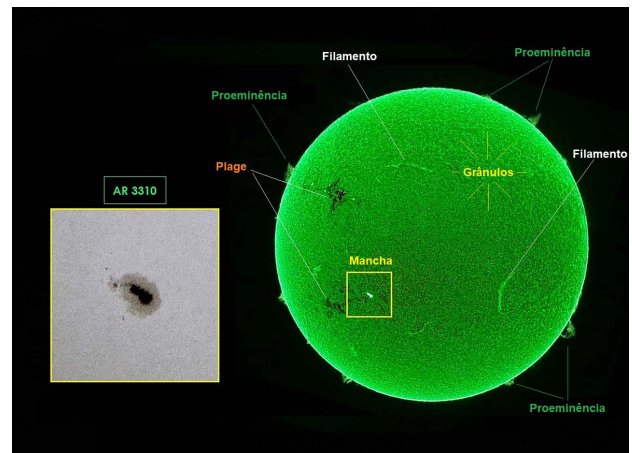


Figura 16: O Sol e suas formações dinâmicas e efêmeras foram fotografados na tarde de 21 de maio de 2023, com destaque para a Região Ativa de Manchas Solares AR 3310. A imagem foi capturada utilizando um filtro de Luz Visível (esquerda - Fotosfera) e um filtro H-Alpha (direita - Cromosfera).

radiação gama.

De todos os fenômenos fotosféricos que podemos ver na Figura 16, as manchas solares são os com maior destaque, sendo algumas vezes visíveis a olho nu, registradas na China já em 28 a.C. [1] e sendo observadas no mesmo há 1000 a.C. [5]. As manchas são regiões mais frias e por isto mais escuras, apresentando aproximadamente 2000 K, em comparação com a superfície solar, que tem 5780 K. Essa diferença de temperatura se relaciona com uma menor quantidade de energia emitida, e isso se dá pelo fato de manchas solares se formarem em regiões com campos magnéticos cerca de 1000 vezes mais intensos que seu entorno. Esse campo acaba bloqueando parte da energia de chegar à superfície, ao interromper esse fluxo, a região se torna mais fria que seus arredores [5].

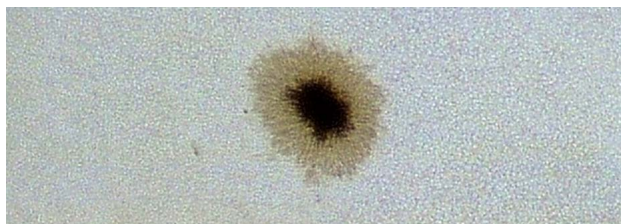


Figura 17: Mancha Solar da Região Ativa AR 2546, fotografada na manhã de 18 de maio de março de 2016.

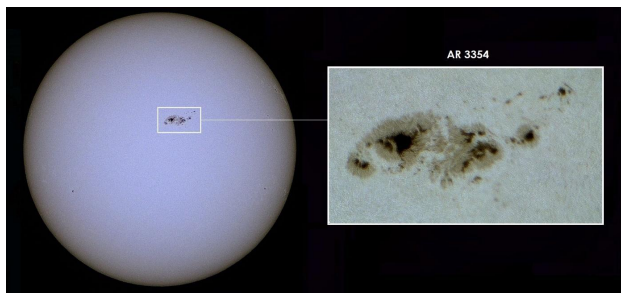


Figura 18: A enorme Região Ativa de Manchas Solares AR 3354 foi fotografada na manhã de 29 de junho de 2023. No momento do registro, essa Região Ativa apresentava uma área equivalente a 5,3 vezes a superfície total do planeta Terra.

As manchas solares (Figura 17) podem persistir por dias, semanas ou até meses, à medida que percorrem e circundam a superfície solar. Durante esse período, elas evoluem, sofrendo mutações em seus formatos, tamanhos (expansão e/ou contração) e configurações magnéticas. [1] Esse dinamismo reflete a complexidade das interações magnéticas solares.

O Sol possui um ciclo que ocorre em um intervalo de aproximadamente 11 anos onde altera entre fases de máximo e mínimo solar, durante as quais a intensidade, o número das manchas e as latitudes onde aparecem variam. [5]. Na Figura 18 vemos uma grande mancha solar e na Figura 19 podemos observar pelo menos 6 delas. Ambas as fotos foram tiradas relativamente próximas ao pico do ciclo solar 25.

