

Cálculo de Circunstâncias Locais Para os Próximos Eclipses Solares no Brasil

Hélio de Carvalho Vital

1. INTRODUÇÃO.

A computação astronômica é hoje uma ferramenta indispensável a todo amador interessado em minimizar o seu grau de dependência em relação às previsões oficiais, ganhando assim tempo adicional para planejamento e aprimoramento de seus projetos observacionais.

Neste trabalho, um programa computacional, desenvolvido pelo autor, é descrito, testado e usado como uma ferramenta para prever-se, com alta precisão, circunstâncias locais para os próximos eclipses solares observáveis no Brasil.

Na elaboração do programa, três diretrizes foram seguidas. A primeira delas foi usar-se a metodologia de cálculo mais simples e direta possível, mesmo que isso implicasse num aumento do tempo de execução. As outras duas diretrizes levaram à maximização da versatilidade e da precisão dos cálculos.

2. DESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS.

Essencialmente, os cálculos consistem na obtenção das posições topocêntricas do Sol e da Lua para instantes próximos ao da Lua Nova. Alguns algoritmos foram obtidos das referências 1, 2 e 3, enquanto outros foram desenvolvidos pelo autor, compondo um só programa em linguagem BASIC.

Uma vez obtido o instante da Lua Nova, são calculadas as posições geocêntricas do Sol e da Lua, as quais, por sua vez, são convertidas em topocêntricas, aplicando-se a correlação de paralaxe. Os cálculos são repetidos em iterações sucessivas buscando-se, por interpolação, o instante em que a distância aparente entre o Sol e a Lua, observados do local de interesse, atinja o seu valor mínimo. O intervalo inicial para a busca do instante de maior aproximação topocêntrica Sol-Lua é fixado em 6 horas, sendo sucessivamente reduzido durante as iterações, para acelerar a convergência.

Os instantes de início e fim dos eclipses são obtidos de forma semelhante, usando-se o instante de máximo no cálculo da primeira estimativa grosseira a ser usada nas iterações. São então interpolados os dois instantes em que a soma dos raios aparentes do Sol e da Lua é igual a distância instantânea separando os dois astros. Nesses instantes os limbos lunar e solar apenas se tocam, sem superposição.

O programa também calcula os parâmetros de interesse para um número qualquer de instantes intermediários entre o início e o fim do eclipse, incluindo o instante em que o Sol cruza o horizonte (se isso ocorrer

durante o eclipse). Os parâmetros, calculados para os instantes de interesse, os quais podem ser exibidos na forma de tabelas ou gráficos, são os seguintes: data e hora (TU); magnitude do eclipse (fração obscurecida do diâmetro solar); grau de obscurecimento (fração obscurecida do disco solar); ângulo de posição da Lua em relação ao Sol; razão entre os raios topocêntricos aparentes do Sol e da Lua; altura e azimute do Sol. Nos cálculos são levados em conta os efeitos de aberração, nutação, a forma geóide da Terra, a diferença entre TDT e TU, a posição geográfica do observador (lat., long. e altitude), a distinção entre posições e diâmetros geocêntricos e topocêntricos e o efeito de refração atmosférica.

O programa oferece ainda as seguintes opções adicionais: realizar busca de todos os eclipses solares dentro de um intervalo de tempo arbitrário, identificando se serão ou não visíveis do lugar escolhido, e em caso positivo, calculando todos os parâmetros de interesse; efetuar os cálculos mesmo que o Sol não esteja acima do horizonte; calcular parâmetros de interesse em intervalos de tempo arbitrários; calcular o instante do Pôr-do-Sol; ao limbo inferior, ou ao superior.

3. TESTE DO PROGRAMA

O programa computacional desenvolvido foi exaustivamente testado e aperfeiçoado. Comparações com várias previsões de circunstâncias locais obtidas das referências 3 e 4 foram efetuadas. A tabela 1 mostra tais comparações. Os cálculos foram realizados para o local de "maior eclipse" (onde, no instante de máximo do eclipse, a sombra da Lua mais se aproxima do centro da Terra).

