



.....
Fernando Lang da Silveira
Departamento de Física, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Porto
Alegre, RS, Brasil
E-mail: lang@if.ufrgs.br

.....
Maria de Fátima Oliveira Saraiva
Departamento de Astronomia,
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: fatima@if.ufrgs.br
.....

O espetáculo da lua cheia nascendo, e depois se elevando no céu, encanta a nossa sensibilidade! Além de a lua cheia nascente nos parecer muito maior do que quando se encontra alta no céu, a sua cor se modifica durante a ascensão. No dia 20 de fevereiro de 2008, ocorreu um eclipse total da Lua. Como é bem sabido, eclipses da Lua somente podem acontecer durante a lua cheia.

A seqüência de fotos da Fig. 1 foi realizada desde o nascimento da lua cheia até quase o seu encobrimento total pela sombra da Terra.

Na Foto 1, vemos a lua cheia nascente, ainda próxima do horizonte leste, plenamente iluminada pela luz do Sol que está se pondo no horizonte oposto. Apesar de o disco lunar se apresentar encoberto por nuvens, é possível observar que ele tem uma cor amarelada contra o céu azul, ainda iluminado pelo Sol. Depois, na Foto 2, a Lua encontra-se um pouco mais elevada (mas ainda próxima do horizonte), exibindo um belo tom de amarelo contra o céu azul escuro, fracamente iluminado pelo Sol. A Foto 3 foi realizada às 21h05min, portanto quando a lua cheia já se encontrava elevada no céu. Agora a cor da Lua é branca contra o céu escuro. As Fotos 4 a 6 foram tomadas enquanto a Lua penetrava no cone de sombra - ou umbra - da Terra, o que ocorreu a partir das 22h43min.

A seqüência de fotos da Fig. 1 foi realizada com uma câmera digital com aumento óptico e digital, perfazendo uma ampliação de cinco vezes, mantida para todas as fotos. Comparando as imagens, é possível perceber que o disco lunar tem o mesmo tamanho em todas elas, comprovando que ele permanece inalterado

enquanto a Lua se eleva. Portanto, a avaliação de que a lua cheia nascente é muito maior do que quando está elevada no céu é uma ilusão [1]. A Fig. 2 mostra uma fotografia da lua cheia durante o auge do

eclipse, quando então o disco lunar se apresentava com uma bela cor amarela alaranjada. Assim, o objetivo desse artigo é dar uma explicação para as diferentes cores que podemos observar na lua cheia, inclusive durante os

A atmosfera terrestre, iluminada pela luz branca do Sol, espalha preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul em todas as direções. Desta forma, de qualquer ponto do céu iluminado com a luz solar, chegará luz azulada aos nossos olhos e veremos o céu azul

eclipses totais.

Por que o céu é azul?

Um aspecto fundamental para a compreensão das cores que a Lua pode apresentar tem relação direta com o fato de o céu diurno ser azul.

A atmosfera terrestre, fortemente iluminada pela luz branca do Sol, espalha¹ preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul em todas as direções. Este tipo de espalhamento é denominado de espalhamento de Rayleigh, e acontece quando as partículas que interagem com a luz têm um tamanho muito menor do que o comprimento de onda da luz, que é o caso das moléculas de oxigênio (O₂) e nitrogênio (N₂) da atmosfera terrestre. No espalhamento de Rayleigh, a intensidade da luz espalhada é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Usando o exemplo de Lynch e Livingston [2], isso significa que a luz azul, com comprimento de onda de 450 nm, é espalhada com intensidade cerca de 3 vezes maior do que a luz vermelha, de comprimento de onda de 600 nm. Portanto a luz espalhada pelas moléculas do ar é muito mais azulada do que a luz que sobre elas incidiu. Desta forma, de qualquer ponto

¹A lua cheia muda de cor conforme se eleva no céu. No nascente apresenta-se amarelada e depois, quando já se encontra elevada no céu, é branca. Durante um eclipse total, a Lua pode se apresentar com uma variedade de cores entre marrom e amarelo. Discutimos as razões pelas quais a lua cheia exhibe cores variadas.



