Efeitos inusitados com a luz do Sol♥

Fernando Lang da Silveira
Rolando Axt
IF-UFRGS

1 - INTRODUÇÃO

A vida somente é possível na Terra graças à luz solar. O reconhecimento deste fato remonta à Antiguidade e a importância atribuída pelos platônicos e os neoplatônicos ao Sol está na origem da hipótese revolucionária de Copérnico no século XVI que, como é bem sabido, colocou a Terra em movimento orbital enquanto o Sol permanecia em repouso no centro do universo. De acordo com aquela concepção o Sol iluminava tudo e toda luz, inclusive das estrelas, tinha origem nele e não lhe competia outra posição que não fosse central.

> *No centro de tudo repousa o Sol. Em que outro melhor local deste belíssimo templo se iria colocar esta lâmpada para que pudesse iluminar tudo ao mesmo tempo? Chamaram-lhe corretamente a lâmpada, o mente e ainda outros, o piloto do mundo. Hermes Trimegisto chama-lhe o "deus visível"; A Electra de Sófocles "o que tudo vê". E assim o Sol, como sentado em um trono real, governa a família de planetas que gira em torno dele.* (COPÉRNICO, 1978; p. 527-528)

Por outro lado as sombras encantam a humanidade, instigando nossa curiosidade, desde épocas remotas, como bem relata CASATI (2001). Elas também foram usadas como instrumentos epistemológicos, possibilitando em ocasiões variadas o avanço do conhecimento científico. Por exemplo:

- Na Antiguidade, Aristóteles[1] (384 – 322 a.C.) utilizou a *sombra* da Terra sobre a Lua, durante eclipses lunares, como um dos argumentos a favor da esfericidade da Terra; Aristarco de Samos[2] (320 – 250 a.C.) usou a *sombra* da Terra sobre a Lua, para determinar as dimensões cosmológicas e Eratóstenes de Cirene[3] (270 – 190 a.C.) usou a *sombra* de uma estaca, na medida da circunferência da Terra.

♥ - Capítulo do livro organizado pelo Prof. Carlos Alberto dos Santos (IF-UFRGS), intitulado *Sobre a luz e algumas de suas tecnologias* (no prelo).

[1] - Aristóteles usou dois argumentos a favor da esfericidade da Terra: o primeiro é que a borda da *sombra* da Terra, projetada sobre a Lua durante eclipses, é sempre circular; o segundo é que, quando uma pessoa se move de norte para sul na superfície da Terra, as estrelas mudam sua posição em relação ao horizonte (BERRY, 1961; HOSKIN, 1999).

[2] - Para calcular as distâncias que separam o Sol e a Lua da Terra e os seus tamanhos, Aristarco parte de seis hipóteses (HEATH, 1981; p. 353). A hipótese 5 afirma que o diâmetro do *cone de sombra* da Terra, quando a Lua o atravessa (eclipse *total* da Lua), é duas vezes o diâmetro da Lua (http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=678 – acessado em 30/07/2015).

[3] - Eratóstenes, o bibliotecário da grande coleção de manuscritos de Alexandria, mediu a extensão da *sombra* que uma estaca, cravada verticalmente sobre o solo horizontal de Alexandria, tinha ao meio-dia num dia em que o Sol estava no zênite na cidade de Siene (VERDET, 1991). Pelo comprimento da sombra, inferiu que o ângulo subtendido pelo arco de circunferência que separa as duas cidades (Siene se

- Os atrasos de cerca de 10 min nos eclipses dos satélites de Júpiter permitiram, em 1675, que Ole C. Römer (1644 – 1710) provasse, pela primeira vez, a finitude da velocidade da luz (http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=43 – acessado em 30/07/2015).

- O eclipse do Sol possibilitou, em 1868, que Lockyer (1836 – 1920) identificasse um elemento até então desconhecido – o hélio – no espectro da cromosfera solar. Em 1919, um eclipse do Sol permitiu que Eddington (1882 – 1944) realizasse a observação do desvio da luz de uma estrela pela massa do Sol, conforme previa a Teoria da Relatividade Geral.

A falta de conhecimento sobre as sutilezas da sombra pode levar a interpretações erradas de fotografias reais. Como exemplos podemos citar o caso da *"face em Marte"* (NASA, 1998)[4], em que sombras causadas por reentrâncias em uma rocha marciana lhe deram a aparência de uma cabeça humana, o que foi usado como indicativo de que seria uma rocha construída artificialmente, e o caso da *"farsa da Lua"* (MOON HOAX, 2003), em que diferenças nas direções e comprimentos das sombras dos astronautas, sondas lunares e rochas da superfície lunar foram usadas como "evidência" de que as fotos da pousada do homem na Lua seriam montagens[5]. Esses fatos, de certa forma pitorescos, contribuem para incentivar o interesse e a curiosidade a respeito das sombras e do comportamento da luz.

Neste trabalho abordaremos alguns efeitos inusitados e interessantes envolvendo a luz solar e as suas sombras.

2 - A "ATRAÇÃO" ENTRE AS SOMBRAS

Quando a distância entre duas sombras se torna muito pequena, uma delas "atrai" a outra, deformando-a! Vejamos como esse fascinante fenômeno ocorre e pode ser explicado.

Na figura 1, uma seqüência de fotos mostra a sombra da cabeça do fotógrafo se aproximando da sombra de uma parede. Observa-se que dessa aproximação resulta a deformação da sombra da parede e o prematuro preenchimento do espaço antes iluminado.

---

situa ao sul de Alexandria) era aproximadamente 7º e, conhecida a distância entre as duas cidades (Alexandre o Grande havia mandado medir os caminhos do Egito), determinou a circunferência da Terra (http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1016 – acessado em 30/07/2015).

[4] - A *"face em Marte"* foi vista pela primeira vez em fotos tiradas pela sonda Viking I, em 1996 (NASA, 1998), e foi inicialmente divulgada como sendo uma formação rochosa lembrando uma face humana. Novas imagens da mesma rocha, tiradas em 1998 pela sonda Mars Global Surveyor (MSSS, 2001), de um ângulo diferente, não apresentaram tal semelhança, indicando que a aparência de face humana dependia da iluminação e do ângulo de visada.