**TABELA 1 - TESTES DO PROGRAMA
CÁLCULO DO INSTANTE DE MAIOR
ECLIPSE EM TEMPO UNIVERSAL (TU)**

DATA	REF03 (h m s)	REF04 (h m s)	PROGRAMA (h m s)	ΔT (s) (ref 4)
26/01/90	19:31:22	19:30:27	19:30:30	+03
22/07/90	03:03:05	03:02:10	03:02:01	-09
15/01/91	23:53:49	23:52:54	23:53:37	+43
11/07/91	19:07:00	19:06:03	19:05:53	-10

CÁLCULO DO INSTANTE DE INÍCIO DO ECLIPSE EM 26/01/90

(COORD.: $\lambda = 43^{\circ}15'32.2''$; $\phi = -22^{\circ}55'2.4''$; ALT, = 30 m)

OBSERVAÇÃO PROGRAMA ΔT(s)
 26/01/90 20:06:03 20:05:44 -19

$$\bar{\sigma}_T = \pm 0.4 \text{ min} \quad \bar{\sigma}_{\text{mag}} = \pm 0.002$$

Observa-se que as discrepâncias entre a Ref. 04 e os resultados do programa (0.1 - 0.7 min) são bem inferiores àqueles entre as Refs. 3 e 4, embora tenham sido obtidos pelo mesmo autor, sendo a última apenas uma atualização da primeira. Outras comparações com a Ref. 04, mostram discrepâncias, em geral, inferiores a 0.003, em magnitude.

Verificou-se que o erro de 19s, relativo à comparação com a observação, não pode ser atribuído a erros nas posições geocêntricas do Sol e da Lua (caso corrigidas, o instante previsto seria 20h05m42s). Deve-se concluir então que resulta da composição de outras fontes de erro tais como: a correção de paralaxe (mais provável, devido ao valor de cerca de 1° para a Lua), ou o cálculo dos diâmetros topocêntricos (incertezas muito pequenas para explicar a discrepância). Contudo, análises meticulosas do algoritmo não revelaram nenhuma inconsistência, ou erro grosseiro.

4. PREVISÕES PARA OS PRÓXIMOS ECLIPSES SOLARES NO BRASIL.

Nas tabelas 2-6 são fornecidas as circunstâncias locais calculadas pelo programa, para algumas cidades selecionadas, de todos os eclipses solares visíveis no Brasil até o ano de 2006.

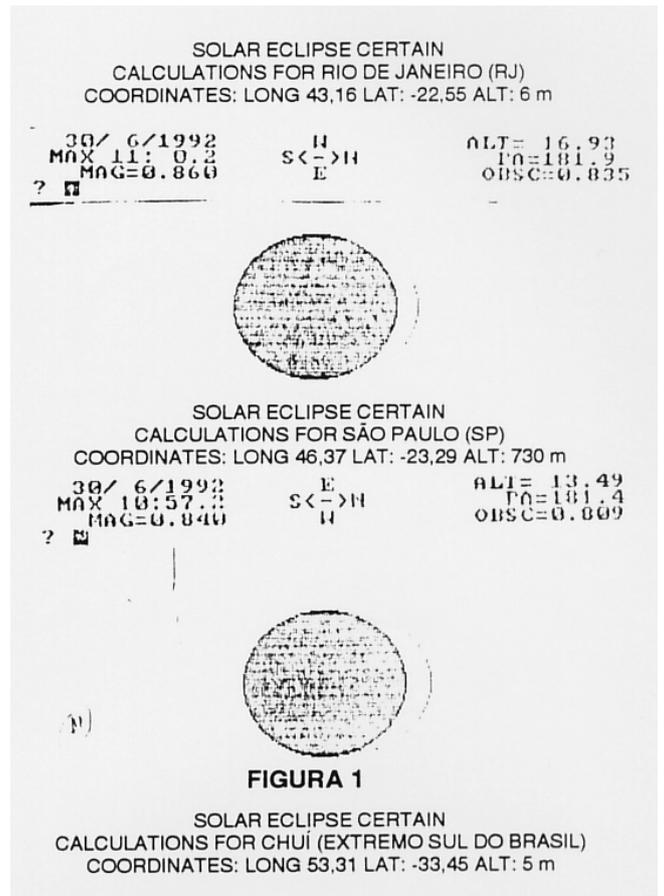
4.1. ECLIPSE SOLAR DE 30/06/1992 (TOTAL NO EXTREMO SUL DO BRASIL)