Figura 1 - Seqüência de fotos mostrando a aparência do disco lunar durante a lua cheia de 20 de fevereiro de 2008, observada na cidade de Laguna, Santa Catarina. As bordas inferiores das fotografias estão grosseiramente alinhadas paralelamente ao horizonte.



Figura 2 - A Lua se apresenta em cor amarela alaranjada durante o auge do eclipse. Foto gentilmente cedida pela fotógrafa e publicitária Ana Lúcia Meinhardt, que a realizou utilizando uma máquina fotográfica acoplada a um telescópio do Observatório Astronômico da PUCRS.

do céu iluminado com a luz solar, chegará luz azulada aos nossos olhos e veremos o céu azul.

Caso não houvesse espalhamento da radiação solar na atmosfera, o céu não emitiria luz e se apresentaria negro. Tal é o que acontece à noite, quando a atmos-

fera, fracamente iluminada pelas estrelas e pela Lua, reemite por espalhamento com tão pequena intensidade que não percebemos e, portanto, o céu noturno se apresenta escuro, negro. Se não tivéssemos atmosfera, veríamos o céu negro mesmo durante o dia, quando o Sol apareceria como um disco brilhante (e um pouco mais esbranquiçado do que realmente o vemos) entre as demais estrelas.

A Fig. 3 representa de maneira esquemática a chegada de luz solar branca em uma região da atmosfera. De acordo com esse esquema, um observador receberá radiação espalhada e enxergará aquela região do céu como azul.

Para partículas muito maiores do que o comprimento de onda da luz, como é o caso das gotículas de água, o espalhamento não depende mais do comprimento de onda, e portanto a intensidade da luz espalhada é a mesma para todas as cores. É por isso que as nuvens são brancas e, em dias muito nublados, vemos o céu todo esbranquiçado.

As cores do Sol

Para explicar a cor que o Sol (ou qualquer astro) apresenta,

interessa conhecer a luz que, proveniente do astro, é transmitida (não espalhada) através da atmosfera até o local da observação.

A intensidade de luz solar espalhada, além de depender do comprimento de onda, é influenciada pelo comprimento do trajeto que a radiação percorre ao atravessar a atmosfera. Ao entardecer, quando o Sol se encontra próximo ao horizonte, a luz solar deve percorrer um caminho mais longo na atmosfera do que quando o Sol se encontra elevado no céu. A Fig. 4 representa esquematicamente que a luz proveniente do Sol (ou de qualquer outro astro) deve, quando se encontra no zênite, atravessar a menor extensão de atmosfera para chegar à superfície da Terra; quando o astro se encontra no horizonte, a luz que ingressa na atmosfera percorre uma distância muito maior até chegar à superfície da Terra. Se tomarmos a espessura da atmosfera como sendo cerca de 100 km, a luz do Sol nascente ou poente deve atravessar cerca de 1000 km de atmosfera para chegar até a superfície da Terra (é importante destacar que, na Fig. 4, a espessura da atmosfera se encontra muito exagerada em comparação com o raio da Terra, cujo valor perfaz cerca de 6400 km).

Desta forma, conforme o Sol esteja mais próximo do horizonte, tanto mais luz é espalhada, retirando assim da luz branca preferencialmente a radiação nas frequências próximas à da cor azul. A luz transmitida (não-espalhada), por ter perdido parte das componentes com frequências mais altas, apresentar-se-á mais amarela (vide a luz transmitida na Fig. 3), podendo atingir a tonalidade de laranja e até de vermelho. Isto explica porque a cor do Sol muda do quase branco quando se encontra elevado no céu para os tons avermelhados característicos do nascente ou poente. As partículas de poeira presentes na atmosfera também contribuem para o avermelhamento do Sol, pois também espalham mais a luz azul do que a luz vermelha, embora não de