[5] - Os defensores da *"farsa da Lua"* usam argumentos equivocados e refutáveis, pois as diferenças nos ângulos e comprimentos dessas *sombras* são perfeitamente explicadas por efeitos de perspectiva e de ondulações na superfície lunar.

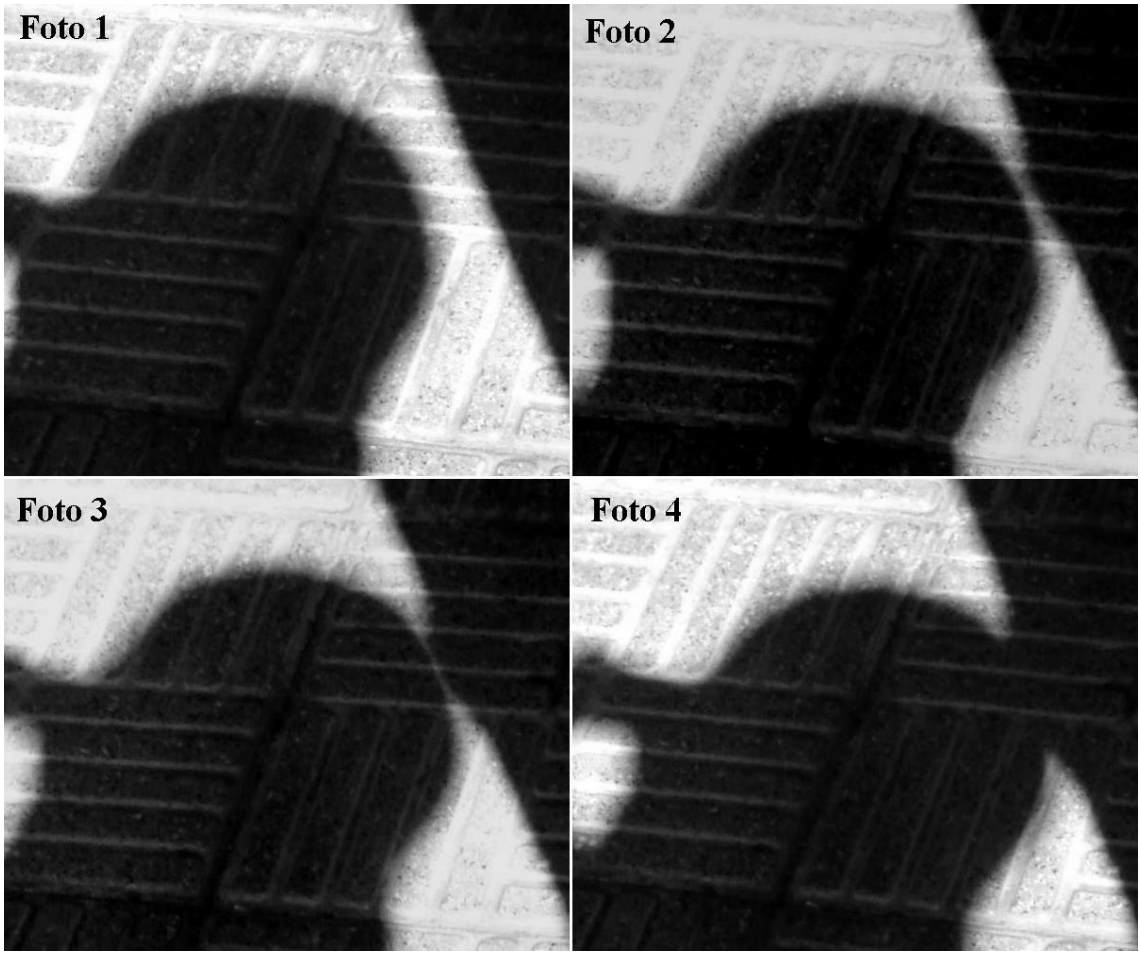

Figura 1 – Projetada sobre a calçada, a sombra da cabeça do fotógrafo "atrai" a sombra da parede, deformando-a.

Na figura 2, uma sequência de fotos mostra a sombra da aba do alpendre *"atraindo"* a sombra da cabeça do fotógrafo e a deformando. Diferentemente do caso anterior, agora é a sombra da cabeça do fotógrafo que se deforma e avança em direção à sombra do alpendre. O efeito também está registrado em um vídeo que pode ser encontrado nos seguintes endereços: https://www.youtube.com/watch?v=S42XaPdcAPs e https://www.youtube.com/watch?v=mQnYBR4PTCw (acessados em 30/07/2015)

