

Medindo o Tamanho da Lua pelo Registro de um Eclipse Lunar

Moon's Size Measuring by Lunar Eclipse Record

Alessandro Martins

ORCID: [0000-0003-3234-6121](https://orcid.org/0000-0003-3234-6121)

Phablo de AraujoSousa

ORCID: [0000-0002-6623-5924](https://orcid.org/0000-0002-6623-5924)

Resumo

A astrofotografia é uma importante ferramenta para o auxílio no aprendizado da astronomia e ciências afins. Neste trabalho, apresentamos uma proposta simplificada de determinação do raio da Lua através do manuseio e extração de dados de imagens fotográficas de um eclipse lunar total, registrado em 21 de janeiro de 2019 na cidade de Jataí (Goiás). Os dados foram obtidos com o uso dos softwares de edição *Adobe Photoshop* e *Gimp*. A técnica apresentada é de fácil desenvolvimento junto a estudantes da última fase do ensino fundamental.

Palavras-chave: Astronomia; Astrofotografia; Eclipse Lunar.

Abstract

Astrophotography is an important tool aid to learn astronomy and related sciences. In this work, we present a simplified proposal for the Moon's radius determining through handling and extraction data of photographic images of a total lunar eclipse, recorded on January 21, 2019 in Jataí (Goiás). The data were obtained using Adobe Photoshop and Gimp software. The technique is easy to develop with students of elementary School.

Keywords: Astronomy; Astrophotography; Lunar Eclipse.

1. Introdução

O Brasil é um país que apresenta em seu território grandes disparidades socioeconômicas – o que influencia também na qualidade da educação, como no caso do estudo das ciências, em especial da Astronomia, deficiente, principalmente nas regiões longe dos grandes centros populacionais, sendo pouco explorada por docentes e estudantes do Ensino Básico (LANGHI, 2004).

A fim de contribuir para a redução desta deficiência, a astrofotografia tem sido considerada como uma importante ferramenta para auxiliar estudantes na aprendizagem da astronomia e ciências afins (SILVA, 2016).

Astrofotografia é uma técnica especializada de registro de imagens que consiste na aquisição de fotografias de corpos celestes, como estrelas, planetas, cometas, aglomerados de estrelas e galáxias, ou eventos como eclipses, trânsitos, entre outros. É uma excelente ferramenta para o ensino visual e experimental, cujos métodos ilustrativos ajudam os estudantes a se relacionarem mais facilmente com fenômenos astronômicos (NEVES, 2007; MARTINS, 2021).

Neste trabalho, apresentamos uma metodologia de determinação do raio da Lua, utilizando-se da análise e manuseio do registro fotográfico de um eclipse lunar total ocorrido em 21 de janeiro de 2019 e observado na cidade de Jataí, Goiás. O registro do eclipse foi realizado pelo projeto acadêmico de extensão 'Redescobrimo a Astronomia', vinculado à Universidade Federal de Jataí (UFJ). A metodologia apresentada é baseada no trabalho do matemático e astrônomo grego Aristarco de Samos, que, no terceiro século a.C., desenvolveu um método para calcular os tamanhos e as distâncias do Sol e da Lua através de demonstrações geométricas (SAMOS, 2016).

Para obter uma estimativa dos tamanhos relativos da Terra e da Lua, Aristarco observou o tempo de Trânsito da Lua através do cone de sombra (umbra) projetado pela Terra durante um eclipse lunar (BIRRIEL, 2019; BATTEN, 1981). O Trânsito astronômico é um fenômeno durante o qual um determinado astro passa diretamente entre um astro maior e o observador. O tipo de trânsito mais conhecido, por ser espetacular visto da Terra, é o eclipse solar, onde a Lua transita entre a Terra (observador) e o Sol. Comparando o tempo de trânsito com o tempo em que a Lua percorre uma distância igual ao seu próprio diâmetro, Aristarco determinou o tamanho do cone de sombra da Terra em termos do diâmetro lunar (BATTEN, 1981). A partir de uma única observação de eclipse lunar, Aristarco descobriu que o diâmetro da umbra representava 2 vezes o diâmetro lunar. O valor médio atualmente aceito para o diâmetro da umbra, medido com registros de um eclipse lunar total, é de, aproximadamente, 2,65 diâmetros lunares (BIRRIEL, 2019).

