

A LUMINOSIDADE DO ECLIPSE LUNAR TOTAL DE 15-16 DE MAIO DE 2003

Helio de Carvalho Vital - REA/RJ

RESUMO

Este trabalho apresenta e analisa registros visuais e fotográficos obtidos durante o eclipse lunar total de 15-16 de Maio de 2003. Um acervo obtido por 23 observadores experientes, em sua maioria integrantes da Rede de Astronomia Observacional (REA/BRASIL), o qual inclui 27 estimativas, sendo 12 de magnitude visual e 15 do Número de Danjon, além de dezenas de imagens eletrônicas, foi analisado com o objetivo de determinar os padrões de iluminação exibidos pela Lua totalmente eclipsada.

Os valores médios das estimativas de magnitude e Número de Danjon no meio da totalidade, iguais a -2,1 e 2,3, respectivamente, indicam que o eclipse apresentou um brilho intermediário, cerca de apenas 0,4 magnitude inferior ao previsto. As análises também fornecem a distribuição radial de luminosidade da umbra, sugerem os prováveis mecanismos responsáveis pela aparência da Lua durante a fase total do evento e ainda discutem a possível influência de aerossóis vulcânicos no brilho do eclipse.

I - INTRODUÇÃO.

Na noite de 15-16 de maio de 2003, apenas 12 horas após o perigeu, a Lua atravessou a metade setentrional da sombra umbral terrestre, permanecendo em seu interior por 52,7 minutos. Durante a fase total do evento, raios da luz solar atravessaram a atmosfera terrestre de forma rasante e foram desviados para dentro da região mais interna da sombra (a umbra), iluminando suavemente a Lua em Libra. Por não se tratar de um eclipse central, a luz solar incidiu sobre a Lua de forma heterogênea, visto que as áreas mais meridionais de seu disco cruzaram regiões mais internas e, conseqüentemente, muito mais escuras da umbra. Às 3:40 TU (meio do evento), a magnitude do eclipse atingiu seu valor máximo: 1,134, enquanto a Lua apresentava-se próxima ao zênite para observadores do sul brasileiro. Naquele mesmo instante, enquanto o limbo meridional do disco lunar passava a apenas 8,6 minutos de arco ao

norte do eixo da sombra, o limbo setentrional situava-se a 42,0 minutos de arco do centro da sombra e a apenas 4,5 minutos de arco da borda setentrional da umbra.

O eclipse iniciou-se com o primeiro contato penumbral à 01:05 TU. Quase uma hora mais tarde, às 02:03 TU, começou a primeira fase umbral parcial. Entre 03:13,7 TU e 04:06,4 TU, a Lua permaneceu totalmente imersa na umbra. Após a totalidade, veio a segunda fase umbral parcial que terminou às 05:17 TU. Finalmente, o eclipse encerrou-se às 06:15 TU, quando a Lua deixou a penumbra. A trajetória da Lua na sombra terrestre e um mapa que ilustra a visibilidade global do evento são mostrados na Figura 1¹.

Objetivando compreender melhor a complexa distribuição de luz no interior da umbra, que

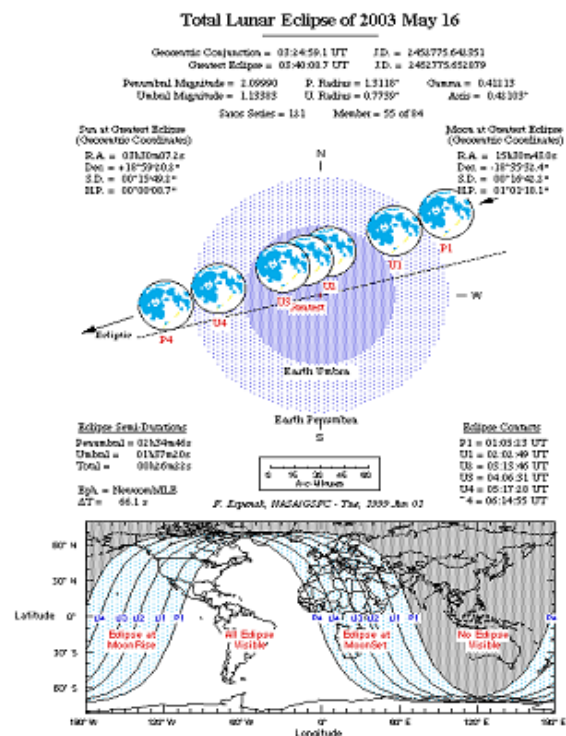


Figura 1: Previsões Globais do Eclipse (cortesia de Fred Espenak - NASA/GSFC)

ainda não pode ser prevista com precisão, vários observadores brasileiros monitoraram o fenômeno e enviaram seus relatórios eletrônicos² para análise, como parte de um esforço coordenado³ para estudar as principais características da umbra, tais quais suas dimensões⁴ e iluminação.

