

Um manuscrito de cerca de 1767, do P. José Monteiro da Rocha, S.J. com uma solução matemática para a obtenção da longitude pelas distâncias lunares

José Manuel Malhão Pereira

Academia de Marinha

(Lisboa, Portugal)

Resumen

Se presenta un manuscrito del P. José Monteiro da Rocha S.J. conservado en la Biblioteca Nacional de Lisboa, que trata sobre los métodos astronómicos para el cálculo de la longitud.

Tras una exposición sobre la evolución de los métodos que habían estado vigentes para la obtención de la longitud, y una breve biografía de el autor del manuscrito, se describe su contenido, destacando su importancia y la labor de este antiguo jesuita que merece ocupar uno de los lugares más destacados en la historia de la Ciencia en Portugal y, también, en la Europa de su tiempo.

El trabajo se completa con varios apéndices. En el primero se ofrece en índice detallado del manuscrito y, en los siguientes, se ofrecen algunos ejemplos prácticos de los métodos expuestos.

Palabras Clave: Portugal, Navegación, Ciencia, Astronomía, Cálculo de la longitud, Manuscritos.

Abstract

This paper presents a manuscript by Padre José Monteiro da Rocha, S.J., preserved in the Biblioteca Nacional of Lisbon, which discusses the astronomical methods for the calculation of longitude.

After expounding the evolution of methods which had been in use to obtain longitude, and offering a short biography of the author of the manuscript, its contents are described, stressing their importance and the achievement of this historic Jesuit who is worthy of one of the most prominent places in the history of Science in Portugal and, indeed, in the Europe of his time.

The paper is completed with several appendices: the first offers a detailed index of the manuscript, and the following ones give practical examples of the methods expounded.

Key Words: Portugal, navigation, science, astronomy, calculation of longitude, manuscripts.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de mi ponencia hoy, es presentar a ustedes un manuscrito del Padre Jesuita José Monteiro da Rocha, relativo a los métodos astronómicos de obtención de la longitud, que, paralelamente, a los métodos mecánicos, fueron desarrollados a mediados del siglo XVIII¹.

Después de una intensa búsqueda para encontrar una solución a este importante problema de la navegación marítima, no fue posible resolverlo hasta mediados del siglo XIII, porque tan sólo en esa época se produjo el desarrollo necesario de la astronomía, de la matemática y de los instrumentos de observación.

Fue el Prof. Henrique Leitão, un excelente investigador y gran amigo, quien me llamó la atención acerca de este manuscrito de la colección Pombalina de la Biblioteca Nacional de Lisboa, que supongo fechado en 1767 y que, probablemente, fuera escrito en Brasil.

La influencia de la Compañía de Jesús en el desarrollo de la Ciencia en la península ibérica y en sus dominios, dispersos por el mundo, no ha recibido todavía el tratamiento debido, aunque algunos estudios recientes han demostrado que su contribución a la difusión de la cultura científica, a través de los numerosos centros docentes que tenían en España, Portugal y en sus territorios ultramarinos, fue mucho más importante de lo que se había supuesto².

-
1. Se trata del *Methodo De achar a Longitude Geográfica no mar y na terra Pelas observações y cálculos da Lua Para o uso da Navegação Portuguesa*, Pelo P. José Monteiro da Rocha, Ms. 511 da Coleção Pombalina, Lisboa, Biblioteca Nacional, s.d.
 2. Sobre este tema véase, por ejemplo, Henrique Leitão, «Notes on the Contents and Fate of the Western Scientific Influence in Japan in the Sixteenth and Seventeenth Centuries», in *História das Ciências Matemáticas. Portugal y Oriente*, Lisboa, Fundação Oriente, 2000; Henrique Leitão, «Os Primeiros Telescópicos em Portugal», in *Actas do 1.º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência y da Técnica*, (Universidade de Évora, Universidade de Aveiro), Évora, 2001; Henrique Leitão, «Jesuit Mathematical Practice in Portugal, 1540-1759», in *Archimedes*, vol. 6, *The New Science and the Jesuit Science: Seventeenth Century Perspectives*, ed. by Morchedai Feingold, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, s.d.; Ugo Baldini, «The Portuguese Assistancy of the Society of Jesus and Scientific Activities in its Asian Missions Until 1640», in *História das Ciências Matemáticas. Portugal y Oriente*, Lisboa, Fundação Oriente, 2000; Henrique Leitão, «A Periphery Between Two Centres?», in *Travels of Learning. A Geography of Science in Europe*, ed. by Ana Simões et ali, Kluwer Academic Publications, Dordrecht/Boston/London, 2003. En

El manuscrito tiene un total de 106 hojas, 212 páginas (en la fotografía 1 se reproduce la primera de ellas), escritas con letra muy legible, y de ellas he elaborado un índice descriptivo que acompaño como Apéndice I.

Como más adelante comentaré, deduzco que el trabajo fue ofrecido por el autor al marqués de Pombal, probablemente en 1767.

BREVE EXPOSICIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA OBTENCIÓN DE LA LONGITUD

Antes de proseguir, es conveniente exponer algunas ideas relativas a los procesos de obtención de la longitud.

Es, por demás, conocida la carrera por la longitud, y los diferentes medios para obtenerla. José Monteiro da Rocha, en la introducción de más de 20 páginas de su importante trabajo, es extremadamente elocuente, dado que hace un resumen muy riguroso de todo lo acaecido desde el siglo XV al XVIII.

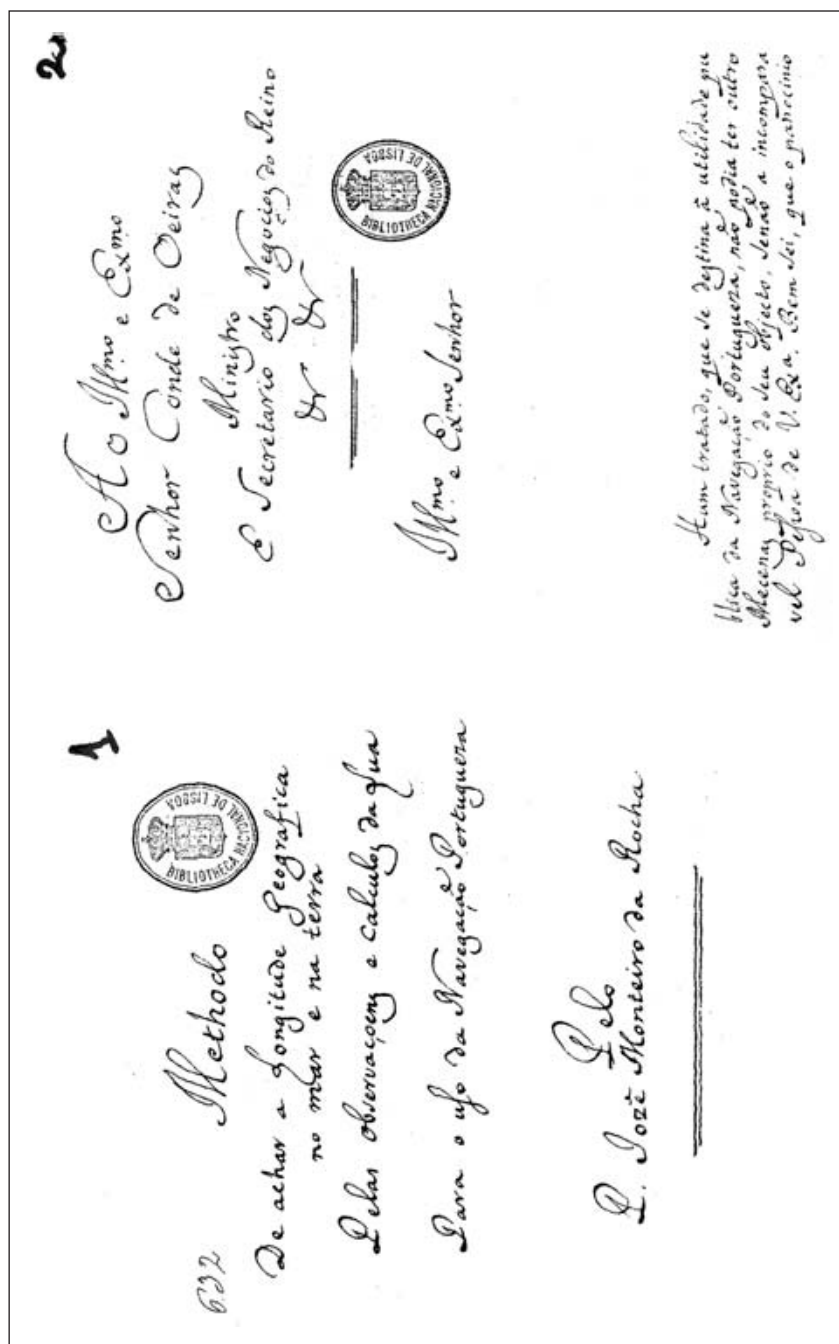
Después de describir el método geométrico (la estima), el método de la variación magnética de la aguja, y el mecánico, con el empleo del reloj que conservaba, a bordo, la hora del meridiano de referencia (el cronómetro), describe el método astronómico, al cual dedica más de 11 páginas³.

Sus consideraciones sobre los diferentes métodos son de tal modo eruditas y rigurosas, que merecerían una atenta lectura por todos los interesados. Por ahora, intentaré, solamente, darles una idea breve del principio de los métodos astronómicos que Monteiro da Rocha indica, y que están relacionados con la Luna, y su movimiento relativamente rápido en la esfera celeste.

El método astronómico se basa en la medición del tiempo respecto al Sol, teniendo en cuenta que este astro describe, en 24 horas, su movimiento

todos estos trabajos se pone de manifiesto la red de contactos, experiencias y saberes proporcionados por los jesuitas, de diferentes nacionalidades, que trabajaban en los dominios españoles y portugueses.

3. Cf., op. cit., folios 4 a17v. El método astronómico se describe en los folios 12 a 17 v.



Fotografía 1. Reproducción parcial de los dos primeros folios del ms 511 de la colección Pombalina, de la Biblioteca Nacional de Lisboa, del cual es autor José Monteiro da Rocha.

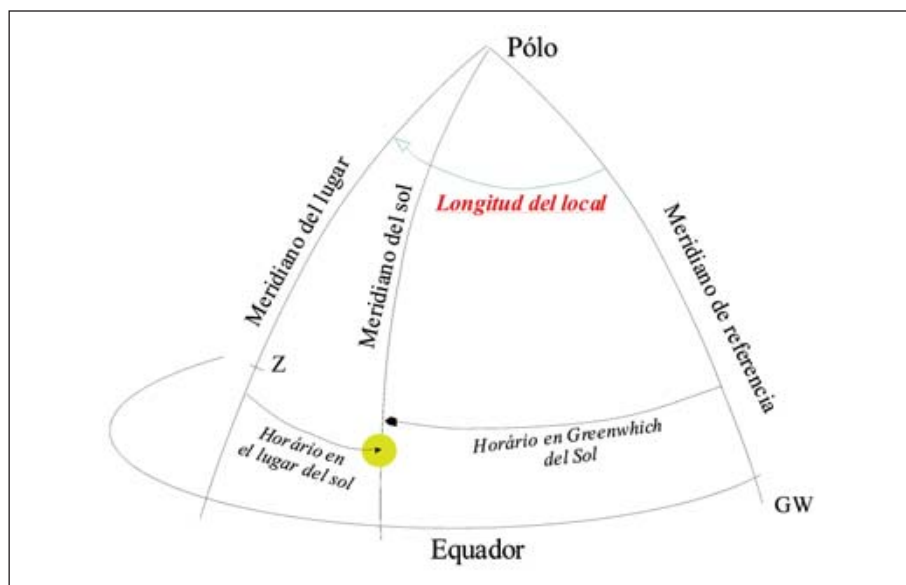


Figura 1. Principio de la determinación de la longitud por métodos astronómicos.

aparente en torno a la Tierra, que corresponde a 360 grados. La diferencia entre los meridianos de dos lugares, su longitud, corresponderá a la diferencia entre la hora solar de cada uno de esos lugares.

En la figura 1 se representan esquemáticamente, en la esfera celeste, el Ecuador y tres meridianos (el de Greenwich, actual meridiano de referencia), el meridiano del Sol (o su círculo horario), y el meridiano del lugar. Se representan también los ángulos horarios, en el lugar y en Greenwich, del Sol. La longitud local es, por definición, el ángulo representado en la figura.

Para obtener esta longitud, únicamente es necesario, y en este caso particular, restar el ángulo horario del Sol en Greenwich, al del lugar.

Para obtener el segundo término es necesario, solamente, calcular con rigor una altura del Sol en el lugar en el que se pretende determinar la longitud y, por medio de su declinación y de la altitud del lugar, que se necesita con precisión, resolver el triángulo esférico que se muestra en la figura 2.

El horario del Sol en Greenwich, o en Lisboa, o en la isla de Hierro, o, lo que es lo mismo, su ángulo con el meridiano de referencia, se puede

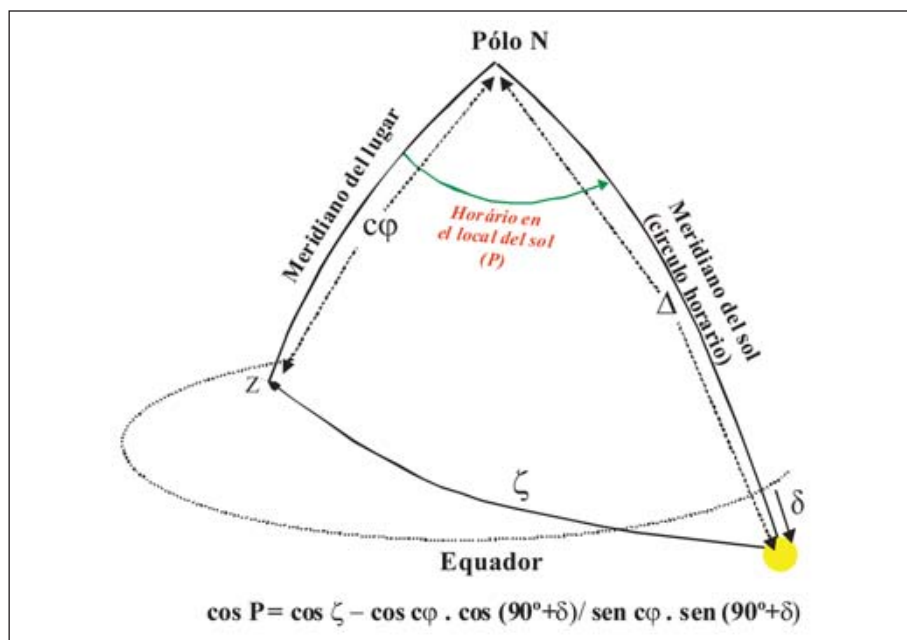


Figura 2. La determinación del horario del Sol.

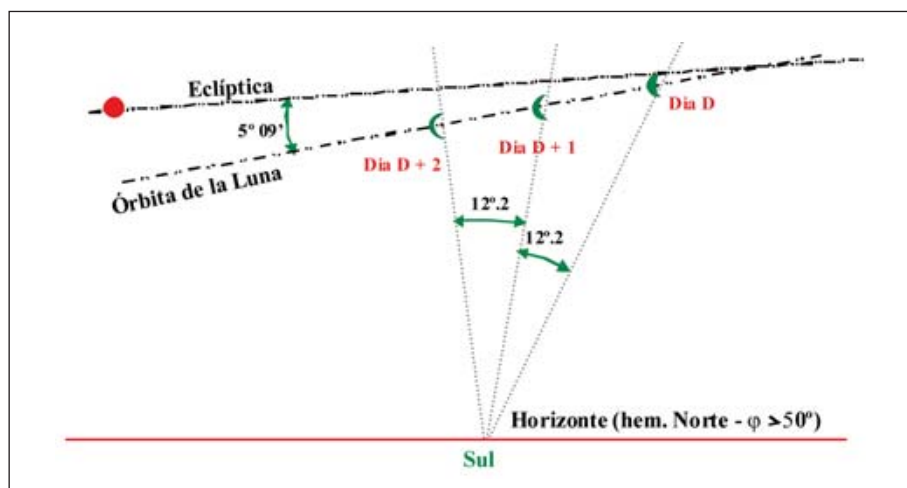


Figura 3. Movimiento relativo de la Luna respecto al Sol. En relación con las estrellas, su movimiento es de cerca de $13^\circ,2$ por hora.

conservar a bordo por medios mecánicos; por ejemplo, con un reloj suficientemente preciso que, además de conservar la hora por largos períodos, la mantenga de forma regular.

Sabiendo que el Sol, la fuente de la hora, se mueve, aparentemente, en la esfera celeste 360° por cada día de 24 horas, si conocemos sus posiciones, en cualquier momento, respecto al lugar y al meridiano de referencia, con 1 minuto de error en tiempo, podemos conocer la longitud con un rigor de 15 minutos de arco.

Otra posibilidad, para conocer la hora del meridiano de referencia, es utilizar fenómenos astronómicos que sucedan, simultáneamente, en todos los lugares de la Tierra y que se puedan prever con rigor. Este es el caso de los eclipses y otros fenómenos de los satélites de Júpiter, y los eclipses de la Luna⁴.

Otra posibilidad es la de utilizar el movimiento relativamente rápido de la Luna en relación con otros cuerpos celestes que se encuentran en las proximidades de su órbita, que no es muy lejana de la del Sol⁵. En realidad, la Luna da una vuelta completa en la esfera celeste, relativamente al Sol (mes lunar), en aproximadamente 29 días y medio, por lo que cada día se mueve en relación con el Sol, por término medio, cerca de $12^\circ 12'$ o unos $30',5$ por hora⁶. Este movimiento corresponde al intervalo de tiempo que transcurre entre dos conjunciones consecutivas de la Luna con el Sol, o el intervalo entre dos novilunios.

Esta última característica del movimiento de la Luna es la que será utilizada como reloj y hará posible a los navegantes, a partir de mediados del siglo XVIII, calcular la longitud en el mar con un rigor aceptable y fiable, lo que es muy importante.

-
4. Galileo verificó, por ejemplo, que cada año hay cerca de 1.000 eclipses de los satélites de Júpiter, lo que corresponde a cerca de tres al día.
 5. La órbita de la Luna forma con la eclíptica un ángulo de, aproximadamente, $5^\circ 09'$, por lo que los astros que se encuentren cerca de la eclíptica serán apropiados para este fin.
 6. El movimiento relativo a las estrellas o revolución sideral, es naturalmente más rápido, teniendo en cuenta que el Sol también se mueve relativamente respecto a estos últimos astros. En estas condiciones, la revolución sideral de la Luna tiene una duración aproximada de 27 días y un tercio.