A estrutura visual de uma mancha solar é composta por sua região central mais escura, conhecida como umbra, circundada pela região menos escura chamada penumbra [1]. A área de abrangência de uma mancha solar pode ser várias vezes maior do que a superfície total do planeta Terra. Observe a Figura 20 que mostra o contraste da umbra e da penumbra sobre a superfície solar.

O Sol também serve como um amplo pano de

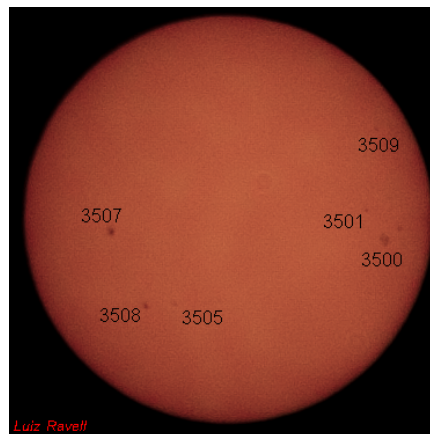


Figura 19: Manchas solares capturadas na manhã do dia 02/12/23. Foram usados somente uma câmera e um filtro solar simples. Mapeamento das manchas feito comparando essa foto com dados obtidos no mesmo dia pelo NASA SDO spaceweatherlive.com.

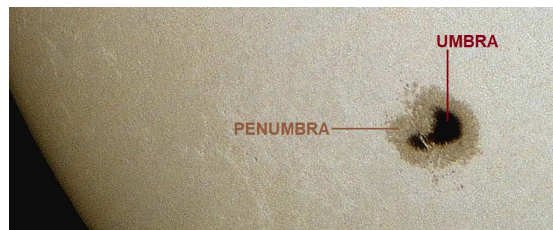


Figura 20: Região Ativa de Manchas Solares AR 3363, composta por apenas 2 manchas. Fotografada na manhã de 09 de julho de 2023.



Figura 21: Trânsito de Mercúrio pelo hemisfério visível do Sol em 09/05/2016, às 09:20:35 (12:20:35 UT).

fundo para os belos espetáculos de trânsitos dos planetas Vênus e Mercúrio através de seu enorme hemisfério visível, como na Figura 21, além de oferecer a oportunidade de observar eclipses.

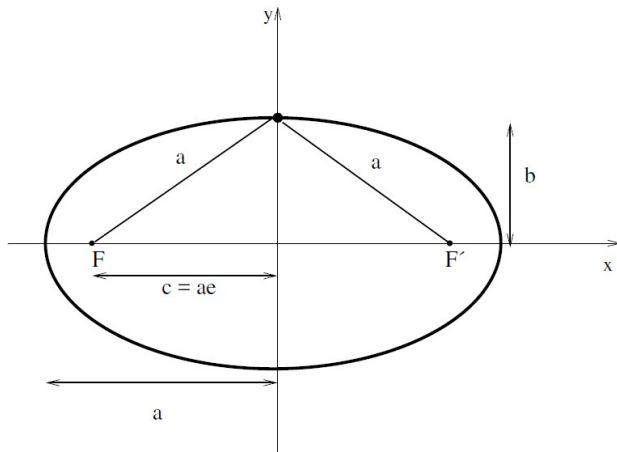


Figura 22: Modelo de uma elipse. [1]

4 Órbitas

Antes de abordar os dois eventos orbitais, é crucial questionar por que experimentamos variações na distância entre a Terra e o Sol. Essa situação é impossível em órbitas circulares, onde a distância permanece constante em relação ao centro. Apesar de a órbita circular ter sido inicialmente considerada a mais plausível, talvez devido ao seu formato mais simples, ela não correspondeu à observação. O matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630) descobriu, após inúmeras tentativas de ajustar as órbitas dos planetas a um círculo, que uma elipse explicava muito bem o comportamento real das órbitas.