II - OBSERVAÇÕES.

A Tabela 1 lista os nomes dos 23 observadores participantes e suas contribuições. O autor expressa aqui o seu agradecimento a todos eles, congratulando-os pela ótima qualidade e consistência de seus registros, os quais viabilizaram a confecção deste trabalho.

Experiência dos Observadores, Instrumentos e Métodos. A maioria dos observadores participantes possui uma grande experiência na observação de eclipses lunares, sendo que apenas alguns têm experiência mediana. Refletores Newtonianos com aberturas entre 12 e 18 cm (com aumentos em torno de 40 vezes) foram os instrumentos mais usados para observar os contatos com crateras. Por outro lado, a estimativas de contatos de limbo e de magnitudes visuais foram feitas usando-se binóculos 7x50. A técnica do binóculo invertido foi empregada por todos aqueles que estimaram a magnitude visual da Lua na totalidade. A técnica consiste em observar-se o astro através das

Observador	Iniciais	Observações
Alexandre Amorim	AA	Mag, L, LD
Antonio Coelho	AC	L, LD
Antonio Padilla Filho	APF	L
Antonio Rosa Campos	ARC	Mag, L, LD
Carlos Alberto Colesanti	CAC	L, CCD
Diego Moicano Gonçalves	DMG	Mag, L, LD
Edvaldo José Trevisan	EJT	L, LD
Fábio Plocos Carvalho	FPC	Mag, L, LD
Frederico Luiz Funari	FLF	L
Frederico Paiva Quintão	FPQ	L
Giancarlo U. Nappi	GUN	F, A
Helio de Carvalho Vital	HCV	Mag, L, LD
José Carlos Diniz	JCD	F, A
Marilena Mollaco	MM	L
N. T. Frota	NTF	L
Nelson Falsarella	NF	L
Newton Ferreira Funari	NFF	L
Paulo Roberto Moser	PRM	F
Raquel Yumi Shida	RYS	F, L
Rogério Marcon	RM	E
Rosely Gregio	RG	L, LD
Tasso Augusto Napoleão	TAN	L, CCD
Willian Carlos de Souza	WCS	Mag, L, F, A

Tabela 1 - Contribuições Individuais dos Observadores

lentes de um dos monóculos, comparando seu brilho com o de uma estrela de magnitude conhecida, observada simultaneamente através da outra vista, desarmada. A magnitude da Lua é então encontrada compensando-se a perda de brilho ocasionada pela inversão do binóculo. Essa correção foi determinada empiricamente pelos observadores como sendo igual a 5,0 magnitudes para binóculos 7x50.

Sendo: **Mag** - Magnitude Visual; **L** - Estimativas do Número de Danjon; **F** - Fotos; **LD** - Distribuição na Escala de Danjon ou de Cores; **E** - Espectro da Lua Eclipsada e **A** - Animação Gráfica.

Estimativas de Magnitude Visual e do Número de Danjon. A Tabela 2 lista 15 estimativas do Número de Danjon feitas no meio da fase total e 12 estimativas da magnitude visual da Lua imersa na umbra.

Iniciais do Observador	Número de Danjon (L)	Magnitude Visual às 03h:(mm) TU
AA	3,0	-2,5 (46); -3,0 (60)
AC	1,7	-
APF	2,0	-
ARC	2,7	-1,9 (32)
CAC e TAN	1,7	-
DMG e FPC	2,5	-2,2 (33); -3,9 (62)
EJT	1,6	-
FLF e NFF	2,5	-
FPQ	2,5	-
HCV	2,3	-3,3 (16); -3,0 (21); -2,1 (29); -2,1 (32); -3,3 (56); -3,3 (60)
MMe NF	1,5	-
NTF	3,0	-
RYS	3,0	-
RG	2,7	-
WCS	1,5	-2,1 (38)