Sin duda, el invento del cronómetro por John Harrison fue una importante conquista, pero la utilización de la Luna con el método de las distancias, se mantuvo a bordo de los buques, debido al elevado precio de los cronómetros y a su funcionamiento irregular y muchas veces imprevisible, que no permitía confiar en la longitud que, con ellos, se obtenía. Solamente, a partir de la difusión, vía radio, de las señales horarias, fue posible confiar en las informaciones del cronómetro, pero esto solo ocurrió desde comienzos del siglo XX.

Como prueba de lo señalado, pueden verse las copias de dos diarios de navegación portugueses de 1789 y 1858 (fotografía 2), en los que se encuentran los cálculos de la longitud por distancias lunares. En el de 1858 está registrada, también, la longitud obtenida diariamente por el cronómetro⁷.

Veamos, ahora, muy rápidamente, cuál es el principio del método de las distancias lunares. Como he señalado antes, el movimiento relativamente rápido de la Luna, en la esfera celeste, es para el Sol de algo más de 12 grados por día, lo que equivale, aproximadamente, a 30",5 de arco por minuto de tiempo. Para las estrellas, debido a que el movimiento es más rápido, será de 33" de arco por minuto de tiempo.

Si se elabora una tabla (fotografía 3), donde estén previstos las horas y los ángulos que la Luna hace con el Sol y las estrellas previamente elegidas, para el meridiano de referencia, y todo ello calculado con rigor, la

7. Las imágenes fueron tomadas de dos diarios de navegación portugueses de la Biblioteca de la Academia de Ciencias de Lisboa. Cf. *Diario Nautico de Joaquim José Pereira seguindo viagem de Lisboa, para Pernambuco no Navio denominado N.S. da Graça, Resolução, offerecido Á Real Academia de Marinha*, Ms. 41 (1) da Série Azul, Lisboa Academia das Ciências. Este viaje se realizó entre diciembre de 1794 y junio de 1795. Es muy curiosa la información del autor del diario, que ha avistado tierra con un error de longitud estimada de 6° 23' 15", y la deducida del cálculo está errada en 55' 35". El otro diario es el *Diario Nautico do Porto para o Rio de Janeiro, Feito a bordo da galera Bella Portuense, de que é Proprietário o Sr. Francisco Ignacio Xavier*, y fue escrito por António Jacintho da Cunha, el comandante del buque (Lisboa, Biblioteca do Museu da Marinha, Reservados). Es interesante advertir que llevaba a bordo el cronómetro n.º 131, con el cual se determinaba, casi diariamente, la longitud. Pero al acercarse a tierra, fueron tomadas varias distancias lunares, pudiendo verificar que el error del cronómetro era, en ocasiones, apreciable. Las tablas de distancias lunares sólo fueron retiradas definitivamente del *American Ephemeris & Nautical Almanac* en 1912. Cf. <http://www.clockwk.com/lunars/na.html>.

V. JANEIRO de 1789.			
• Distancias do centro da Lua ao Sol, e ás Estrelas.			
D.	Distancias	de 11 ^h 23 ^m 00 ^s de 5 ^h 23 ^m 00 ^s de 5 ^h 23 ^m 00 ^s	de 5 ^h 23 ^m 00 ^s de 5 ^h 23 ^m 00 ^s
1	α	57 49 41	56 22 37
2	Aries	46 7 46	43 39 52
3	Aldebaran.	67 7 30	65 37 30
4	β	55 1 42	53 29 59
5	γ	42 40 33	41 6 40
6	δ	30 1 44	28 25 45
7	ε	59 16 31	57 37 23
8	ζ	45 54 1	44 12 20
9	η	68 0 45	66 12 55
10	θ	53 28 19	51 37 49
11	ι	38 38 46	36 46 54
12	κ	77 11 53	75 17 59
13	λ	62 2 8	60 8 49
14	μ	47 1 7	45 9 32
15	ν	32 17 6	30 28 7
16	ξ	65 28 37	61 42 51
17	ο	49 33 51	47 51 19
18	π	113 43 15	112 4 58
19	ρ	100 47 45	99 12 32
20	σ	88 16 26	86 44 9
21	τ	76 7 38	74 38 1
22	υ	64 18 48	62 51 27
23	φ	52 46 51	51 21 23
24	χ	41 29 5	40 5 16
25	ψ	60 55 18	59 27 38
26	ω	49 14 10	47 46 34
27	α	70 17 41	68 48 35
28	β	58 21 45	56 51 42
29	γ	45 56 51	44 55 21
30	δ	33 53 41	32 53 11

VI. JANEIRO de 1789.			
• Distancias do centro da Lua ao Sol, e ás Estrelas.			
D.	Distancias	de 11 ^h 23 ^m 00 ^s de 5 ^h 23 ^m 00 ^s de 5 ^h 23 ^m 00 ^s	de 5 ^h 23 ^m 00 ^s de 5 ^h 23 ^m 00 ^s
1	α	51 28 50	50 11 14
2	Aries	40 15 55	38 47 51
3	Aldebaran.	61 6 18	59 35 25
4	β	48 53 17	47 20 31
5	γ	36 23 20	34 48 18
6	δ	23 36 43	21 51 43
7	ε	65 49 23	64 11 45
8	ζ	52 37 51	50 57 15
9	η	39 6 16	37 23 59
10	θ	60 47 14	58 57 58
11	ι	46 4 59	44 13 37
12	κ	31 11 31	29 19 55
13	λ	69 36 28	67 42 44
14	μ	54 29 56	52 37 22
15	ν	39 36 33	37 46 11
16	ξ	25 3 25	23 11 18
17	ο	70 35 30	68 48 13
18	π	56 27 58	54 43 50
19	ρ	42 46 13	41 5 20
20	σ	120 20 3	118 40 18
21	τ	107 12 25	105 35 41
22	υ	94 29 8	92 55 25
23	φ	82 9 23	80 38 28
24	χ	70 10 57	68 42 30
25	ψ	58 30 54	57 4 33
26	ω	47 6 20	45 41 43
27	α	66 46 15	65 18 29
28	β	55 4 41	53 37 2
29	γ	43 23 51	41 56 18
30	δ	64 20 31	62 51 1
31	ε	52 20 28	50 49 5

Fotografia. Tabela náutica portuguesa para el año de 1789, publicada por la Academia de las Ciencias.

comparación de este ángulo con el que haya sido medido en el lugar de la observación, nos permitirá conocer la hora del meridiano de referencia.

Su comparación con la hora local obtenida por la observación de la altura del Sol y, por consiguiente, de su ángulo con el meridiano del lugar (o conservada por un reloj regulado previamente para esa hora) permitirá conocer la longitud.

Pero el problema es un poco más complicado, porque los datos, para la tabla de horas y ángulos, se refieren al centro de la Tierra, y siendo medidos los ángulos en su superficie, es necesario reducirlos a esa referencia. Además, como la Luna está muy cerca de la Tierra, los efectos de paralaje son apreciables, como puede verse en la siguiente figura.

En estas condiciones, todos los cálculos se tienen que reducir al centro de la Tierra y, como el movimiento de la Luna respecto al otro astro no es muy sensible, todo se tiene que efectuar con el mayor rigor posible.

Sólo para documentar las observaciones necesarias, se muestra esta fotografía tomada durante las experiencias que hicimos a bordo del Sagres, hace algunos años. Pienso que esta imagen no necesita palabras. Se advierte que son necesarios tres observadores, con tres instrumentos, y una cuarta persona encargada de registrar las observaciones⁸. (Figura 5).

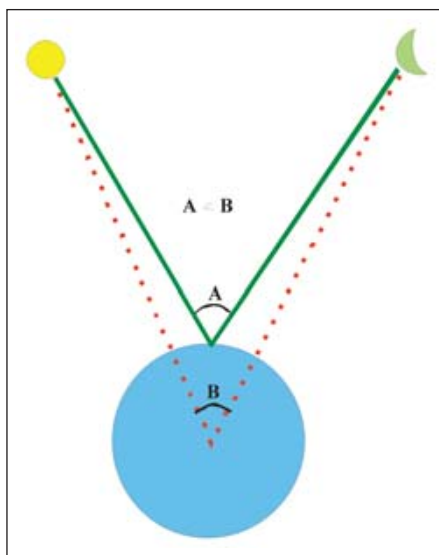


Figura 4. El problema de la paralaje, en las distancias lunares.

8. Cf. José Manuel Malhão Pereira, *Experiências com Instrumentos Antigos de Navegação*, Lisboa, Academia de Marinha, 2000, p. XIV-45. Véase el «Esboço histórico da sua evolução [del método de las distancias lunares]», pp. 36-XIV-39.

Finales del siglo XVIII



Mediados del siglo XVIII



Fotografía 4. Octantes.



Figura 5. *Observando distancias lunares a bordo del Sagres, en el año 2000.*

Resumiendo, podemos señalar que, para dar una solución aceptable al cálculo de la longitud, se precisan:

- Efemérides astronómicas muy rigurosas. Esto es muy difícil para la Luna, debido a la irregularidad de sus movimientos, por causa de su proximidad a la Tierra.
- Instrumentos de observación muy precisos.
- Herramientas de cálculo con el rigor suficiente para reducir las distancias y calcular la hora local, entre otras muchas operaciones.
- Adaptación de los cálculos al ambiente de a bordo, y a la deficiente preparación de los pilotos.

Todo esto sólo fue posible a mediados del siglo XVIII, cuando se dieron todas las condiciones necesarias. En efecto, esto sólo se produjo tras el descubrimiento de los logaritmos, cerca del primer cuarto del siglo XVII; del invento de un instrumento de reflexión, el octante, hacia 1731; y de la elaboración, desde finales del siglo XVII hasta mediados del siglo XVIII, de efemérides suficientemente precisas.

Los estudios subsiguientes para adaptar el método a bordo de los inestables navíos, a lo largo de todo el siglo XVII y parte del XIX, hicieron que pudiera ser utilizado durante más de siglo y medio, hasta la difusión

73

An. 1767.
 Dia 29. Dec. 12h 20' 31" temp. med. lat. 42° 20' Bor
 alt. de fua 17° 58' 42" de Alvorcán 51° 2' 16"

A. 85.46	C. Sen. d. 0.00124	a. 85.40	C. Sen. d. 0.00124
B. 72.2	C. Sen. B. 0.02171	b. 38.58	C. Sen. b. 0.20184
C. 71.57	Sen. f. g. 68772	c. 73.58	Sen. c. 9.37237
229.59	Sen. f. g. 9.53205	198.30	Sen. f. 9.93898
A. 118.485	Joma. 19.54775	0 13.38	Joma. 19.51805
E. 29.95	Sen. 9.77197	0 60.20	Sen. 9.74701
F. 42.475	de... 36.025		de. 34.51
	G. ... 72.25		g. ... 69.42


2° A3 J 17° 58' 42" L 51° 2' 16"
 # 87. 17 K 72. 1. 18. M. 38. 57. 44

Sen. H. 9.9995116	Sen. J 9.4604766	Sen. P. 9.605689
Sen. K. 9.9782596	Sen. g 9.8973283	Sen. g 9.9913462
Sen. M. 9.7465179	Sen. 9.3802109	Sen. g. 3.010200
Sen. 9.7762891	de. 13° 53' 11"	Sen. 9.9229421
de. 36° 41' 10"	0. 6. 56. 35	de. ... 56° 52' 9"
M. 18. 20. 55	P. 18. 20. 55	R. ... 33. 7. 51.
	g. 25. 17. 10	
	11. 24. 0	
	g. 48. 36. 0	

J. 84. 52. 41	C. Sen. J. 0.0017376	Alvorc. 66° 57' 31"
D. 35. 29. 0	C. Sen. F. 0.0019919	Al. 26. 58
E. 33. 7. 51	Sen. X. 9.8710918	Long. de fua 35. 8. 33
213. 29. 32	Sen. Z. 9.2907223	
V. 106. 44. 46	Joma. 18. 8. 65. 496	
X. 21. 52. 5	Sen. 9.4327718	
Z. 11. 15. 46	de. 16° 42' 59"	
	Dist. 31. 25. 56	

Fotografía 5.
 Ejemplo de cálculo, en el
 Manuscrito de
 Monteiro da Rocha
 (folio 73).
 Cálculo para obtención
 de la longitud celeste
 de la Luna,
 auxiliar para obtener
 la longitud.

96


Taboas Geray
 Calculadas
 Para uso das Observações da Longitude

Taboa I

Inclinação do horizonte e altura do Sol	Inclinação da latitude
1. 1. 31"	1. 1. 31"
6. 2. 23	6. 2. 23
12. 2. 39	12. 2. 39
18. 3. 15	18. 3. 15
24. 4. 00	24. 4. 00
30. 4. 50	30. 4. 50
36. 5. 11	36. 5. 11
42. 5. 50	42. 5. 50
48. 6. 11	48. 6. 11
54. 6. 31	54. 6. 31
60. 7. 7	60. 7. 7
66. 7. 59	66. 7. 59
72. 8. 25	72. 8. 25
78. 8. 56	78. 8. 56
84. 9. 19	84. 9. 19
90. 9. 59	90. 9. 59
96. 10. 16	96. 10. 16
102. 10. 55	102. 10. 55
108. 11. 19	108. 11. 19
114. 11. 55	114. 11. 55
120. 12. 19	120. 12. 19
126. 12. 55	126. 12. 55
132. 13. 19	132. 13. 19
138. 13. 55	138. 13. 55
144. 14. 19	144. 14. 19
150. 14. 55	150. 14. 55
156. 15. 19	156. 15. 19
162. 15. 55	162. 15. 55
168. 16. 19	168. 16. 19
174. 16. 55	174. 16. 55
180. 17. 19	180. 17. 19
186. 17. 55	186. 17. 55
192. 18. 19	192. 18. 19
198. 18. 55	198. 18. 55
204. 19. 19	204. 19. 19
210. 19. 55	210. 19. 55
216. 20. 19	216. 20. 19
222. 20. 55	222. 20. 55
228. 21. 19	228. 21. 19
234. 21. 55	234. 21. 55
240. 22. 19	240. 22. 19
246. 22. 55	246. 22. 55
252. 23. 19	252. 23. 19
258. 23. 55	258. 23. 55
264. 24. 19	264. 24. 19
270. 24. 55	270. 24. 55
276. 25. 19	276. 25. 19
282. 25. 55	282. 25. 55
288. 26. 19	288. 26. 19
294. 26. 55	294. 26. 55
300. 27. 19	300. 27. 19
306. 27. 55	306. 27. 55
312. 28. 19	312. 28. 19
318. 28. 55	318. 28. 55
324. 29. 19	324. 29. 19
330. 29. 55	330. 29. 55
336. 30. 19	336. 30. 19
342. 30. 55	342. 30. 55
348. 31. 19	348. 31. 19
354. 31. 55	354. 31. 55
360. 32. 19	360. 32. 19
366. 32. 55	366. 32. 55
372. 33. 19	372. 33. 19
378. 33. 55	378. 33. 55
384. 34. 19	384. 34. 19
390. 34. 55	390. 34. 55
396. 35. 19	396. 35. 19
402. 35. 55	402. 35. 55
408. 36. 19	408. 36. 19
414. 36. 55	414. 36. 55
420. 37. 19	420. 37. 19
426. 37. 55	426. 37. 55
432. 38. 19	432. 38. 19
438. 38. 55	438. 38. 55
444. 39. 19	444. 39. 19
450. 39. 55	450. 39. 55
456. 40. 19	456. 40. 19
462. 40. 55	462. 40. 55
468. 41. 19	468. 41. 19
474. 41. 55	474. 41. 55
480. 42. 19	480. 42. 19
486. 42. 55	486. 42. 55
492. 43. 19	492. 43. 19
498. 43. 55	498. 43. 55
504. 44. 19	504. 44. 19
510. 44. 55	510. 44. 55
516. 45. 19	516. 45. 19
522. 45. 55	522. 45. 55
528. 46. 19	528. 46. 19
534. 46. 55	534. 46. 55
540. 47. 19	540. 47. 19
546. 47. 55	546. 47. 55
552. 48. 19	552. 48. 19
558. 48. 55	558. 48. 55
564. 49. 19	564. 49. 19
570. 49. 55	570. 49. 55
576. 50. 19	576. 50. 19
582. 50. 55	582. 50. 55
588. 51. 19	588. 51. 19
594. 51. 55	594. 51. 55
600. 52. 19	600. 52. 19
606. 52. 55	606. 52. 55
612. 53. 19	612. 53. 19
618. 53. 55	618. 53. 55
624. 54. 19	624. 54. 19
630. 54. 55	630. 54. 55
636. 55. 19	636. 55. 19
642. 55. 55	642. 55. 55
648. 56. 19	648. 56. 19
654. 56. 55	654. 56. 55
660. 57. 19	660. 57. 19
666. 57. 55	666. 57. 55
672. 58. 19	672. 58. 19
678. 58. 55	678. 58. 55
684. 59. 19	684. 59. 19
690. 59. 55	690. 59. 55
696. 60. 19	696. 60. 19
702. 60. 55	702. 60. 55
708. 61. 19	708. 61. 19
714. 61. 55	714. 61. 55
720. 62. 19	720. 62. 19
726. 62. 55	726. 62. 55
732. 63. 19	732. 63. 19
738. 63. 55	738. 63. 55
744. 64. 19	744. 64. 19
750. 64. 55	750. 64. 55
756. 65. 19	756. 65. 19
762. 65. 55	762. 65. 55
768. 66. 19	768. 66. 19
774. 66. 55	774. 66. 55
780. 67. 19	780. 67. 19
786. 67. 55	786. 67. 55
792. 68. 19	792. 68. 19
798. 68. 55	798. 68. 55
804. 69. 19	804. 69. 19
810. 69. 55	810. 69. 55
816. 70. 19	816. 70. 19
822. 70. 55	822. 70. 55
828. 71. 19	828. 71. 19
834. 71. 55	834. 71. 55
840. 72. 19	840. 72. 19
846. 72. 55	846. 72. 55
852. 73. 19	852. 73. 19
858. 73. 55	858. 73. 55
864. 74. 19	864. 74. 19
870. 74. 55	870. 74. 55
876. 75. 19	876. 75. 19
882. 75. 55	882. 75. 55
888. 76. 19	888. 76. 19
894. 76. 55	894. 76. 55
900. 77. 19	900. 77. 19
906. 77. 55	906. 77. 55
912. 78. 19	912. 78. 19
918. 78. 55	918. 78. 55
924. 79. 19	924. 79. 19
930. 79. 55	930. 79. 55
936. 80. 19	936. 80. 19
942. 80. 55	942. 80. 55
948. 81. 19	948. 81. 19
954. 81. 55	954. 81. 55
960. 82. 19	960. 82. 19
966. 82. 55	966. 82. 55
972. 83. 19	972. 83. 19
978. 83. 55	978. 83. 55
984. 84. 19	984. 84. 19
990. 84. 55	990. 84. 55
996. 85. 19	996. 85. 19
1002. 85. 55	1002. 85. 55
1008. 86. 19	1008. 86. 19
1014. 86. 55	1014. 86. 55
1020. 87. 19	1020. 87. 19
1026. 87. 55	1026. 87. 55
1032. 88. 19	1032. 88. 19
1038. 88. 55	1038. 88. 55
1044. 89. 19	1044. 89. 19
1050. 89. 55	1050. 89. 55
1056. 90. 19	1056. 90. 19
1062. 90. 55	1062. 90. 55
1068. 91. 19	1068. 91. 19
1074. 91. 55	1074. 91. 55
1080. 92. 19	1080. 92. 19
1086. 92. 55	1086. 92. 55
1092. 93. 19	1092. 93. 19
1098. 93. 55	1098. 93. 55
1104. 94. 19	1104. 94. 19
1110. 94. 55	1110. 94. 55
1116. 95. 19	1116. 95. 19
1122. 95. 55	1122. 95. 55
1128. 96. 19	1128. 96. 19
1134. 96. 55	1134. 96. 55
1140. 97. 19	1140. 97. 19
1146. 97. 55	1146. 97. 55
1152. 98. 19	1152. 98. 19
1158. 98. 55	1158. 98. 55
1164. 99. 19	1164. 99. 19
1170. 99. 55	1170. 99. 55
1176. 100. 19	1176. 100. 19
1182. 100. 55	1182. 100. 55
1188. 101. 19	1188. 101. 19
1194. 101. 55	1194. 101. 55
1200. 102. 19	1200. 102. 19
1206. 102. 55	1206. 102. 55
1212. 103. 19	1212. 103. 19
1218. 103. 55	1218. 103. 55
1224. 104. 19	1224. 104. 19
1230. 104. 55	1230. 104. 55
1236. 105. 19	1236. 105. 19
1242. 105. 55	1242. 105. 55
1248. 106. 19	1248. 106. 19
1254. 106. 55	1254. 106. 55
1260. 107. 19	1260. 107. 19
1266. 107. 55	1266. 107. 55
1272. 108. 19	1272. 108. 19
1278. 108. 55	1278. 108. 55
1284. 109. 19	1284. 109. 19
1290. 109. 55	1290. 109. 55
1296. 110. 19	1296. 110. 19
1302. 110. 55	1302. 110. 55
1308. 111. 19	1308. 111. 19
1314. 111. 55	1314. 111. 55
1320. 112. 19	1320. 112. 19
1326. 112. 55	1326. 112. 55
1332. 113. 19	1332. 113. 19
1338. 113. 55	1338. 113. 55
1344. 114. 19	1344. 114. 19
1350. 114. 55	1350. 114. 55
1356. 115. 19	1356. 115. 19
1362. 115. 55	1362. 115. 55
1368. 116. 19	1368. 116. 19
1374. 116. 55	1374. 116. 55
1380. 117. 19	1380. 117. 19
1386. 117. 55	1386. 117. 55
1392. 118. 19	1392. 118. 19
1398. 118. 55	1398. 118. 55
1404. 119. 19	1404. 119. 19
1410. 119. 55	1410. 119. 55
1416. 120. 19	1416. 120. 19
1422. 120. 55	1422. 120. 55
1428. 121. 19	1428. 121. 19
1434. 121. 55	1434. 121. 55
1440. 122. 19	1440. 122. 19
1446. 122. 55	1446. 122. 55
1452. 123. 19	1452. 123. 19
1458. 123. 55	1458. 123. 55
1464. 124. 19	1464. 124. 19
1470. 124. 55	1470. 124. 55
1476. 125. 19	1476. 125. 19
1482. 125. 55	1482. 125. 55
1488. 126. 19	1488. 126. 19
1494. 126. 55	1494. 126. 55
1500. 127. 19	1500. 127. 19
1506. 127. 55	1506. 127. 55
1512. 128. 19	1512. 128. 19
1518. 128. 55	1518. 128. 55
1524. 129. 19	1524. 129. 19
1530. 129. 55	1530. 129. 55
1536. 130. 19	1536. 130. 19
1542. 130. 55	1542. 130. 55
1548. 131. 19	1548. 131. 19
1554. 131. 55	1554. 131. 55
1560. 132. 19	1560. 132. 19
1566. 132. 55	1566. 132. 55
1572. 133. 19	1572. 133. 19
1578. 133. 55	1578. 133. 55
1584. 134. 19	1584. 134. 19
1590. 134. 55	1590. 134. 55
1596. 135. 19	1596. 135. 19
1602. 135. 55	1602. 135. 55
1608. 136. 19	1608. 136. 19
1614. 136. 55	1614. 136. 55
1620. 137. 19	1620. 137. 19
1626. 137. 55	1626. 137. 55
1632. 138. 19	1632. 138. 19
1638. 138. 55	1638. 138. 55
1644. 139. 19	1644. 139. 19
1650. 139. 55	1650. 139. 55
1656. 140. 19	1656. 140. 19
1662. 140. 55	1662. 140. 55
1668. 141. 19	1668. 141. 19
1674. 141. 55	1674. 141. 55
1680. 142. 19	1680. 142. 19
1686. 142. 55	1686. 142. 55
1692. 143. 19	1692. 143. 19
1698. 143. 55	1698. 143. 55
1704. 144. 19	1704. 144. 19
1710. 144. 55	1710. 144. 55
1716. 145. 19	1716. 145. 19
1722. 145. 55	1722. 145. 55
1728. 146. 19	1728. 146. 19
1734. 146. 55	1734. 146. 55
1740. 147. 19	1740. 147. 19
1746. 147. 55	1746. 147. 55
1752. 148. 19	1752. 148. 19
1758. 148. 55	1758. 148. 55
1764. 149. 19	1764. 149. 19
1770. 149. 55	1770. 149. 55
1776. 150. 19	1776. 150. 19
1782. 150. 55	1782. 150. 55
1788. 151. 19	1788. 151. 19
1794. 151. 55	1794. 151. 55
1800. 152. 19	1800. 152. 19
1806. 152. 55	1806. 152. 55
1812. 153. 19	1812. 153. 19
1818. 153. 55	1818. 153. 55
1824. 154. 19	1824. 154. 19
1830. 154. 55	1830. 154. 55
1836. 155. 19	1836. 155. 19
1842. 155. 55	1842. 155. 55
1848. 156. 19	1848. 156. 19
1854. 156. 55	1854. 156. 55
1860. 157. 19	1860. 157. 19
1866. 157. 55	1866. 157. 55