PARCIAL em quase todo o país com o Sol nascente ainda baixo. Melhor visibilidade na Região Sul, seguida da Sudeste. A figura 1 ilustra o aspecto do eclipse no instante de máximo para as capitais do Rio e São Paulo.

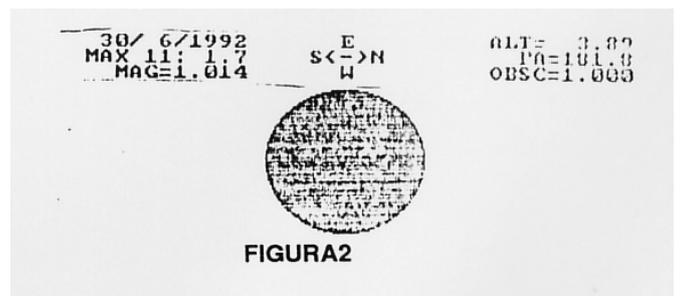
TOTAL no extremo sul do Brasil: Chuí. A figura 2 exibe as circunstâncias locais para Chuí, na forma de tabela; como intervalo expandido centrado no instante de máximo (para obtenção do tempo de totalidade); e na forma gráfica.

**TABELA 2
 INSTANTE DE MÁXIMA MAGNITUDE**

Local	Hora(TU)	mag	obsc.	alt.	obs.
R.Janeiro	11:00	0.86	0.84	17°	I: 9:53 F: 12:15
S.Paulo	10:57	0.84	0.81	14	I: 9:53 F: 12:09
P.Alegre	10:59	0.95	0.95	7	I: 10:19 F: 12:09
Brasília	10:51	0.62	0.54	15	I: 9:51 F: 11:58
Recife	11:03	0.54	0.44	33	I: 9:58 F: 12:14
Chuí(RS)	10:37	1.047	1.00	4	I: 10:37 F: 12:10
				TOTAL	2m44s



PHEN	DATE/TIME (UT)	MAG	OBSC	PA	LM/BS	ALT	AZIM
30/ 6/1992							
RIS	10:37:4	0.630	0.548	276.1	1.0451	-0.22	52.3
	10:47:3	0.791	0.746	269.3	1.0457	1.43	60.9
	10:58:57	0.997	0.992	259.8	1.0455	3.41	59.3
MAX	11: 1:45	1.014	1.000	181.8	1.0466	7.89	58.9
	11:10:15	0.883	0.963	95.0	1.0472	5.45	57.6
	11:22:45	0.703	0.656	93.2	1.0477	7.89	59.9
	11:34:39	0.526	0.426	92.9	1.0485	9.49	54.1
	11:46:23	0.355	0.242	92.8	1.0492	11.45	52.2
	11:58:08	0.184	0.093	92.8	1.0499	13.32	50.2
END	12:10:22	0.000	0.000	92.3	1.0503	14.62	49.0



4.2 ECLIPSE SOLAR DE 03/11/1994 (TOTAL NO SUL DO BRASIL).

PARCIAL em quase todo país, exceto na região de totalidade. Sol bem alto sobre o horizonte. Melhor visibilidade na Região Sul, seguida do sudeste. A figura 3 ilustra os instantes de máximo para o Rio e São Paulo.