Tabela 2 - Estimativas do Número de Danjon e Magnitude

Esboços de Distribuições de Danjon e de Cores. Nove observadores enviaram desenhos ou descrições da aparência da Lua durante a totalidade detalhando as configurações de brilho e cores observadas no disco lunar. A forte assimetria na iluminação da Lua é facilmente notada na Fig. 2. Como esperado, o extremo norte do disco (abrangendo cerca de 15% de sua área) permaneceu mais brilhante que o resto do disco durante toda a fase total. Sua cor, predominantemente de creme, logo após o início da totalidade, deu lugar a um tom azulado ou esverdeado alguns minutos depois, seguido de uma coloração avermelhada próximo ao meio do eclipse. Essa seqüência repetiu-se então em ordem inversa, enquanto a Lua gradualmente readquiria seu brilho normal. Adjacente a essa primeira região, situava-se uma outra, de coloração avermelhada, que cobria aproximadamente 40% do disco e que foi descrita pela maioria dos observadores. A parte mais meridional do disco, ocupando cerca de 45% dele,

exibiu uma cor cinza escuro. A Figura 2b, feita pelo observador AA, mostra sua percepção da variação temporal das distribuições de Danjon e de cor enquanto a Lua atravessava diferentes partes da umbra.

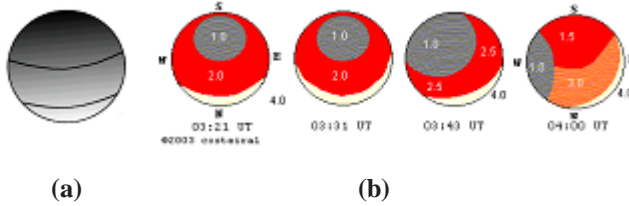


Figura 2: (a) Distribuições de brilho observadas por HCV e (b) por AA (cortesia de Costeira¹⁵) (sul para cima)

Fotos da Totalidade. A Figura 3 constitui-se de fotos⁶ obtidas por WCS [(3a) a (3e)] e por JCD (3f), que mostram claramente a severa não uniformidade nas distribuições de brilho e cores do disco lunar totalmente eclipsado. A coloração avermelhada predomina na foto (3c), que foi tirada no meio da fase total e que contrasta com o tom azulado mostrado nas imagens (3b), (3d) e (3e), quando a Lua encontrava-se mais próxima da borda da umbra, ou com a cor de cobre exibida na foto (3f).

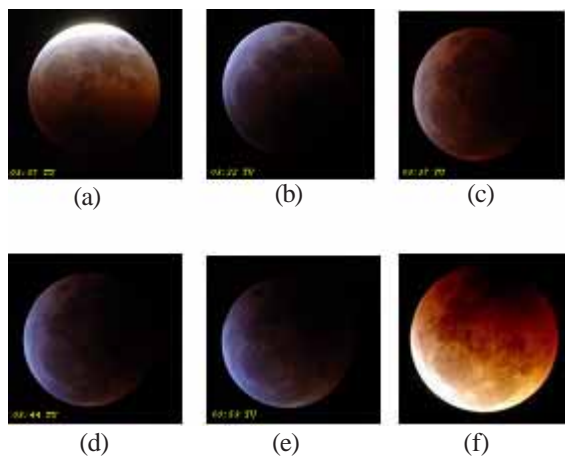
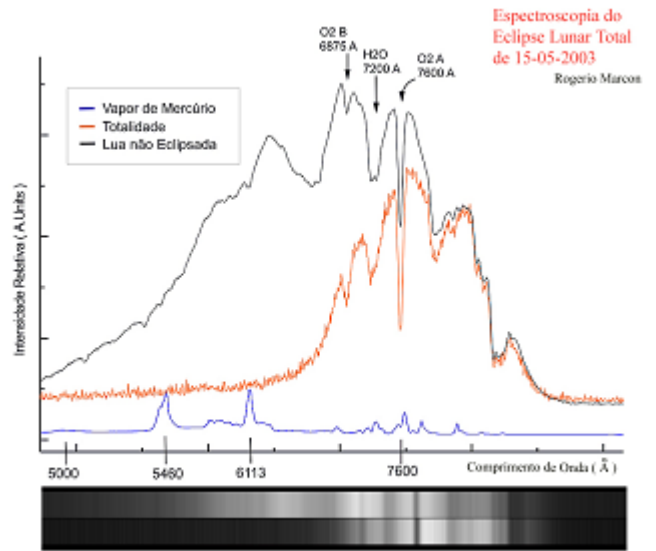