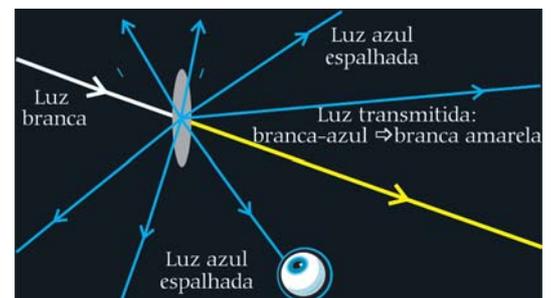


Figura 3 - Luz solar branca incide sobre uma região da atmosfera que espalha preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul.



Figura 4 - Quando um raio de luz incide perpendicularmente à superfície terrestre, o seu caminho através da atmosfera é mínimo; quanto mais perto do horizonte se encontra o astro, mais longo é o percurso da luz dentro da atmosfera.

maneira tão diferenciada quanto no espalhamento de Rayleigh. Para esses grãos de poeira, cujo tamanho é semelhante ao comprimento de onda da luz, a intensidade da radiação espalhada é inversamente proporcional à primeira potência do comprimento de onda. Mesmo assim, esse efeito se soma ao espalhamento pelas moléculas de gás, de forma que, quanto mais poeira houver na atmosfera, mais vermelho será o Sol no crepúsculo.

As cores da lua cheia

A Lua reflete a luz branca proveniente do Sol. Embora nosso satélite pareça muito brilhante, reflete apenas 6,7% da luz que recebe do Sol [3], estando entre os objetos de menor refletividade do sistema solar. As partes mais brilhantes de sua superfície são as regiões mais altas e com crateras, compostas de rochas ricas em cálcio e alumínio. As regiões mais escuras são zonas mais baixas, chamadas 'mares', compostas de rochas basálticas que refletem muito pouco a luz, daí sua cor acinzentada.

Quando vemos a lua cheia nascendo

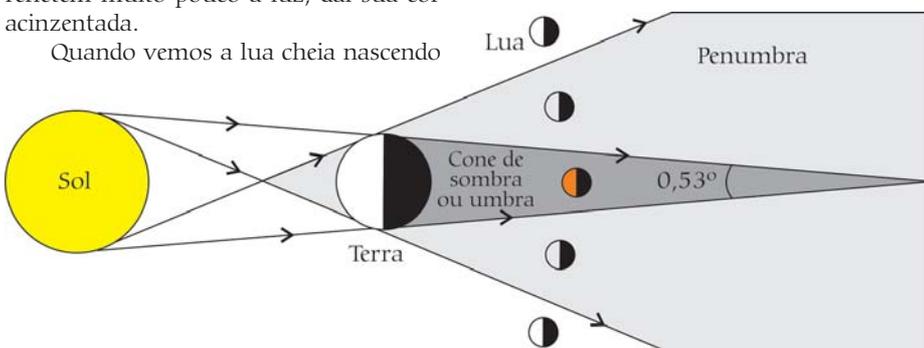


Figura 5 - Representação esquemática das condições para a ocorrência de um eclipse total da Lua.

(ela nasce quando o Sol está se pondo), a luz por ela refletida deve percorrer um trajeto mais longo através da atmosfera do que quando, horas mais tarde, encontra-se elevada no céu. Desta forma, ao se apresentar próxima ao horizonte, a luz branca proveniente da Lua tem mais luz azulada subtraída por espalhamento; portanto a radiação transmitida através da atmosfera contém menos luz azulada no nascente da Lua do que quando ela está alta no céu. Assim, a luz que chega aos olhos de quem aprecia a lua cheia nascente, será amarelada (vide as Fotos 1 e 2 da Fig. 1) por ter sido retirada da luz branca, por espalhamento, a luz azulada. Depois, enquanto a Lua se eleva, menos espalhamento do azul acontece, resultando em uma luz transmitida com menos perda de azul e, portanto, aproximando-se cada vez mais de ser branca (vide as Fotos 3 a 6 da Fig. 1).

