

Previsões Para os Próximos Eclipses Lunares Observáveis no Brasil

Hélio de Carvalho Vital

ABSTRACT

PREDICTIONS FOR THE NEXT LUNAR ECLIPSES VISIBLE FROM BRAZIL, by Helio C. Vital: A computer program developed by the author to predict precisely the circumstances of the next lunar eclipses visible from Brazil is described, tested and used for forecasting fifteen eclipses from 1992 a 2008.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia atual já permite ao astrônomo amador sério desenvolver atividades que há poucos anos atrás estavam restritas ao âmbito profissional. Recursos tais como: câmeras e sistemas CCD; telescópios comerciais de alta qualidade com controle eletrônico; e computadores pessoais (PCs) constituem hoje uma realidade acessível à uma fração considerável de amadores.

Com o advento e a proliferação dos PCs, aumentou também o número de publicações voltadas para a computação astronômica. Consequentemente, muitos programas já estão disponíveis no mercado permitindo aos interessados fazer, com a antecedência necessária, previsões de muitos fenômenos celestes, antecipando-se aos anuários e ganhando assim tempo adicional para aprimoramento e divulgação de seus projetos observacionais.

Neste trabalho, um programa desenvolvido pelo autor é descrito, testado e usado para prever, com precisão, as circunstâncias dos próximos eclipses lunares observáveis do Brasil.

2. DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS

O programa constitui uma adaptação de uma versão anterior, muito semelhante, destinada ao cálculo de eclipses solares¹. São utilizados vários algoritmos² baseados nas correlações propostas por Meeus³, e outros, desenvolvidos pelo autor, escritos em linguagem BASIC.

Em resumo, o programa calcula as posições geocêntricas do Sol e da Lua para o instante previsto para a Lua Cheia e verifica se existe ou não a possibilidade de ocorrer um eclipse, com base na distância aparente entre a Lua e o nodo lunar mais próximo.

Em caso afirmativo, ele determina se o eclipse será observável do local considerado verificando se a Lua estará acima do horizonte. A posição da sombra

terrestre é calculada, a partir das coordenadas do Sol, adicionando-se 12 horas à ascensão reta e invertendo-se o sinal da declinação.

Os cálculos são então repetidos iterativamente dentro de intervalos de tempo sucessivamente reduzidos (o inicial é de 6 horas), para acelerar a convergência, até que, por interpolação, encontra-se o instante em que a distância entre a Lua e a sombra atinge o seu valor mínimo.

Em seguida, o programa calcula os instantes do início e fim do eclipse (umbral ou penumbral) interpolando os dois instantes em que a soma dos raios aparentes da Lua e da sombra (umbral ou penumbral, respectivamente) torna-se igual à distância que as separa. Nesses instantes a borda da sombra apenas tangencia externamente o limbo lunar.

O programa pode realizar buscas de eclipses dentro de um intervalo qualquer de tempo e calcular, com a resolução temporal desejada, as circunstâncias para instantes intermediários entre o início e o fim de um eclipse, incluindo o instante em que o Sol cruza o horizonte (se isso ocorrer durante o eclipse). Os dados, os quais podem ser exibidos na forma de tabelas ou gráficos, são os seguintes: data e hora (TU); magnitude do eclipse (MAG) (fração obscurecida do diâmetro lunar); grau de obscurecimento (fração obscurecida do disco lunar); ângulo de posição da sombra da Terra em relação ao centro da Lua (R_s/R_L); altura (ALT) e azimute (AZIM) da Lua.

Nos cálculos são levados em conta os efeitos de aberração, nutação, a forma geóide da Terra, a diferença (ΔT) entre TDT e TUC, a posição geográfica do observador (lat., long. e altitude), o efeito de refração atmosférica, e o aumento da sombra da Terra devido à atmosfera (em torno de 2%. Vários modelos podem ser testados).

