

AGRUPAMENTO DE ESTUDOS DE CARTOGRAFIA ANTIGA

XVI

SECÇÃO DE COIMBRA

A DETERMINAÇÃO DA DECLINAÇÃO SOLAR NA NÁUTICA DOS DESCOBRIMENTOS

POR

LUÍS MENDONÇA DE ALBUQUERQUE

JUNTA DE INVESTIGAÇÕES DO ULTRAMAR

COIMBRA ♦ 1966

Separata da
REVISTA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS
Vol. XXXIX

A determinação da declinação solar na náutica dos descobrimentos

por

LUÍS MENDONÇA DE ALBUQUERQUE

(A memória do Prof. Doutor Luciano
Pereira da Silva, com quem aprendi a estu-
dar a astronomia dos Descobrimentos).

1. O «regimento do Sol», incluído em todos ou quase todos os textos náuticos quinhentistas portugueses com variantes de maior ou menor importância, ensinou várias gerações de pilotos da época dos descobrimentos a obterem a latitude de um lugar quando aí medissem a altura meridiana do Sol e conhecessem a declinação do astro no dia da observação.

Esta coordenada solar foi de início fornecida aos navegadores através de uma tábua onde se liam directamente os seus valores para todos os dias de um ano (tábua solar única); mas alguns anos mais tarde a tábua única foi substituída por tábuas quadrienais que davam aquela coordenada para os dias de quatro anos sucessivos e eram muito mais rigorosas, por acompanharem com maior aproximação o movimento do Sol na eclíptica ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Para a história das tábuas solares usadas nas navegações dos descobrimentos ver, por exemplo, Luciano Pereira da Silva, em vários lugares das suas *Obras Completas* e sobretudo no vol. II, págs. 5 e segs. (Lisboa, 1945); Fontoura da Costa, *Marinharia dos Descobrimentos*, págs. 81 e segs (3.^a ed., Lisboa, 1960); e Luís de Albuquerque, *Os Guias Náuticos de Munique e de Évora*, com uma introdução de A. Cortesão, Lisboa, 1965.

O estudo do *Livro de Marinharia* de André Pires mostra-nos que as primeiras tábuas quadrienais foram decerto calculadas para o período de 1493-1496 e a partir de dados fornecidos pelo *Almanach Perpetuum* de Abraão Zacuto ⁽²⁾, — tendo o calculador utilizado um manuscrito da obra, pois ela só foi impressa em 1496, na cidade de Leiria. Depois daquela data, e até final do século XVII (pode-se dizer que a evolução imposta à náutica pelas viagens dos descobrimentos atingiu o seu termo no final de seiscentos), nunca mais os pilotos deixaram de usar tábuas solares deste tipo, que até Pedro Nunes foram sem excepção conhecida deduzidas daquele almanaque.

Quanto à tabela única, de que não se pode indicar com precisão a data em que surgiu na marinharia, só se encontra reproduzida no guia náutico dito de Munique (c. 1509) ⁽³⁾ e no livro do piloto Francisco Rodrigues (1513), só recentemente publicado por Armando Cortesão ⁽⁴⁾; as duas versões têm a mesma origem, pois apenas apresentam pequenas variantes que claramente resultam de erros cometidos na cópia do manuscrito ou na impressão do guia. Em geral aceita-se como mais provável que a tábua única também tivesse sido deduzida da mesma obra de Zacuto, mas Morais e Sousa sugeriu que a sua origem estivesse antes nas efemérides do Sol preparadas por outro astrólogo judeu de nome Ibn Verga, que deixou extensa obra de interesse astronómico e vivia em Lisboa por meados do século XV. Zacuto cita-o na epístola dirigida ao bispo de Salamanca que precede o seu *Almanach*, declarando ser ele o autor de «umas tábuas calculadas de modo mais breve» (*breuioribus modis*) ⁽⁵⁾; foi esta referência que feriu a atenção de Morais

⁽²⁾ Luís de Albuquerque, *O Livro de Marinharia de André Pires*, págs. 80-81, Lisboa, 1963.

⁽³⁾ Do Guia de Munique foi publicada por J. Bensaúde uma edição facsimilada em 1914 (reimpressa em 1924); o seu texto é por nós reproduzido na obra citada na nota 1.

⁽⁴⁾ *The Suma Oriental of Tomé Pires and the Book of Francisco Rodrigues*, vol. II, págs. 307 e segs., Londres, 1944.