A cor da Lua durante seu eclipse

A Fig. 5 representa esquematicamente as condições para a ocorrência de um eclipse total da Lua (as dimensões do Sol, da Terra e da Lua não estão representadas em escala, bem como as distâncias entre os três corpos).

A Fig. 6 ilustra o caminho da Lua, sobre o plano que é perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra, do ponto de vista de um observador localizado na parte noturna do hemisfério sul de nosso planeta, no eclipse total de 20 de fevereiro de 2008. A Lua, apesar de ter penetrado completamente no cone de sombra da Terra, não passou pelo centro da umbra. A Fig. 6 foi construída tomando por base a Ref. [4]. O círculo maior representa a zona de penumbra da Terra e o círculo menor indica a umbra.

As diferentes cores e tonalidades da Lua na Fig. 6 reproduzem a sua aparência nas diversas etapas do eclipse. A foto da Fig. 2 foi reduzida e colocada dentro da umbra para retratar a Lua no auge do

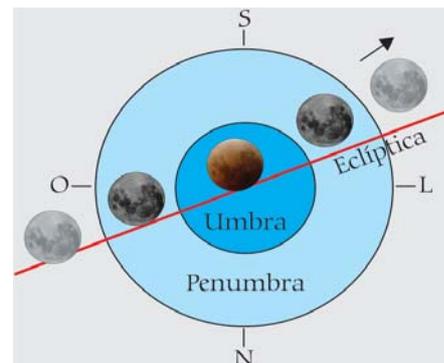


Figura 6 - Trajetória da Lua no plano perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra em 20 de fevereiro de 2008.

eclipse, isto é, quando a Lua se encontrava na região mediana do seu trajeto dentro da umbra. A linha vermelha indica a intersecção do plano da órbita da Terra (eclíptica) em torno do Sol com o plano da Fig. 6.

A Fig. 7 é uma representação esquemática de uma possível trajetória da Lua, no plano perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra, durante um eclipse parcial. Neste caso, a Lua não ingressa completamente na umbra.

Se interpretarmos literalmente os diagramas das Figs. 5 e 6 concluiremos que, para um observador na Terra, a Lua deve se tornar invisível quando ela se encontrar completamente imersa no cone de sombra, pois não haverá mais luz solar para ser refletida em direção à Terra. Entretanto, conforme a fotografia da Fig. 2, a Lua se apresenta ainda iluminada com luz amarela alaranjada! A atmosfera terrestre desempenha um papel importante para que ocorra a iluminação da Lua quando ela já se encontra completamente imersa no interior do cone de sombra. O fenômeno responsável por isso é a refração; a refração atmosférica sempre eleva a imagem de um objeto celeste, a menos que o objeto esteja no zênite, quando então a sua altura já é a máxima possível. Conforme indicado na Fig. 8, quanto menor for a altura de um astro, maior será o

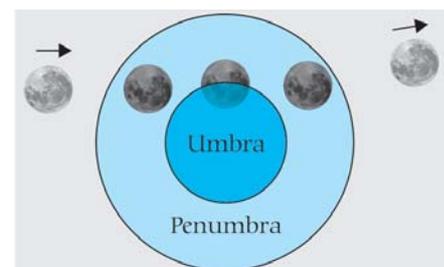


Figura 7 - Trajetória da Lua no plano perpendicular ao eixo do cone de sombra da Terra durante um eclipse parcial.

desvio de sua posição real.