3. CÁLCULOS

Utilizou-se o programa para prever os eclipses lunares umbrais que poderão ser observados do Brasil até o início do ano 2010. As previsões são listadas e comparadas com aquelas de Espenak⁴ na tabela 1 e, apenas no caso da magnitude máxima (MAG), também com Meeus⁵, respectivamente (as discrepâncias (ΔMAG), expressas em milésimos de magnitude, estão separadas por uma barra). As letras I, M e F referem-

se respectivamente, aos instantes de início, meio e fim do eclipse. Os instantes do nascer (N) e ocaso (O) da Lua são fornecidos quando ocorrem com o eclipse em andamento. Finalmente, Δt refere-se às discrepâncias, expressas em décimos de minuto, entre as previsões do programa e as da Ref. 4.

Deve-se ressaltar que Meeus⁵ usa uma fórmula diferente no cálculo do raio da sombra, a qual prevê valores menores de magnitude. As coordenadas

TABELAI

Eclipses Lunares Umbrais Observáveis de SP até 01/2010

Hora TU	Δt	Mag	ΔMag	AP	R_p/R_s	Alt	Azím	Obs.
Eclipse 1 em 9-10/12/1992								
I: 21:59.5	+0.3	0		107		4	62	
M: 23:44.0	0.0	1.274	-2/+3	181	2.701	23	49	Total
F: 01:28.6	-0.3	0		254		37	28	
Eclipse 2 em 29/11/1993								
I: 04:40.4	+0.2	0		64		37	327	
M: 06:25.8	-0.2	1.089	-3/+2	356	2.644	21	307	Total
F: 08:11.4	-0.6	0		289		1	294	
Eclipse 3 em 25/05/1994								
I: 02:37.5	0	0		154		84	57	
M: 03:30.1	-0.3	0.246	-3/+2	186	2.772	82	297	Parcial
F: 04:22.7	-0.5	0		217		71	277	
Eclipse 4 em 3 - 4/04/1996								
I: 22:20.9	+0.2	0		93		19	88	
M: 00:09.6	-0.2	1.383	-2/+4	17	2.694	43	75	Total
F: 01:58.4	-0.4	0		301		65	48	
Eclipse 5 em 27/09/1996								
I: 01:12.5	-0.4	0		9		54	47	
M: 02:54.4	+0.1	1.242	-3/+2	162	2.743	64	1	Total
F: 04:36.2	-0.2	0		233		54	314	
Eclipse 6 em 24/03/1997								
I: 02:57.7	+0.1	0		137		67	7	
M: 04:39.3	-0.1	0.921	-3/+3	198	2.640	59	313	Parcial
F: 06:20.9	-0.6	0		258		39	289	
Eclipse 7 em 21/01/2000								
I: 03:01.4	+0.1	0		80		46	4	
M: 04:43.3	-0.2	1.331	+1/+6	7	2.741	41	332	Total
F: 06:25.2	-0.4	0		292		27	310	
Eclipse 8 em 16/05/2003								
I: 02:02.6	-0.1	0		132		76	71	
M: 03:39.8	-0.3	1.134	+1/+4	201	2.776	80	297	Total
F: 05:17.0	-0.6	0		266		58	272	
Eclipse 9 em 8-9/11/2003								
I: 23:32.7	+0.3	0		43		28	55	
M: 01:18.5	0	1.019	-3/+2	337	2.624	44	31	Total
F: 03:04.3	-0.4	0		274		49	356	
Eclipse 10 em 04/05/2004								
N: 20:33.5	-	1.303	-	18	2.764	0	108	Total
F: 22:11.9	-0.3	0		309		21	100	Obs. 1
Eclipse 11 em 28/10/2004								
I: 01:14.5	0.4	0		81		47	34	
M: 03:04.0	0.0	1.312	-1/+5	154	2.665	52	354	Total
F: 04:53.5	-0.2	0		229		41	318	
Eclipse 12 em 3-4/03/2007								
I: 21:30.1	+0.2	0				0	82	
M: 23:20.8	0.0	1.235	-2/+2	209	2.634	24	70	Total
F: 01:11.4	-0.4	0				46	50	Obs. 2
Eclipse 13 em 28/08/2007								
I: 08:50.9	+0.1	0		51		6	262	
O: 09:20.3	-	0.493	-	47	2.745	0	259	Obs. 3
Eclipse 14 em 21/02/2008								
I: 01:43.0	+0.4	0		93		48	36	
M: 03:25.9	0.0	1.110	-1/+4	27	2.682	55	356	Total
F: 05:08.8	-0.1			320		47	319	
Eclipse 15 em 16/08/2008								
N: 20:46.3	-	0.741		134		0	104	
M: 21:09.9	-0.1	0.810	-2/+4	154	2.692	7	102	Parcial
F: 22:44.1	-0.3	0		211		25	93	Obs. 4
Discrepâncias Médias								
$\Delta MAG = (-0.0018 \pm 0.0014)$				$\Delta I = (+0.14 \pm 0.22)$ m				
$\Delta M = (-0.10 \pm 0.13)$ m				$\Delta F = (-0.38 \pm 0.16)$ m				