de las señales horarias telegráficas que permitirán el uso fiable del cronómetro.

Y es aquí, donde nuestro Padre José Monteiro da Rocha ha tenido una destacada participación, por lo menos en Portugal, que es desconocida para la comunidad científica.

BREVE BIOGRAFÍA DE JOSÉ MONTEIRO DA ROCHA

Según Rudolfo Guimarães⁹, José Monteiro da Rocha nació en Marco de Canavezes en 1734. Siendo muy joven viajó al Brasil, donde estudió en el Colegio de los Jesuitas de Bahía. Tras la abolición de la Compañía de Jesús por el marqués de Pombal, regresó de Brasil, en 1767, y pasó a residir en Coimbra, frecuentando su Facultad de Derecho Canónico.

Cuando el marqués de Pombal expulsó a los jesuitas, en 1759, ofreció una alternativa a los miembros de esa orden religiosa. Si la abandonaban, podían quedarse a residir en el país, cosa que hizo Monteiro da Rocha.

Al regresar a Portugal, nuestro Padre, después de obtener la confianza del marqués, recibió el encargo de redactar los nuevos estatutos de la universidad de Coimbra, en la materia de ciencias naturales. Seguidamente, fue nombrado profesor de Astronomía en la citada universidad y director de su Observatorio Astronómico, anexo a la Facultad de Matemáticas que acababa de crearse.

Entre 1783 y 1801 fue vice-rector de la Universidad de Coimbra, siendo admitido, después, en la Corte como preceptor del príncipe Don Pedro y de los infantes, oficio que desempeñó hasta la salida de la familia real para el Brasil. Falleció en Lisboa, en 1819.

9. Cf., Rudolphe Guimarães, *Les Mathématiques au Portugal*, deuxième édition Coimbra, 1909, pp. 38-46. Véase también, de Carlos Ziller Camenietzki y Fábio Mendonça Pedrosa, «O Retorno do Cometa de 1682 y os Trabalhos da Juventude de José Monteiro da Rocha», in *The Practice of Mathematics in Portugal*, ed. by Luís Saraiva and Henrique Leitão, Coimbra, Universidade de Coimbra, 2004, pp. 467-491. Este trabajo se refiere a un manuscrito inédito de la Biblioteca Pública de Évora, del que es autor Monteiro da Rocha, escrito en Brasil, en 1759, y relacionado con los movimientos de los cometas. Monteiro da Rocha tenía solamente 25 años de edad cuando lo escribió. Pienso que tenemos que añadir este otro documento, escrito en 1767, y, muy probablemente, también en Brasil.

Adquirió gran prestigio como matemático y astrónomo, no sólo en Portugal sino en el extranjero, siendo muy conocido, por ejemplo, su *Memória sobre a Determinação das Órbitas dos Cometas*, presentada a la Academia Real das Ciências de Lisboa en 27 de Enero de 1782. Como este trabajo no fue publicado hasta 1799, su importancia no ha sido suficientemente reconocida, ya que, en 1787, cinco años después de la presentación de Monteiro da Rocha, el astrónomo alemán H. Olbers (1758-1840) propuso la resolución del mismo problema con un método semejante¹⁰.

EL MANUSCRITO

Intentaré, ahora, hacer una breve descripción del manuscrito, teniendo en cuenta, sin embargo, que, en el Apéndice 1, se publica el índice al que ya he hecho referencia.

El documento contiene un total de de 106 folios ó 112 páginas. Fue escrito en 1767, atendiendo a que, en muchos lugares, el autor ofrece indicaciones que nos relacionan, inequívocamente, con esa fecha¹¹.

-
10. La biblioteca de Monteiro da Rocha, que ha sido legada a la Academia Real das Ciências, contiene importantes obras de su época y más antiguas, de autores como D'Alembert, Bion, Biot, Bouguer, Bezout, Borda, Bossut, De la Chapelle, Conduet, Flamsteed, Bluteau, Bosovich, Euclides, Aristóteles, etc. Tiene además, obras de otras áreas del conocimiento, aunque la temática científica es la más abundante. Cf. *Catálogo Alfabético da Biblioteca do Conselheiro Dr. José Monteiro da Rocha*, Ms. 52 VIII 35 (42), Lisboa, Biblioteca da Ajuda. Tuvimos también oportunidad de consultar los trabajos manuscritos de Monteiro da Rocha en la Academia das Ciências de Lisboa, que, junto a las *Memórias* publicadas, constituyen también un demostrativo legado de su elevado nivel científico. Cf., *Catálogo de Manuscritos da Série Azul*, Lisboa, Biblioteca da Academia das Ciências, entrada Rocha, José Monteiro. Las entradas son en número de 15, y contrastan bastante, en cantidad, con las de otros autores. Además, he tenido también la oportunidad de consultar su *proceso académico*, que contiene pareceres de los académicos relativos a la publicación de sus manuscritos. Los títulos de una parte de sus manuscritos se encuentran en la relación anexa a uno de los pareceres y la incluimos en el Apéndice 2.
 11. Véase, por ejemplo, en el folio 16 la nota final: «A Efeméride Nautica para o anno proximo de 1768 sahirá impressa imediatamente depois deste Método se continuará com a anticipação necessária de tempo para os annos futuros».

Introducción

La introducción, con cerca de 27 páginas¹², ofrece un comentario muy completo y erudito del problema de la longitud. Para mí, es una de las mejores exposiciones del problema y de su historia, con el valor añadido de haber sido realizado por un matemático y astrónomo, contemporáneo de los estudios más profundos para resolver tan importante problema.

El autor cita, a propósito del magnetismo, a Manuel de Figueiredo, Guilherme Nautonier, Halley, Knight, Mountaine, y Dodson y sus publicaciones¹³. Cita, asimismo a Newton, Huyghens, John Harrison y otros, al hablar de la medición del tiempo. Recuerda, también, a propósito de la medición del tiempo y de la invención del cronómetro marino, que Nevil Maskeline propuso la utilización de las observaciones astronómicas para obtener la longitud, anticipando así la noción que prevalecerá en el futuro, de que el cronómetro no será fiable a bordo de los navíos.

Al hablar de los métodos astronómicos, cita a Euler, D'Alembert, Clairaut y Mayer, y de lo que han hecho estos matemáticos y astrónomos para calcular las necesarias tablas de la Luna, con el fin de implementar el proceso de la longitud por medios astronómicos¹⁴.

Finalmente, comentando la tabla de distancias del abâte de La Caille, afirma que, siendo dadas las distancias de la Luna a determinadas estrellas de cuatro en cuatro horas, están obligados los pilotos a estar conectados a esas estrellas, que no siempre son fáciles de observar en el momento que interesa al navegante.

Monteiro da Rocha, después de comentar la necesidad de facilitar el uso del método a los navegantes, que carecen de la ciencia del astrónomo,

12. *Op. Cit.*, folios 4-17 v.

13. A propósito de la carta de isógonas de Halley, y de su publicación posterior por William Mountaine y James Dodson, véase E. G. R. Taylor, *The Haven-Finding Art*, London, Hollis & Carter, first edition, 1955. p. 241.

14. La evolución del método de distancias lunares, junto con toda la evolución de la navegación astronómica, ha sido muy bien tratada por Charles H. Cotter, en su valioso trabajo. Cf., Charles H. Cotter, *A History of Nautical Astronomy*, London, Hollis & Carter, 1968. Este trabajo tiene algunos errores, y existe una dirección en internet que indica todos esos errores (<http://www.huxtable.unet.com/cotter01.htm>), pero el libro sigue siendo una importante referencia en la materia.

propone que «...el piloto [tenga] una Efemeride Nautica con los lugares de la Luna calculados con exactitud de cuatro en cuatro horas para el meridiano de Lisboa»¹⁵.

Esta idea consistía entonces en proponer un método más general, porque las tablas de distancias relacionan la Luna y una determinada estrella, mientras que su tabla era independiente del astro a observar, dado que informaba la longitud celeste de la Luna de acuerdo con la hora, en el meridiano de Lisboa. Volveremos más tarde a este problema.


Propone en seguida cinco métodos para «...cada uno optar por lo que considerar mas fácil». Todos los métodos se relacionan con la Luna, siendo uno de ellos el de las distancias al Sol o a las estrellas. Hace enseguida varias consideraciones sobre el rigor relativo de las tablas y de los instrumentos, y las simplificaciones introducidas en sus métodos, y a la facilidad en ejecutarlos¹⁶.

Definiciones

En las 28 paginas siguientes (folios 18 al 32), se recapitulan algunas importantes definiciones de astronomía de posición (líneas y planos de la esfera celeste, coordenadas horizontales, horarias, ecuatoriales y eclípticas, etc.), cálculos con fracciones y números complejos, regla de tres, interpo-

-
15. El autor afirma, después que De la Caille muriera en 1762 sin terminar su obra, y que «Debalde M. Halley, de balde M. Maskelyne, y de balde observei também eu no fim do ano proximo passado de 1766 se não facilitarmos o methodo ao uso dos navegantes, que são os que carecem do descobrimento. Hum astrónomo, com um bom instrumento na mão por qualquer methodo pode determinar a Longitude no mar com a exacção que se carece na praxe da navegação. A dificuldade está em dar um methodo, pelo qual se governe o piloto com segurança, sem ter a sciencia do Astrónomo. A este fim comunico ao publico este Tratado, em que faço todo o possível por reduzir a execução practica a maior facilidade. Consiste este methodo em ter o piloto a efeméride náutica com os lugares da Lua calculados com exacção de quatro em quatro horas para o meridiano de Lisboa». Entonces, Monteiro da Rocha opta por tabular la longitud celeste de la Luna, de 4 en 4 horas, admitiendo que la distancia verdadera entre una determinada estrella y la Luna sea convertida en longitud celeste, pudiendo haber una mayor cantidad de estrellas disponibles.
 16. En la parte final de la introducción, Monteiro da Rocha afirma: «Sirvase pois o publico de receber con benevolencia este Método; e terão os Portugueses a gloria de serem os primeiros que pratiquem as observaçoens da longitude, assim serão os primeiros que abrirão o caminho das ondas ate as ultimas balizas do mundo, e o maior premio que posso ter he a gloria da nasção, e utilidade da pátria». Cf., *op. cit.*, fol. 17v.

96



Taboay Geray
calculay
Para uso das Observações da Longitude

Taboa I.

Inclinação do horizonte visual

<i>Taboay de Gaussera da horiza.</i>	<i>Inclin.</i>
1	1. 23
2	2. 23
3	3. 23
4	4. 23
5	5. 23
6	6. 23
7	7. 23
8	8. 23
9	9. 23
10	10. 23
11	11. 23
12	12. 23
13	13. 23
14	14. 23
15	15. 23
16	16. 23
17	17. 23
18	18. 23
19	19. 23
20	20. 23
21	21. 23
22	22. 23
23	23. 23
24	24. 23
25	25. 23
26	26. 23
27	27. 23
28	28. 23
29	29. 23
30	30. 23

97

Taboa II.

Refração dos astros

<i>Gr. de Alt.</i>	<i>Ref.</i>	<i>Gr. de Alt.</i>	<i>Ref.</i>	<i>Gr. de Alt.</i>	<i>Ref.</i>
0	33.25	30	1.45	60	0.35
1	29.25	31	1.45	61	0.35
2	25.25	32	1.38	62	0.32
3	21.25	33	1.31	63	0.31
4	17.25	34	1.24	64	0.30
5	13.25	35	1.17	65	0.28
6	9.25	36	1.10	66	0.27
7	5.25	37	1.03	67	0.26
8	1.25	38	0.96	68	0.25
9		39	0.89	69	0.23
10		40	0.82	70	0.22
11	11.45	41	0.75	71	0.21
12	12.45	42	0.68	72	0.20
13	13.45	43	0.61	73	0.18
14	14.35	44	0.54	74	0.17
15	15.25	45	0.47	75	0.16
16	16.15	46	0.40	76	0.15
17	17.05	47	0.33	77	0.14
18	17.95	48	0.26	78	0.13
19	18.85	49	0.19	79	0.11
20	19.75	50	0.12	80	0.10
21	20.65	51	0.05	81	0.09
22	21.55	52	0.00	82	0.08
23	22.45	53	0.00	83	0.07
24	23.35	54	0.00	84	0.06
25	24.25	55	0.00	85	0.05
26	25.15	56	0.00	86	0.04
27	26.05	57	0.00	87	0.03
28	26.95	58	0.00	88	0.02
29	27.85	59	0.00	89	0.01
30	28.75	60	0.00	90	0.00

Fotografia 7. Tablas I y II.

laciones, funciones trigonométricas, operaciones con logaritmos, y simplificaciones de los cálculos, con vista a su adaptación al uso en la mar en una plataforma inestable.

