

Previsão, Observação e Análise de Eclipses Parciais do Sol

Hélio C. Vital

ABSTRACT

PREDICTIONS, OBSERVATION AND ANALYSIS OF PARTIAL SOLAR ECLIPSES, by Helio C. Vital: The observational results of the partial solar eclipses recently visible from Brazil (Jan 26, 1990; July 11, 1991; and June 30, 1992) are described and compared with predictions developed by the author through a computer program described in REA's "Reporte 4".

1. INTRODUÇÃO.

Embora menos espetaculares do que os eclipses totais, os eclipses parciais do Sol constituem também um belo fenômeno e uma grande oportunidade para que astrônomos amadores empreguem interessantes técnicas observacionais.

A cronometragem precisa dos contatos (melhor que $\pm 1s$), em lugar de coordenadas conhecidas com precisão, usando-se cronômetros ajustados segundo sinais horários (via rádio ou telefone) pode fornecer informações sobre a exatidão das previsões de tais instantes e sobre erros sistemáticos associados à metodologia observacional. Fotografias de boa resolução e com o registro preciso da hora também permitem determinar-se, com incertezas de centésimos, ou mesmo milésimos, a magnitude instantânea do eclipse.

Além disso, cita-se também os estudos para determinação da variação da luminosidade do céu e da temperatura do ar durante o evento. Os primeiros podem ser realizados com o fotômetro de uma câmera comum¹ enquanto que, nos últimos, usa-se termopares² ou termômetros muito sensíveis. Finalmente, existe também a possibilidade de observar-se, ao usar-se grandes aumentos, a silhueta de algum grande acidente do limbo lunar delineado sobre o disco solar³.

Previsões de eclipses solares podem ser encontradas em algumas referências^{4,5}, embora listagens das circunstâncias locais sejam raras e, em geral insuficientes para fornecer aos interessados todos os detalhes necessários para planejamento metuculoso das observações. Daí nasce a necessidade dos amadores desenvolverem uma certa independência em termos de previsões de circunstâncias locais de fenômenos celestes através do desenvolvimento de programa de microcomputadores.

Este trabalho propõe-se a analisar alguns dados obtidos durante os três 'últimos eclipses do Sol observados do Brasil.

2. CÁLCULOS.

Circunstâncias locais de eclipses solares podem ser calculadas usando-se as fórmulas fornecidas por Meeus⁶. Algoritmos, baseados em tais correlações são fornecidos na referência 7.

Os valores teóricos dos instantes de contato e de magnitudes considerados neste trabalho foram obtidos usando-se o programa descrito na referência 8 com algumas modificações.

Em resumo, o programa usa as fórmulas de Meeus para cálculo dos instantes de Lua Nova e verifica se existe a possibilidade de ocorrer um eclipse solar com base na distância aparente entre o centro da Lua e a eclíptica. Em caso afirmativo, são calculadas as posições e diâmetros do Sol e da Lua em relação ao centro da Terra. Aplica-se então a correção de paralaxe, para obter-se tais efemérides relativas à posição geográfica do observador. Em seguida, o programa busca, através de interações, a hora em que a distância angular entre os dois astros é mínima (magnitude máxima) e depois os instantes em que os discos solar e lunar apenas parecem se tocar sem superposição (contatos).

O programa foi ligeiramente aperfeiçoado para levar também em consideração a diferença entre tempo sideral médio e tempo sideral aparente e permitir correções de erros nas coordenadas equatoriais geocêntricas. Finalmente, foi efetuada uma correção no algoritmo para cálculo do tempo sideral médio.

Um teste crítico par o programa consistiu em reproduzir a duração da totalidade observada durante o eclipse de 30/6/92 desde Barra do Chuí. Erros de apenas alguns segundos de arco nas posições da Lua ou do Sol poderiam ocasionar discordâncias de vários minutos em latitude. A duração da totalidade observada foi de 147.5 segundos⁹, enquanto que o valor inicialmente previsto tinha sido de 168 ± 6 segundos¹⁰. buscou-se então a razão da discrepância.

Segundo Meeus, suas correlações para a posição geocêntrica aparente da Lua levam a erros máximos de cerca de 10" em longitude, 3" em latitude e 0.2" em paralaxe⁶. Tais erros podem ser reduzidos a

valores da ordem de 0.1" comparando-se as efemérides calculadas pelo programa com aquelas listadas para 0h TE pela referência 11. As discrepâncias, em geral, de alguns segundos de arco variam suavemente de um dia para outro, na ordem de décimos de segundo. Tal característica permite que elas sejam interpoladas para os instantes de interesse e adicionadas às coordenadas aparentes geocêntricas calculadas pelo programa. Tal procedimento será necessário apenas quando houver necessidade de precisão superior a ± 0.2 minutos em tempo e ± 0.002 em magnitude.