A elipse é definida como uma figura geométrica que surge ao deslocar o centro de um círculo para uma posição chamada de foco F , que possui um ponto espelhado, denotado por F' . Em consequência desse deslocamento, a elipse possui um semi-eixo maior, que denominamos de “ a ”, e um semi-eixo menor, chamado de “ b ” na Figura 22. Enquanto um ponto qualquer p se desloca ao redor da elipse, ele deve obedecer à condição de que a soma das distâncias de p até o foco F e de p até o foco espelhado F' deve ser constante, sendo igual a duas vezes o semi-eixo maior (a). [1]

Definimos a excentricidade (e) de uma elipse como a razão da distância do centro ao foco sobre o semi-eixo maior. Quanto mais afastado o foco estiver do centro, maior será a excentricidade. No caso em que o foco é o próprio centro, teremos um círculo perfeito com excentricidade igual a zero.

O caminho percorrido ao longo da elipse demonstra que a distância até o foco não é cons-

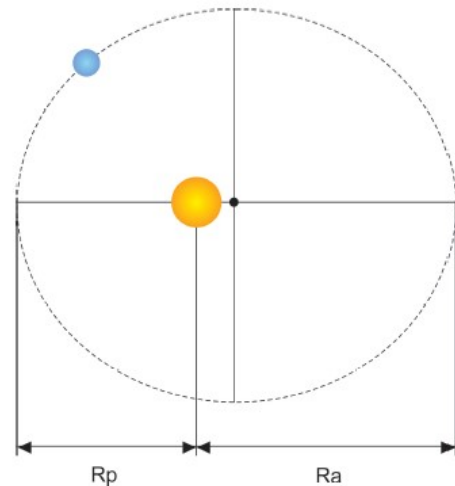


Figura 23: Os pontos de afélio (R_a) e periélio (R_p) representam as extremidades da órbita elíptica do planeta ao redor do Sol. [1]

tante, variando durante o percurso. Ao colocarmos o Sol no foco e nosso planeta orbitando ao longo da elipse, observamos dois extremos: o afélio, que é o ponto mais distante do foco, e o periélio, que é o ponto mais próximo. [1]. Temos um exemplo muito claro disso na Figura 23.

Considerando um corpo orbitando o Sol, temos as três leis de Kepler:

1- Lei das órbitas elípticas (1609): A órbita ao redor do Sol tem formato elíptico, com o Sol em um dos focos. Devido a isso, a distância do planeta ao Sol varia ao longo da trajetória.

2- Lei das áreas (1609): A velocidade ao redor do Sol é variável, mas proporcional à área que uma reta, ligando o Sol ao planeta, varre em um intervalo de tempo. Essa área é constante ao longo do tempo, mas, como a distância do planeta ao Sol varia, a velocidade também deve variar. Em outras palavras, essa linha varre áreas iguais em tempos iguais.

3- Lei Harmônica (1618): Relaciona o quadrado do período orbital dos planetas com o cubo da distância média deles ao Sol, por meio de uma constante. [1]

A órbita que descreve a trajetória da Terra em torno do Sol é uma elipse de excentricidade bem baixa. Embora seja pequena e quase impossível distinguir de um círculo, a comparação da distância da Terra ao Sol nos pontos extremos do afélio e periélio resulta em uma diferença de até 5 milhões de quilômetros, o que é suficiente para dar origem aos fenômenos discutidos no próximo



Figura 24: Equipamento utilizado na captura das fotos do Sol e Lua.

tópico. No evento abordado, nosso planeta está no afélio em sua órbita ao redor do Sol, enquanto a Lua se encontra no perigeu em torno da Terra. Ambos os eventos estão totalmente ligados às órbitas, com percepção visível para um observador na Terra.

5 Lua no perigeu e Terra no afélio ou “Lua mais próxima” e “Sol mais distante”

Na primeira semana de julho de 2023, ocorreram dois eventos interessantes relacionados aos posicionamentos orbitais da Lua e do Sol, separados por apenas 2 dias. Esses posicionamentos resultaram na Lua assumindo a posição de maior corpo visível no céu da Terra, que chamaremos de Gigante Cósmico do nosso ponto de vista aqui na Terra:

O Perigeu da Lua (evento mensal) ou ponto de sua órbita elíptica mais próximo da Terra, ocorreu em 04/07/2023, por volta das 19:24 (22:24 UT).

O Afélio da Terra (evento anual) ocorreu em 06/07/2023, às 17:06 (20:06 UT), quando a Terra atingiu seu ponto de órbita elíptica mais afastado do Sol.