TOTAL no norte do Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina (ex.: Criciúma- SC). A magnitude máxima em Florianópolis deverá chegar a 0.986.

TABELA 3
INSTANTE DE MÁXIMA MAGNITUDE

Local	Hora(TU)	mag	obsc.	alt.	obs.
R.Janeiro	13:03	0.78	0.74	66°	I: 11:47F: 14:29
S.Paulo	12:57	0.85	0.82	62	I: 11:42F: 14:22
P.Alegre	12:59	0.97	0.97	57	I: 11:46F: 14:21
Brasília	12:43	0.65	0.58	58	I: 11:33F: 14:03
Recife	13:00	0.23	0.13	73	I: 12:05F: 14:00
Florianópolis	13:00	0.99	0.99	60	I: 11:45F: 14:24
Criciúma	13:00	1.051*	1.00	59	TOTAL 4m

*Obs.: Razão topocêntrica: raio da Lua/Raio do Sol.

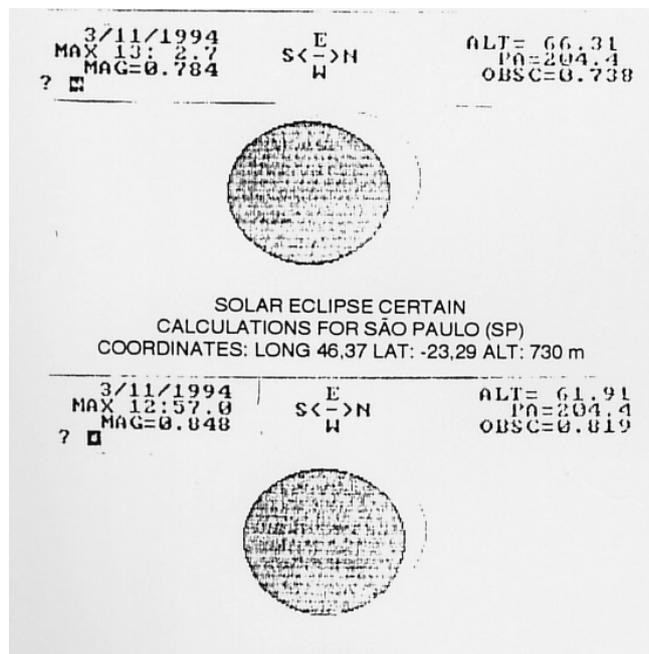


FIGURA 3

4.3 ECLIPSE SOLAR DE 29/04/1995 (ANULAR NO N/NE DO BRASIL).

PARCIAL em quase todo o país. Melhor visibilidade nas regiões Norte e Nordeste.

ANULAR no litoral do Piauí, Maranhão e Pará (Es.: Belém, cujo máximo está ilustrado na figura 4).

TABELA 4
INSTANTE DE MÁXIMA MAGNITUDE

Local	Hora(TU)	mag	obsc.	alt.	obs.
R.Janeiro	18:54	0.42	0.30	20	I: 17:33F: 20:02
S.Paulo	18:48	0.40	0.28	23	I: 17:25F: 19:57
P.Alegre	18:29	0.25	0.14	27	I: 17:17F: 19:31
Brasília	18:55	0.58	0.47	26	I: 17:19F: 20:13
Recife	19:17	0.85	0.79	12	I: 17:51F: 20:12
Belém	19:06	0.965*	0.89	30	ANULAR