Tablas

Continúa, a lo largo de más de 20 páginas, con la explicación del uso de las 14 tablas que están al final del manuscrito (con ejemplos de aplicación), y por más de 8 páginas, la explicación del uso de los instrumentos de observación. Las tablas están reproducidas en las fotografías 7 al 15.

Resumidamente, la explicación de las tablas es la siguiente:

— Tabla I: Es la tabla que corrige la depresión del horizonte y la refracción terrestre. Está calculada para ser usada, no sólo a bordo sino también en tierra, por lo que las elevaciones del observador son más grandes que lo habitual en las tablas usadas a bordo. Se hace una alusión relativa a la observación con el octante, no sólo de cara el astro (en el caso del Sol), sino también de revés.

— Tabla II: Es la tabla que atiende a la refracción astronómica, y ha sido calculada de acuerdo con las medias de observaciones de De La Caille y Bradley.

— Tabla III: Tabla usada para la determinación de la latitud por circunmeridianas. Facilita las correcciones a introducir a las alturas del Sol, antes y después de su paso por el meridiano del lugar.

— Tablas IV y V: Semidiámetro y paralaje del Sol.

— Tabla VI: Aumento del semidiámetro de la Luna de acuerdo con su elevación en el horizonte. Dado que el semidiámetro horizontal de la Luna depende de su distancia a la Tierra, que varía durante el período de su órbita, la tabla da varios valores del semidiámetro correspondientes a las épocas del año que se toman de la efeméride. Para saber la corrección a añadir a la altura del astro, se entra en la tabla con el argumento altura y con el semidiámetro horizontal tomado de las efemérides. Monteiro explica también como obtener el paralaje en altura de la Luna, informando que lo hace por cálculo trigonométrico y logarítmico, dando un ejemplo.

98

Taboa III.

Variacão da altura dos astros
pouco antes, ou depois da passagem pelo meridiano

Gr. alt. Minutos de tempo antes, ou depois da
passagem pelo meridiano

	1	2	3	4	5	6
20	0	1	0	2	0	19
30	0	1	0	5	0	15
40	0	2	0	7	0	10
50	0	3	0	9	0	5
55	0	3	0	11	0	2
60	0	3	0	14	0	0
65	0	4	0	17	0	0
70	0	5	0	22	0	0
75	0	7	0	29	0	0
80	0	11	0	41	0	0
85	0	1	0	2	0	0
90	0	2	0	6	0	0
95	0	3	0	10	0	0
100	0	4	0	16	0	0
105	0	6	0	23	0	0
110	0	8	0	34	0	0
115	0	10	0	41	0	0
120	0	12	0	51	0	0
125	0	14	0	61	0	0
130	0	16	0	71	0	0
135	0	19	0	81	0	0
140	0	23	0	91	0	0
145	0	28	0	101	0	0
150	0	34	0	111	0	0
155	0	41	0	121	0	0
160	0	51	0	131	0	0
165	0	61	0	141	0	0
170	0	71	0	151	0	0
175	0	81	0	161	0	0
180	0	91	0	171	0	0
200	0	120	0	200	0	0
300	0	200	0	300	0	0
400	0	300	0	400	0	0
500	0	400	0	500	0	0
550	0	430	0	530	0	0
600	0	450	0	550	0	0
650	0	460	0	560	0	0
700	0	460	0	560	0	0
750	0	450	0	550	0	0
800	0	430	0	530	0	0
20	0	1	0	2	0	19
30	0	1	0	5	0	15
40	0	2	0	7	0	10
50	0	3	0	9	0	5
55	0	3	0	11	0	2
60	0	3	0	14	0	0
65	0	4	0	17	0	0
70	0	5	0	22	0	0
75	0	7	0	29	0	0
80	0	11	0	41	0	0
85	0	1	0	2	0	0
90	0	2	0	6	0	0
95	0	3	0	10	0	0
100	0	4	0	16	0	0
105	0	6	0	23	0	0
110	0	8	0	34	0	0
115	0	10	0	41	0	0
120	0	12	0	51	0	0
125	0	14	0	61	0	0
130	0	16	0	71	0	0
135	0	19	0	81	0	0
140	0	23	0	91	0	0
145	0	28	0	101	0	0
150	0	34	0	111	0	0
155	0	41	0	121	0	0
160	0	51	0	131	0	0
165	0	61	0	141	0	0
170	0	71	0	151	0	0
175	0	81	0	161	0	0
180	0	91	0	171	0	0
200	0	120	0	200	0	0
300	0	200	0	300	0	0
400	0	300	0	400	0	0
500	0	400	0	500	0	0
550	0	430	0	530	0	0
600	0	450	0	550	0	0
650	0	460	0	560	0	0
700	0	460	0	560	0	0
750	0	450	0	550	0	0
800	0	430	0	530	0	0

Declinação para o polo superior

Taboa III.

Variacão da altura dos astros
pouco antes, ou depois da passagem pelo meridiano

Gr. alt. Minutos de tempo antes, ou depois da
passagem pelo meridiano

	1	2	3	4	5	6
20	0	1	0	2	0	19
30	0	1	0	5	0	15
40	0	2	0	7	0	10
50	0	3	0	9	0	5
55	0	3	0	11	0	2
60	0	3	0	14	0	0
65	0	4	0	17	0	0
70	0	5	0	22	0	0
75	0	7	0	29	0	0
80	0	11	0	41	0	0
85	0	1	0	2	0	0
90	0	2	0	6	0	0
95	0	3	0	10	0	0
100	0	4	0	16	0	0
105	0	6	0	23	0	0
110	0	8	0	34	0	0
115	0	10	0	41	0	0
120	0	12	0	51	0	0
125	0	14	0	61	0	0
130	0	16	0	71	0	0
135	0	19	0	81	0	0
140	0	23	0	91	0	0
145	0	28	0	101	0	0
150	0	34	0	111	0	0
155	0	41	0	121	0	0
160	0	51	0	131	0	0
165	0	61	0	141	0	0
170	0	71	0	151	0	0
175	0	81	0	161	0	0
180	0	91	0	171	0	0
200	0	120	0	200	0	0
300	0	200	0	300	0	0
400	0	300	0	400	0	0
500	0	400	0	500	0	0
550	0	430	0	530	0	0
600	0	450	0	550	0	0
650	0	460	0	560	0	0
700	0	460	0	560	0	0
750	0	450	0	550	0	0
800	0	430	0	530	0	0
20	0	1	0	2	0	19
30	0	1	0	5	0	15
40	0	2	0	7	0	10
50	0	3	0	9	0	5
55	0	3	0	11	0	2
60	0	3	0	14	0	0
65	0	4	0	17	0	0
70	0	5	0	22	0	0
75	0	7	0	29	0	0
80	0	11	0	41	0	0
85	0	1	0	2	0	0
90	0	2	0	6	0	0
95	0	3	0	10	0	0
100	0	4	0	16	0	0
105	0	6	0	23	0	0
110	0	8	0	34	0	0
115	0	10	0	41	0	0
120	0	12	0	51	0	0
125	0	14	0	61	0	0
130	0	16	0	71	0	0
135	0	19	0	81	0	0
140	0	23	0	91	0	0
145	0	28	0	101	0	0
150	0	34	0	111	0	0
155	0	41	0	121	0	0
160	0	51	0	131	0	0
165	0	61	0	141	0	0
170	0	71	0	151	0	0
175	0	81	0	161	0	0
180	0	91	0	171	0	0
200	0	120	0	200	0	0
300	0	200	0	300	0	0
400	0	300	0	400	0	0
500	0	400	0	500	0	0
550	0	430	0	530	0	0
600	0	450	0	550	0	0
650	0	460	0	560	0	0
700	0	460	0	560	0	0
750	0	450	0	550	0	0
800	0	430	0	530	0	0

Declinação para o polo inferior

Fotografia 8. Tabla III.

100

Taboa VI.

Aumento do semidiametro horizontal da lua.

Semidiametros horisontales

Gr. de Altur.	14. 46.	15. 10.	15. 46.	16. 10.	16. 46.	17. 10.
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	1,4	4,5	1,6	4,7	1,8	3,0
12	2,9	3,3	3,3	3,5	3,7	4,0
15	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9
18	4,3	4,6	4,9	5,2	5,6	6,0
21	5,0	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9
24	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,8
27	6,3	7,2	7,2	7,7	8,2	8,7
30	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
33	7,6	8,1	8,7	9,2	9,8	10,4
36	8,2	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3
39	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3	12,0
42	9,3	10,0	10,6	11,3	12,0	12,7
45	9,8	10,5	11,3	12,0	12,7	13,5
48	10,3	11,1	11,8	12,6	13,4	14,1
51	10,8	11,6	12,4	13,2	14,0	14,8
54	11,3	12,1	12,9	13,7	14,6	15,5
57	11,7	12,5	13,3	14,2	15,1	16,0
60	12,1	12,9	13,8	14,7	15,6	16,5
63	12,5	13,3	14,3	15,1	16,1	17,0
66	12,7	13,7	14,5	15,5	16,4	17,4
69	13,0	14,0	14,8	15,8	16,8	17,7
72	13,3	14,2	15,1	16,1	17,1	18,0
75	13,5	14,4	15,3	16,3	17,3	18,3
78	13,7	14,6	15,5	16,5	17,5	18,6
81	13,8	14,7	15,6	16,6	17,7	18,8
84	13,9	14,7	15,7	16,6	17,8	19,0
87	13,9	14,8	15,8	16,9	17,9	19,1
90	14,0	14,9	15,9	17,0	18,0	19,2

Taboa V.

Paralaxe do Sol

Altur.	Parall.
0	9,2
9	9,1
12	9,0
15	8,9
18	8,8
21	8,6
24	8,4
27	8,2
30	7,9
33	7,7
36	7,4
39	7,1
42	6,8
45	6,5
48	6,1
51	5,8
54	5,4
57	5,0
60	4,6
63	4,2
66	3,7
69	3,3
72	2,8
75	2,4
78	1,9
81	1,4
84	1,0
87	0,5
90	0,0

Taboa IV.

Semidiametros apparentes do Sol.

Mees	Dias	Semidia. m. v.	Dias	Mees
Janeiro	4	16. 17,9	25	Dezembro
	10	16. 17,3	20	
	13	16. 16,3	15	
	24	16. 15,3	5	
	27	16. 15,6	30	
Fevereiro	2	16. 14,7	25	Novembro
	7	16. 13,7	20	
	12	16. 12,8	15	
	23	16. 11,8	10	
	28	16. 10,6	5	
Marco	28	16. 9,4	30	Outubro
	6	16. 8,1	25	
	11	16. 6,7	20	
	21	16. 5,2	10	
	31	16. 4,0	1	
Abril	31	16. 2,5	15	Setembro
	1	16. 1,1	30	
	5	15. 59,7	25	
	10	15. 58,3	20	
	20	15. 55,7	10	
Maio	25	15. 54,2	9	Agosto
	30	15. 53,2	30	
	6	15. 52,0	25	
	11	15. 51,0	20	
	16	15. 50,0	15	
Junho	21	15. 49,0	10	Julho
	26	15. 48,1	5	
	1	15. 47,3	31	
	11	15. 46,4	21	
	20	15. 45,5	10	
	25	15. 44,5	11	
	30	15. 43,5	1	

Fotografía 9. Tablas IV, V y VI.

107

Taboa VII

Pontos da Ecliptica correspondentes à Ascensão Recta em tempo

Mi. mil	hor. 6	hor. 7	hor. 8	hor. 9	hor. 10	hor. 11
0	90. 0	103. 46. 31	117. 54. 19	132. 31. 26	147. 28. 26	163. 27. 36
1	290. 27. 50	104. 16. 22	118. 23. 0	133. 0	148. 28. 5	164. 25. 5
2	490. 55. 0	104. 44. 11	118. 51. 21	133. 31. 58	148. 57. 22	164. 47. 37
3	690. 82. 30	105. 12. 3	119. 20. 27	134. 0	149. 23. 4	165. 19. 59
4	890. 109. 0	105. 39. 56	119. 49. 19	134. 31. 1	149. 54. 3	165. 52. 22
5	1090. 135. 35	106. 7. 51	120. 18. 5	135. 0	150. 25. 28	166. 24. 46
6	1290. 162. 0	106. 35. 86	120. 48. 15	135. 31. 54	150. 56. 6	166. 57. 12
7	1490. 188. 30	107. 3. 0	121. 17. 42	136. 0	151. 26. 167	167. 29. 40
8	1690. 215. 0	107. 31. 29	121. 46. 43	136. 31. 19	151. 57. 69	168. 0. 5
9	1890. 241. 30	107. 59. 41	122. 15. 42	137. 0	152. 28. 34	168. 31. 37
10	2090. 268. 0	108. 27. 48	122. 44. 38	137. 31. 53	153. 0	169. 0. 7
11	2290. 294. 30	108. 55. 18	123. 13. 43	138. 0	153. 31. 51	169. 31. 29
12	2490. 321. 0	109. 22. 51	123. 42. 57	138. 31. 16	154. 0	170. 0. 13
13	2690. 347. 30	109. 50. 23	124. 12. 10	139. 0	154. 31. 16	170. 31. 46
14	2890. 374. 0	110. 17. 59	124. 41. 21	139. 31. 46	155. 0	171. 0. 21
15	3090. 400. 30	110. 45. 15	125. 10. 29	140. 0	155. 31. 51	171. 31. 57
16	3290. 427. 0	111. 12. 26	125. 39. 29	140. 31. 21	156. 0	172. 0. 23
17	3490. 453. 30	111. 39. 42	126. 8. 24	141. 0	156. 31. 35	172. 31. 55
18	3690. 480. 0	112. 6. 53	126. 37. 17	141. 31. 6	157. 0	173. 0. 21
19	3890. 506. 30	112. 34. 9	127. 6. 6	142. 0	157. 31. 25	173. 31. 48
20	4090. 533. 0	113. 1. 28	127. 35. 0	142. 31. 36	158. 0	174. 0. 27
21	4290. 559. 30	113. 28. 49	128. 4. 34	143. 0	158. 31. 45	174. 31. 56
22	4490. 586. 0	114. 5. 54	128. 53. 34	143. 31. 19	159. 0	175. 0. 26
23	4690. 612. 30	114. 33. 14	129. 2. 29	144. 0	159. 31. 28	175. 31. 58
24	4890. 639. 0	115. 10. 29	129. 51. 19	144. 31. 47	160. 0	176. 0. 27
25	5090. 665. 30	115. 47. 49	130. 40. 14	145. 0	160. 31. 46	176. 31. 57
26	5290. 692. 0	116. 25. 14	131. 29. 5	145. 31. 55	161. 0	177. 0. 29
27	5490. 718. 30	117. 2. 34	132. 18. 46	146. 0	161. 31. 4	177. 31. 51
28	5690. 745. 0	117. 40. 59	133. 7. 37	146. 31. 13	162. 0	178. 0. 23
29	5890. 771. 30	118. 39. 29	134. 6. 28	147. 0	162. 31. 22	178. 31. 53
30	6090. 798. 0	119. 38. 0	135. 5. 19	147. 31. 31	163. 0	179. 0. 25
31	6290. 824. 30	120. 36. 25	136. 4. 10	148. 0	163. 31. 40	179. 31. 57
32	6490. 851. 0	121. 34. 56	137. 3. 0	148. 31. 49	164. 0	180. 0. 0