A tabela I mostra tais correções, interpoladas para os instantes dos contatos, em três eclipses do Sol mais recentes. É também listado o valor da diferença⁵ entre o Tempo Universal Coordenado e o Tempo Dinâmico Terrestre (ΔT), outro parâmetro de entrada do programa.

Tabela 1
Correções nas posições Geocêntricas e ΔT .

DATA	$\Delta\alpha_{(Sol)}$	$\Delta\alpha_{(Lua)}$	$\Delta\delta_{(Sol)}$	$\Delta\delta_{(Lua)}$	$\Delta T_{(S)}$
26/01/90	-3.61"	-2.55"	-0.86"	+0.68"	56.7
11/07/91	+3.69"	-3.27"	+0.00	+0.62"	57.4
30/06/92	+0.89"	+6.21"	+0.15"	+0.27"	58.1

Em geral, os erros na previsão dos contatos, associados à precisão limitada das coordenadas geocêntricas calculadas segundo Meeus, devem-se principalmente às discrepâncias em α e são inferiores a ± 15 segundos. Os erros em magnitude, em geral inferiores a ± 0.002 , são ocasionados principalmente pelos desvios em δ .

Comparando-se as posições topocêntricas calculadas pelo programa para o instante de máximo, observado desde Barra do Chuí, para o eclipse de 30/6/92, com aquelas obtidas separadamente (aplicando-se a correção da paralaxe (da ordem de 1°) às coordenadas geocêntricas), verificou-se que havia um desvio para o Norte de quase 14" na declinação da Lua. Uma análise posterior revelou que a causa do problema foi um pequeno desvio no Tempo Sideral ocasionado pelo uso impróprio de uma variável de tempo na subrotina de cálculo do Tempo Sideral Médio. Uma vez corrigido o problema, recalculou-se o tempo de totalidade em Barra do Chuí: 129 ± 4 segundos (a incerteza de 4s deve-se à grande imprecisão na coordenadas geográficas utilizadas) e magnitude máxima = 1.009 (O valor anterior¹⁰ era 1.014).

Cálculos realizados com o programa para outros eclipses mostraram também uma excelente concordância com previsões topocêntricas de outras referências^{4,5}.

3. CRONOMETRAGENS.

Algumas cronometragens do primeiro e último contatos foram extraídas de várias referências¹²⁻¹⁵. Os instantes dos contatos observados, em Tempo Universal Coordenado (O), são comparados com os

calculados pelo programa (C) e apresentados na tab. 2. São também fornecidas as coordenadas geográficas do observador (ϕ, λ) e a altitude (h).

TABELA 2

Observ.	$\phi(S)$	$\lambda(W)$	h	O	C	O-C
26/01/90						
—Início—						
1	22°55.0'	43°15.5'	42m	20h06.05m	20h05.75m	+0.30m
2	30 03.5	51 10.5	15	19 50.7	19 50.5	+0.2
—Fim—						
2	30 03.5	51 10.5	15	21 41.0	21 40.35	+0.65
11/07/91						
—Início—						
3	30 03.5	51 10.5	15	20 02.02	20 01.77	+0.25
4	19 39.1	43 53.1	837	19 55.29	19 55.08	+0.21
5	22 55.3	47 21.3	700	19 56.72	19 56.42	+0.30
6	15 47	47 55	900	19 53.12	19 52.95	+0.17
30/06/92						
—Início—						
4	19 48.6	43 58.4	858	09 51.34	09 51.71	-0.37
7	22 57.4	43 10.8	100	09 53.40	09 53.17	+0.23
8	22 57	43 12	30	09 54.1	09 53.16	+0.9
—Fim—						
1	23 01.7	43 35.4	4	12 14.1	12 14.52	-0.4
4	19 48.6	43 58.4	858	12 09.45	12 09.96	-0.51
7	22 57.4	43 10.8	100	12 15.22	12 15.26	-0.04
8	22 57	43 12	30	12 15.5	12 15.21	+0.3

Foram os seguintes os observadores; (1) H.C. Vital; (2) G.K. Renner; (3) L.A.L. da Silva e C.A. Adib; (4) A.R. Campos; (5) W.J. Maluf; (6) A. Coelho; (7) A. Padilla Fo.; (8) H.R. Lourenço.