Figura 3: Fotos selecionadas da Lua totalmente eclipsada (cortesia de WCS e JCD)

Espectros da Lua. A Figura 4 compara os espectros da Lua cheia não eclipsada (linha preta, superior) com o obtido no meio do eclipse (linha laranja, inferior) por RM⁷. São mostradas curvas de intensidade e linhas de absorção para ambas as situações. Claramente identificáveis são as depressões, relativamente mais acentuadas no espectro em laranja, oriundas da maior absorção de fótons em moléculas de água e de oxigênio durante o eclipse e a intensificação (escurecimento) das linhas espectrais correspondentes notadas no espectro da Lua totalmente eclipsada (inferior).

Figura 4: Espectros da Lua cheia normal (linha preta) e no meio do eclipse (linha laranja) representados na forma de curvas de intensidade e linhas espectrais (cortesia de RM)



III - ANÁLISES DOS DADOS.

Luminosidade de Danjon. A maioria dos observadores achou o evento “algo mais escuro e com cores mais pálidas do que esperavam” e alguns até mesmo o classificaram como “um eclipse escuro”. No entanto, as estimativas de magnitude mostraram consistentemente que a Lua permaneceu muitas vezes mais brilhante que a estrela de zero magnitude Alfa Centauri durante toda a fase total. Com o objetivo de investigar essa aparente inconsistência, foram analisadas estimativas do Número de Danjon. O Número de Danjon (L) é um parâmetro indicativo da luminosidade de um eclipse. Ele pode assumir valores de 0 (para eventos extremamente escuros, nos quais a Lua fica quase invisível) a 4 (para eclipses muito claros onde a Lua mostra-se com cor laranja ou de cobre e azulada junto à borda da umbra). Portanto, para determinar o brilho da Lua no meio da totalidade, foram reunidas 15 estimativas de L , variando de 1,5 a 3,0 (Tabela 2) e analisadas. A média aritmética do Número de Danjon foi $L_1 = 2,3$ (com um desvio padrão por amostra igual a $\pm 0,6$). Tal valor indica um eclipse de luminosidade intermediária. Uma segunda maneira de calcular-se um valor médio para L seria atribuir diferentes valores às 3 regiões distintas ilustradas na Fig. 2a, ponderando-os nas frações do disco que elas ocupam. Estimativas razoáveis de L (e fração de disco) são: 3,7 (0,15), 2,7 (0,40) e 1,5 (0,45). Como resultado dessa média ponderada, obtém-se $L_2 = 2,3$. Um terceiro método para calcular um valor médio seria converter as estimativas individuais de (L) em magnitudes (m) empregando-se uma correlação obtida a partir de dados de 23 eclipses, a qual é descrita pela Eq. 1 (onde o desvio padrão por amostra é $\pm 0,3$). Ela

produz resultados em boa concordância com os de uma correlação similar encontrada por Westfall⁸:

$$m = 4,2 - 3 L + (L/2)^2 \quad (\text{Eq.1})$$

Em seguida, as magnitudes devem ser somadas na forma de razões de intensidades de luz. O somatório das frações dividido pelo úmero de estimativas fornece um valor médio para m , o qual, por sua vez, pode ser convertido em um Número de Danjon médio (L_3), usando-se novamente a mesma correlação. O resultado para esse eclipse é $L_3 = 2,5$. Finalmente, uma maneira ainda mais sofisticada seria combinar-se o segundo e o terceiro métodos. O somatório das magnitudes convertidas e ponderadas em suas correspondentes frações de áreas fornece $L_4 = 2,1$. Portanto, independentemente do método usado para cálculo de seu valor médio, o Número de Danjon para esse evento situa-se entre 2,1 e 2,5, ou seja, mais provavelmente $L = 2,3 \pm 0,2$, por conseguinte, correspondente a um eclipse de luminosidade intermediária.

Magnitude Visual da Lua. Um gráfico da evolução da magnitude visual estimada da Lua durante a totalidade constitui a Figura 5.