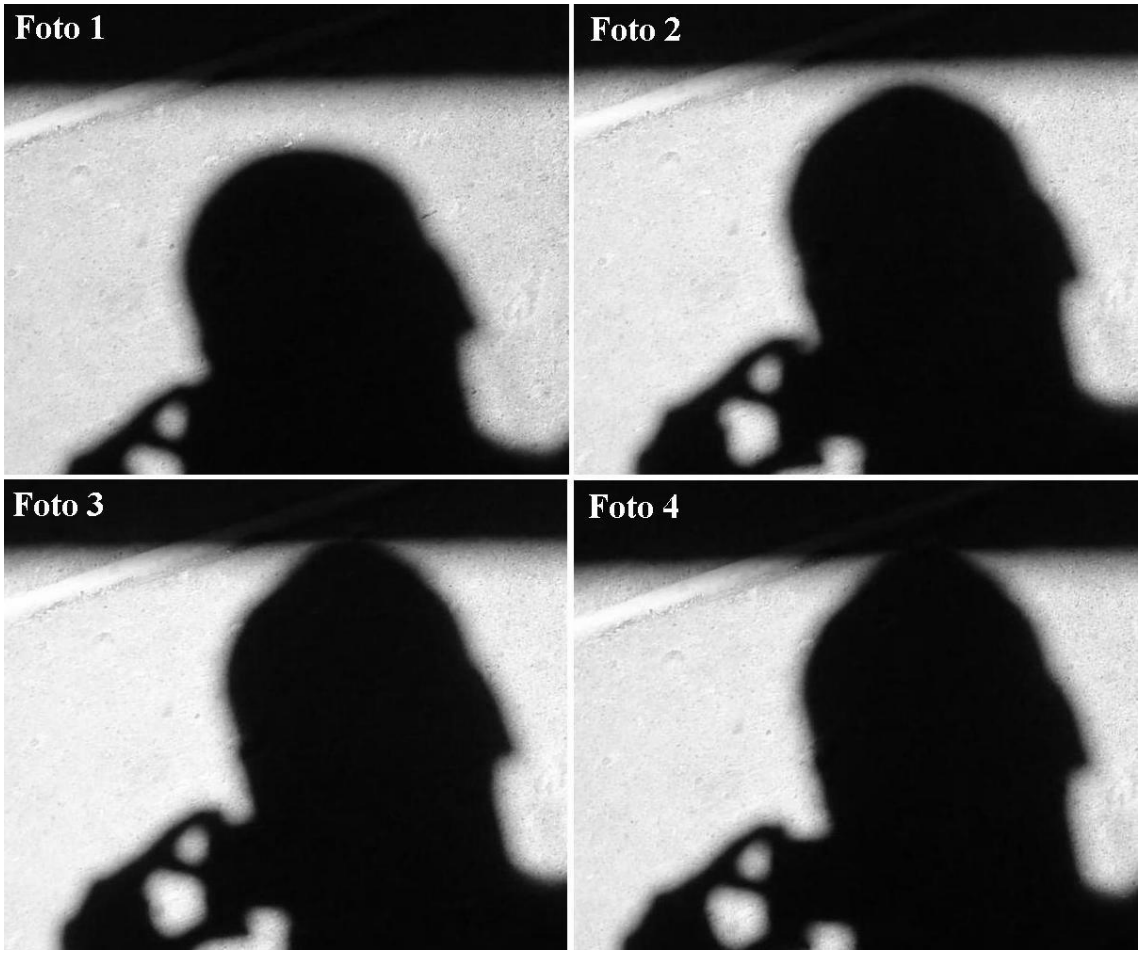

Figura 2 – Projetada sobre a calçada a sombra da aba do alpendre "atrai" a sombra da cabeça do fotógrafo, deformando-a.

Antes de esclarecermos as razões do inusitado comportamento, esboçaremos o enunciado de uma ***lei de "atração" entre sombras*** que pode ser testada facilmente pelo leitor: ***Quando duas sombras se aproximam, aquela que se encontra mais próxima do objeto que lhe corresponde será "atraída" (deformada) pela outra sombra, a do objeto mais distante.***

Na figura 1, para obter a deformação da sombra da parede, o fotógrafo encontrava-se mais distante da própria sombra do que a parede da sua. Na figura 2, a situação se inverte: o chão estava mais próximo da cabeça do fotógrafo do que da aba do alpendre.

Passemos agora à explicação do efeito.

Uma fonte de luz pode ser pontual ou extensa. O fato de o Sol ser para nós uma fonte luminosa extensa que subtende, em pontos situados na Terra, um pequeno ângulo de aproximadamente $0{,}53^{o}$, faz com que raios luminosos provenientes de regiões diferentes do disco solar incidam aqui na Terra segundo direções diferentes. Por isso as sombras produzidas por obstáculos que interceptam a luz solar não têm bordas bem definidas. As sombras só teriam bordas bem definidas caso todos os raios luminosos solares fossem paralelos entre si (o que se assume para fazer representações simplificadas da radiação solar) e então o fascinante fenômeno da "atração" entre sombras não ocorreria.

As figuras 3a e 3b representam de maneira esquemática a luz emitida pelos extremos do disco solar, passando por um ponto da borda de um obstáculo e gerando uma região de penumbra (região dentro da qual a iluminação varia desde um mínimo – sombra – até a iluminação plena).

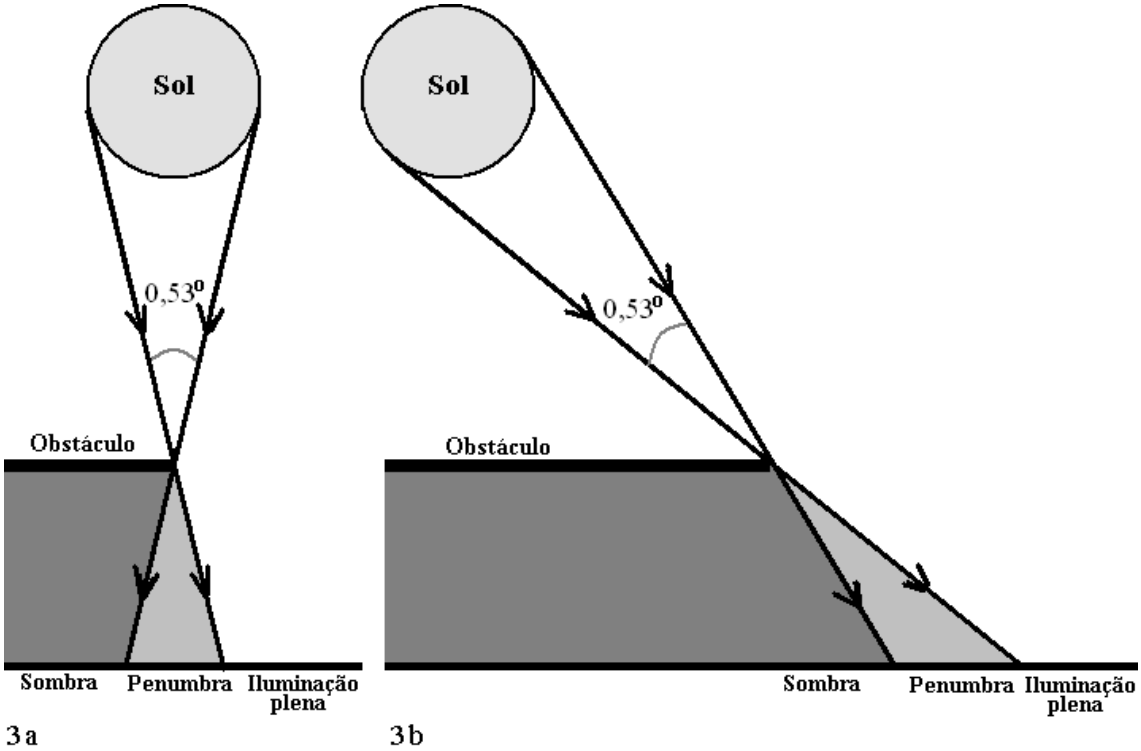

Figura 3 – A luz solar que se origina em regiões diferentes do disco solar produz sombras com bordas não definidas (penumbra).