Os raios de luz provenientes da estrela na posição 3 não sofrem desvio porque incidem perpendicularmente na atmosfera; os raios provenientes da estrela na posição 2 sofrem desvio e o observador enxerga na posição aparente 2. Os raios provenientes da estrela na posição 1 sofrem um desvio ainda maior, e o observador a enxerga na posição aparente 1. É devido à refração da luz solar na atmosfera da Terra que ainda podemos ver o disco do Sol, por inteiro, sobre o horizonte, até 2 minutos depois de ele ter realmente começado a se pôr (isto é, quando de fato a borda inferior do disco solar já desceu abaixo da linha do horizonte). A refração atmosférica determina que a lua cheia nascente já possa ser vista no horizonte quando, na realidade, ainda se encontra abaixo da linha do horizonte!

Durante um eclipse lunar total, a luz solar que atravessa tangencialmente a atmosfera da Terra sofre refração, sendo desviada para dentro do cone de sombra da Terra, iluminando fracamente a Lua. Mas essa luz já está quase desprovida de suas componentes com frequências mais altas, as quais foram espalhadas como discutimos anteriormente. A luz que consegue atravessar a atmosfera, ingressando na umbra, resulta então apresentar tonalidades que vão do amarelo brilhante, passando pelo laranja e podendo chegar até o vermelho. Um astronauta que estivesse na Lua durante um eclipse total veria o Sol completamente eclipsado pela Terra, a qual apareceria como um disco escuro circundado por um halo avermelhado de luz solar, pois o grande espalhamento na atmosfera terrestre das frequências próximas à da cor azul determina a chegada de luz avermelhada aos olhos do astronauta. Essa luz avermelhada que atinge a Lua é refletida e retorna em direção de quem observa o eclipse da Lua na superfície da Terra. A Fig. 9 representa de forma esquemática o trajeto da luz que ingressa na umbra após atravessar a atmosfera, iluminando a Lua.

Enquanto a Lua transita dentro do cone de sombra, a iluminação da sua superfície é variável, mudando inclusive de tonalidade. Isso mostra que o cone de sombra não é uniformemente escurecido, sendo mais escuro na parte mais central, perto do seu eixo. Na fotografia da Fig. 2 vemos que a iluminação da superfície da Lua não é homogênea. A parte amarela brilhante da Lua se encontra mais próxima da borda do cone de sombra do que a região diametralmente oposta. A região mais próxima à borda da umbra é iluminada por luz menos desviada por refração na atmosfera

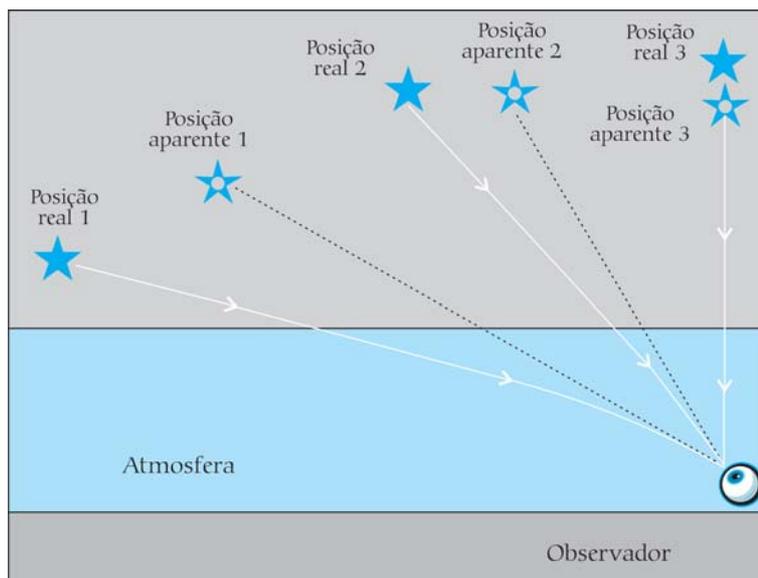


Figura 8 - Devido à refração atmosférica, os raios luminosos parecem vir de uma direção um pouco acima da posição real do astro.

da Terra e que, por ter sido refratada em uma camada atmosférica mais alta e menos densa, sofreu menos espalhamento, deixando essa parte da umbra relativamente brilhante. A região mais próxima do eixo da umbra é iluminada por luz que, tendo atravessado as camadas mais baixas e mais densas da atmosfera da Terra, desvia por refração e espalha mais a luz do Sol, transmitindo luz menos intensa e mais avermelhada [5].