Eclipses lunares são fenômenos astronômicos que ocorrem quando Sol, a Terra e a Lua se alinham quase que perfeitamente. Apesar de o período orbital da Lua em torno da Terra ser

de 27,32166 dias (mês sideral¹) (NASA, 2012), apenas três eclipses lunares ocorrem em média a cada ano. Isto se deve ao fato de a Lua possuir uma órbita inclinada em cerca de 5 graus em relação ao plano da órbita da Terra em torno do Sol. Desse modo, a Lua passa a maior parte do tempo acima ou abaixo do plano da órbita da Terra. E o plano da órbita da Terra em torno do Sol é importante porque as sombras da Terra estão exatamente no mesmo plano (ver Figura 1). Sendo assim, existem apenas dois pontos (nodos) onde os dois corpos celestes poderiam se alinhar ao Sol (as posições onde a Lua atravessa o plano orbital da Terra, conforme demonstrado na Figura 1.c). Um eclipse da Lua (ou eclipse lunar) só pode ocorrer na Lua Cheia e apenas se a Lua transitar por alguma parte da sombra da Terra. Essa sombra é, na verdade, composta de dois componentes em forma de cone, um aninhado dentro do outro. A sombra externa ou penumbra é uma zona onde a Terra bloqueia parte, mas não todos os raios do Sol de atingir a Lua. Em contraste, a sombra interna ou umbra é uma região onde a Terra bloqueia toda a luz solar direta de alcançar a Lua. Os eclipses lunares são classificados como eclipses lunares penumbrais (a Lua transita pela penumbra), eclipses lunares parciais.

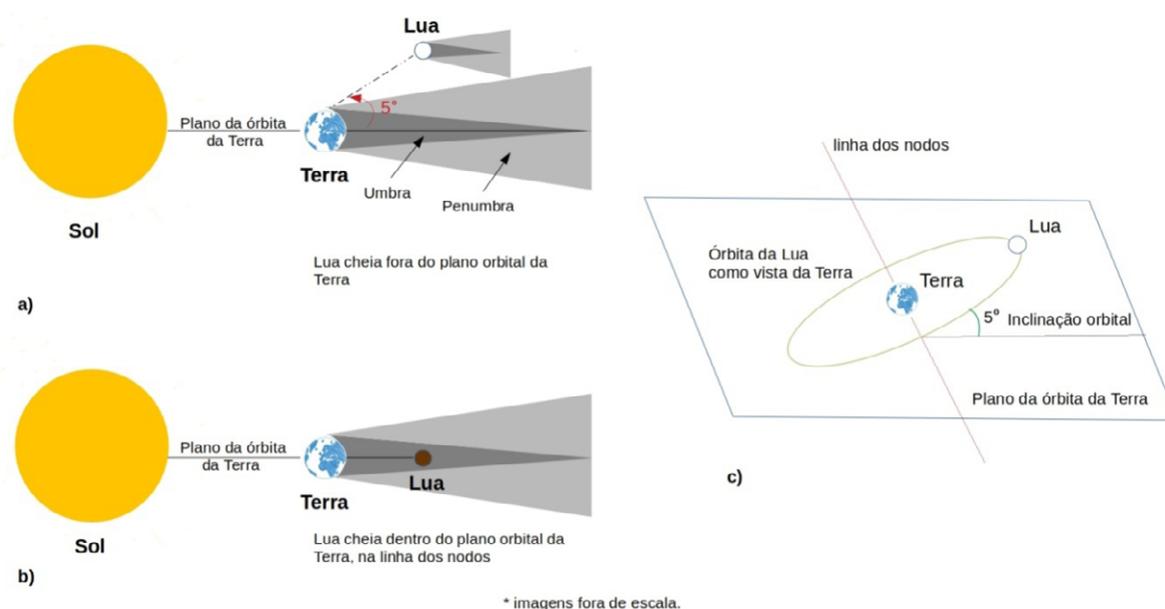


Figura 1: a) Durante a maioria dos meses, a Lua Cheia ocorre quando a Lua está inclinada em relação ao plano orbital da Terra, o que ocasiona na ausência de eclipse Lunar. b) Eclipse lunar total. c) Representação da órbita da Lua em relação ao plano da órbita da Terra.