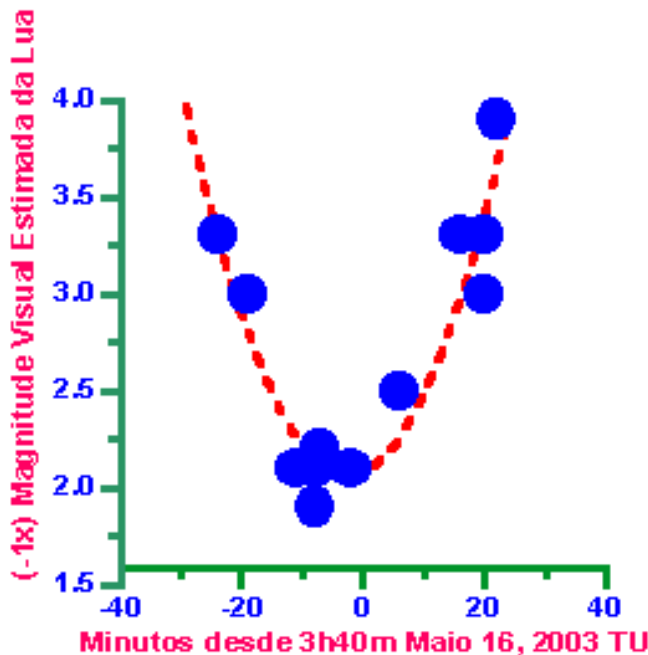


Figura 5: Estimativas da magnitude visual da Lua

Símbolos de cores diferentes foram usados para representar as observações de cinco observadores. A curva tracejada, descrita pela Eq. 2 como uma equação do segundo grau, se ajusta bem às estimativas ($r^2=0,85$). A escala do eixo x representa o intervalo de tempo em minutos em relação ao meio da totalidade (tal que $\Delta T = t - 3h40m TU$). A curva ajustada

foi determinada pelo método dos mínimos quadrados e exibe uma ligeira assimetria em torno do brilho mínimo correspondente à magnitude $-2,1 \pm 0,2$, atingida aproximadamente 2 minutos antes do meio da totalidade. Em decorrência dessa pequena assimetria, a Eq. 2 prevê magnitudes $-3,5$ e $-4,1$ para o início e fim da totalidade, respectivamente.

$$m = -2,10 - 0,0113 \Delta T - 0,00251 \Delta T^2 \quad (\text{Eq.2})$$

A Eq. 1 fornece $L = 2,7 \pm 0,3$ para $m = -2,1 \pm 0,2$, valor que excede em 4 décimos a média de L ($2,3 \pm 0,2$), embora ambos os valores estejam em concordância, quando os erros experimentais são levados em consideração. Uma possível explicação para essa pequena discrepância poderia ser o fato de que a maioria dos observadores, fortemente influenciada pela aparência escura das regiões do centro e sul do disco lunar, deixou de perceber que a região relativamente pequena do extremo setentrional da Lua permaneceu muito brilhante durante toda a totalidade. Em virtude desse marcante contraste, os observadores subestimaram o brilho do eclipse e, conseqüentemente, o Número de Danjon. Além da severa assimetria na iluminação do disco lunar, outros possíveis fatores que poderiam ter contribuído para escurecer a umbra interna e prejudicar as estimativas de brilho do evento seriam: o valor muito elevado da paralaxe lunar (capaz de reduzir em alguns décimos a magnitude da Lua)⁹ e a possível influência de extensas formações de nuvens cirros e estratos ou de concentrações anormalmente elevadas de aerossóis troposféricos ao longo do limbo terrestre.

Distribuição de Brilho e Densidade da Umbra. Objetivando investigar a distribuição de brilho da umbra, as fotos mostradas na Fig. 3 foram analisadas usando-se um programa de processamento de imagens. As imagens foram convertidas para uma escala de 256 níveis de cinza (8 bits). Em seguida, foram obtidos os valores de cinza de elementos ao longo do diâmetro lunar e na direção do centro da umbra. Tais varreduras forneceram valores de cinza digitados ponto a ponto ao longo do diâmetro e que foram convertidos em diferenças de magnitude relativamente à borda lunar. A diferença de magnitude relativa à borda está representada na Fig. 6 em função da crescente penetração na umbra (a partir da borda). A curva exibe um comportamento aproximadamente linear, em concordância com as previsões da simulação mais realista de Karkoschka¹⁰, que leva em consideração os efeitos combinados de nuvens estratos e cirros em grandes altitudes. Outras simulações baseadas nesse modelo, considerando uma atmosfera sem nuvens, ou somente com cirros, predizem um decréscimo total de brilho menor e praticamente insignificante ao longo da região interna da umbra. No