Para aprofundar o entendimento das diferenças de tamanho da Lua e do Sol quando observados da Terra nesses dois pontos orbitais distintos, apresentaremos imagens dos astros protagonistas capturadas em momentos próximos aos referidos pontos. Utilizamos a mesma configuração de *setup* (visto na Figura 24), incluindo um telescópio Refrator APO Orion Eon de 80 mm, uma câmera *Orion StarShoot Solar System Color Imaging IV* e uma montagem *Alt-Azimutal Vixen Porta*. Todas as fotos foram tiradas com um único *frame*.



Figura 25: A Lua estava minguante em 04/07/2023, às 21:33 (05/07/2023, 00:33 UT), 129 minutos após o momento exato do Perigeu.

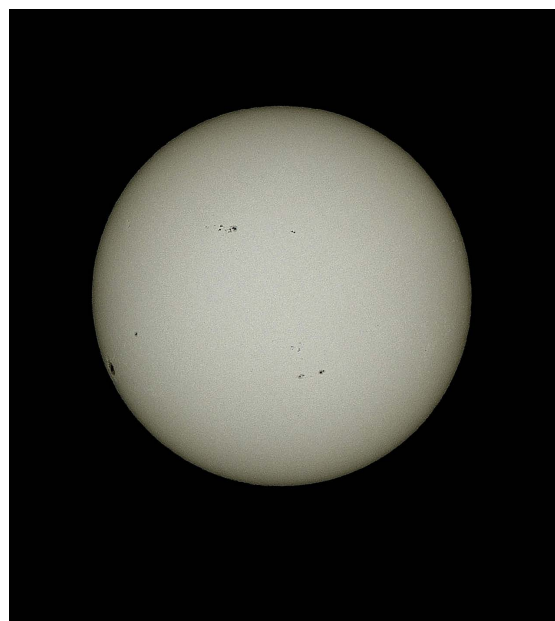


Figura 26: O Sol em 06/07/2023, às 15:57 (18:57 UT), apenas 69 minutos antes do Afélio da Terra.

A Figura 25 mostra a foto da Lua (minguante, logo após a fase cheia) obtida em 04/07/2023, às 21:33 (05/07/2023 00:33 UT), cerca de 129 minutos após o momento exato do Perigeu. Nesse instante, a distância da Terra era de 356.528 km e o diâmetro angular aparente da Lua era de 33' 30". A luação estava em 16,83 dias, e sua iluminação era de 96,5 por cento.

A Figura 26 mostra a foto do Sol (Fotosfera) capturada em 06/07/2023, às 15:57 (18:57 UT), quando a distância da Terra era de 152.091.000 km e o diâmetro angular aparente estava em 31' 27". Essa imagem foi registrada apenas 69 minutos antes do Afélio da Terra, momento em que a Terra estaria mais distante do Sol.



Figura 27: Os semi-hemisférios lunar e solar, lado a lado, para comparação de seus tamanhos aparentes em relação aos parâmetros orbitais especiais.

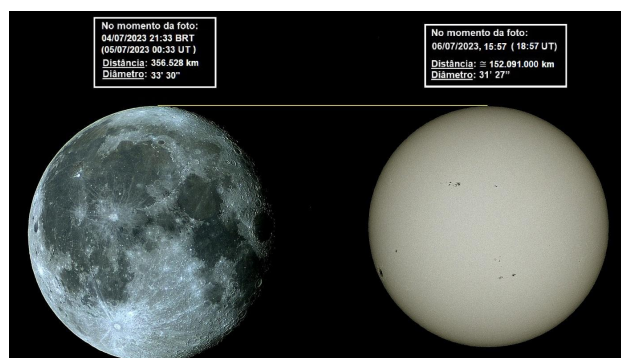


Figura 28: As imagens da Lua e do Sol estão lado a lado, mostrando a diferença angular dos diâmetros causada pela proximidade do Perigeu da Lua e do Afélio da Terra.