Na figura 3a a incidência dos raios solares que atingem o plano horizontal onde ocorre a sombra, é quase perpendicular a esse plano[6]. A situação em que o Sol se encontra baixo no céu é apresentada na figura 3b. Comparando essa figura com a figura 3a, podemos observar uma maior extensão de penumbra sobre o plano horizontal[7]. A rigor, em vez de usar um tom de cinza claro para indicar o intervalo que corresponde à penumbra nas situações apresentadas nas figuras 3a e 3b, deveríamos preencher esse intervalo com uma variação contínua entre o cinza escuro (sombra) e o branco (iluminação plena), ratificando a inexistência de bordas definidas, como indicado na legenda dessas figuras.

A figura 4 representa dois obstáculos próximos um do outro e posicionados a diferentes distâncias do plano que contém as suas sombras. A sombra do obstáculo 2 não está representada por ser irrelevante para a explicação do efeito.

Na figura 4a o obstáculo 2 ainda não perturba a sombra do obstáculo 1 mas ao diminuir suficientemente a distância entre eles (e entre suas sombras) luz que chegava

[6] - A incidência perpendicular dos raios de luz solar sobre o plano onde acontece a sombra é a condição para a menor extensão da região de penumbra, isto é, aproximadamente 0,9 cm para cada metro de distância entre o objeto que projeta a sombra e o plano.

[7] - As fotos apresentadas nas figuras 1 e 2 foram tiradas no final da tarde com o Sol baixo no céu, sobre uma calçada horizontal.

na região de penumbra próxima à sombra acaba por ser suprimida, ampliando então a região de sombra do obstáculo 1.

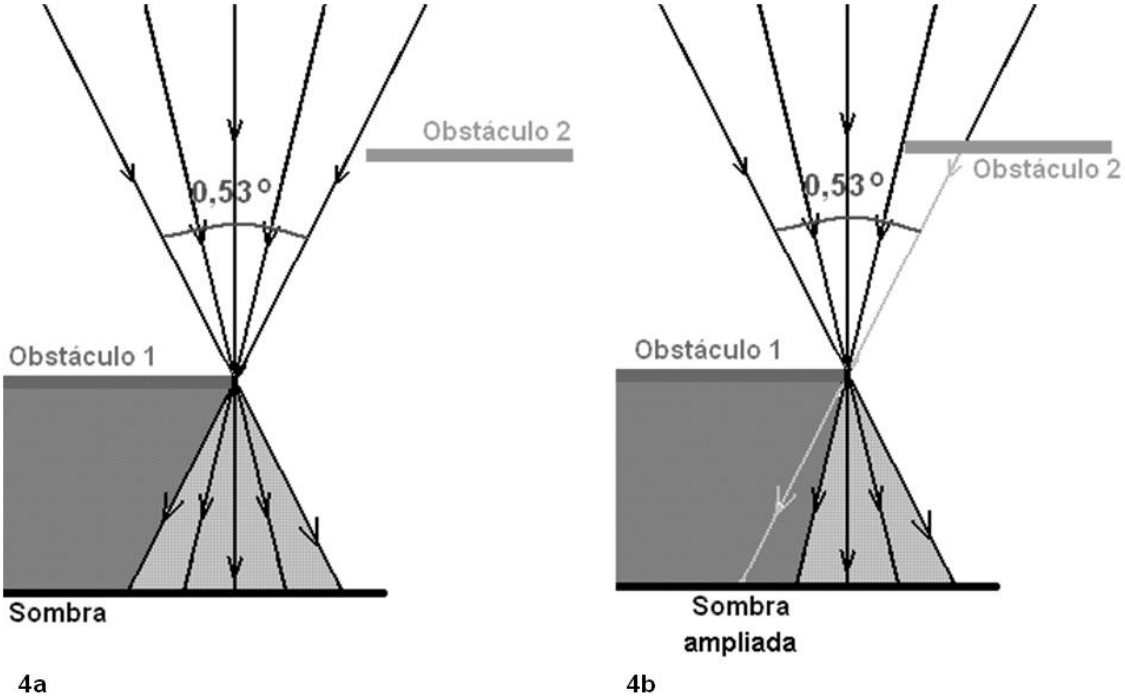

Figura 4 – A sombra do obstáculo 1 se amplia quando o obstáculo 2 intercepta luz na região de penumbra do obstáculo 1.

Mais detalhes sobre este instigante efeito podem ser encontrados em SILVEIRA E AXT (2007).

3 – O "ENCOLHIMENTO" DAS SOMBRAS

Outro efeito inusitado envolvendo as sombras da luz solar é que o tamanho de uma sombra diminui quando a distância entre ela e o obstáculo que a produz cresce. As imagens da figura 5 apresentam a sombra próxima (a cerca de 1 m) e afastada (a cerca de 6 m) de um indivíduo que as fotografa. A sombra afastada notoriamente se encontra deformada em relação à sombra próxima, apresentando uma cabeça mais estreita em relação ao tamanho do tronco.

Figura 5 – Sombra próxima e afastada do fotógrafo.

Na figura 6 vê-se a sombra de uma grade de arames sobre um piso de lajotas. No lado esquerdo da foto o piso se encontra próximo da grade e, conforme se avança para o lado direito, a grade se afasta do piso. Observa-se que, concomitantemente com o crescimento da distância entre a grade e o piso (isto é, no sentido da esquerda para a direita), a região de penumbra em torno da sombra dos arames cresce. Na parte mais distante do piso (lado direito da foto) resta apenas a penumbra produzida pelos arames.

Figura 6 – Grade de arame intercepta a luz solar produzindo sombra e penumbra.

O efeito de “encolhimento” da sombra, originada pela interposição de um objeto à luz solar, pode ser facilmente previsto tendo-se em conta que os raios luminosos provenientes do disco solar são divergentes conforme já notado nas figuras 3 e 4. A figura 7 representa um obstáculo à luz solar e a consequente região de sombra que ele produz. Por meio de um simples cálculo trigonométrico, é facil estimar-se que a região de sombra termina a uma distância cerca de 108 vezes a extensão L do obstáculo.