início da totalidade, a Lua havia perdido 9 magnitudes, o que corresponde a uma redução de 4.000 vezes em relação à luminosidade da Lua cheia não eclipsada. Visto que a perda adicional durante a totalidade foi de 1,6 magnitude, a queda total durante o eclipse foi de 10,6 magnitudes, resultando num brilho (**I**) 17.000 vezes inferior ao da Lua cheia normal (**I₀**). A densidade óptica da umbra (**D**)⁹ pode então ser obtida usando-se a Eq.3:

$$D = \log_{10} (I_0/I) = \log_{10} (17,000) = 4,2 \quad (\text{Eq.3})$$

Sabe-se que o valor de **D** pode ultrapassar 6,0 para eclipses muito escuros. Alguns observadores também relataram que a transparência da umbra permitiu que as principais formações lunares e a maior parte do limbo permanecessem perceptíveis durante toda a totalidade. Esse achado reforça a conclusão anterior de que a densidade óptica da umbra não foi significativamente mais elevada do que a prevista.

Figura 6: Perda magnitudinal com a penetração na umbra

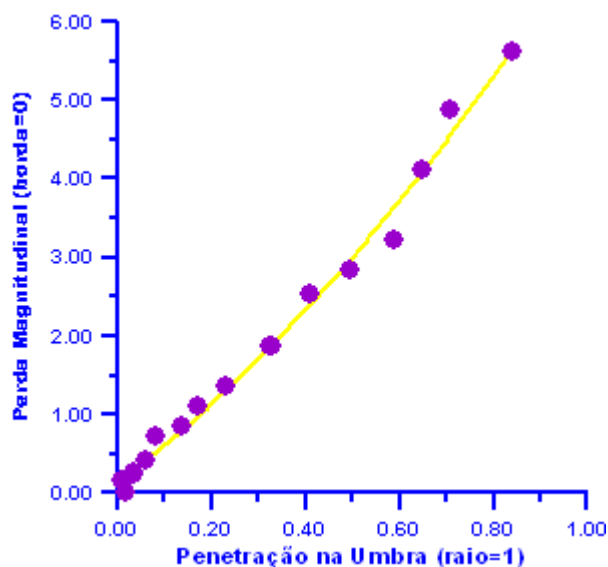


Imagem Refratada do Sol. As configurações de iluminação exibidas pela Lua durante a totalidade podem ser mais facilmente compreendidas imaginando-se como um observador lunar a teria visto. Quando o Sol começou a se esconder por detrás do disco da Terra, sua imagem já havia sido severamente distorcida pela intensa refração ocasionada pela atmosfera terrestre. Dois outros mecanismos também estariam em ação: (1) o espalhamento molecular seletivo na baixa atmosfera (mais intenso em comprimentos de onda mais curtos, de acordo com a Lei de Extinção de Rayleigh ($\approx \lambda^{-4}$), (2) a absorção de luz vermelha por moléculas de ozônio na estratosfera. Como a luz azul é muito mais intensamente espalhada para fora do feixe primário por moléculas de ar e por aerossóis, o primeiro mecanismo faz com que a maior parte do disco solar (comprimido pela forte refração em um segmento de

arco) adquira uma coloração vermelho-escura. Sabe-se que esse mecanismo é o principal responsável pela cor avermelhada exibida pela Lua durante a maior parte da fase total da maioria dos eclipses. Por outro lado, o segundo mecanismo, aliado à refração, teria ocasionado o aparecimento de uma pequena saliência, muito brilhante e de coloração azulada, sobre a parte central do arco. A coloração levemente azulada ou esverdeada do norte lunar, notada no início da fase total, provavelmente deveu-se a esse segundo mecanismo. O brilho selenocêntrico do Sol no meio da totalidade pode ser estimado considerando que a Lua cheia brilha com magnitude -12,7, enquanto é iluminada pelo Sol desobstruído ($m = -26,7$). Portanto, assumindo a mesma queda de 14 magnitudes, pode-se concluir que um observador hipotético situado na superfície da Lua eclipsada veria a imagem residual do Sol brilhar com uma magnitude média igual à da Lua (estimada em -2) subtraída de 14 unidades, ou seja, -16. Se o observador se deslocasse de uma região próxima à borda da umbra, em direção ao centro dela (ao sul), ele veria a saliência azulada gradualmente se achatar, empalidecendo e avermelhando-se, até finalmente fundir-se com o segmento de arco imediatamente abaixo. Como resultado, a espetacular imagem, predominantemente azulada e observada com $m \approx -17$ desde a parte mais setentrional do disco lunar, teria dado lugar a um brilhante segmento de arco cor de cobre ou vermelho claro com $m \approx -15$. O observador estaria então atravessando as regiões centrais do disco da Lua. Prosseguindo em sua jornada, ele veria a imagem residual do Sol se alongar, afinando-se e escurecendo ($m \approx -13$) ao envolver uma extensão cada vez maior do limbo terrestre. Ele estaria então atravessando a parte do disco lunar mais profundamente imersa na sombra terrestre.