A Fig. 9 indica que a luz desviada pela refração atmosférica para o interior da umbra possui coloração (e intensidade) diferente, variando com o trajeto percorrido ao cruzar a atmosfera.

Dependendo das condições da atmosfera, como por exemplo o tamanho das

partículas, o espalhamento das frequências mais altas que constituem a luz branca solar se dará de maneira diferente. Assim sendo, durante um eclipse total da Lua podem acontecer cores mais ou menos amarelas, laranjas ou vermelhas, sendo que a intensidade da iluminação da Lua também pode variar de um para outro eclipse. O brilho da Lua depende da trajetória que ela segue dentro da umbra (quanto mais perto do centro da umbra passar a Lua, mais escuro será o auge do eclipse) e de quanta luz é refratada na nossa atmosfera para o interior da umbra. Outros fatores que contribuem para eclipses mais escuros são o excesso de nuvens no terminadouro² da Terra e a quantidade de partículas sólidas suspensas na atmosfera, como poeira e

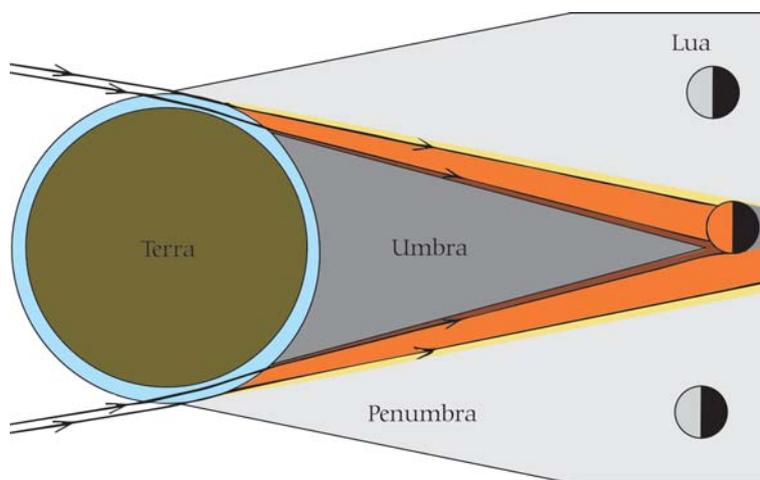


Figura 9 - A luz solar que atravessa a atmosfera, ingressando no cone de sombra da Terra, é amarela alaranjada devido ao espalhamento do azul na atmosfera e é desviada por refração para dentro do cone de sombra.

cinzas vulcânicas. Grandes erupções vulcânicas, que jogam muitas partículas de cinza na atmosfera, geralmente são seguidas durante vários anos por eclipses muito escuros e vermelhos [6]. O astrônomo francês André Danjon propôs uma escala de cinco graus para avaliar o brilho e a cor da Lua durante um eclipse total, atribuindo o grau 0 para eclipses muito escuros, em que a Lua fica quase invisível, até o grau 4 para eclipses em que a Lua fica com tons alaranjados ou acobreados, muitas vezes mostrando uma margem brilhante azulada.

Conclusão

As cores que a lua cheia apresenta dependem da luz solar que chega até ela e é refletida, mas resulta também das condições da atmosfera terrestre, que pode subtrair, por espalhamento, luz com frequência na faixa próxima da cor azul. A atmosfera da Terra também é responsável por podermos enxergar a Lua mesmo em eclipses lunares totais, quando refrata e ao mesmo tempo espalha fortemente os raios do Sol quase tangentes à superfície do planeta, fazendo com que eles iluminem a umbra com luz amarela, laranja e vermelha. Assim, a lua cheia tem cores variáveis durante a sua viagem através

do céu noturno e, mesmo quando escondida à sombra da Terra, nos proporciona um espetáculo inusitado e belo.