*Obs.: Razão topocêntrica: raio da Lua/Raio do Sol

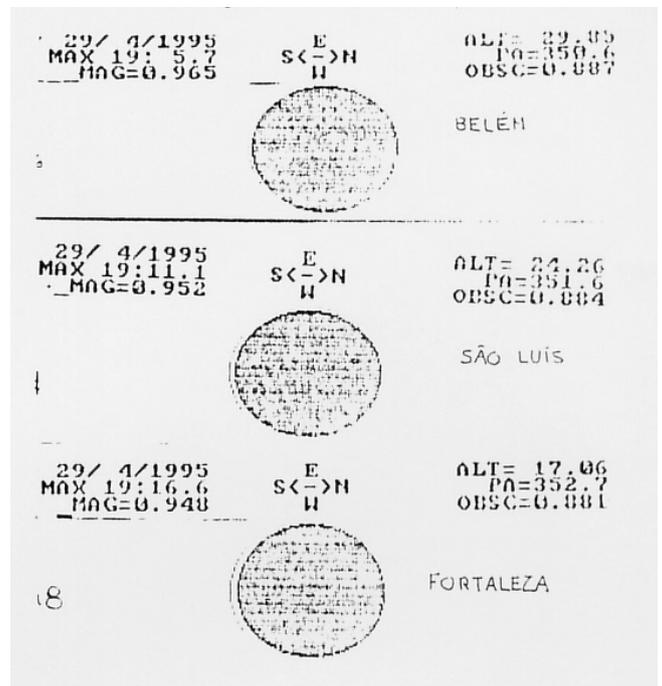


FIGURA 4

4.4. ECLIPSE SOLAR DE 21/06/2001 (PARCIAL NO BRASIL).

PARCIAL na maior parte do país. Melhor visibilidade na Região Sudeste. A faixa de totalidade situa-se no Oceano Atlântico, a sudeste do Brasil e não cruza o nosso território.

TABELA 5
INSTANTE DE MÁXIMA MAGNITUDE

Local	Hora(TU)	mag	obsc.	alt.	obs.
R.Janeiro	10:35	0.75	0.69	12	
S.Paulo	10:33	0.72	0.65	9	
P.Alegre	10:33	0.84	0.80	2	
Brasília	10:31	0.48	0.37	11	
Recife	10:44	0.46	0.35	29	

4.5. ECLIPSE SOLAR DE 29/03/2006 (TOTAL NO NORDESTE DO BRASIL)

PARCIAL em quase todo o Leste Brasileiro ao nascer do Sol.

TOTAL numa pequena faixa que compreende Natal (RN), com o Sol nascente, totalmente eclipsado, cerca de 3° acima do horizonte. O fim da faixa de totalidade corresponde ao lugar onde o Sol nasce totalmente eclipsado.

TABELA 6
INSTANTE DE MÁXIMA MAGNITUDE

Local	Hora(TU)	mag	obsc.	alt obs.
R.Janeiro	8:58	0.27	0.16	0°
S.Paulo	9:14	0.16	0.08	0
P.Alegre	8:21	0.96	0.95	3
Brasília	8:20	0.98	0.99	3
Recife	8:36	1.035	1.00	3 TOTAL

5. CONCLUSÃO.

Desenvolveu-se e testou-se um programa versátil e original que calcula com uma boa precisão (erro médio

em tempo = 0.4 min e em magnitude = 0.002), circunstâncias locais de eclipses solares.

Utilizou-se o programa para prever as condições de visibilidade dos próximos eclipses solares. Verificou-se que 5 novos eclipses poderão ser vistos de algum ponto do Brasil até o ano 2006. A fase de totalidade atravessará o sul do Brasil em 1992 e, novamente, em 1994. Em 1995 um eclipse anular será visto das Regiões Norte e Nordeste do Brasil, enquanto que, em 2001 um eclipse parcial será visível. Finalmente, em 2006, em algum ponto do Nordeste, o Sol deverá nascer totalmente eclipsado.

6. REFERÊNCIAS.

1. Jean Meeus, "Astronomical Formulae for Calculators".
2. Peter Duffett-Smith, "Astronomy with Your Personal computer".
3. Fred Espenak, "Fifty Year Canon of Solar Eclipses 1985-2035", NASA.
4. Fred Espenak, "Eclipses in 1991", "Observer's Handbook 1991", Roy Bishop, Royal Astronomical Society of Canada.