Para comparar a diferença de diâmetros aparentes entre a Lua (fotografada 129 minutos após o momento de seu Perigeu, portanto, mais próxima da Terra) e o Sol (fotografado 69 minutos antes do instante do Afélio da Terra, logo, mais distante de nosso planeta), apresentamos uma composição fotográfica na Figura 27 com sobreposição de imagens de semi-hemisférios. Note que, no momento da captura da foto da Lua, ela

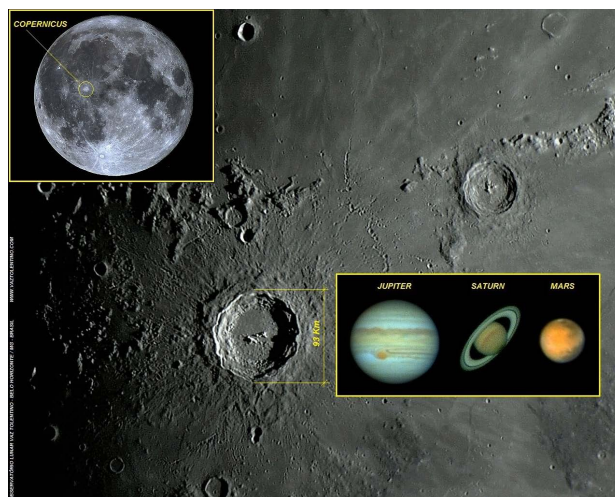


Figura 29: “Lua, gigante cósmico!” Comparação do tamanho aparente dos planetas com a cratera *Copernicus*.

estava a uma distância de 356.528 km da Terra, e seu diâmetro angular aparente era de 33' 30". Já o Sol, no momento da captura de sua imagem, estava a uma distância de 152.091.000 km da Terra, com um diâmetro angular aparente de 31' 27".

Uma outra forma interessante de visualizar essa condição de diferença entre os diâmetros angulares aparentes da Lua e do Sol, causada por parâmetros orbitais distintos, seria colocar as imagens dos dois referidos astros lado a lado na Figura 28.

Apresentando mais um motivo que torna a Lua um enorme alvo astronômico em comparação a outros corpos celestes, como os planetas, vemos na composição fotográfica da Figura 29 mais um ponto que reforça essa afirmação. A composição de imagens mostra a comparação dos tamanhos de Júpiter, Saturno, Marte e da cratera lunar *Copernicus*, todos fotografados pelo mesmo conjunto de telescópio/câmera. É importante notar que Júpiter, o maior planeta do Sistema Solar, quando observado da Terra, tem aproximadamente o mesmo diâmetro angular da cratera *Copernicus*, que possui 93 km de diâmetro. Isso demonstra o colossal alvo que é nosso satélite natural, configurando-se como um extenso território extraterrestre a ser observado, estudado e explorado, não só por naves espaciais robóticas ou tripuladas, mas também por telescópios baseados na Terra.

Com base nessas comparações, percebemos que, sob nossa perspectiva da Terra, a Lua se revela verdadeiramente como um Gigante Cósmico!

Sobre os autores

Luiz Ravell A. A. Dias (luiz.antonio@aluno.ufop.edu.br) é discente do curso Bacharel em Física dos materiais pela Universidade Federal de Ouro Preto, onde é integrante do Projeto de Extensão “Divulgando Astronomia de Ouro Preto ao litoral do Espírito Santo” sob a orientação do Professor Dr. Hermano Velten, docente do Departamento de Física da UFOP e do programa de pós-graduação em Astrofísica, Cosmologia e Gravitação PPGCosmo/Ufes.

Ricardo José Vaz Tolentino (vaztolentino@gmail.com) é Mestre em Tecnologia com ênfase em Manufatura Integrada por Computador pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, possui Pós-Graduação em Análise de Sistemas de Informação e Metodologia do Ensino Superior pela União de Negócios Administrativos (UNA) e Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Foi Diretor da Faculdade de Ciências Empresariais da Universidade Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC), onde atuou também como docente em disciplinas dos cursos de graduação e

pós-graduação Lato Sensu.

Referências

- [1] K. de Souza Oliveira Filho e M. de Fátima Oliveira Saraiva, *Astronomia e astrofísica* (Livraria da Física, São Paulo, 2014).
- [2] M. Barboni et al., *Early formation of the Moon 4.51 billion years ago*, *Science Advances* **3**(1) (2017).
- [3] G. Afonso, *O céu dos índios do Brasil*, in *Anais da 66^a Reunião Anual da SBPC* (2014). Disponível em https://www.sbpcnet.org.br/livro/66ra/PDFs/arq_1506_1176.pdf, acesso em fev. 2024.
- [4] S. Ryan e A. Norton, *Stellar Evolution and Nucleosynthesis* (Cambridge University Press, 2010).
- [5] E. Echer et al., *O número de manchas solares, índice da atividade do sol*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**(2), 157 (2003).