(uma parte da Lua transita pela umbra) e eclipse lunar total (a Lua inteiramente transita pela umbra). Cerca de 35% de todos os eclipses são do tipo penumbral, muito difíceis de observar, mesmo com o uso de um telescópio. Outros 30% são eclipses parciais, de fácil visualização a olho nu. Os 35% restantes são eclipses totais, eventos maravilhosos de serem observados (NASA, 2009). A aparência visual é algo importante que caracteriza um determinado tipo de eclipse. Os

¹ Intervalo de tempo em que a Lua descreve uma volta em torno da Terra no sistema de referência das estrelas fixas (SILVEIRA, 2001).

eclipses penumbrais são claros e de difícil observação. A sombra penumbral da Terra forma um cone divergente, onde as bordas da região de sombra não são paralelas e se expandem no espaço na direção antissolar (Figuras 1.a e 1.b). De dentro desta zona, a Terra bloqueia somente parte do disco solar, de modo que uma fração dos raios solares atingirá a superfície mais eclipsada da Lua.

Eclipses parciais são observáveis a olho nu, pois quando uma parte da Lua se posiciona na umbra, surge um efeito de contraste (aparência mais escura) quando comparado com o brilho da porção restante na penumbra (cerca de 500 vezes maior). O tipo de eclipse lunar que provoca a maior atenção de observadores é o caracterizado como total.

A aparência visual durante um eclipse lunar total varia ao longo do período de totalidade devido à geometria do caminho da Lua através da umbra e ao efeito provocado pela atmosfera da Terra (Figura 2). Neste último caso, a atmosfera da Terra filtra, atenua e desvia alguns dos raios do Sol para a sombra. As moléculas na atmosfera terrestre espalham de forma mais intensa a luz de comprimento de onda curto (por exemplo, amarelo, verde, azul) do que a luz de comprimento de onda longo (laranja, vermelho), processo que caracteriza o tom avermelhado do “pôr do sol” (ocaso) e também confere aos eclipses totais a cor laranja avermelhada que lhes é característica. Enquanto a Lua estiver na região da umbra, a atmosfera terrestre atua como uma lente de formato anelar, refratando a luz solar para comprimentos de onda mais próximos à região das cores laranja e vermelho.



Figura 2: Diferenças na aparência visual da Lua durante o período de totalidade de um eclipse lunar total. Imagens obtidas durante o eclipse lunar total ocorrido em 21 de janeiro de 2019.

Além do mês sideral, existem também outros três períodos orbitais conhecidos como: mês sinódico, anomalístico e dracônico, cruciais para a compreensão e previsão de eclipses (CHALUB, 2009). O mês sinódico é quem governa as chamadas fases lunares. A Lua não possui luz própria,

sendo o seu brilho devido, principalmente, à reflexão da luz solar incidente sobre a sua superfície. Como consequência, a geometria de sua posição orbital em relação ao Sol e à Terra determina a fase aparente da Lua. O mês sinódico tem período de 29,53059 dias, ou seja, quase 2,21 dias a mais do que o mês sideral. Enquanto a Lua orbita em torno da Terra, ambos os objetos também progridem em órbita ao redor do Sol. Após completar uma revolução em referência às estrelas fixas, a Lua avançará um pouco mais ao longo de sua órbita para voltar a atingir a mesma posição inicial em relação ao Sol e à Terra. Isso explica porque o mês sinódico é mais longo do que o mês sideral. O mês anomalístico corresponde ao período de revolução da Lua em torno de sua órbita elíptica medida de perigeu² a perigeu, cujo valor médio é de 27,55455 dias. O mês dracônico³ baseia-se no fato de a órbita lunar estar inclinada em relação ao plano da órbita da Terra, sendo a interseção entre esses planos definido como linha dos nodos na esfera celeste, conforme já citado (ver Figura 1.c). Desse modo, o mês dracônico corresponde ao período entre dois trânsitos sucessivos da Lua pelo mesmo nodo, cujo período corresponde a 27,212220 dias. Devido ao torque exercido pela força gravitacional do Sol sobre o momento angular do sistema Terra-Lua, a linha dos nodos muda sua orientação em uma direção oposta àquela em que a Lua está orbitando a Terra, com uma rotação a cada 18,6 anos (CHALUB, 2009). Como resultado, o tempo que a Lua leva para retornar ao mesmo nodo é menor que um mês sideral. Esses períodos e uma harmônica entre eles (uma combinação que permite produzir um determinado conjunto de circunstâncias) determinam como, onde e quando os eclipses lunares ocorrem, sua periodicidade e recorrência. Dois eclipses somente serão iguais quando ocorrerem sobre as mesmas circunstâncias, ou seja, no mesmo nodo com a Lua aproximadamente à mesma distância da Terra e na mesma época do ano para conservação da inclinação axial da Terra, bem como a sua distância ao Sol, fator que determina o diâmetro aparente das sombras umbral e penumbral da Terra.