Possível Influência de Aerossóis Vulcânicos. A Lua brilha durante a totalidade porque é iluminada por uma pequena fração da luz solar que é atenuada e desviada (por refração) pela atmosfera terrestre (principalmente pela estratosfera) para dentro da umbra. Sabe-se também que aerossóis estratosféricos (originários em sua maior parte de erupções vulcânicas) desempenham um importante papel no espalhamento da luz do Sol e na redução de sua transmissão para dentro da umbra. Essa forte influência deve-se ao fato de que a trajetória óptica efetiva dos raios solares que atravessam uma camada de aerossóis estratosféricos é aproximadamente 40 vezes maior que a espessura vertical da camada.^{11,12} Portanto, o brilho da Lua eclipsada é extremamente sensível à presença de aerossóis na estratosfera e pode ser usado como um parâmetro indicativo da espessura óptica global de aerossóis estratosféricos de origem vulcânica.

Conseqüentemente, a espessura óptica de aerossóis na data de um eclipse pode ser calculada a partir da diferença entre a magnitude observada da Lua e a prevista para o meio do eclipse. Por sua vez, a magnitude prevista pode ser obtida de duas maneiras. A primeira usa simulações computacionais segundo o método de Monte Carlo para determinar as possíveis trajetórias da luz solar, considerando-se uma atmosfera padrão isenta de aerossóis. Em seguida, modifica-a para levar em conta a influência de distribuições de ozônio e de nuvens. A segunda, adotada neste trabalho, usa uma correlação empírica verificada entre a magnitude geométrica e o brilho de 24 eclipses (de 1956 a 2001) nos quais não foi constatada qualquer influência significativa de aerossóis. A correlação ($r^2=0.88$), a qual relaciona a magnitude geométrica (U_{mag}) com o brilho da Lua no meio do eclipse, expresso na escala magnitudinal (m), é dada pela Eq. 4 como:

$$m = -7,34 + 4,29 U_{mag} \quad (\text{Eq.4})$$

Substituindo o valor de U_{mag} ($= 1.134$), obtemos a magnitude prevista para o eclipse de 15 de maio de 2003: $-2,5$. E, portanto, considerando-se que a magnitude no meio da totalidade foi estimada em $-2,1$, a diferença observada de magnitude foi de $\Delta m = +0,4$, donde, segundo Keen¹³, a espessura óptica de aerossóis média (τ) na hora do eclipse pode ser obtida fazendo-se $\tau = \Delta m/40 = 0,010$. No entanto, esse valor de τ coincide com sua própria incerteza, associada às previsões usando-se a Eq. 4 ($\pm 0,01$) e é, portanto, insuficiente para indicar que tenha havido influência de aerossóis vulcânicos no brilho da Lua. Por outro lado, se ela realmente ocorreu, foi pequena e pode ter resultado da erupção do Monte Reventador¹⁴ no Equador, seis meses antes do eclipse. Apenas a título de ilustração, ressalta-se que observações da REA, analisadas segundo o mesmo método, forneceram os seguintes valores para as espessuras ópticas de aerossóis relativas aos eclipses de 9 de dezembro de 1992 e 29 de novembro de 1993: $\tau = +0,122$ e $+0,023$. Sabe-se que esses eclipses lunares totais ocorreram 18 e 29 meses após a explosão do Monte Pinatubo em Junho de 1991.

Espectro Atenuado e Avermelhado.