Taboa VIII

Pontos da Ecliptica correspondentes à Ascensão Recta em tempo

Mi. mil	hor. 0	hor. 1	hor. 2	hor. 3	hor. 4	hor. 5
0	0. 0	16. 41. 2	32. 81. 14	47. 25. 14	62. 5. 41	78. 11. 29
1	32. 43. 16	47. 25. 14	62. 5. 41	78. 11. 29	93. 15. 39	108. 25. 17
2	64. 86. 32	78. 11. 29	93. 15. 39	108. 25. 17	123. 30. 76	138. 39. 14
3	96. 29. 48	108. 25. 17	123. 30. 76	138. 39. 14	153. 35. 71	168. 53. 11
4	128. 73. 0	138. 39. 14	153. 35. 71	168. 53. 11	183. 30. 76	198. 67. 8
5	160. 16. 16	168. 53. 11	183. 30. 76	198. 67. 8	213. 25. 71	228. 81. 5
6	192. 59. 32	198. 67. 8	213. 25. 71	228. 81. 5	243. 20. 76	258. 95. 2
7	224. 42. 48	228. 81. 5	243. 20. 76	258. 95. 2	273. 15. 71	288. 9. 0
8	256. 26. 0	258. 95. 2	273. 15. 71	288. 9. 0	303. 10. 76	318. 2. 0
9	288. 9. 16	303. 10. 76	318. 2. 0	343. 5. 71	333. 0. 76	348. 0. 0
10	320. 32. 32	343. 5. 71	358. 0. 76	373. 0. 76	363. 0. 76	378. 0. 0
11	352. 65. 48	373. 0. 76	388. 0. 76	403. 0. 76	393. 0. 76	408. 0. 0
12	384. 9. 64	403. 0. 76	413. 0. 76	433. 0. 76	423. 0. 76	438. 0. 0
13	416. 43. 80	433. 0. 76	443. 0. 76	463. 0. 76	453. 0. 76	468. 0. 0
14	448. 87. 96	463. 0. 76	473. 0. 76	493. 0. 76	483. 0. 76	498. 0. 0
15	480. 121. 12	493. 0. 76	503. 0. 76	523. 0. 76	513. 0. 76	528. 0. 0
16	512. 155. 28	523. 0. 76	533. 0. 76	553. 0. 76	543. 0. 76	558. 0. 0
17	544. 189. 44	553. 0. 76	563. 0. 76	583. 0. 76	573. 0. 76	588. 0. 0
18	576. 223. 60	583. 0. 76	593. 0. 76	613. 0. 76	603. 0. 76	618. 0. 0
19	608. 257. 76	613. 0. 76	623. 0. 76	643. 0. 76	633. 0. 76	648. 0. 0
20	640. 291. 92	643. 0. 76	653. 0. 76	673. 0. 76	663. 0. 76	678. 0. 0
21	672. 325. 08	673. 0. 76	683. 0. 76	703. 0. 76	693. 0. 76	708. 0. 0
22	704. 359. 24	703. 0. 76	713. 0. 76	743. 0. 76	733. 0. 76	748. 0. 0
23	736. 393. 40	743. 0. 76	753. 0. 76	773. 0. 76	763. 0. 76	778. 0. 0
24	768. 427. 56	773. 0. 76	783. 0. 76	813. 0. 76	803. 0. 76	818. 0. 0
25	800. 461. 72	803. 0. 76	813. 0. 76	843. 0. 76	833. 0. 76	848. 0. 0
26	832. 495. 88	843. 0. 76	853. 0. 76	873. 0. 76	863. 0. 76	878. 0. 0
27	864. 529. 04	853. 0. 76	863. 0. 76	903. 0. 76	893. 0. 76	908. 0. 0
28	896. 563. 20	863. 0. 76	873. 0. 76	933. 0. 76	923. 0. 76	938. 0. 0
29	928. 597. 36	873. 0. 76	883. 0. 76	963. 0. 76	953. 0. 76	968. 0. 0
30	960. 631. 52	883. 0. 76	893. 0. 76	993. 0. 76	983. 0. 76	998. 0. 0
31	992. 665. 68	893. 0. 76	903. 0. 76	1023. 0. 76	1013. 0. 76	1028. 0. 0
32	1024. 699. 84	903. 0. 76	913. 0. 76	1053. 0. 76	1043. 0. 76	1058. 0. 0
33	1056. 733. 00	913. 0. 76	923. 0. 76	1083. 0. 76	1073. 0. 76	1088. 0. 0
34	1088. 767. 16	923. 0. 76	933. 0. 76	1113. 0. 76	1103. 0. 76	1118. 0. 0
35	1120. 801. 32	933. 0. 76	943. 0. 76	1143. 0. 76	1133. 0. 76	1148. 0. 0
36	1152. 835. 48	943. 0. 76	953. 0. 76	1173. 0. 76	1163. 0. 76	1178. 0. 0
37	1184. 869. 64	953. 0. 76	963. 0. 76	1203. 0. 76	1193. 0. 76	1208. 0. 0
38	1216. 903. 80	963. 0. 76	973. 0. 76	1233. 0. 76	1223. 0. 76	1238. 0. 0
39	1248. 937. 96	973. 0. 76	983. 0. 76	1263. 0. 76	1253. 0. 76	1268. 0. 0
40	1280. 971. 12	983. 0. 76	993. 0. 76	1293. 0. 76	1283. 0. 76	1298. 0. 0
41	1312. 1005. 28	993. 0. 76	1003. 0. 76	1323. 0. 76	1313. 0. 76	1328. 0. 0
42	1344. 1039. 44	1003. 0. 76	1013. 0. 76	1353. 0. 76	1343. 0. 76	1358. 0. 0
43	1376. 1073. 60	1013. 0. 76	1023. 0. 76	1383. 0. 76	1373. 0. 76	1388. 0. 0
44	1408. 1107. 76	1023. 0. 76	1033. 0. 76	1413. 0. 76	1403. 0. 76	1418. 0. 0
45	1440. 1141. 92	1033. 0. 76	1043. 0. 76	1443. 0. 76	1433. 0. 76	1448. 0. 0
46	1472. 1175. 08	1043. 0. 76	1053. 0. 76	1473. 0. 76	1463. 0. 76	1478. 0. 0
47	1504. 1209. 24	1053. 0. 76	1063. 0. 76	1503. 0. 76	1493. 0. 76	1508. 0. 0
48	1536. 1243. 40	1063. 0. 76	1073. 0. 76	1533. 0. 76	1523. 0. 76	1538. 0. 0
49	1568. 1277. 56	1073. 0. 76	1083. 0. 76	1563. 0. 76	1553. 0. 76	1568. 0. 0
50	1600. 1311. 72	1083. 0. 76	1093. 0. 76	1593. 0. 76	1583. 0. 76	1598. 0. 0
51	1632. 1345. 88	1093. 0. 76	1103. 0. 76	1623. 0. 76	1613. 0. 76	1628. 0. 0
52	1664. 1379. 04	1103. 0. 76	1113. 0. 76	1653. 0. 76	1643. 0. 76	1658. 0. 0
53	1696. 1413. 20	1113. 0. 76	1123. 0. 76	1683. 0. 76	1673. 0. 76	1688. 0. 0
54	1728. 1447. 36	1123. 0. 76	1133. 0. 76	1713. 0. 76	1703. 0. 76	1718. 0. 0
55	1760. 1481. 52	1133. 0. 76	1143. 0. 76	1743. 0. 76	1733. 0. 76	1748. 0. 0
56	1792. 1515. 68	1143. 0. 76	1153. 0. 76	1773. 0. 76	1763. 0. 76	1778. 0. 0
57	1824. 1549. 84	1153. 0. 76	1163. 0. 76	1803. 0. 76	1793. 0. 76	1808. 0. 0
58	1856. 1583. 00	1163. 0. 76	1173. 0. 76	1833. 0. 76	1823. 0. 76	1838. 0. 0
59	1888. 1617. 16	1173. 0. 76	1183. 0. 76	1863. 0. 76	1853. 0. 76	1868. 0. 0
60	1920. 1651. 32	1183. 0. 76	1193. 0. 76	1893. 0. 76	1883. 0. 76	1898. 0. 0

Fotografia 10. Tabla VII.

— Tabla VII: Contiene los puntos de la eclíptica correspondientes a la ascensión recta en tiempo. El objetivo de esta tabla es saber en cualquier momento cuál es el punto de la eclíptica que pasa por el meridiano en grados, a partir del punto vernal.

— Tabla VIII: Se trata de los valores de la distancia del punto de la eclíptica al zenit del lugar.

— Tabla IX: En términos modernos, esta tabla informa sobre la inclinación de la eclíptica en relación con el meridiano del lugar, sabiendo el ángulo horario del punto vernal.

— Tablas X y XI: Conversión de arco en tiempo, y viceversa.

— Tabla XII: Es un ejemplo de la tabla que Monteiro da Rocha elaboró para el mes de Diciembre de 1767, suministrando las coordenadas ecuatoriales y eclípticas del Sol e de la Luna (respectivamente ascensión recta y declinación, y latitud y longitud celeste). La información se da para 4 días, con el intervalo de 4 horas. Estas tablas son la base de su proceso para determinar la longitud. Se facilitan, también, los paralajes del Sol y de la Luna, su semidiámetro horizontal y al ecuación del tiempo. Monteiro da Rocha informa que hizo las tablas de longitud de la Luna, aprovechando las de Mayer, Clairaut y Halley, teniendo cuidado de perfeccionar estos cálculos con medias, y señalando con un asterisco los días más ventajosos para la observación.

Explica además el autor el modo de interpolar la hora de la observación en el meridiano de referencia, entrando con la longitud celeste de la Luna, dando ejemplos.

La tabla de las estrellas es presentada al final de la efeméride de cada año con la latitud e longitud celestes calculadas de cuatro en cuatro meses. El catálogo presentado en el folio 106 es un ejemplo de lo que constará en las efemérides de 1770, que el autor promete elaborar¹⁷.

17. Monteiro da Rocha dice, a propósito de la Tabla XII, «Este exemplo contem os cálculos do Sol e da Lua para os dias 25, 27, 29, 31 de Dezembro próximo, do mesmo modo que se hão de continuar para os annos futuros». Cf., *op. cit.*, folio 37.

103

Tabla IX.

Angulos da Eliptica com o meridiano correspondentes ao ponto de Ascensão Recta em tempo

Alt. med.	hor. 0	hor. 1	hor. 2	hor. 3	hor. 4	hor. 5
0	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
1	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
2	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
3	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
4	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
5	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
6	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
7	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
8	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
9	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
10	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
11	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
12	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
13	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
14	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
15	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
16	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
17	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
18	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
19	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
20	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
21	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
22	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
23	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
24	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
25	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
26	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
27	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
28	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
29	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27
30	66.31.56	67.23.59	67.59.26	68.08.27	68.08.27	68.08.27

Tabla VIII.

Declinacão dos pontos da Eliptica correspondentes a Ascensão Recta em tempo

Alt. med.	hor. 0	hor. 1	hor. 2	hor. 3	hor. 4	hor. 5
0	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
1	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
2	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
3	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
4	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
5	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
6	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
7	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
8	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
9	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
10	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
11	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
12	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
13	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
14	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
15	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
16	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
17	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
18	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
19	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
20	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
21	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
22	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
23	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
24	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
25	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
26	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
27	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
28	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
29	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56
30	0.15	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56

A Declinacão de pontos da Eliptica correspondentes a Ascensão Recta em tempo

Fotografia 11. Tablas VIII y IX.

124

Taboa X.

*Reducao' do tempo em partes do Equador celeste, em
em Graos, de Longitude terrestre*

Taboa XI.

*Reducao' dos partes do Equador, ou do Graos
de Longitude em tempo*

Hor.	Minut. de tempo			Gr.	Hor.			Gr.	Minut.			Segund.	Hor.	Gr.	Minut.	Segund.
	Gr.				Minut.				Segund.							
	I.	II.	III.		I.	II.	III.		I.	II.	III.					
1	15	1	15	0	15	1	15	0	15	1	15	0	1	0	15	0
2	15	2	15	0	15	2	15	0	15	2	15	0	1	0	15	0
3	15	3	15	0	15	3	15	0	15	3	15	0	1	0	15	0
4	15	4	15	0	15	4	15	0	15	4	15	0	1	0	15	0
5	15	5	15	0	15	5	15	0	15	5	15	0	1	0	15	0
6	15	6	15	0	15	6	15	0	15	6	15	0	1	0	15	0
7	15	7	15	0	15	7	15	0	15	7	15	0	1	0	15	0
8	15	8	15	0	15	8	15	0	15	8	15	0	1	0	15	0
9	15	9	15	0	15	9	15	0	15	9	15	0	1	0	15	0
10	15	10	15	0	15	10	15	0	15	10	15	0	1	0	15	0
11	15	11	15	0	15	11	15	0	15	11	15	0	1	0	15	0
12	15	12	15	0	15	12	15	0	15	12	15	0	1	0	15	0
13	15	13	15	0	15	13	15	0	15	13	15	0	1	0	15	0
14	15	14	15	0	15	14	15	0	15	14	15	0	1	0	15	0
15	15	15	15	0	15	15	15	0	15	15	15	0	1	0	15	0
16	15	16	15	0	15	16	15	0	15	16	15	0	1	0	15	0
17	15	17	15	0	15	17	15	0	15	17	15	0	1	0	15	0
18	15	18	15	0	15	18	15	0	15	18	15	0	1	0	15	0
19	15	19	15	0	15	19	15	0	15	19	15	0	1	0	15	0
20	15	20	15	0	15	20	15	0	15	20	15	0	1	0	15	0
21	15	21	15	0	15	21	15	0	15	21	15	0	1	0	15	0
22	15	22	15	0	15	22	15	0	15	22	15	0	1	0	15	0
23	15	23	15	0	15	23	15	0	15	23	15	0	1	0	15	0
24	15	24	15	0	15	24	15	0	15	24	15	0	1	0	15	0
25	15	25	15	0	15	25	15	0	15	25	15	0	1	0	15	0
26	15	26	15	0	15	26	15	0	15	26	15	0	1	0	15	0
27	15	27	15	0	15	27	15	0	15	27	15	0	1	0	15	0
28	15	28	15	0	15	28	15	0	15	28	15	0	1	0	15	0
29	15	29	15	0	15	29	15	0	15	29	15	0	1	0	15	0
30	15	30	15	0	15	30	15	0	15	30	15	0	1	0	15	0

Fotografia 12. Tablas X y XI.

105

Taboa XII

An. 1767. Dezembro

Exemplo da Geneside Náutica Calculada ao tempo médio do meridiano de Lisboa

Di. ar	Ho. ras	Longitude do grau	Latitude do grau	Quantidade da altura da lua	Declinação do Sol	Parallela do Sol	Parallela do Sol com o arco hor.
25	0	339	23	17	25	335	59
	1	331	23	17	25	332	59
	2	323	23	17	25	329	59
	3	315	23	17	25	326	59
	4	307	23	17	25	323	59
	5	300	23	17	25	320	59
	6	292	23	17	25	317	59
	7	285	23	17	25	314	59
	8	277	23	17	25	311	59
	9	270	23	17	25	308	59
27	0	324	20	24	21	335	59
	1	316	20	24	21	332	59
	2	308	20	24	21	329	59
	3	300	20	24	21	326	59
	4	292	20	24	21	323	59
	5	285	20	24	21	320	59
	6	277	20	24	21	317	59
	7	270	20	24	21	314	59
	8	262	20	24	21	311	59
	9	255	20	24	21	308	59
29	0	240	22	5	5	21	51
	1	232	22	5	5	21	51
	2	224	22	5	5	21	51
	3	216	22	5	5	21	51
	4	208	22	5	5	21	51
	5	200	22	5	5	21	51
	6	192	22	5	5	21	51
	7	184	22	5	5	21	51
	8	176	22	5	5	21	51
	9	168	22	5	5	21	51
31	0	53	48	56	27	21	58
	1	53	48	56	27	21	58
	2	53	48	56	27	21	58
	3	53	48	56	27	21	58
	4	53	48	56	27	21	58
	5	53	48	56	27	21	58
	6	53	48	56	27	21	58
	7	53	48	56	27	21	58
	8	53	48	56	27	21	58
	9	53	48	56	27	21	58

Taboa XII

An. 1767. Dezembro

Exemplo da Geneside Náutica Calculada ao tempo médio do meridiano de Lisboa

Di. ar	Ho. ras	Longitude do Sol	Declinação do Sol	Longitude da Equação média em tempo
25	0	273	36	15
	1	273	36	15
	2	273	36	15
	3	273	36	15
	4	273	36	15
	5	273	36	15
	6	273	36	15
	7	273	36	15
	8	273	36	15
	9	273	36	15
27	0	275	38	15
	1	275	38	15
	2	275	38	15
	3	275	38	15
	4	275	38	15
	5	275	38	15
	6	275	38	15
	7	275	38	15
	8	275	38	15
	9	275	38	15
29	0	277	40	15
	1	277	40	15
	2	277	40	15
	3	277	40	15
	4	277	40	15
	5	277	40	15
	6	277	40	15
	7	277	40	15
	8	277	40	15
	9	277	40	15
31	0	279	43	15
	1	279	43	15
	2	279	43	15
	3	279	43	15
	4	279	43	15
	5	279	43	15
	6	279	43	15
	7	279	43	15
	8	279	43	15
	9	279	43	15

Fotografia 13. Tabla XII.

Instrumentos

De los folios 42 al 51, cerca de 19 páginas, se explican con mucho detalle el uso de los instrumentos de observación y el modo de efectuar esas observaciones.

Monteiro da Rocha dice que los instrumentos necesarios son sólo dos: un *reloj* y un buen *octante*.

Acerca del reloj, se considera que es recomendable «... hun relógio de segundos, como são os de Ellicott, Le Roi, e outros artifices». Pero si no lo hay, un reloj ordinario bueno, como lo de Fleetwood, será suficiente, teniendo el observador que habituarse a hacer las observaciones en el momento en que el puntero de los minutos se ajusta con la respectiva división. Pormenorizadamente se explican los medios prácticos de utilizar el reloj durante las observaciones y los procedimientos de las personas implicadas en la acción.

Sobre el octante, transcribimos el siguiente párrafo del manuscrito:

O instrumento para observar as alturas deve ser um oitante bom, que tenha pelo menos dous palmos de rayo; e esteja graduado pelo methodo de Pedro Nunes, que os estrangeiros chamão methodo de Nonius. Pelo meu voto era preferível o Oitante de Roberto Smith, de cuja vantagem fizeram experiência os celebres navegantes Middleton, Adisson, e Sparrel. Mas como o seu uso não he tão comum na marinha, poderá servir em seu lugar o Oitante de Hadley, de que sabem usar os nossos pilotos; contanto que seja grande, e tenha a gradação de minuto em minuto com exacção pelo método de Nonius; de sorte que nas observaçoens seja sempre certo minuto, e se possão ao juízo do observador orsar os segundos¹⁸.

Después de describir el instrumento, de informar sobre su rectificación y los requisitos de precisión del mismo, señala que para su utilización

18. Cf., *op. cit.*, folio 43 v. La primera descripción en Portugal del octante y su rectificación fue hecha, probablemente, de acuerdo con lo que exponemos en nuestra disertación de *Mestrado*, en un manuscrito que perteneció a Gago Coutinho y está actualmente en la Biblioteca Central de Marinha (*Tratado Completo da Navegação*, Ms. 5, Lisboa, BCM, s.d.), que hemos comparado con la edición impresa, verificando que se trata de la misma obra. Admitimos que el manuscrito es del año 1740 (apenas nueve años después de Haddley lo presentara al público), atendiendo a las tablas de efemérides constantes en el. Cf., José Manuel Malhão Pereira, *Um Livro de Marinharia do Século XVIII-Estudo Crítico*, dissertação de Mestrado, Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 2001.