Um Saros corresponde a aproximadamente 223 meses sinódicos, ou 239 meses anômalos, ou 242 meses dracônicos, períodos semelhantes, dentro de algumas horas, que correspondem ao valor próximo de 6.585⁴ dias (~18 anos). A periodicidade e recorrência dos eclipses lunares, baseados na harmonia entre três períodos orbitais da Lua, são governadas pelo chamado período de Saros. Quaisquer dois eclipses separados por um período de Saros compartilham características semelhantes. O fato de o período de Saros não ser igual a um número inteiro de dias revela que eclipses subsequentes são visíveis de diferentes partes do globo terrestre. Após cada Saros, o eclipse se repete quase nas mesmas circunstâncias, porém com aproximadamente 8 horas de

² Ponto da órbita da Lua mais próximo do planeta Terra.

³ O termo dracônico tem origem mítica (dracônico, adj. de dragão), referindo-se a um dragão mitológico que se acreditava residir no nodo lunar e que possivelmente engolia o Sol ou a Lua durante a ocorrência de um determinado eclipse (BISHOP, 1991).

⁴ Matematicamente:

223 Meses Sinódicos = 6585,3223 dias = 6585d 07h 43m;

239 Meses Anomalísticos = 6585,5375 dias = 6585d 12h 54m;

242 Meses Dracônicos = 6585,3575 dias = 6585d 08h 35m

*d = dias, h = horas e m = minutos

atraso. São necessários três períodos Saros (~ 54 anos e 34 dias), período denominado de *Exeligmos*, para que os eclipses ocorram praticamente nas mesmas condições (NASA, 2012).

2. Metodologia

Na Figura 3, é apresentada uma representação do alinhamento Sol-Terra-Lua durante um eclipse lunar total, bem como um diagrama correlacionando o raio do Sol (R_{Sol}), o da Terra (R_{Terra}) e o do cone de sombra da umbra (R_{Umbra}); e as distâncias entre o Sol e a Terra ($d_{Sol-Terra}$) e entre a Terra e a Lua ($d_{Terra-Lua}$). Essa representação e o respectivo diagrama esquemático são baseados no método de Aristarco sobre os tamanhos e distâncias do Sol e da Lua (SAMOS, 2016) e (MOMENIA, 2017). Pela diferença entre os raios do Sol e da Terra ($R_{Sol} - R_{Terra}$), e entre os raios da Terra e da umbra ($R_{Terra} - R_{Umbra}$), obtemos dois triângulos retângulos congruentes, com lados proporcionais, o que nos permite escrever a seguinte equação:

$$\frac{R_{Sol} - R_{Terra}}{d_{Sol-Terra}} = \frac{R_{Terra} - R_{Umbra}}{d_{Terra-Lua}} \quad (1)$$

que resolvendo para o raio da umbra:

$$R_{Umbra} = R_{Terra} - \frac{(R_{Sol} - R_{Terra}) \times d_{Terra-Lua}}{d_{Sol-Terra}} \quad (2)$$

Dessa forma, conhecendo os valores dos raios R do Sol e da Terra, bem como as distâncias entre os astros, podemos determinar o valor aproximado do raio da umbra. O valor do raio do Sol pode ser obtido por um experimento simples que utiliza uma câmara escura de orifício, como pode ser visto em ORTIZ (2011).