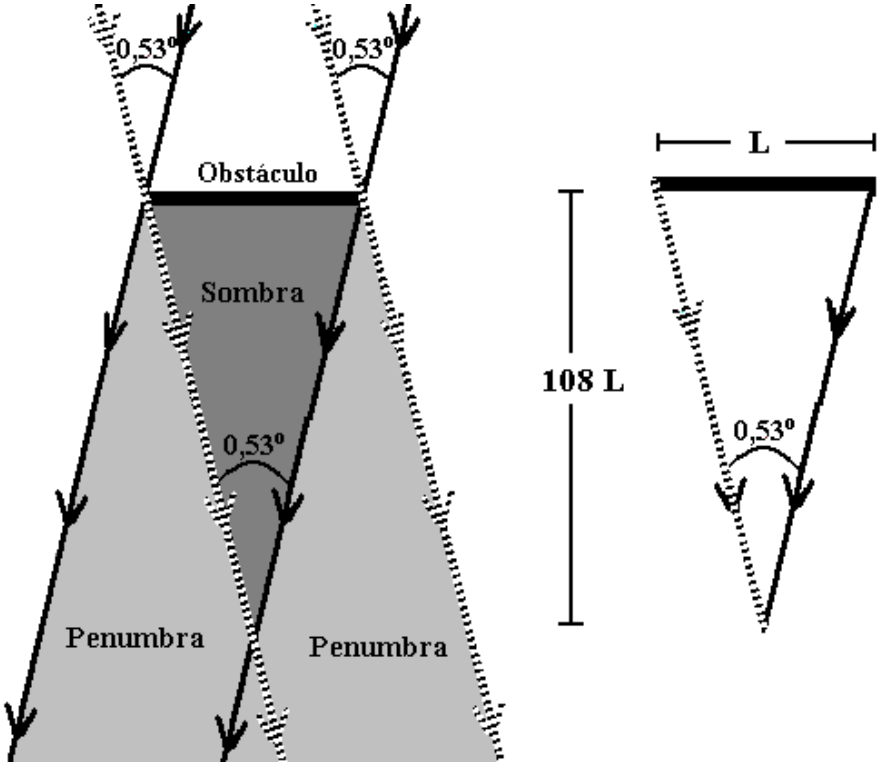

Figura 7 – Representação esquemática da região de sombra produzida por um obstáculo que impede a passagem dos raios luminosos solares.

Podemos agora aplicar o que foi apresentado na figura 7 à Terra e à Lua quando interceptam a luz solar. Sendo esses corpos esféricos (portanto a seção transversal da sombra é circular suas sombras constituem cones de sombra contornados por penumbra, como mostrado também na figura 7. A extensão do cone de sombra que cada um dos corpos produz é cerca de 108 vezes o diâmetro do objeto opaco. Como o diâmetro da Lua é cerca de 3,66 vezes menor do que o da Terra, a extensão aproximada do cone de sombra da Lua é 108 ÷ 3,66 = 29,5 diâmetros terrestres. Diferentemente da órbita da Terra em torno do Sol, a órbita da Lua em torno da Terra possui uma excentricidade não desprezível[8], sendo a distância de perigeu (mínima distância entre os centros da Terra e da Lua) 28,0 diâmetros terrestres e a distância de apogeu (máxima distância entre os centros da Terra e da Lua) 31,9 diâmetros terrestres. Ou seja, o comprimento do cone de sombra da Lua é 1,5 diâmetros terrestres maior do que a distância de perigeu e é 2,4 diâmetros terrestres menor do que a distância de apogeu.

[8] - A excentricidade da órbita da Lua explica, por exemplo, que os intervalos de tempo que separam duas fases principais e consecutivas da Lua em um mesmo mês lunar sejam diferentes. Adicionalmente à excentricidade, a translação do sistema Terra-Lua em torno do Sol, determina que haja variações desses intervalos de tempo de um mês para outro. Duas fases principais consecutivas podem estar separadas por intervalos de tempo que variam entre 6,5 e 8,3 dias (SILVEIRA, 2001).

Desta forma, ainda que em uma Lua Nova ocorra o alinhamento Terra-Lua-Sol (o Sol na linha dos nodos[9] do sistema Terra-Lua ou muito perto dela[10]), de modo a cumprir a condição necessária para acontecer o ocultamento central do Sol pela Lua para um observador em determinada região da Terra, o eclipse do Sol poderá não ser total mas anular. Neste caso o disco lunar não encobre todo o disco solar pois o cone de sombra da Lua não chega até nós por ela estar nas proximidades do apogeu. Quando o eclipse é total, ele somente será percebido como tal por um observador dentro do cone de sombra da Lua. A intersecção do cone de sombra da Lua com a superfície da Terra em um eclipse total se dará perto do vértice do cone (a figura 8 representa esta situação embora os diâmetros relativos e a distância entre a Terra e o seu satélite não estejam em escala).

Figura 8 – O vértice do cone de sombra ou umbra da Lua se encontra sempre próximo à superfície da Terra durante um eclipse solar total, determinando que o diâmetro da sombra da Lua na Terra seja muito menor do que o diâmetro lunar.

O diâmetro da sombra da Lua na superfície da Terra, durante um eclipse solar total, será muito menor do que o diâmetro da Lua, representando um círculo sobre a superfície da Terra com diâmetro máximo de apenas cerca de uns 250 km; pequeno em comparação aos 3476 km de diâmetro da própria Lua. Portanto, o fenômeno do "encolhimento" da sombra é muito pronunciado nos eclipses solares. Na figura 9 está representada em escala compatível com a escala do diâmetro da Terra a sombra da Lua na Terra.

---

[9] - A linha dos nodos do sistema Terra-Lua é a linha determinada pela intersecção do plano da órbita da Terra em torno do Sol com o plano da órbita da Lua em torno da Terra. A cada 173 dias, essa linha está na mesma direção da linha Sol-Terra, ocorrendo então as temporadas de eclipses, que duram entre 31 e 38 dias (OLIVEIRA FILHO E SARAIVA, 2004, p. 46-47). Comumente, em uma temporada de eclipse acontecem um eclipse solar (parcial, total ou anular) e um eclipse lunar (parcial, total ou penumbral), separados de duas semanas.