106

Catálogo das estrelas primitivas para o principado de 1770

Nome das estrelas e suas constelações	Declinação	Ascensão Recta	Distância	Var. ang. an.
a De Alpha, no Bigode	13. 34. 49. 30	0. 31. 15. 00	46	15
b De Gamma, no Bigode	19. 15. 38. 30	0. 32. 45. 00	45	15
c De Delta, no Bigode	58. 4. 19. 05. 15	1. 21. 19. 00	44	15
d De Epsilon, no Bigode	56. 34. 11. 05. 15	1. 21. 11. 00	43	15
e De Zeta, no Bigode	18. 9. 39. 05. 15	1. 22. 18. 00	42	15
f De Eta, no Bigode	22. 22. 40. 05. 15	1. 23. 22. 00	41	15
g De Iota, no Bigode	0. 40. 24. 15	0. 36. 55. 00	40	15
h De Kappa, no Bigode	3. 10. 35. 33	1. 42. 34. 00	39	15
i De Lambda, no Bigode	40. 3. 10. 05. 15	1. 42. 19. 00	38	15
j De Mu, no Bigode	49. 1. 30. 05. 15	1. 42. 19. 00	37	15
k De Nu, no Bigode	1. 0. 14. 03. 15	1. 41. 51. 00	36	15
l De Xi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	35	15
m De Omicron, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	34	15
n De Pi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	33	15
o De Rho, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	32	15
p De Sigma, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	31	15
q De Tau, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	30	15
r De Upsilon, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	29	15
s De Phi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	28	15
t De Chi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	27	15
u De Psi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	26	15
v De Omega, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	25	15
w De Iota, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	24	15
x De Kappa, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	23	15
y De Lambda, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	22	15
z De Mu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	21	15
aa De Nu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	20	15
ab De Xi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	19	15
ac De Omicron, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	18	15
ad De Pi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	17	15
ae De Rho, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	16	15
af De Sigma, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	15	15
ag De Tau, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	14	15
ah De Upsilon, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	13	15
ai De Phi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	12	15
aj De Chi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	11	15
ak De Psi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	10	15
al De Omega, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	9	15
am De Iota, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	8	15
an De Kappa, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	7	15
ao De Lambda, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	6	15
ap De Mu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	5	15
aq De Nu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	4	15
ar De Xi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	3	15
as De Omicron, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	2	15
at De Pi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	1	15

Catálogo das estrelas primitivas para o principado de 1770

Nome das estrelas e suas constelações	Declinação	Ascensão Recta	Distância	Var. ang. an.
a De Alpha, no Bigode	13. 34. 49. 30	0. 31. 15. 00	46	15
b De Gamma, no Bigode	19. 15. 38. 30	0. 32. 45. 00	45	15
c De Delta, no Bigode	58. 4. 19. 05. 15	1. 21. 19. 00	44	15
d De Epsilon, no Bigode	56. 34. 11. 05. 15	1. 21. 11. 00	43	15
e De Zeta, no Bigode	18. 9. 39. 05. 15	1. 22. 18. 00	42	15
f De Eta, no Bigode	22. 22. 40. 05. 15	1. 23. 22. 00	41	15
g De Iota, no Bigode	0. 40. 24. 15	0. 36. 55. 00	40	15
h De Kappa, no Bigode	3. 10. 35. 33	1. 42. 34. 00	39	15
i De Lambda, no Bigode	40. 3. 10. 05. 15	1. 42. 19. 00	38	15
j De Mu, no Bigode	49. 1. 30. 05. 15	1. 42. 19. 00	37	15
k De Nu, no Bigode	1. 0. 14. 03. 15	1. 41. 51. 00	36	15
l De Xi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	35	15
m De Omicron, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	34	15
n De Pi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	33	15
o De Rho, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	32	15
p De Sigma, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	31	15
q De Tau, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	30	15
r De Upsilon, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	29	15
s De Phi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	28	15
t De Chi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	27	15
u De Psi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	26	15
v De Omega, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	25	15
w De Iota, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	24	15
x De Kappa, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	23	15
y De Lambda, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	22	15
z De Mu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	21	15
aa De Nu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	20	15
ab De Xi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	19	15
ac De Omicron, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	18	15
ad De Pi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	17	15
ae De Rho, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	16	15
af De Sigma, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	15	15
ag De Tau, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	14	15
ah De Upsilon, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	13	15
ai De Phi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	12	15
aj De Chi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	11	15
ak De Psi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	10	15
al De Omega, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	9	15
am De Iota, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	8	15
an De Kappa, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	7	15
ao De Lambda, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	6	15
ap De Mu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	5	15
aq De Nu, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	4	15
ar De Xi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	3	15
as De Omicron, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	2	15
at De Pi, no Bigode	1. 0. 33. 29. 15	1. 41. 51. 00	1	15

O variação de Declinação he adittiva no boreal e subtractiva na austral. O variação de Ascensão Recta sempre he adittiva.

O variação de Declinação he adittiva no boreal e subtractiva na austral. O variação de Ascensão Recta sempre he adittiva.

Fotografia 14. Tabla de estrelas.



Figura 6. *Octantes de la época. El de la izquierda tendrá los dos palmos y medio de rayo preconizados por Monteiro da Rocha. El de la derecha tiene la escala oblicua correspondiente al nóvio de Pedro Nunes.*

se encontrará una «...explicação circunstanciada no Tratado Completo da Navegação»¹⁹.

Monteiro da Rocha también recomienda el uso de «... oitantes modernos, que tem hun pequeno oculo em lugar de pinula. Pelo oculo se engrandece alguma cousa a imagem do astro, e se mostra com mais distincão; circunstancias, que nos podem favorecer, para ajustar a imagem do astro com o horizonte quatro ou sinco vezes mais exactamente do que pela vista se pode fazer»²⁰.

Obtención de la latitud y regulación del reloj

Sendo la latitud un auxiliar muy importante para la obtención de la longitud, son expuestos procedimientos muy modernos, tal como la obser-

19. Cf., *op. cit.*, folio 45. El autor debe citar el libro de Francisco Xavier do Rego, *Tratado Completo da Navegação*, Lisboa, António Vicente da Silva, 1764.

20. Cf., *op. cit.*, folio 45 v.

vación de muchas alturas alrededor del paso del Sol por el meridiano del lugar y la utilización de medias de las observaciones.

Son explicadas las correcciones a introducir, la consulta de las tablas, y la corrección de la latitud para horas posteriores o anteriores, visto que las observaciones de longitud no coinciden con ellas. Se recomienda una estima lo más correcta posible, con el uso de la «barquinha» en intervalos muy cortos y efectuando medias de las observaciones. Es, también, descrita la latitud por la meridiana de estrellas.

La regulación del reloj, para se poder saber la hora del lugar, es explicada, enseguida, con gran detalle, usando las alturas del Sol o de estrellas. Las observaciones en gran número y reiteradas son recomendadas en la resolución del triangulo esférico para saber el ángulo en el polo del Sol.

El reloj, regulado para la hora verdadera del lugar, se podrá corregir con la ecuación del tiempo para dar la hora media. También se describe el modo de regular el reloj con las estrellas, explicando muy claramente que es necesario convertir el tiempo sideral en tiempo solar.

También san aconsejados los mejores períodos de observación, que serán cuando el Sol o las estrellas se encuentren alejadas del meridiano y con alturas suficientemente altas, porque cerca del horizonte la refracción es demasiado grande e imprevisible, y las alturas cerca del meridiano dan un ángulo en el polo poco riguroso. Lo mejor es observar el Sol, media hora o tres cuartos de hora después del amanecer y, por la tarde, lo equivalente.

Práctica de las observaciones de la Luna

Los diferentes métodos preconizados por Monteiro da Rocha se fundamentan en la observación de la Luna, estrellas y el Sol, y en la obtención de su *longitud celeste* que está tablada (tabla XII) de cuatro en cuatro horas para el meridiano de Lisboa. (Véase la figura 7 donde se define la longitud celeste).

Sin embargo, la distancia angular entre una estrella cerca de la eclíptica, o el Sol, es la base del proceso, pero esta distancia se tiene que con-

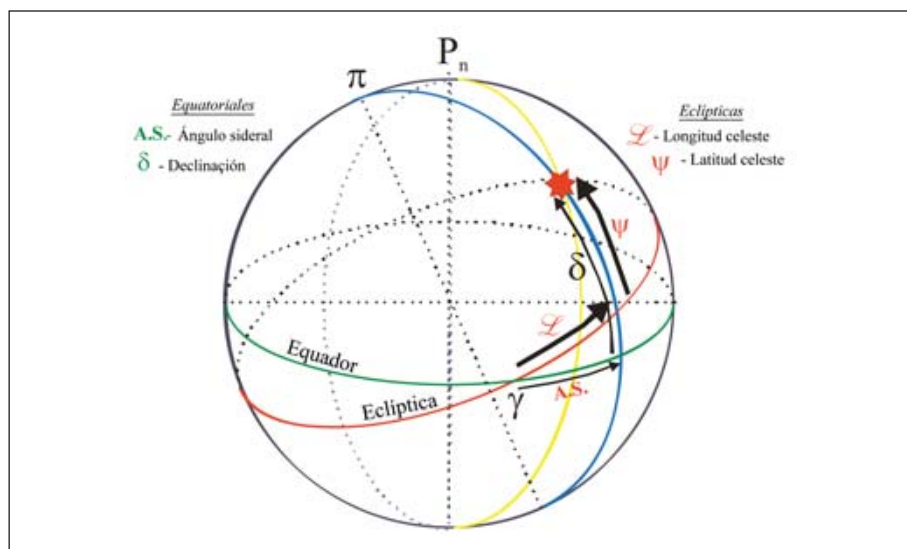


Figura 7. *Coordenadas equatoriales y eclípticas.*

vertir en longitud celeste, lo que se hace fácilmente se miramos la figura 8, donde se representa el Sol y la Luna, su distancia angular, la eclíptica y su polo, los círculos eclípticos de los dos astros, y sus latitudes celestes.

Para saber el valor de la diferencia de longitud celeste entre el Sol (o una estrella), y la de la Luna ΔL , se resuelve el triángulo esférico πSL , siendo dados los tres lados: D , distancia verdadera; πS , $90^\circ - \psi_S$; πL , $90^\circ - \psi_L$. La figura 8 ilustra la situación.

El método de cálculo es simplificado por el autor, atribuyendo letras a las cantidades a calcular y arreglando el mismo, de modo muy claro. En la figura 9 se muestra un ejemplo de cálculo en el folio 52 v. del manuscrito²¹.

En los apéndices se estudian o están estudiados los diferentes métodos, que yo he calculado utilizando el programa de astronomía del compu-

21. Los cálculos hechos en el programa *Excel* han dado como resultado, para el ángulo en el polo, $35^\circ 55' 22''$ lo que corresponde a una diferencia de $42''$ para el valor calculado por el autor.

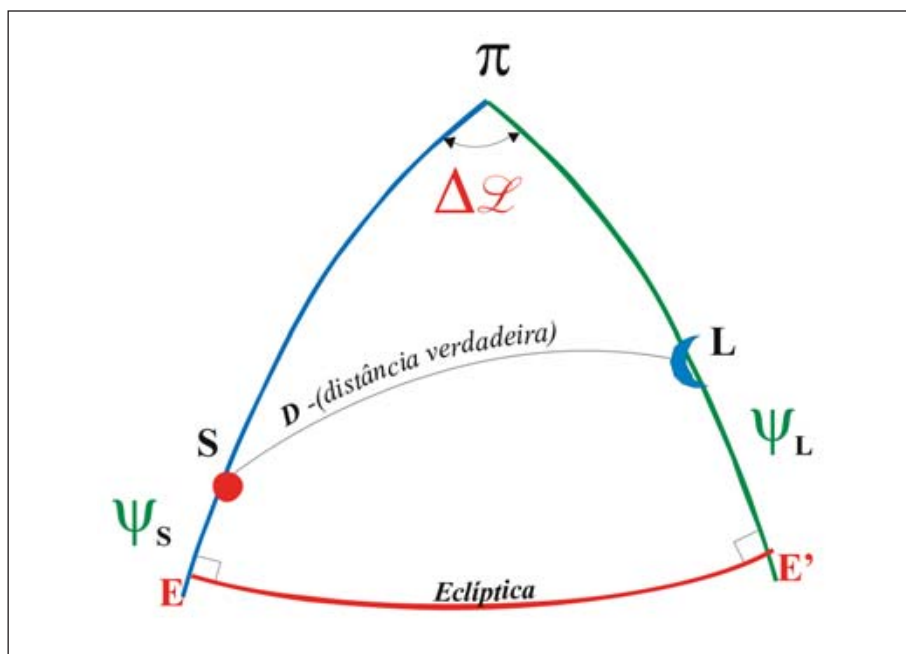


Figura 8. Conversión de la distancia verdadera en diferencia de longitud celeste.

tador y el programa *Excel*. En los mismos se hacen transcripciones y comentarios sobre este valioso documento, que representa, con mucha evidencia, el alto nivel intelectual y científico del Padre Monteiro da Rocha y también su conocimiento de lo que se pasaba en Europa en su área de saber.

Ha sido para mí una tarea muy difícil interpretar los diferentes métodos, que son todos muy sencillos para el autor pero complicados para quién los quiere entender.

Es muy interesante verificar lo que el autor afirma, en el folio 21, al comentar que se limita a dar las informaciones básicas a los Pilotos sin entrar en grandes divagaciones teóricas: «E pela mesma razão não darei a demonstração das regras, para que se não confunda a dificuldade da theorica com a facilidade da practica»²².

22. *Ibidem*, *ibidem*.

a altura do sol $39^{\circ} 37' 19''$, cujo complemento $50^{\circ} 22' 41''$, cuja
 versai com a letra C. Somando estes numeros fazem $241^{\circ} 6'$
 $23''$, cuja metade $120^{\circ} 33' 12''$ y crevo com a letra D. Tiran
 do A de D, tenho o arco E; e tirando B de D, tenho o ar
 co F: Donde terei o Compl. do Sen. Log. de A 0.0107331
 e o de B 0.0373181; o Sen. Log. de E 9.8357159, e
 o de F 9.0947363. A soma de todos faz 18.9785034
 cuja metade 9.4892517 he Seno Log. de $17^{\circ} 58' 7''$; e
 multiplicando este numero por 2, fara $35^{\circ} 56' 14''$ que
 em tempo vale $2^h 23' 44'' 56'''$, ou Redondamente 2^h
 $23' 45''$. Todo este calculo se ordena do modo seguinte

A $77^{\circ} 18' 51''$	}	Compl. Log. de A. 0.0107331
B $113^{\circ} 24' 51''$		Compl. Log. B. 0.0373181
C $50^{\circ} 22' 41''$		Log. Sen. E 9.8357159
<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Soma $241^{\circ} 6' 23''$		Log. Sen. F 9.0947363
D $120^{\circ} 33' 12''$		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Soma 18.9785034
E $43^{\circ} 14' 21''$		Metade 9.4892517
F $7^{\circ} 8' 21''$	ou Sen. Log. de $17^{\circ} 58' 7''$	
		Duiplo $35^{\circ} 56' 14''$
		em tempo $2^h 23' 45''$

95. Temos achado, que o verdadeiro instante da noz

Figura 9. Cálculos para regulación del reloj.

En estas condiciones, es natural que el autor no justifique prácticamente nada, y haga una disposición de cálculo, extremadamente simple, que, con las reglas a las que los pilotos estaban habituados, sería suficiente.

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

En estas condiciones, tras este estudio de tan valioso documento, comentaré algunas informaciones que pueden extraerse de su contenido y que constituyen un importante testimonio del desarrollo de la navegación y de la geografía, a mediados del siglo XVIII, no sólo en Portugal sino también en Brasil.

Los cálculos que he hecho con los medios modernos están prácticamente de acuerdo con los de los numerosos ejemplos, y raramente difieren algunos segundos de arco.

La tabla XII, con las longitudes celestes de la Luna, es una de las primeras tablas que en Europa se hicieron con el objetivo de resolver la longitud por distancias lunares. El estudio de un proceso práctico para reducir las distancias y simplificar los cálculos estaba dando sus primeros pasos, y sólo algunos decenios después, Borda y otros autores, como Mendonza Ríos, han propuesto soluciones prácticas adecuadas. Fue el método de Borda el más divulgado, pero solamente encontrado, por este ilustre matemático, en 1787, 20 años después de este proceso de Monteiro da Rocha²³.

El autor reseña las longitudes de varios lugares en el Brasil, en Europa, y en otras partes del mundo, lo que demuestra su conocimiento del problema de las longitudes y del desarrollo de la geografía en la época²⁴.

El autor señala inequívocamente que viajó a finales de 1766, desde el Brasil a Lisboa, al comentar la utilización del método de las inmersiones de una estrella en el disco lunar, durante ese viaje.

Hay también informaciones de la actividad de Eusébio da Veiga, y de sus cálculos de la diferencia de longitud entre Lisboa y París, por lo mismo método de las inmersiones²⁵. Este jesuita optó por permanecer en la Orden y se exilió en Roma.

Las situaciones establecidas por el autor, en sus ejemplos, son increíblemente reales, y de acuerdo con las recreadas informáticamente.

23. Sobre la evolución de los procesos véase mi trabajo arriba referido, *Experiencias con Instrumentos ...*, y también, Charles H. Cotter, *op. cit.*, pp. 195-297.

24. En el folio 93, se dan las longitudes de Lisboa, Cabo Verde, Tenerife; isla de Ascensión, cabo de Buena Esperanza, Goa, y Macao. La longitud de Bahía fue calculada por Monteiro da Rocha, como el mismo señala. Afirma también que «O Rio de Janeiro, por observaçoens dos Académicos de Paris, está em 334° 48' 45'', ou redondamente em 334° 49'». La comparación de las longitudes reseñadas por el autor, poco difieren de la realidad actual.

25. *Idem*, folio 83v. Los cálculos fueron efectuados en 5 de Agosto de 1753 a las 8 h 41' 27". Los otros cálculos efectuados por astrónomos, mediante otros procesos (satélites de Júpiter) dan la diferencia de 11° 30' y la real es de aproximadamente 11° 18' (entre el Terreiro do Paço y la Torre Eiffel). Eusébio da Veiga, autor entre otras importantes obras de una de las primeras tablas de efemérides astronómicas en Portugal, optó por no abandonar la Compañía de Jesus, en 1759, por lo que tuvo que trasladarse a Roma.

Monteiro da Rocha también recomienda el uso de «... oitantes modernos, que tem hun pequeno oculo em lugar de pinula. Pelo oculo se engrandece alguma cousa a imagem do astro, e se mostra com mais distincção; circunstancias, que nos podem favorecer, para ajustar a imagem do astro com o horizonte quatro ou cinco vezes mais exactamente do que pela vista se pode fazer».

Sus informaciones sobre los relojes de la época usados a bordo, sobre el uso de la «barquinha», los procedimientos de observación de los astros en su aspecto práctico, las observaciones múltiples y reiteradas de las alturas de los astros, la rectificación del octante, la identificación de estrellas, del método de obtener la latitud por el Sol y otros astros en el paso por el meridiano del lugar, el método de obtener la latitud por alturas próximas al meridiano y al mismo reducidas, el uso del reloj para conservar por tiempo limitado la hora del lugar, los consejos prácticos para observaciones precisas de la Luna y de sus distancias a otros astros, y, en la parte final de su trabajo, el capítulo titulado «Criterio da Longitude Observada», donde se hace el análisis de los errores y de la precisión del calculo, convierten a este manuscrito en un autentico manual de navegación astronómica, que, probablemente, es el mejor de los que se hicieron en Portugal en aquella época.

Lamentablemente, la actividad posterior de nuestro ex-jesuita, dedicado a labores administrativas en Coimbra, ocasionó que fuera preciso esperar más de treinta años para que sus métodos fueran reconocidos y publicados por Francisco da Paula Travassos.

Pero Monteiro da Rocha tomó parte, a mediados del siglo XVIII, en la discusión de un método para obtener la longitud, habiéndose anticipado a muchos otros técnicos europeos.

Su trabajo en este área merece un estudio más profundo, y estoy convencido que ese trabajo mostrará otras facetas desconocidas de un hombre que ocupa, probablemente, uno de los lugares más destacados en la historia de la ciencia en Portugal, y por qué no, en la Europa de su tiempo.

Apêndice 1

Manuscrito de José Monteiro da Rocha, de 1767 *Ms. 511 da Coleção Pombalina da Biblioteca Nacional de Lisboa*

Índice detallado, extraído del ejemplar fotocopiado²⁶

Fólio 1. Título: **Methodo De achar a Longitude Geográfica no mar e na terra Pelas Observaçoes e cálculos da Lua Para o uso da Navegação Portuguesa. Pelo P. Jozé Monteiro da Rocha.**

Fólio 2. **Ao Ill mo e Ex. mo Senhor Conde de Oeiras Ministro e Secretario dos Negócios do Reino.** (Dedicatória do autor ao Marquês de Pombal).

Fólio 4. **Methodo de Achar a Longitude Geográfica. Introdução.** Evolução histórica dos métodos para determinar a longitude no mar, em 17 parágrafos, feita com muito desenvolvimento e com notas de rodapé elucidativas das fontes.