horizontais da Lua (altura e azimute) durante os eclipses foram calculadas para a cidade de São Paulo (SP).

A tabela 1 não lista eclipses penumbrais (dificilmente perceptíveis) e alguns poucos eclipses de breve visibilidade, somente observáveis de outros pontos do país, no seu início ou fim, e sob condições muito desfavoráveis (com a Lua muito próxima ao horizonte).

Obs. 1: visível a parte final.

Obs. 2: início coincide com nascer da Lua.

Obs. 3: Lua se põe no início.

Obs. 4: Lua já nasce parcialmente eclipsada.

4. TESTE OBSERVACIONAL

Em 18/11/1975, o autor observou, de Brasília, um eclipse lunar total e registrou a posição da borda da sombra em seis diferentes instantes da fase parcial. Tais registros permitiram obter 6 valores instantâneos de magnitude (MAG) e do ângulo de posição (AP) da sombra em relação ao centro do disco lunar.

A tabela 2 compara os valores de MAG e AP calculados pelo programa com os observados. Os cálculos baseiam-se num acréscimo relativo de 2% da sombra devido à atmosfera terrestre. As incertezas observacionais estimadas para MAG resultam da combinação das seguintes fontes de erros estatísticos: indefinição da borda da sombra (± 0.15); imprecisão no traçado e leitura das curvas (± 0.10) e imprecisão no registro da hora (± 0.01), compondo um desvio quadrático médio em torno de ± 0.02 . O erro provável em AP foi estimado em 4° .

TABELA 2

Teste observacional - Eclipse de 18/11/1975

TU	MAG		ΔMAG	AP		ΔAP
	Calc.	Obs.		Calc.(°)	Obs. (°)	
21h37m	0.790	0.771	+0.019	38	40	-2
23 02	0.838	0.846	-0.008	311	313	-2
23 06	0.786	0.804	-0.018	309	310	-1
23 17	0.667	0.678	-0.011	302	306	-4
23 57	0.187	0.156	+0.031	288	295	-7
$\Delta MAG = (+0.003 \pm 0.021)$			$\Delta AP = (-3 \pm 2)^\circ$			

Observa-se uma ótima concordância entre cálculos e observação, considerando-se os erros experimentais, principalmente em magnitude. A pequena discrepância em AP provavelmente resulta de um desvio sistemático no traçado da sombra e do fato de não haver sido aplicada qualquer correção para a libração.

5. CONCLUSÕES

O programa desenvolvido fornece com versatilidade previsões de alta precisão ($\Delta MAG = \pm 0.002$) para eclipses lunares. As principais fontes de erro nos cálculos são as aproximações realizadas nas correlações para o cálculo: da posição da Lua (principalmente, devido

à redução de centenas de termos de ordem mais alta para dezenas) e do Sol; da paralaxe lunar e de ΔT .

Os cálculos realizados mostram que até o início do ano 2010, cerca de 15 eclipses lunares umbrais poderão ser observados do Brasil. Desses, 11 poderão ser observados na fase de totalidade.

6. REFERÊNCIAS

1) Vital, H., “Cálculo de Circunstâncias Locais par os Próximos Eclipses Solares no Brasil”, REA, SP, Reporte n° 4, dez. 91992.

- 2) Duffett-Smith, P., “Astronomy with Your Personal Computer”, Cambridge University Press, 2nd Ed, 1990.
- 3) Meeus, J., “Astronomical Formulae for Calculators”, Willmann-Bell, Inc., 2nd Ed., 1982.
- 4) Meeus, J., “Astronomical Tables of the Sun, Moon and Planets”, Willmann-Bell, Inc., 1983.