A distância média Sol-Terra é comumente obtida pelo registro de fenômenos de trânsito de planetas em órbita mais próxima do Sol (Mercúrio e Vênus), conforme demonstrado por Martins (2021).

Em Bruning (1991), é descrita uma metodologia didática de como determinar a distância Terra-Lua através do registro de um eclipse lunar.

A reprodução do conhecido Experimento de Eratóstenes (ELLINOGERMANIKI, 2021), que consiste em medir o ângulo de incidência dos raios solares em dois pontos separados ao longo do mesmo meridiano, em determinadas épocas do ano e, determinando-se a diferença entre estes ângulos e a distância entre os pontos, permite estimar o valor de R_{Terra} .

Neste trabalho, a fim de obtermos um resultado com melhor precisão, utilizamos os valores $R_{\text{Sol}} = 6,957 \times 10^8 \text{ m}$ e $R_{\text{Terra}} = 6,378 \times 10^6 \text{ m}$, considerados constantes de conversão nominais conforme definição da União Astronômica Internacional (IAU do inglês: *International Astronomical Union*) (MAMAJEK, 2015). Para $d_{\text{Sol-Terra}}$, utilizamos o valor de $1,496 \times 10^{11} \pm 3 \text{ m}$ (LUZUM, 2011) que refere-se à determinação do valor da Unidade Astronômica (UA), uma unidade de comprimento que equivale, aproximadamente, a distância média Sol-Terra. Medidas utilizando técnicas de radar (FISCHER, 1962) permitiram determinar a distância média até a Lua como sendo $d_{\text{Terra-Lua}} = (384.403 \pm 2) \times 10^3 \text{ m}$. Aplicando-se os valores anteriormente descritos, na equação (2), encontramos o valor aproximado para o raio do cone de sombra da umbra:

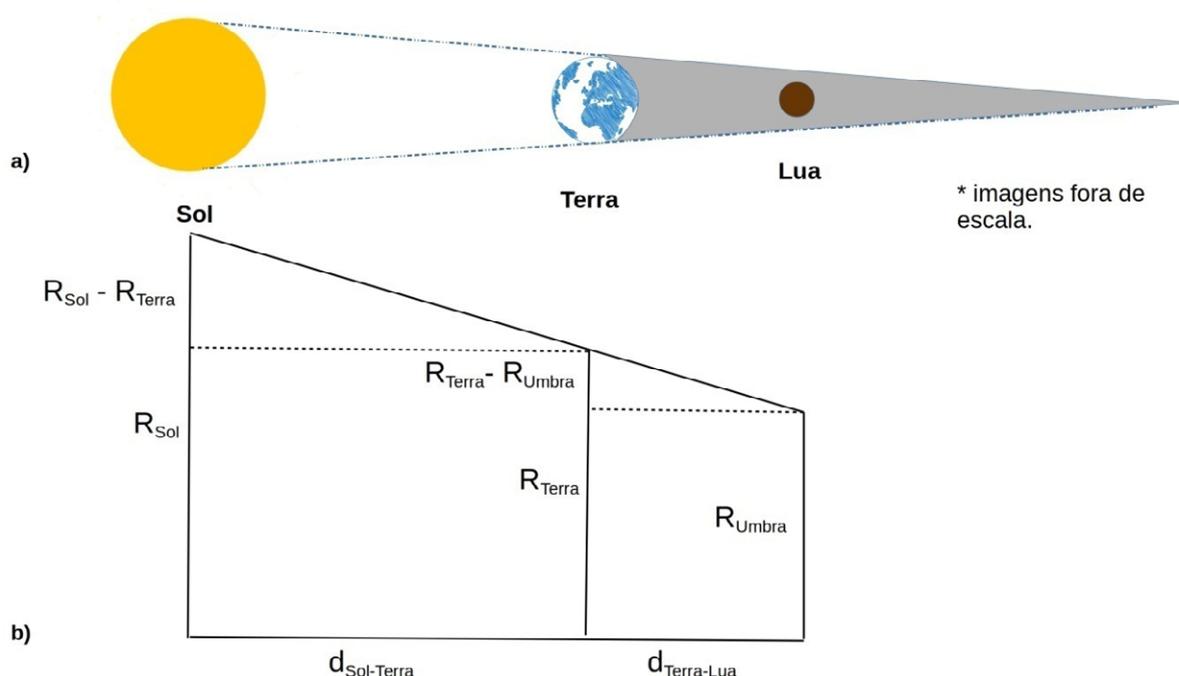


Figura 3: a) Representação de um alinhamento Sol-Terra-Lua durante um eclipse lunar total, com o respectivo cone de sombra da umbra (SAMOS, 2016). b) Diagrama esquemático correlacionando os raios R do Sol, da Terra e do cone de sombra da umbra, bem como as distâncias entre os astros.

Pela análise da sobreposição de fotografias de um eclipse lunar total, podemos mensurar o valor do raio da Lua por comparação com o valor obtido de R_{Umbra} .

Durante a obtenção de dados e cálculos realizados, recorreremos à Estatística para a obtenção do melhor valor possível. Os parâmetros estatísticos associados a um conjunto de N medidas obtidas da repetição de um mesmo mensurável permite determinar um valor médio de um conjunto dessas N medidas, bem como o desvio padrão que serve para indicar a incerteza da média. Para a determinação das incertezas nos cálculos, usamos as Regras de Propagação de Incertezas, ou propagação de erros (VUOLO, 1996).

3. Resultados Experimentais

Na Figura 4, é apresentado um mosaico circular de fotografias obtidas durante o eclipse lunar total ocorrido em 21 de janeiro de 2019. Esse eclipse foi registrado como um eclipse lunar onde o caminho de trânsito da Lua não atravessou o centro da umbra (ver Figura 5). A imagem é composta por 12 exposições únicas obtidas com o uso de uma câmera modelo Canon EOS 600D, acoplada a um telescópio modelo Meade ETX 90 (distância focal de 1250 mm), com intervalo de exposição de 4 segundos em, aproximadamente, 10 minutos de intervalo. A imagem foi estruturada pelo encaixe da sombra da curvatura da Terra, de cada fotografia, de modo a permitir uma visualização representativa do círculo do cone da umbra (tonalidade escura entre as imagens da Lua). Utilizando-se do software *Adobe Photoshop*, cada fotografia foi mesclada no modo de mesclagem de uma camada, para criar a visão de transparência com todas as luas.



Figura 4: Mosaico circular de astrofotografias do eclipse lunar total ocorrido em 21 de janeiro de 2019. É possível identificar a representação do círculo do cone de sombra (umbra) projetado pela Terra durante um eclipse lunar. Fonte: Registro fotográfico e manipulação das imagens realizadas pelos autores.

A visualização completa do círculo da umbra na Figura 4 permite uma medida direta do seu diâmetro ($D_{Umbra} = 2 \times R_{Umbra}$). De forma semelhante, para determinada imagem da Lua, medimos o diâmetro da Lua ($D_{Lua} = 2 \times R_{Lua}$). Desse modo, o método demonstra uma maior simplificação quando comparada a outros trabalhos como os de Birriel(2019) e Jakubickova (2021) que necessitam de simulações e de conhecimentos mais avançados em matemática.

As medidas foram realizadas com o uso do software de manipulação de imagens (software *GIMP*) em pixel, várias vezes para a obtenção de um valor médio. Por definição, "pixel" é o me-

nor componente de uma imagem digital. A razão entre o valor de R_{Umbra} e de R_{Lua} revela que o diâmetro da umbra representa, aproximadamente, 2,4 vezes o diâmetro lunar. Estabelecendo-se uma relação de proporção entre a razão dos valores de R_{Lua} e R_{Umbra} , em pixel e em unidade de comprimento, é possível determinar o valor de R_{Lua} em unidade padrão de comprimento, conforme a equação (3):

$$R_{Lua}(m) = R_{Umbra}(m) \times \left(\frac{R_{Lua}(pixel)}{R_{Umbra}(pixel)} \right) =$$

$$(4.606.760 \pm 12) \times \left(\frac{(124 \pm 2)}{(303 \pm 2)} \right) = (1.885 \pm 21) \times 10^3 m \quad (3)$$