Fólio 18. **Methodo De achar a Longitude Geográfica no mar e na terra. § I. Idea geral dos pontos e círculos principais da Esfera.** 16 parágrafos com definições necessárias à compreensão do texto e que recapitulam os conhecimentos básicos de astronomia de posição.

Fólio 21. **§ II. Uso dos cálculos, que se hão de praticar na determinação da longitude.** Operações aritméticas com números complexos. Operações com logaritmos. Tudo em 29 parágrafos.

Fólio 32. **§ III. Explicação das Taboas gerais deste Tratado.** Explicação das XII tábuas finais e do catálogo de estrelas, em 21 parágrafos.

Fólio 42. **§ IV. Uso dos Instrumentos, que se devem aplicar nas observações da Longitude.** Uso do relógio e do octante. Explicação detalhada do uso destes dois instrumentos em 10 parágrafos.

Fólio 46. **§ V. Methodo de praticar as observações da Latitude.** Dado que a latitude a usar nos cálculos da longitude pelos métodos propostos deverá ser muito correcta, explica o autor métodos mais rigorosos para obtenção da latitude pela passagem meridiana do Sol ou de estrelas, com exemplos. Explicação em 8 parágrafos.

Fólio 50. v. **§ VI. Methodo de regular o Relógio.** Explicação de um método para achar a marcha de um relógio por observações astronómicas. Trata-se da determinação do horário do Sol no lugar, usando a sua altura e o cálculo logarítmico. Também preconiza o uso do cálculo do horário no lugar por alturas de estrelas. Explicação em 9 parágrafos.

Fólio 55. v. **§ VII. Pratica das observações da Lua.** Método rigoroso de observação da altura da Lua, com todas as correcções possíveis e todos os cuidados que requer, nomeadamente médias de observações e tempos, escolha criteriosa do limbo a observar. Cui-

26. Los comentarios en portugués que siguen a los títulos han sido realizados por mí.

dados a ter também na observação da distância angular da Lua ao Sol ou a uma estrela, métodos de utilização do octante, correcções, etc. Método de observação das distâncias lunares com todas as observações necessárias e simultâneas: Distância Sol (estrela)-Lua; altura da Lua; altura do Sol (estrela). Em 16 parágrafos.

Fólio 65. § VIII. **Primeiro methodo de achar a Longitude.** Baseia-se na determinação da longitude celeste da Lua pela observação da altura deste astro com um bom instrumento e sabendo com bastante rigor a hora da observação (a hora do lugar), e a latitude. O autor afirma que usou este método na sua viagem da Bahia para Lisboa em 1766, tendo comparado a longitude observada com a longitude previamente conhecida da Ilha de Santa Maria, que era de $354^{\circ} 37'$ e que foi avistada no dia seguinte ao da observação. O resultado da dita observação foi de $354^{\circ} 36'$, feito por «... três observaçoens reiteradas [da Lua] ...», que correspondia a estar «... mais de 5 gr. para Oeste, do que se julgavão os Pilotos».

Fólio 69- § IX. **Segundo Methodo de achar a Longitude.** Neste método Monteiro da Rocha sugere que se observe com rigor e simultaneamente, as alturas da Lua e de uma estrela próxima da eclíptica durante o momento em que estes astros se encontrem quase no mesmo vertical. Dá como exemplo a data de 29 de Dezembro de 1767, em lugar de coordenadas também anunciadas, sendo a estrela a observar a Aldebaran. Com os dados conhecidos e utilizando o programa Starry Night, verificámos que estes astros ficam quase no mesmo vertical no momento da observação. Recomenda também o autor que os astros «... estejam distantes entre si o mais que for possível...». Como a longitude celeste da estrela se pode determinar com rigor e é praticamente independente da hora da observação (o autor até refere que foi à efeméride buscar este valor «... no fim do ano de 1767...»), a observação rigorosa das alturas, as declinações dos dois astros e as suas latitudes celestes, obtidas da efeméride com a hora aproximada das observações, permitirá calcular a sua distância angular. Este valor, com a longitude celeste da Aldebaran tirada da efeméride permitirá calcular a diferença entre as longitudes celestes destes dois astros, e como a da estrela é conhecida com rigor, obter-se-á com rigor a longitude celeste da Lua. Com esta longitude, a efeméride dará a hora da observação no meridiano de referência, seguindo-se as habituais operações para obter a longitude do lugar.

Fólio 74v. § X. **Terceiro Methodo de achar a Longitude.** Trata-se do método das distâncias lunares propriamente dito. A primeira descrição refere-se à distância entre a Lua e uma estrela e a segunda à distância entre a Lua e o Sol. Em cerca de 11 páginas é exposto em detalhe o método, que se baseia na determinação da alturas dos astros e da sua distância angular, de modo simultâneo ou com os artifícios já anteriormente expostos, se não for possível a simultaneidade das observações. É dado um exemplo elucidativo, com a respectiva disposição de cálculo. Baseia-se também no cálculo da longitude celeste da Lua no momento da observação e da sua comparação com o valor tabelado em intervalos de 4 horas. A hora do meridiano de referência assim obtida é comparada com a hora média do lugar da observação, que é conservada pelo relógio, previamente regulado, no mesmo dia.

Fólio 79v. § XI. **Quarto Methodo de achar a Longitude.** É o método baseado na hora da *imersão* de uma estrela no bordo oriental, ou da sua *emersão* no bordo ocidental da Lua. A observação far-se-á de preferência com «... óculos achromaticos ...», como sugere Monteiro da Rocha. Também o nosso jesuíta comenta que este método «... he o mais van-

tajoso de todos, que se podem imaginar. A observação da imersão de hua estrella no bordo da Lua he o mesmo, que se observássemos exactissimamente a distancia da estrella ao centro da Lua; porque esta distancia é nesse caso igual ao semidiametro da Lua, que nós podemos saber pela efeméride com exacção muito maior, do que pode haver nas observaçoens praticadas pelos mais excellentes instrumentos». No momento preciso da imersão observa-se a altura da Lua e depois procede-se às operações necessárias, aliás algo complexas, de determinar a longitude celeste deste astro, atendendo à refração, à paralaxe etc. De facto, se não houvesse paralaxe e refração, a conversão da longitude celeste da estrela (muito rigorosa), em longitude celeste da Lua seria apenas dependente da sua distância ao centro deste astro, que é igual ao semidiametro. Mas tal não é verdade e tornam-se necessárias correcções. Com a longitude celeste obter-se-á como em todos os outros métodos, a hora do meridiano de referência, que comparada com a hora local dará a longitude.

Fólio 84. § XII. **Quinto methodo de achar a Longitude.** Neste método, muito engenhoso, é um meio de «... ampliar o uso do precedente. Alguas vezes passa a Lua pela vizinhança de hua estrella, sem chegar a occultála; e neste caso observando o instante em que se acha a estrella no alinhamento das pontas iluminadas da Lua, com a altura da mesma Lua, podemos vir ao conhecimento da Longitude». De facto, se não fosse o efeito da refração, elevação do observador, paralaxe, etc., a longitude celeste da Lua era praticamente igual à da estrela, sendo a única correcção a fazer, a da diferença entre o alinhamento das pontas da Lua (que deverá estar próxima da Lua Nova ou da Lua Cheia), e o centro deste astro. São então necessárias várias correcções, que permitirão finalmente obter a verdadeira longitude celeste da Lua.

Apéndice 2

Relación de manuscritos de Monteiro da Rocha elaborada por la Secretaria
de la *Academia das Ciências* en 8 de marzo de 1825, anexa a los
pareceres constantes de su *processo académico*

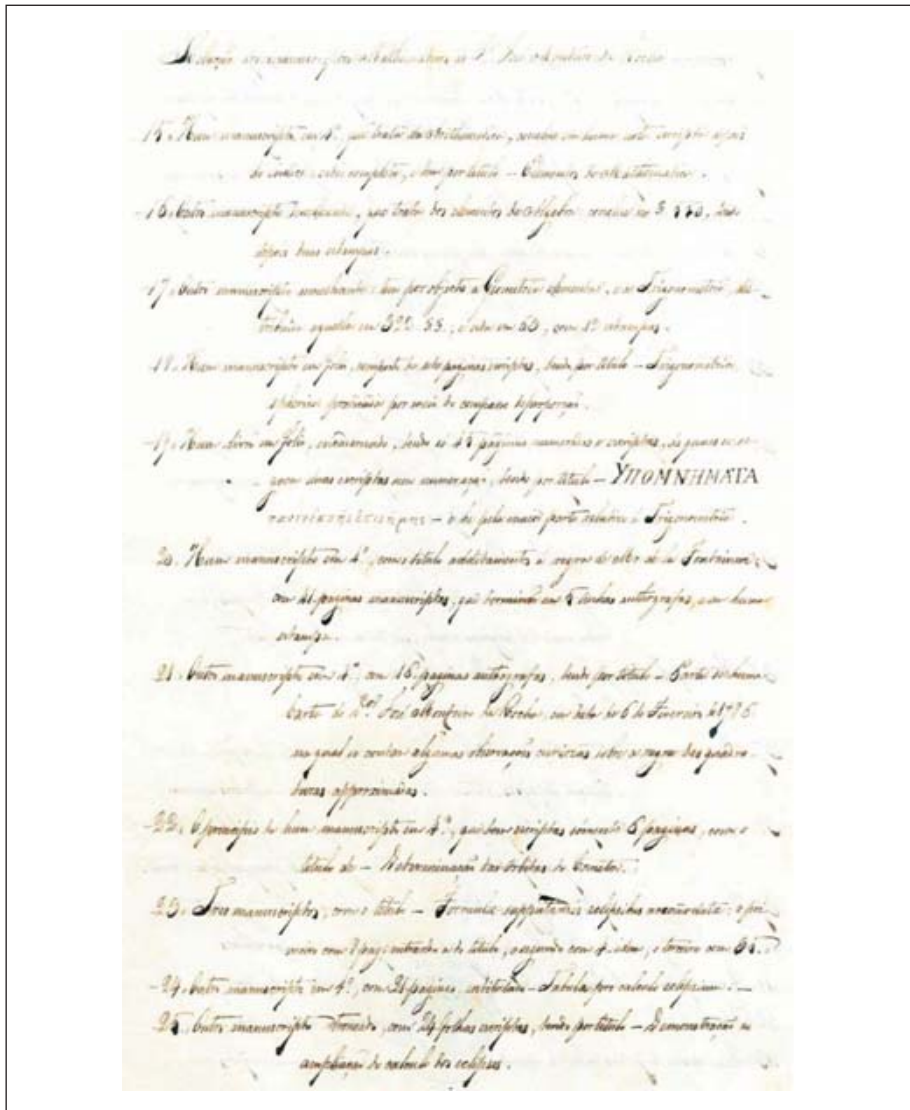


Figura A2.1.

Apéndice 3

**Resolución del ejemplo del primero método para obtener
la longitud por medida de una altura de la Luna²⁷**

El método se fundamenta en la medida muy cuidadosa de una altura de la Luna en lugar de latitud conocida también con bastante rigor.

Para comprenderlo mejor, se hace necesario observar la figura A3.

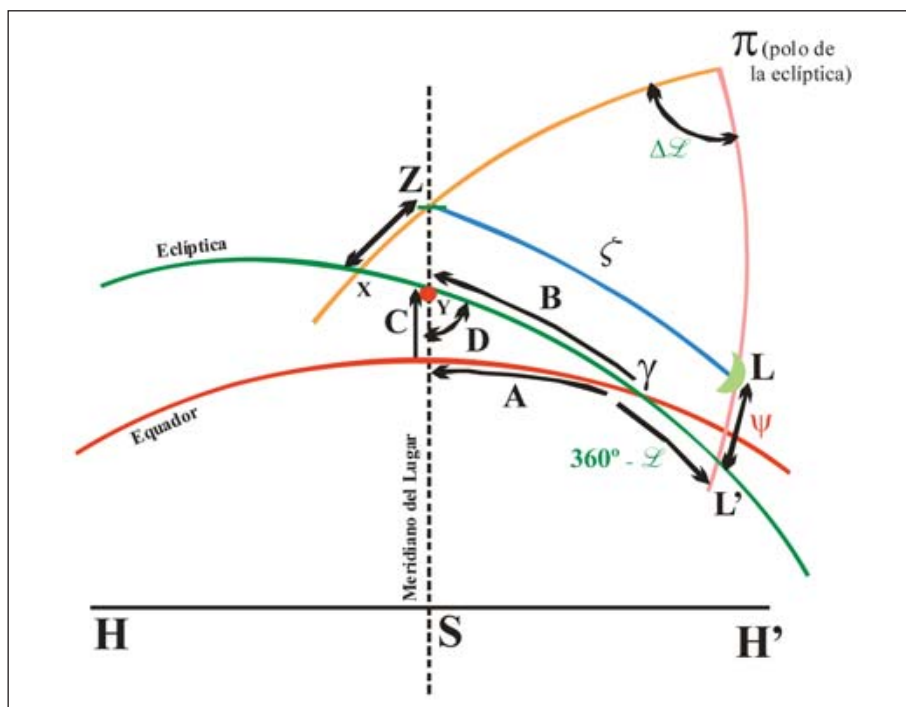


Figura A3. *Primer método.*

El autor nunca justifica las operaciones descritas, por lo que deberán ser descubiertas.

Mi interpretación, que ha sido verificada recurriendo a la resolución de los triángulos esféricos resultantes de la situación del ejemplo del folio 67 y siguientes, corresponde, en resumen, a lo siguiente:

27. Cf., *op. cit.*, fólíos 64v-69.

- Observar la altura de la Luna con mucha «exacção», e introducir en esta altura todas las correcciones, para obtener la altura verdadera. La distancia zenital requerida es ζ en la figura ($50^{\circ} 19' 38''$).
- Con la longitud estimada (el rigor de 5 grados es suficiente), obtener la ascensión recta del meridiano, **A** en la figura ($0h 28' 39''$).
- Con este valor, y en la Tabla VII, interpolando, obtener el *punto de la eclíptica* (**B** en la figura, $7^{\circ} 48' 03''$), y la latitud de la eclíptica (que es boreal, **C** en la figura, $3^{\circ} 05' 56''$).
- Con el mismo valor de ascensión recta del meridiano obtener en la tabla IX el *ángulo de la eclíptica* con el meridiano (**D**, $66^{\circ} 43' 29''$).

El principio de la determinación de la longitud preconizado por Monteiro da Rocha es, como sabemos, el obtener con el mayor rigor posible la longitud celeste de la Luna y consultar las tabla XII, donde se podrá, por interpolación, saber a que hora del meridiano de Lisboa corresponde esa longitud. Su comparación con la hora del lugar, conservada por un reloj, dará longitud del lugar.

Si observamos la figura A3, teniendo en cuenta los datos del problema que arriba describimos, y que constan del ejemplo dado por el autor y que fueran recreados en el programa *Starry night* para el día y hora del mismo ejemplo, podremos comprender cómo nuestro Padre ay resuelto el problema, tal cómo describe en seguida.

Calcular el arco ZY que es igual a la latitud del lugar menos el valor de C, obtenido de la tabla.

En el triángulo esférico ZXY, rectángulo en X, determinar, utilizando las reglas de Neper, los lados XY y XZ. El resultado en el *excel* es: XY = $12^{\circ} 31' 02''$ (el valor del ejemplo, **H**, es de $12^{\circ} 31' 01''$); XZ = $26^{\circ} 44' 28''$ (en el ejemplo, **G**, $26^{\circ} 45' 21''$).

Con el lado XZ, obtener el lado πZ , que es $90^{\circ} - XZ$ ($63^{\circ} 15' 32''$).

Con la latitud celeste de la Luna (φ), obtenida de las efemérides (como informa el autor), obtener el lado πL que es $90^{\circ} - \psi$ ($86^{\circ} 28' 43''$).

Resolver el triángulo πZL , sabiendo la distancia zenital verdadera de la Luna ($50^{\circ} 19' 38''$) y obtener la diferencia de longitud celeste entre la Luna y el meridiano de la eclíptica que pasa por Z. Utilizar la fórmula constante de la figura 2, visto que el problema es igual. El resultado es $46^{\circ} 44' 54''$ y el del ejemplo de $46^{\circ} 44' 32''$.

Con el valor del arco XY arriba obtenido, juntar el valor del arco B (*punto de la eclíptica*), obteniendo así el valor del arco $X\gamma$ que es de $20^{\circ} 19' 05''$ ($20^{\circ} 19' 04''$ en el ejemplo). Sustrayendo a este valor la diferencia de longitud obtenida arriba se obtiene el arco $\gamma L'$.

De aquí se puede extraer la longitud celeste de la Luna que es $360^{\circ} - \gamma L'$ que es de $333^{\circ} 34' 11''$ por mis cálculos e de $333^{\circ} 34' 32''$ en el ejemplo.

Finalmente, en la tabla XII, y por interpolación, se obtendrá la hora de Lisboa y la longitud, por comparación con la hora del lugar.

Todos los cálculos del ejemplo fueran verificados con el programa *Excel*, como he señalado anteriormente, y los errores son de escasos segundos de arco²⁸.

Monteiro da Rocha afirma que hay utilizado este método «... na viagem da Bahia para Lisboa no fim do ano último de 1766, usando de hum relógio ordinário e de hum oitante mediano». Afirma, a continuación que:

«...no dia 28 de Novembro de manhã por tres observaçoens reiteradas me achei em 354° 36'; mais 5 gr. para Oeste, do que se julgavão os Pilotos. Mas no mesmo dia de tarde avistámos a Ilha de S. Maria, que segundo os Roteiros modernos está em 354° 37'. Esta feliz verificação das minhas observações serviu de prova a todas as antecedentes, que á sua proporção me fazião sempre mais a Oeste, do que supunha a derrota itineraria dos Pilotos²⁹.

28. También es posible preguntarse si los errores son de las tablas de logaritmos de la época o del ordenador.

29. Cf., *op. cit.*, folio 68v.

Apéndice 4

Resolución del ejemplo del segundo método para obtener la longitud por medida de las alturas de la Luna y de una estrella, muy cerca del mismo vertical³⁰

El método se basa en la medida muy rigurosa de las alturas de la Luna y de una estrella próxima de la eclíptica, y que, en el momento de la observación, se encuentre muy cerca de la vertical de la Luna.

Véase la figura A4, hecha con los elementos tomados para la situación del ejemplo recreada en el programa *Starry night* para el lugar y data del mismo (figura A4).

Los datos así obtenidos, permitirán conocer la diferencia entre los azimuts de los dos astros (G-g), resolviendo los triángulos esféricos ZPnE y ZPnL.