[10] - Como o Sol, a Terra e a Lua têm tamanhos finitos, os eclipses podem ocorrer mesmo quando os três corpos não estão perfeitamente (centro a centro) alinhados. A máxima distância angular da Lua ao nodo da órbita lunar para um eclipse solar ser possível é 18,5°; se essa distância for inferior a 15,4°, pelo menos um eclipse solar parcial certamente ocorrerá; se essa distância for inferior a 12°, ocorrerá com certeza um eclipse solar total ou anular (SMART, 1960, p. 381-390). O eclipse do Sol é classificado como parcial quando apenas a penumbra atinge a Terra. Mas mesmo em eclipses totais do Sol a faixa da Terra atingida pela sombra (onde haverá um eclipse total) é muito mais estreita que a faixa atingida pela penumbra (que terá um eclipse parcial).

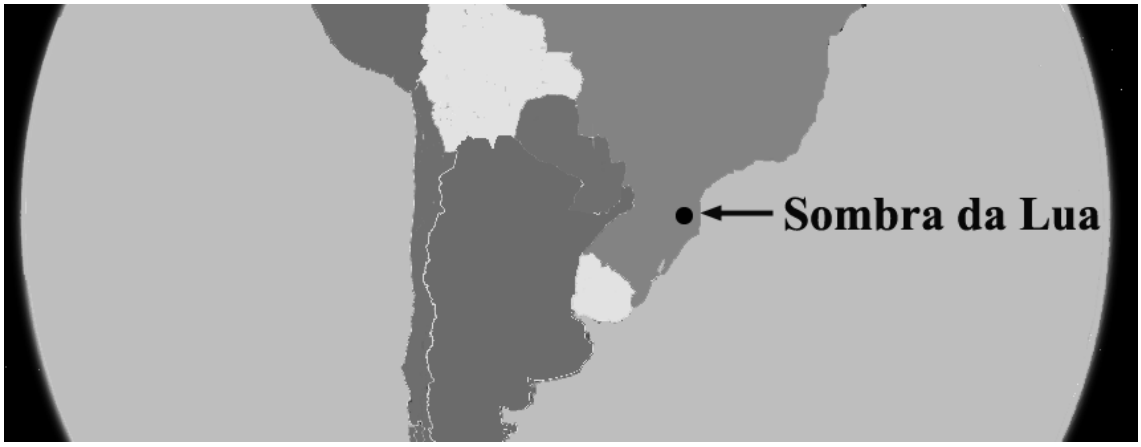

Figura 9 – A sombra da Lua na superfície da Terra durante um eclipse solar total tem um diâmetro com no máximo cerca de 250 km. Somente observadores dentro dessa sombra "encolhida" poderão perceber o eclipse como total.

Vejamos agora como a Terra eclipsa a Lua. Quando em uma Lua Cheia acontecer o alinhamento Lua-Terra-Sol, o cone de sombra da Terra sempre atingirá a órbita da Lua pois a sua extensão é muito maior do que a distância de apogeu da Lua, acontecendo então um eclipse total[11] da Lua. O diâmetro do cone de sombra da Terra à distância da Lua é facilmente calculável e se situa em valores próximos a 0,7 diâmetros terrestres ou 2,6 diâmetros lunares (a figura 10 é uma representação das condições para a ocorrência de um eclipse lunar total, embora os diâmetros e as distâncias entre os três corpos não estejam em escala). Vale notar que Aristarco de Samos (vide a nota de rodapé 2), três séculos antes de Cristo, já estimava em cerca de dois diâmetros lunares o diâmetro do cone de sombra da Terra na região onde passa a órbita da Lua.

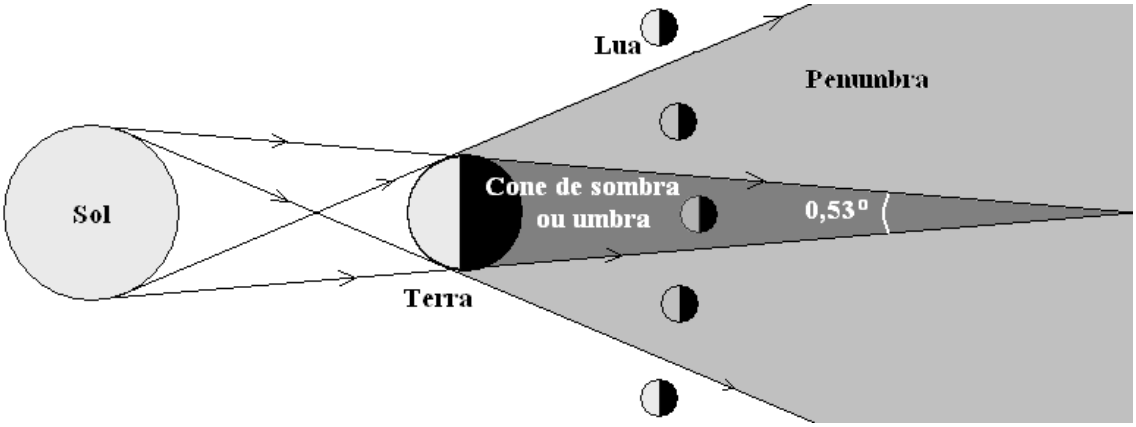

Figura 10 – O diâmetro do cone de sombra da Terra perfaz cerca de 0,7 diâmetros terrestres ou 2,6 diâmetros lunares na região onde orbita a Lua.

[11] - Para a Lua entrar no cone de sombra da Terra e acontecer um eclipse lunar total a máxima distância angular entre a Lua e o nodo da órbita lunar deve ser menor do que 4,6º se a distância for maior do que isso, mas menor do que 10º acontecerá um eclipse lunar parcial, quando apenas parte da Lua atravessa a região de sombra (OLIVEIRA FILHO E SARAIVA, 2004, p. 46-47).

Mais detalhes sobre o “encolhimento” das sombras pode ser encontrados em SILVEIRA E SARAIVA (2008).