Observa-se que as diferenças O-C para o primeiro contato em sua maioria são positivas e giram em torno de 0.2-0.3 minutos. Resta determinar-se se tais discrepâncias devem-se a erros observacionais ou de cálculo. Teoricamente, pode-se prever que decorram alguns segundos até que a área eclipsada do disco solar atinja o limite de resolução do observador, e que maiores aumentos reduzam as incertezas nos tempos de contato.

A maioria das observações da tabela 2 foram realizadas com aumentos inferiores a 60 vezes. O atraso médio na detecção do primeiro contato, caso ele fosse integralmente atribuído a limitações observacionais, seria de $17 \pm 6s$. Tal valor, em boa concordância com aquele obtido das cronometragens (0.2-0.3 m), corresponderia a uma superposição radial de cerca de $8'' \pm 3''$ entre os discos. Contudo, os dados para o último contato, para o qual o valor de O-C deveria ser negativo (segundo-se o mesmo raciocínio), não permitem chegar a uma conclusão definitiva.

Pode-se também verificar que grandes diferenças em O-C podem ocorrer entre cronometragens de observadores geograficamente muito próximos (praticamente com os mesmos valores de C), conforme observa-se na tabela 2. Obviamente, tais erros somente poderiam se originar de problemas exclusivamente

experimentais. Sejam eles resultantes do uso de diferentes instrumentos e diferentes aumentos, de diferenças na sensibilidade e tempo de reação dos observadores ou de erros de ajuste ou manuseio dos relógios ou cronômetros.

4. FOTOGRAFIAS.

Estimativas da magnitude instantânea podem ser feitas através de fotos do eclipse parcial com registro da hora (h,m,s) da exposição. No eclipse de 30/6/92, o autor determinou, a partir de 3 exposições do Sol obtidas em instantes próximos ao máximo, a magnitude máxima para a cidade do Rio de Janeiro (RJ): 0.836 ± 0.007^{16} . Tal valor, em perfeita concordância com o previsto por Espenak⁵, pode ser reproduzido também pelo programa do autor depois de aperfeiçoamento (o valor previsto anteriormente tinha sido de 0.843^{10}).

5. REGISTROS FOTOMÉTRICOS.

Com o progressivo obscurecimento do disco solar durante um eclipse do Sol, a quantidade de luz difundida na atmosfera se reduz proporcionalmente. Tal redução pode ser facilmente monitorada usando-se uma câmera fotográfica comum que possua um fotômetro embutido. O método foi descrito e usado na referência 1.

O autor, usando o mesmo método, determinou que no final do eclipse de 30/6/92 o brilho do céu era da ordem de 20 vezes superior ao do instante de máximo. Contudo, variações na nebulosidade podem ter aumentado significativamente esse valor.

6. REFERÊNCIAS.

1) Vital, H.C., "A Observação Astronômica Durante o Crepúsculo", Reporte nº 3 da REA - SP, Dez. 1990.

2) Sinnott, R.W., "How to View the Partial Solar Eclipse" - Sky & Telescope, pp. 79-85, July 1991.

3) Sidwick, J.B., "Observational Astronomy for Amateurs", Dover Publications, Inc., NY, 1971.

4) Espenak, F., "Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035", Sky Publishing Corp., Cambridge, MA, 1988.

5) Bishop, R.L., "Observer's Handbook", The Royal Astronomical Society of Canada.

6) Meeus, J., "Astronomical Formulae for Calculators", Willmann-Bell, 2nd Ed., Richmond, VA, 1982.

7) Duffett-Smith, P., "Astronomy with your Personal Computer", 2nd Ed., Cambridge University Press, NY, 1990.

8) Vital, H.C., "Cálculo de Circunstâncias Locais para os Próximos Eclipses Solares no Brasil", Reporte nº 4, REA, Dez. 1991.

9) da Silva, L.A.L., Circulares Brasileiras de Astronomia, nº 220, jul. 1992.

10) Vital, H.C., Projeto Observacional - 149/92, REA.

11) "Éfemérides Astronômicas", SCT, CNPq, Obs. nacional, RJ.

12) Fichas-Padrão para Eclipses Solares - REA, jun. 1992.

13) da Silva, L.A.L., CBA's nº 124; 186; 192.

14) Coelho, A., boletim Informativo do CASB, Brasília, DF.

15) Comunicação Pessoal.

16) Padilla, A.F.; Vital, H.C.; Lara, M.F.; Afonso, I.F.; "Argo Navis", ano III, nº 10, abr.-ago. 1992, Rede Rio de Astronomia, RJ.