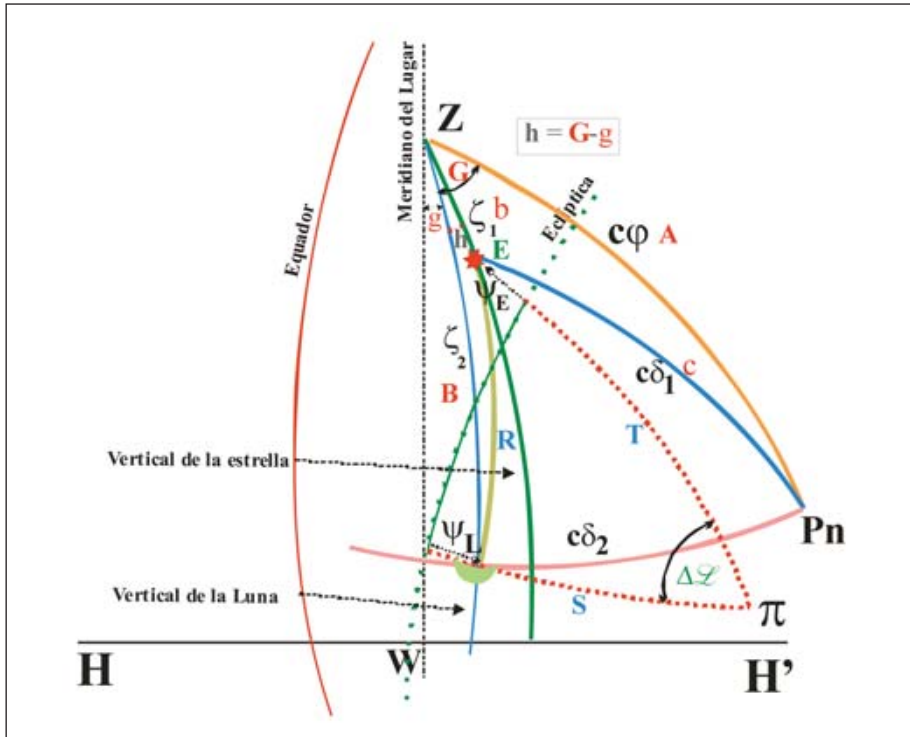
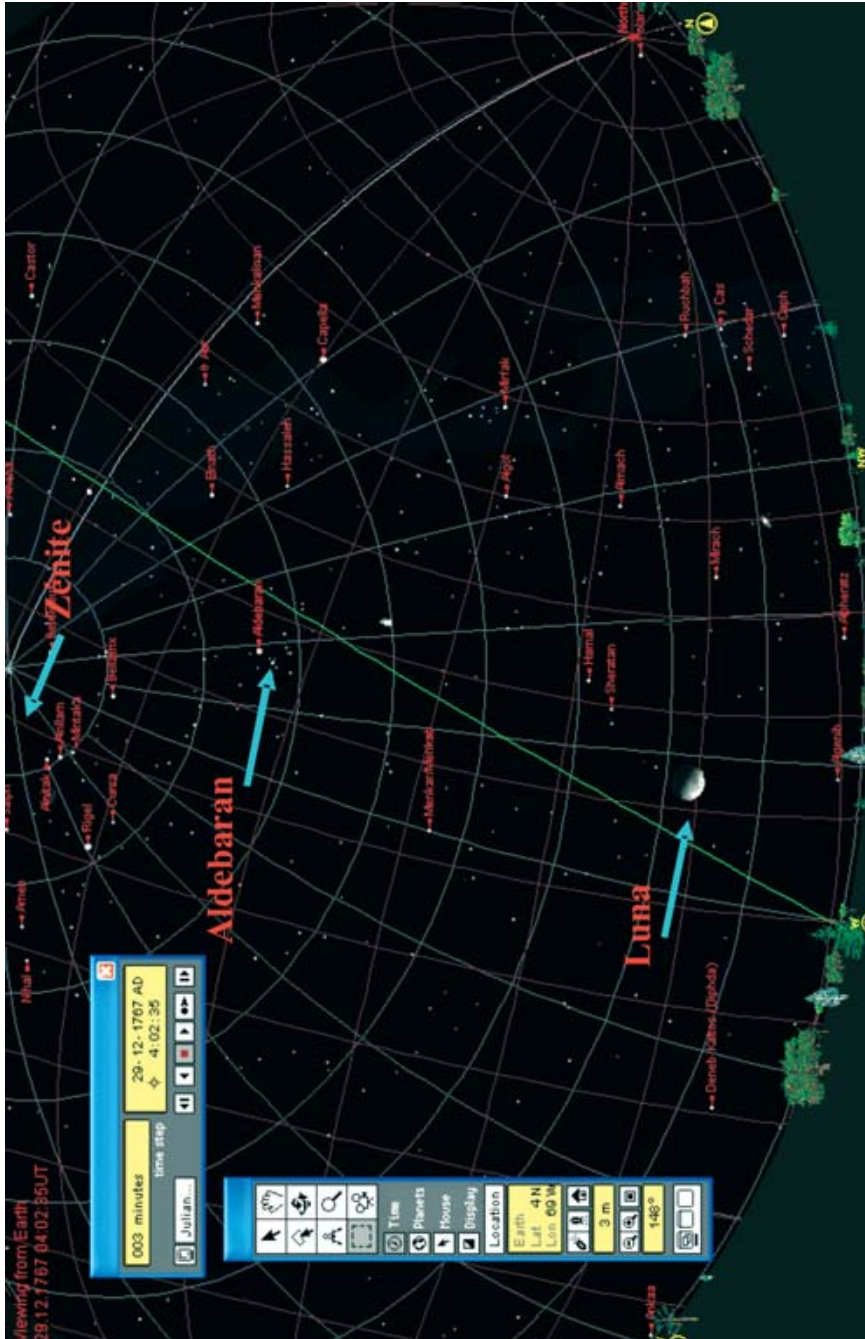


Figura A4. Segundo método.

30. Cf., *op. cit.*, fólíos 69-74v.



Fotografía 16. Segundo método. Luna casi en la misma vertical. Fecha y localización del ejemplo.

Con esta diferencia de azimuts y los complementos de las alturas verdaderas de los dos astros, resolviendo el triángulo ZEL, se obtiene la distancia verdadera R, una vez que las alturas de los astros ya estaban reducidas al centro de la tierra.

Con la longitud aproximada, se tiene la hora de Lisboa y de la efeméride las latitudes celestes de la Luna ($\psi\mathbf{l}$) y la de la estrella ($\psi\mathbf{e}$). Véase en la figura la representación de la posición de la eclíptica, que permite comprender lo que se sigue.

Con las latitudes celestes de los astros (en el caso de la Luna su complemento, y en el caso de la estrella su valor con 90°), se obtiene la diferencia de longitud celeste entre la Luna y la estrella, resolviendo el triángulo.

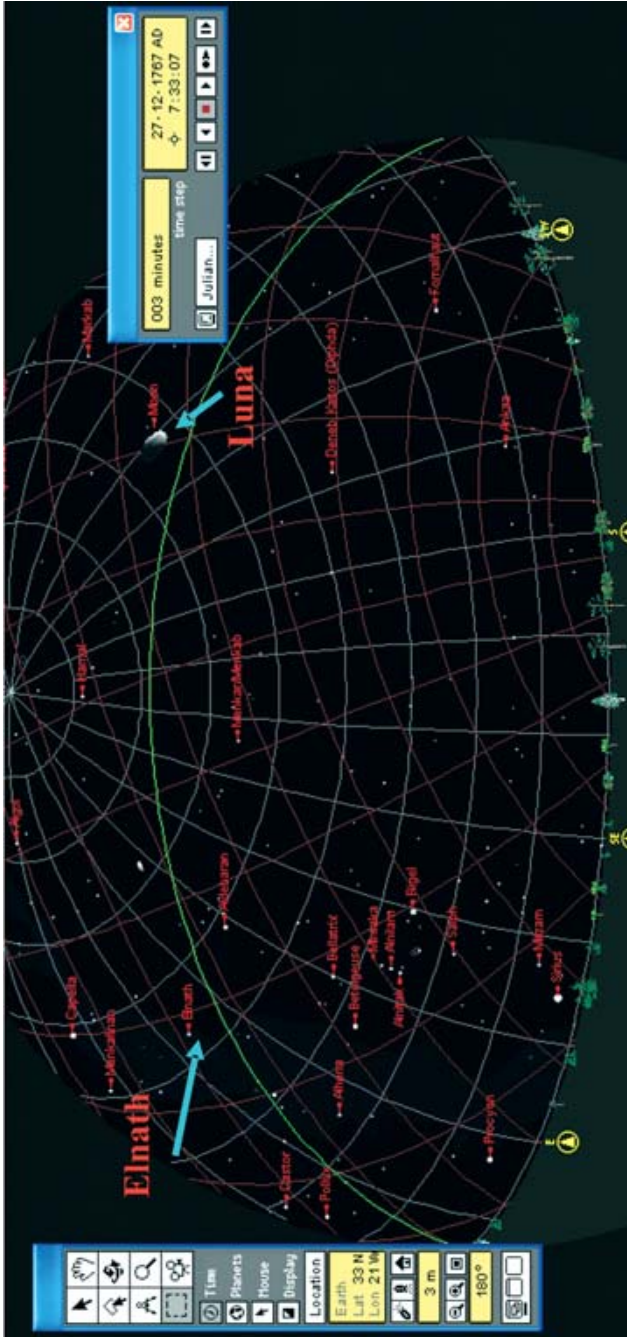
Con este valor, y sabiendo de la efeméride la longitud celeste de la estrella Aldebarán, se tiene la longitud celeste de la Luna.

Con este valor, se extrae de la Tabla la hora de Lisboa por interpolación, continuando las operaciones normales para la longitud del lugar de la observación.

El autor hace algunos interesantes comentarios a este método, de entre los cuales es interesante referir que, si los dos astros estuviesen rigurosamente en la misma vertical, la distancia verdadera sería inmediatamente conocida, dado que correspondería a las diferencias de las alturas verdaderas de los dos astros. Para verificar el alineamiento de los astros con la vertical, Monteiro da Rocha recomienda el uso de hilo de plomo.

Otra observación muy interesante es que, con el Sol, que también puede ser usado, hay una simplificación al resolver el triángulo $\pi\mathbf{EL}$ ya que como el Sol no tiene latitud celeste, el triángulo es rectángulo en el lugar de este astro.

Resolvemos todos los triángulos con el programa Excel, y los resultados o son coincidentes o difieren en pocos segundos de arco.



Fotografía 17. Tercer método. Distancia Luna-estrella y alturas simultáneas de estos astros. Fecha y localización del ejemplo.

Apéndice 5

Resolución del ejemplo del tercer método para obtener la longitud por medida de la distancia angular entre una estrella cerca de la eclíptica (o el Sol), y la Luna, con la medición simultánea de sus alturas³¹

Sobre este método, vamos a dar la palabra al autor:

Deste método tenho feito uso varias vezes no mar, e na terra; e das mesmas observacoens calculadas por outro metodo fizeram os famosos Astrónomos Halley, da Caille, e Maskelyne. E ainda que as observaçoens em que se funda este methodo, são mais trabalhosas na execução, com tudo o piloto hábil pode com o exercicio facilitar-se muito, e adquirir hum conhecimento perfeito de todos os meios que podem em diversas occasioens interessar a ponto mais importante da sua arte³².

Este es en realidad, el método que se ha aceptado durante más de un siglo y medio, y que ha sufrido una evolución permanente en lo que se refiere a la manera de reducir la distancia, entre la Luna y el astro, al centro de la Tierra.

Para mejor entender el procedimiento preconizado, se sugiere leer lo que hemos dicho en nuestro trabajo, *Experiencias com Instrumentos e Métodos Antigos de Navegação*³³.

Veamos entonces la solución del autor utilizando la figura A5, en la cual está representada la situación del ejemplo, extraída del programa *Starry Night*. Lo que es verdaderamente llamativo, es que las situaciones de todos los ejemplos corresponden, segundo el programa, a la situación real, estando los astros posicionados relativamente al lugar del ejemplo, de forma impresionantemente aproximada, y muchas veces coincidente con las del ordenador.

En el lugar de coordenadas dadas, son observadas la distancia entre la Luna y la estrella «b da Ponta boreal do Touro» (que es la Beta de la constelación del Tauro, como el programa claramente identifica), y simultáneamente las alturas de estos astros. La distancia así obtenida, es la *distancia aparente*.

Corrigiendo las alturas de la depresión del horizonte y de la refracción terrestre, se obtienen sus *alturas aparentes* (a_p), en la figura.

Corrigiendo estas alturas de la paralaje y de la refracción astronómica, se obtienen sus *alturas verdaderas* referentes ahora al centro de la Tierra, de acuerdo con las efemérides (a_v).

Véase en la figura que la altura aparente de la estrella es más grande que su altura verdadera, visto que el efecto de la refracción astronómica, causada por la atmósfera terrestre es el de elevar la estrella en el horizonte. Para corregirla, tendrá entonces que sustraerse

31. Cf. *op. cit.*, fólíos 74v-79v.

32. Cf. *op. cit.*, fólío 79v.

33. Cf. *op. cit.*, pp. XIV-33-52 y Apéndices 3 y 4. Toda la justificación matemática e histórica esta expuesta en este trabajo, especialmente la demostración de la formula para reducir la distancia y la solución preconizada por Borda, que ha sido la mas popular entre los marinos.

méridos para saber la latitud celeste de los astros e resolviendo el triángulo esférico $\pi E'L'$. El resultado en el *Excel*, para la diferencia de longitud fue de $77^{\circ} 18' 04''$ y el del ejemplo (folio 78 v, sexta línea) es de $77^{\circ} 18' 04''$. Podré afirmar, como dije antes, que los resultados no solo difieren apenas en escasos segundos de arco, sino que muchas veces son coincidentes, como en este caso.

Apéndice 6

Cuarto y quinto métodos para obtener la longitud por medio del momento de la inmersión de una estrella en el disco lunar y por medio de la observación del momento del pasaje de una estrella por el alineamiento de las puntas de la Luna³⁵

Estos métodos se fundamentan en la apreciación correcta del momento de la *inmersión* de una estrella conocida en el borde oriental de la Luna, o en su *emersión* por su borde occidental y también del pasaje de una estrella en línea con las puntas de la Luna.

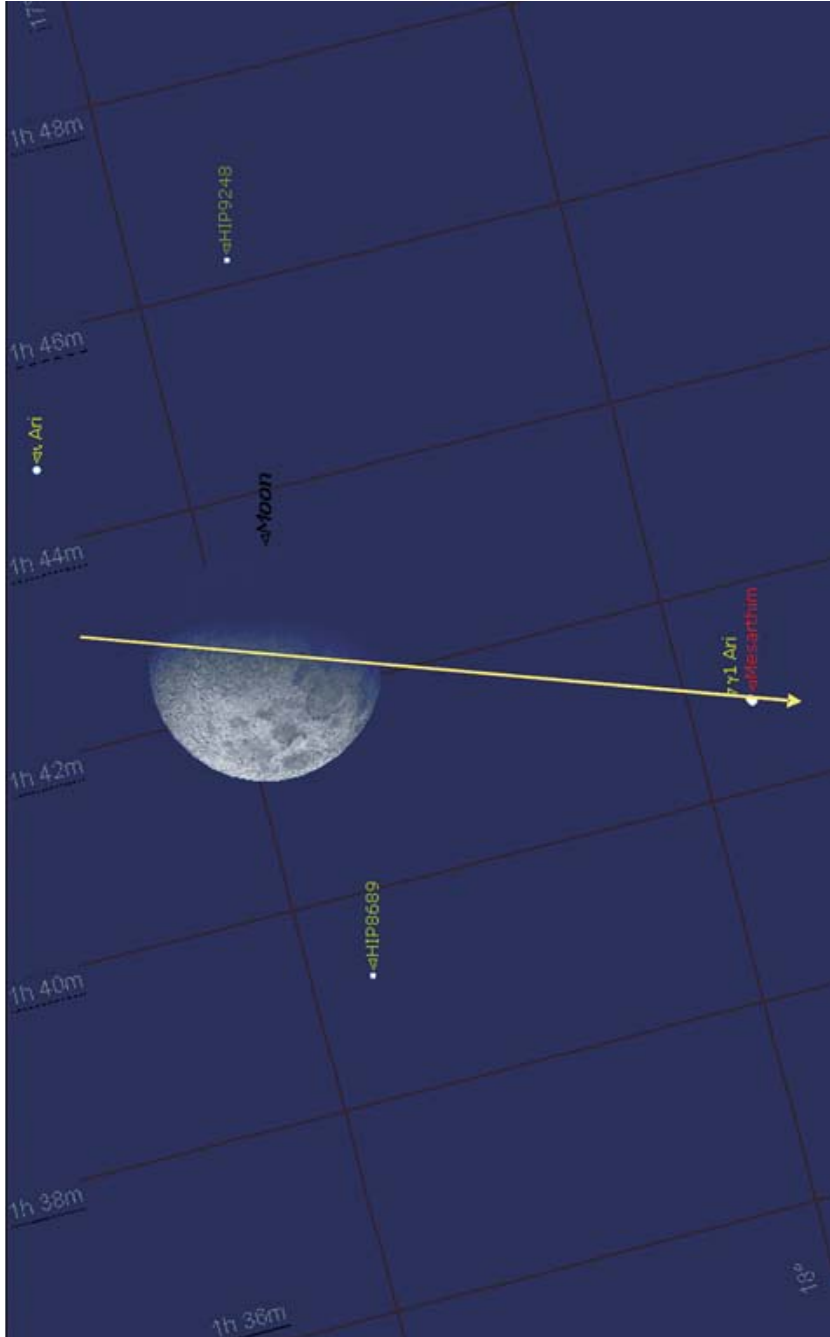
El primero tiene el ventaja de no necesitar de instrumentos, visto que solamente la observación visual es suficiente. Además, cuando la estrella se esconde bajo el disco lunar, su distancia al centro es igual al semidiámetro de la Luna.

No obstante esta ventaja, como la paraje es importante, se tiene que efectuar cálculos muy fastidiosos para corregir este efecto.

Lo mismo ocurre con el otro proceso. Sin embargo, Monteiro da Rocha explica, no obstante de modo poco claro, como siempre, cómo efectúa las operaciones.

He recreado los ejemplos en el programa *starry night*, y es increíble como las situaciones corresponden a la realidad de la data e hora. Por simples curiosidad se ofrece en la imagen 18 la situación correspondiente a la inmersión de la estrella Atlas de las Pléyades en 31 de Diciembre de 1767, en lugar de latitud 35° 28' N y longitud aproximada de 39E.

35. Véase también lo que he señalado sobre este método en el **Apéndice 1** sobre los cuarto y quinto métodos.



Fotografía 19. Quinto método. Estrella Mesarthim (gama de Aries), en línea con las puntas iluminadas de la Luna, en la fecha y localización del ejemplo.