4 – IMAGENS DO SOL OBSERVADAS EMBAIXO DAS ÁRVORES

Quando a luz solar que passa entre as folhagens das árvores incide no chão ou em paredes, é comum se observar manchas luminosas com formas arredondadas. Como são elas produzidas se os espaços pelos quais a luz passa têm geometrias irregulares e variáveis? Em circunstâncias especiais, pode acontecer que essas manchas se apresentem com forma quase circular e de mesmo tamanho. Como se explica tal padrão? Apesar de a ocorrência das referidas manchas luminosas ser extremamente comum, a grande maioria das pessoas sequer toma consciência delas. A figura 11 mostra algumas dessas manchas luminosas no chão embaixo de árvores.

Figura 11 – Manchas arredondadas no chão embaixo das árvores.

É por demais sabido que um pequeno orifício em uma câmara escura (*pinhole*) pode conjugar imagens de objetos externos à câmara. A condição para que tenhamos uma imagem nítida em um anteparo é que o tamanho do orifício seja desprezível em relação à distância que o separa do anteparo. Se o objeto for o Sol, observam-se imagens nítidas do disco solar em anteparos posicionados a uma distância que seja muito maior do que a dimensão característica do orifício pelo qual a luz passa (SILVEIRA E AXT, 2001).

As imagens do disco solar conjugadas por pequenos orifícios têm outras notáveis características:

- O diâmetro dessas imagens é pouco afetado pelo tamanho do orifício. O diâmetro mede aproximadamente um centésimo (na verdade 1/108, a mesma proporção indicada na figura 7) da distância que separa o orifício do anteparo (conforme a equação 3 em SILVEIRA E AXT, 2001). Portanto, se imaginarmos um orifício distante cerca de 2 m do local onde aparece a imagem do Sol[12], esta imagem terá diâmetro de aproximadamente 2 cm.

- Como a potência luminosa que atravessa o orifício depende da área do orifício, orifícios com dimensões diferentes, posicionados à mesma distância de um anteparo, conjugarão imagens com aproximadamente o mesmo diâmetro, todavia, com diferentes brilhos.

Para que possamos observar imagens do Sol sobre um anteparo embaixo das árvores conforme representado na figura 12, é necessário que os espaços ou "orifícios" entre as folhagens, que permitem a passagem da luz proveniente do Sol, estejam afastados do anteparo por uma distância que favoreça a ocorrência de imagens do disco solar.

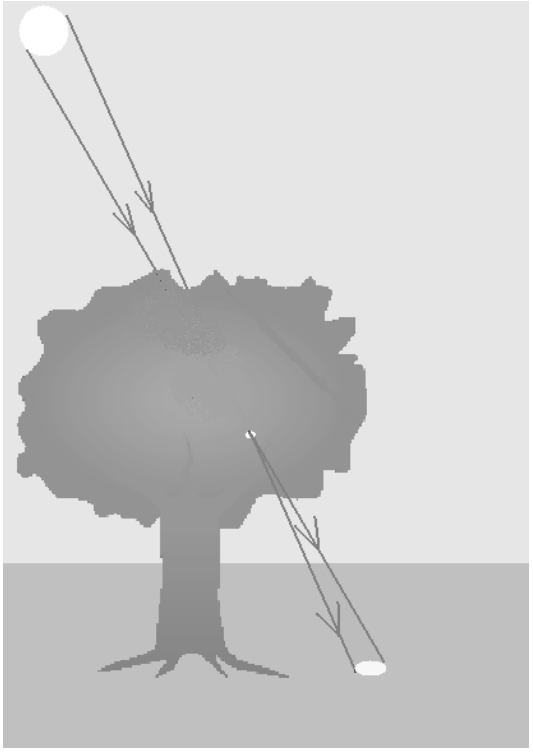

Figura 12 – A luz solar que passa entre as ramagens de uma árvore, incidindo no chão a uma distância grande comparada ao tamanho do orifício, determina uma imagem do disco solar.

Nota-se na figura 11 a ocorrência de manchas arredondadas, aproximadamente de mesmo tamanho, mas com brilhos diversos. Esse comportamento se deve a que o brilho dessas imagens é regulado pelo tamanho dos orifícios. As imagens com maior brilho estão associadas a orifícios maiores do que as imagens com menor brilho. Entretanto, o tamanho das imagens do Sol não depende do tamanho dos orifícios e, se estes estiverem

[12] - Estamos supondo que os raios luminosos solares que atravessam o orifício incidam quase que perpendicularmente ao anteparo. Caso a incidência não seja normal ao anteparo, ocorrerá uma mancha elíptica, cujo semi-eixo menor terá aproximadamente a extensão indicada. O semi-eixo maior desta mancha será tanto maior quanto mais inclinados em relação à normal ao anteparo estiverem os raios luminosos provindos do Sol.

igualmente distantes do local onde vemos as imagens, todas elas terão aproximadamente o mesmo tamanho.

Durante os eclipses do Sol, as manchas luminosas produzidas pela luz que se infiltra através das folhas da vegetação e incide no chão ou nas paredes distantes das folhas, se apresentarão com a forma do disco solar eclipsado. Este belo efeito foi registrado durante o eclipse parcial do Sol em 11 de setembro de 2007 em Porto Alegre. A figura 13 é uma fotografia de uma miríade de imagens em uma parede próxima a uma árvore, obtida durante o eclipse (SILVEIRA e AXT, 2007).

Figura 13 – Miríade de imagens do disco solar eclipsado sobre uma parede.

A figura 14 mostra mais algumas imagens do disco solar em forma de lunas resultantes da passagem da luz na ramagem de uma árvore durante o eclipse e conjugadas sobre uma parede.

Figura 14 – Imagens do disco solar parcialmente coberto durante o eclipse.