As diferenças marcantes entre o espectro normal da Lua cheia e o da Lua eclipsada, claramente ilustradas na Fig. 4, resultam dos diferentes caminhos percorridos pela luz solar através da atmosfera da Terra antes de chegar à superfície. No primeiro caso, os raios solares refletidos pela Lua cruzam nossa atmosfera uma única vez, e quase verticalmente, antes de chegarem ao sistema de detecção e contribuírem para formar o espectro de cor preta. No segundo caso, contudo, a luz solar inicialmente atravessa

a atmosfera terrestre numa trajetória rasante, dezenas de vezes mais longa que sua espessura efetiva, antes de ser refletida pela Lua e atravessar a atmosfera da Terra pela segunda vez.. Ao atingir o sistema de monitoração, a luz da Lua, imersa na umbra, produz o espectro atenuado e avermelhado ilustrado em cor laranja. A cor avermelhada resulta do fato de que o espalhamento de fótons de luz azul para fora do feixe primário é bem mais eficiente do que para fótons vermelhos.

IV - CONCLUSÕES.

Registros visuais obtidos durante a fase total do eclipse lunar de 15-16 de Maio de 2003 por observadores brasileiros foram reunidos e analisados. As reduções forneceram uma descrição dinâmica da iluminação da Lua durante a totalidade e consistentemente indicaram que, em desacordo com a impressão de muitos observadores, o eclipse não foi escuro. As análises também forneceram curvas que descrevem o comportamento temporal de parâmetros tais quais a magnitude da Lua e o Número de Danjon. No meio do eclipse, a magnitude visual da Lua foi estimada em $-2,1 \pm 0,2$, correspondendo a uma redução de brilho igual a 17 mil vezes. Além disso, o Número de Danjon foi estimado em $2,3 \pm 0,2$, indicando um eclipse de luminosidade intermediária. O severo contraste observado entre o extremo norte do disco lunar (brilhante) e as escuras regiões do sul do disco, associado ao elevado valor da paralaxe lunar e à presença de muitas formações de nuvens cirros e estratos ao longo do limbo terrestre, podem ter concorrido para escurecer a metade meridional da Lua e causar a subestimação do Número de Danjon. Por outro lado, as análises não descartam a possibilidade de que aerossóis vulcânicos estratosféricos possam ter reduzido ligeiramente a luminosidade do eclipse. Ressalta-se, contudo, que a diferença entre o brilho mínimo previsto e o observado, sendo de apenas 0,4 magnitude, faz com que a espessura óptica média da possível camada de aerossóis ($0,01 \pm 0,01$) se situe dentro da margem de incerteza de seu próprio valor.

V - REFERÊNCIAS.

[1] Espenak, F.; NASA/GSFC ; Páginas sobre Eclipses Solares e Lunares em: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html>

[2] Lista Eletrônica da REA: reanet@yahoogrupos.com.br

[3] Vital, H. C.; Projeto de Observação Eletrônico do Eclipse Lunar Total de 15-16 de Maio de 2003, <http://www.geocities.com/lunissolar2003>.

[4] Vital, H. C., Dimensões da Umbra Durante o Eclipse Lunar Total de 15-16 de Maio de 2003. **Publicação Anual (Reporte) da REA de 2003.**

[5] Amorim, A.; Relatório Pessoal do Eclipse Lunar Total de 15-16 de Maio de 2003, <http://geocities.yahoo.com.br/costeira1/lunar0503.htm>

[6] Willian C. S.; Relatório Pessoal do Eclipse Lunar Total de 15-16 de Maio de 2003, <http://www.geocities.com/williansouza/lunar2003.htm>

[7] Marcon, R.; Espectro do Eclipse Lunar de 15-16 de Maio de 2003 em <http://www.astroimagem.com/Espectro/moonspectra.htm>

[8] Westall, J. E. Thirty Years of Lunar Eclipse Umbrae: 1956 - 1985. **The Strolling Astronomer: Journal of the A.L.P.O.**, v. 33, n. 7-9, pp. 112-117, Jul. 1989.

[9] Link, F. **Eclipse Phenomena in Astronomy.** New York: Springer-Verlag, 1996.

[10] Karkoschka, E. Earth's Swollen Shadow. **Sky and Telescope**, v. 92, n. 3, pp. 98-100, Sep. 1996.

[11] Keen, R. A. Volcanic Aerosols and Lunar Eclipses. **Science**, v. 222, pp. 1011-1013, Dec. 1983.

[12] Keen, R. A. Volcanic Aerosol Optical Thicknesses since 1960, **Bulletin of the Global Volcanism Network**, v. 22, n. 11, Nov. 1997.

[13] Keen, R. A. Volcanic Aerosol Optical Thicknesses Derived from Lunar Eclipse Observations. **Bulletin of the Global Volcanism Network**, v. 26, n. 5, May, 2001.

[14] Global Volcanism Network. <http://www.volcano.si.edu>