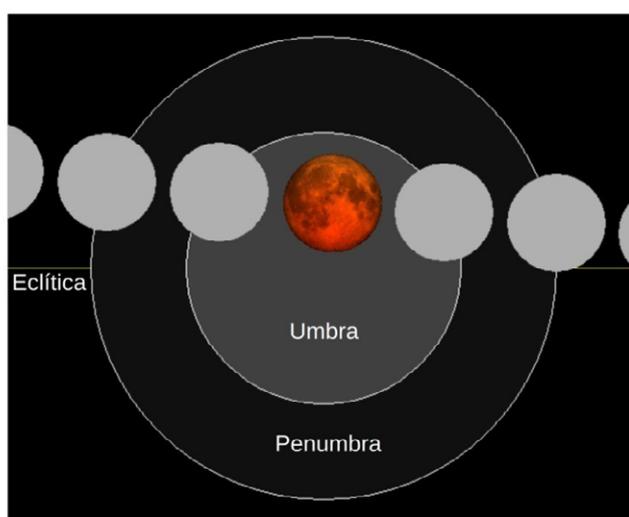


Figura 5 – Caminho de trânsito da Lua através da penumbra/umbra da Terra durante o eclipse lunar total ocorrido em 21 de janeiro de 2019. Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/January_2019_lunar_eclipse, acesso em 28 de abril de 2021.

4. Conclusão

A técnica apresentada neste trabalho permitiu determinar o valor do raio da Lua com boa aproximação; uma diferença de 8,5% em relação ao valor padrão atualmente aceito (1.738 x 103 m) (WILLIAMS, 2010). Concluímos que um valor correspondente poderá ser reproduzido por educadores junto a estudantes do quarto ciclo do ensino fundamental. Utilizando-se de um instrumento de medida de comprimento (uma régua, por exemplo), é possível determinar os valores dos raios da umbra e da Lua na Figura 4 e estabelecer as relações entre estes valores, dentro da margem de incerteza do instrumento utilizado.

O modelo proposto oferece aos estudantes não apenas a possibilidade de aplicar os conhecimentos matemáticos. Contribui para uma conexão entre astronomia e matemática. Permite,

também, resgatar alguns dos feitos de grandes astrônomos e seus esforços para desvendar os mistérios do nosso universo com os recursos limitados à época.

A extração de dados físicos de imagens fotográficas de eventos astronômicos constitui-se num recurso didático enriquecedor para o aprendizado de conceitos de Astronomia, especialmente envolvendo a interdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro na compra de equipamentos e nas bolsas de estudo a estudantes universitários.

Referências

BATTEN, A. H. Aristarchus of Samos. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**, Toronto, v. 75, n. 1, 1981. Disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/seri/JRASC/0075//0000035.000.html>. Acesso em: 10 mai. 2021.

BIRRIEL, J. J.; ADKINS, J. K. Estimating the size of Earth's umbral shadow using sky brightness light curves during a lunar eclipse. **American Journal of Physics**, College Park, v. 87, n. 12, p. 994-996, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/10.0000134>. Acesso em: 04 de ago. 2021.

BISHOP, R. L. **Observer's handbook 1991**. Toronto: The Royal Astronomical Society of Canada, 1991. 14 p.

BRUNING, D. H. Determining the Earth-Moon distance. **American Journal of Physics**, College Park, v. 59, n. 9, p. 850, set. 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.16734>. Acesso em: 04 de ago. 2021.

CHALUB, F. A. C. C. The Saros cycle: obtaining eclipse periodicity from Newton's laws. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1303.1-1303.6, abr. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100003>. Acesso em: 04 de ago. 2021.

ELLINOGERMANIKI AGOGI. **The Eratosthenes Experiment**. Disponível em: <https://eratosthenes.ea.gr>. Acesso em: 10 mai. 2021.

FISCHER, I. Parallax of the Moon in Terms of a World Geodetic System. **The Astronomical Journal, Bristol**, v. 67, n. 6, p. 373-378, ago. 1962. DOI: 10.1086/108742. Acesso em: 17 nov. 2021.