Um pequeno espelho plano que reflete a luz do Sol em direção a uma parede distante comporta-se como o pequeno orifício de uma câmara escura. A diferença em relação ao orifício está em que os raios luminosos ao invés de atravessarem o "orifício", são refletidos no espelho. Desta forma, consegue-se facilmente uma imagem do disco solar dirigindo a luz solar refletida pelo espelho contra um anteparo (SILVEIRA E AXT, 2001). Este procedimento pode ser utilizado para se observar os eclipses com segurança, evitando-se a necessidade de filtros para barrar a radiação ultravioleta. Além disso, se o objetivo for a simples observação visual do eclipse, um pequeno espelho plano substitui complicados procedimentos que utilizam binóculos, lunetas ou telescópios para obter uma imagem real do disco solar sobre um anteparo. A única condição para isso é que a distância ao anteparo seja muito maior do que as dimensões do espelho.

Na figura 15 vê-se uma imagem do Sol eclipsado, obtida com auxílio de um pequeno espelho plano com área de aproximadamente 1 cm^2, que refletiu a luz solar sobre uma parede distante cerca de 5 m do espelho.

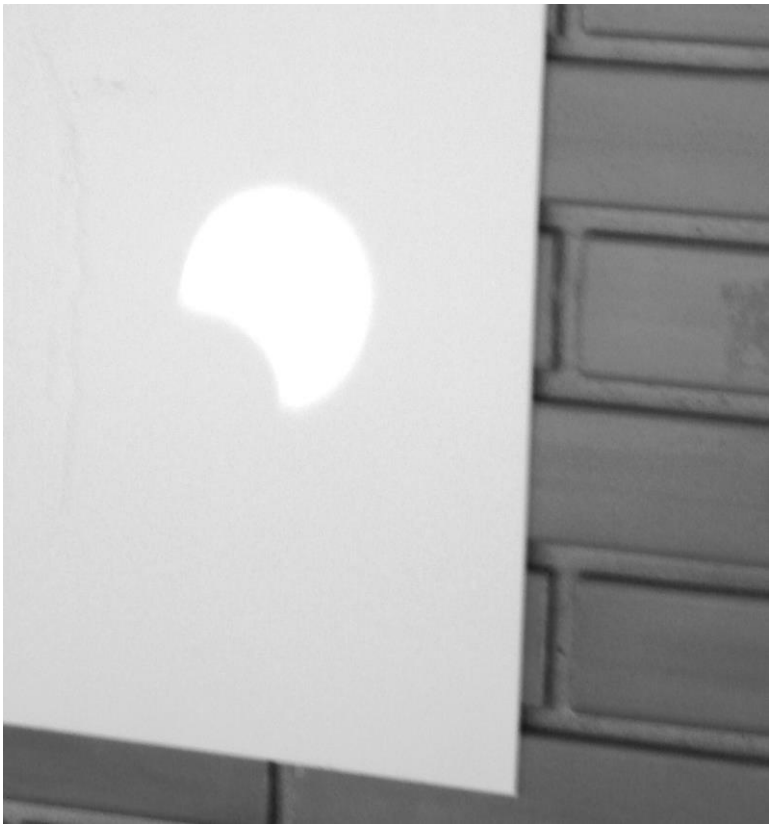

Figura 15 - Imagem do Sol eclipsado obtida com um espelho plano durante o eclipse de 11/09/2007 em Porto Alegre.

Mais detalhes sobre as imagens do disco solar são encontrados em SILVEIRA E AXT (2007).

5 - CONCLUSÃO

Neste artigo tratamos de três interessantes e contra-intuitivos efeitos que podem ser percebidos quando a luz proveniente diretamente do disco solar é barrada por objetos, determinando sombras. Justificamos teoricamente, ilustrando com fotografias e diagramas, cada um dos efeitos.

Apesar de os efeitos sempre acontecerem, eles são usualmente inusitados para as pessoas que não os conhecem e que não estão preparadas para a observação. Vale nesse contexto o que o filósofo da ciência Mario Bunge afirma (*Princípio Inverso de São Tomé*): *é crer para ver!* Ou seja, temos que saber da possibilidade de acontecerem todos estes efeitos para efetivamente observá-los.

REFERÊNCIAS

BERRY, A. *A short history of Astronomy*. New York: Dover Publications, Inc, 1961.

CASATI, R. *A descoberta da sombra.* São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

CHAISSON E. e McMILLAN, S. *Astronomy Today*, 2nd. ed., Prentice Hall Inc, 1997.

COPÉRNICO, N. On the revolution of heavenly spheres. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1978.

HEATH, T. *Aristarchus of Samos – The ancient Copernicus.* New York: Dover, 1981.

HOSKIN, **M.** (ed). *The Cambridge Concise History of Astronomy.* Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

KNILL, D., MAMASSIAN, P. e KERSTEN, D. Geometry of Shadows. *J. Opt. Soc., Am. A.*, v. 14, n. 12, p. 3216– 3231, 1997.

MOONHOAX. www.redzero.co.uk, 2003. Acessado em 30/07/2015.

MSSS (Malin Space Science Systems). Mars Global Surveyor – Mars Orbital Camera. San Diego: MSSS, 2001. http://www.msss.com/mars_images/moc/01_31_01_releases/cydonia/. Acessado em 30/07/2015.

NASA. Astronomy picture of the day, 1998. http://apod.nasa.gov/apod/ap980407.html. Acessado em 30/07/2015.

OLIVEIRA FILHO, K. S. e SARAIVA, M. F. O. *Astronomia e Astrofísica*. 2ª. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

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.330-307, 2001. http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_300.pdf. Acessado em 30/07/2015.

SILVEIRA, F. L. e AXT R. O que vemos quando projetamos a luz do Sol com um espelho plano: manchas luminosas ou imagens? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.18, n.3: p.364–375, dez. 2001. https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6670. Acessado em 30/07/2015.

_____ A "atração" entre as sombras! *A Física na Escola*, São Paulo, v.8, n.1, p.17-21, 2007. http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a04.pdf. Acessado em 30/07/2015.

_____ O eclipse solar e as imagens do Sol observadas no chão ou numa parede. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 24, n. 3: p. 353-359, dez. 2007. https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6241. Acessado em 30/07/2015.

SILVEIRA, F. L. e SARAIVA, M. F. O "encolhimento" das sombras. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 25, n. 2: p. 228-246, ago. 2008. https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n2p228/5633. Acessado em 30/07/2015.

SMART, W.M. *Text-Book on Spherical Astronomy*. 6th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1960.

VERDET, J. P. *Uma história da Astronomia.* Rio de Janeiro: Zahar, 1991.