Agradecimento

Agradecemos à Profa. Maria Cristina Varriale do IM-UFRGS pela leitura crítica e pelas sugestões apresentadas a este artigo.

Notas

¹O espalhamento da luz é o fenômeno pelo qual a luz, ao interagir com pequenas partículas, sofre mudança aleatória em sua direção. A intensidade da luz espalhada depende do tamanho da partícula comparada com o comprimento de onda da luz. O espalhamento da luz não pode ser confundido com a dispersão da luz. A dispersão acontece se a velocidade de propagação da luz (ou de qualquer onda) em um meio depender da frequência da luz, isto é, luzes com cores diferentes viajam através do meio com velocidades diferentes. Desta forma, na dispersão o índice de refração da luz muda com a frequência. A dispersão acarreta, por exemplo, que a luz branca que atravessa um prisma apresenta-se decomposta nas cores do arco-íris, pois os raios luminosos com frequências diferentes, emergem do prisma

segundo direções um pouco diferentes, sendo a luz vermelha a que menos se refrata e a azul a que sofre maior refração.

²Terminadouro é a margem entre o hemisfério iluminado e o hemisfério escuro de um corpo que não emite luz própria.

Referências

- [1] F.L. Silveira e A. Medeiros, Física na Escola **7**(2), 67 (2006).
- [2] D. Lynch and W. Livingston, *Colors and Light in Nature* (Cambridge University Press, Nova York, 1995).
- [3] C.W. Allen, *Astrophysical Quantities* (The Ahtlone Press, London, 1973).
- [4] I.G. Varela e P.D.C.F. Oliveira, *Uranometria Nova*, Circular Astronômica n. 32. Disponível em <http://www.uranometrianova.pro.br/circulares/circ0032.htm>. Acessado em abril de 2008.
- [5] R.A. Keen, *What will 2004's Lunar Eclipse look like?*. Disponível em: <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEmono/TLE2004Oct28/image/TLE2004keen.html>. Acessado em abril de 2008.
- [6] F. Espenak, *Danjon Scale of Lunar Eclipse Brightness*. Disponível em <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/OH/Danjon.html>. Acesso em 2005.



Manuel Bandeira, Recife, PE
19/4/1886-13/10/1968

Manuel Bandeira e a Lua

Satélite

Fim de tarde.
No céu plúmbeo
A lua baça
Paira
Muito cosmograficamente
Satélite.

Desmetaforizada,
Desmitificada,
Despojada do velho segredo de
melancolia,
Não é agora o golfão de cismas,
O astro dos loucos é dos enamorados,
Mas tão-somente
Satélite.

Ah Lua deste fim de tarde,
Demissionária de atribuições românticas,
Sem show para as disponibilidades
sentimentais!

Fatigado de mais valia,
Gosto de ti assim:
Coisa em si,
- Satélite.

Lua Nova

Meu novo quarto
Virado para o nascente:
Meu quarto, de novo a cavaleiro da
entrada da barra.

Depois de dez anos de pátio
Volto a tomar conhecimento da aurora.
Volto a banhar meus olhos no mônstruo
incruento das madrugadas.

Todas as manhãs o aeroporto em frente
me dá lições de partir:
Hei de aprender com ele
A partir de uma vez
- Sem medo,
Sem remorso,
Sem saudade.

Não pensem que estou aguardando a lua
cheia
- Esse sol da demência
Vaga e noctâmbula.
O que eu mais quero,
O de que preciso
É de lua nova

Poemas extraídos do livro *Bandeira - Antologia Poética* (Livraria José Olympio Editora, Rio de Janeiro, 1980), 10ª ed.