JAKUBICKOVA, J. et al. The determination of the size of the Moon using lunar eclipse photos. **Astronomy Education Conference Proceedings**, n. 1, p. 127, Munique: ESO Supernova, mar. 2021. Disponível em: https://iau-dc-c1.org/iauaastroedu2019/wp-content/uploads/AstroEDU_Proceedings_2019.pdf. Acesso em: 04 ago. 2021.

LANGHI, R. **Um estudo Exploratório para a inserção da Astronomia na Formação de professores dos anos iniciais do Ensino Fundamental**. 2004. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90856>. Acesso em: 28 de jul. 2021.

LUZUM, B. et al. The IAU 2009 system of astronomical constants: the report of the IAU working group on numerical standards for fundamental Astronomy. **Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy**, v. 110, n.4, p. 293-304. jul. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10569-011-9352-4>. Acesso em: 04 de ago. 2021.

MAMAJEK, E. E. et al. IAU 2015 Resolution B3 on Recommended Nominal Conversion Constants for Selected Solar and Planetary Properties. **arXiv e-prints**, Nova York, v.1, out. 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1510.07674>. Acesso em: 10 mai. 2021.

MARTINS, A. et al. Cálculo do valor da Unidade Astronômica: como o trânsito de Mercúrio nos indica a nossa distância ao Sol. **Revista Latino-Americana de Educação Em Astronomia**, São Carlos, n. 30, p. 51-64, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37156/RELEA/2020.30.051>. Acesso em: 28 de jul. 2021.

MOMENIA, H. et al. Determination of the Sun's and the Moon's sizes and distances: Revisiting Aristarchus' method. **American Journal of Physics**, v. 85, n. 3, p. 207, fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1119/1.4967847>. Acesso em: 28 de jul. 2021.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Eclipses and the Moon's Orbit**, (2012). Disponível em: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/moonorbit.html>. Acesso em: 10 mai. 2021.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Visual Appearance of Lunar Eclipses**, (2009). Disponível em: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEcat5/appearance.html>. Acesso em: 10 mai. 2021.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Periodicity of Lunar Eclipses**, (2012). Disponível em: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEsaros/LEperiodicity.html#1>. Acesso em: 10 mai. 2021.

NEVES, M. C. D., Pereira, R. F. Adaptando uma câmera fotográfica manual simples para fotografar o céu. **Revista Latino-Americana De Educação Em Astronomia**, São Carlos, n. 4, p. 27-45, dez. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.37156/RELEA/2007.04.027>. Acesso em: 28 de jul. 2021.

ORTIZ, R. **Experimentos de Astronomia para o Ensino Fundamental e Médio**, 2ª Edição, (2011). Disponível em: http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/experimentos_2011.pdf. Acesso em: 10 mai. 2021.

SAMOS, A. **Sobre os Tamanhos e Distâncias do Sol e da Lua**. In: Machado, R. E. G. (tradutor), Santiago: Editora Create space Independent, 2016.

SILVA, R. S. The Astrophotography as Aid for Astronomy Education. **Research & Reviews: Journal of Educational Studies**, Hyderabad, v. 2, n.2, p.10-12, abr. 2016. Disponível em: <https://www.rroj.com/peer-reviewed/the-astrophotography-as-aid-for-astronomy-education-72485.html>. Acesso em: 04 de ago. 2021.

SILVEIRA, F. L. As Variações dos Intervalos de Tempo entre as Fases Principais da Lua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 300-307, set. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172001000300008>. Acesso em: 04 de ago. 2021.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da Teoria de Erros**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2ª Ed, 1996.

WILLIAMS, D. R., **Moon Fact Sheet**, (2010). Disponível em: <https://web.archive.org/web/20100323165650/http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>. Acesso em: 10 mai. 2021.

Sobre os autores

Alessandro Martins

Professor do curso de Física da Universidade Federal de Jataí (UFJ), Goiás, Brasil. Coordenador do projeto de divulgação científica Redescobrimdo a Astronomia. Doutor em Física pela Universidade de São Paulo (USP).

email: alexm@ufj.edu.br

Phablo de Araujo Sousa

Aluno de Graduação do Curso de Física da Universidade Federal de Jataí (UFJ). Goiás, Brasil.

email: phablo.rms@gmail.com

Recebido em: junho de 2021

Publicado em: março de 2022