⁽⁵⁾ Abraão Zacuto, *Almanach Perpetuum Celestium Motum (Radix 1473)*, ed. facsimilada de J. Bensaúde, pág. 2. Munique, 1915.

e Sousa e lhe serviu de ponto de partida para o seu estudo⁽⁶⁾. Reservamos a nossa opinião sobre uma conjectura tão aliciante para outra oportunidade, — logo que nos seja possível estudar as tábuas de Ibn Verga, que não conhecemos mas que se sabe terem sido impressas juntamente com uma reedição quinhentista do *Almanach Perpetuum*. O estudo desta questão é, de resto, alheio aos objectivos deste trabalho, pois nele apenas nos interessa mostrar que o recurso às tábuas organizadas do modo indicado foi sem dúvida a prática mais comum entre os pilotos dos descobrimentos, mas não foi o único procedimento a que eles recorreram para conhecerem a declinação do Sol.

Na sua *Marinharia dos Descobrimentos*⁽⁷⁾ Fontoura da Costa lembra que a coordenada podia ser obtida por um ábaco que aparece gravado numa das faces de alguns quadrantes⁽⁸⁾ ou astrolábios⁽⁹⁾ medievais. A estrutura dos astrolábios náuticos reduzia-se ao anel graduado e à mediana, e a dos quadrantes a uma peça com a graduação de alturas; não havia, pois, qualquer ábaco desenhado nas faces desses instrumentos, mas os pilotos podiam dispor de folhas que reproduzissem tais gráficos, e vamos ver que decerto assim aconteceu.

⁽⁶⁾ L. de Moraes e Sousa, *A Ciência Náutica dos Pilotos Portugueses nos séculos XV e XVI*, vol. 1, págs. 60 e segs., Lisboa, 1924. Segundo o Autor, as tábuas teriam sido preparadas para 1449, o que nos parece data demasiadamente prematura em relação ao que sabemos da história da náutica astronómica.

⁽⁷⁾ Ed. cit., págs. 81-82.

⁽⁸⁾ Trata do assunto Roberto Anglés no § 39 do seu *Tratado do Quadrante* intitulado «De declinatione Solis habenda per cursorem» (vide Paul Tannery, *Le traité du quadrant de maître Robert Anglés*, págs. 52-55. Paris, 1897). Sobre o assunto ver ainda o artigo de J. M. Millás Vallicrosa, «La introduction del cuadrante con cursor en Europa», publicado em *Estudios sobre Historia de la Ciencia Española*, págs. 65 e segs., Madrid, 1957.

⁽⁹⁾ Nos *Libros del Saber de Astronomia* (ed. Rico y Sinobas, vol. 2, págs. 193-194. Madrid, 1863) expõe-se o procedimento a adoptar para se obter a coordenada pelo astrolábio redondo; o Cap. XXIX do Libro II «Dell astrolabio llano» (Ibidem, pág. 275) ensina a resolver o mesmo problema pelo astrolábio planisférico.

Por outro lado mostraremos também nesta nota que os marinheiros usaram para o mesmo fim um conjunto de regras que lhes definiam a variação da declinação solar no decurso do ano, — problema de que nos ocupámos pela primeira vez nas notas de introdução ao *Livro de Marinharia* de André Pires⁽¹⁰⁾, mas que supomos exigir ainda alguns esclarecimentos.

Finalmente, indicaremos também o motivo que nos leva a supor que tivessem sido esporadicamente usadas em marinharia tábuas solares semelhantes àquelas que Abraão Zacuto apresentara na sua obra, — muito embora o seu manuseamento fosse muito menos cómodo do que o das tábuas quadrienais náuticas, copiosamente reproduzidas em livros, manuscritos e cartas da época.

3. Começaremos por este último problema.

A necessidade de se prepararem tábuas que fixassem a posição do Sol no zodíaco por ciclos de quatro anos era consequência do ano trópico se não cumprir num número exacto de dias naturais e de não ser uniforme o movimento de revolução aparente do astro em redor da terra. Mas uma vez conhecido o lugar do Sol na eclíptica (o que equivale a conhecer a sua longitude celeste λ), a declinação δ por ele atingida podia ser calculada por

$$\sin \delta = \sin \lambda \cdot \sin \varepsilon \quad (1),$$

onde ε designa a obliquidade da eclíptica; é claro que para a determinação repetida de δ era e é mais cómodo tabelar os seus valores em função de λ , fixando o valor de ε , que Abraão Zacuto considerou igual a $23^{\circ} 33'$.

Assim, as efemérides medievais do Sol são, em todos os casos de que temos conhecimento, apresentadas em cinco tábuas: quatro que fornecem os lugares do Sol no zodíaco para cada ano de um quadriénio (começando ou terminando no ano bissexto do ciclo), e uma outra que, a partir do lugar

(10) Ed. cit., págs. 145 e segs.

já obtido em uma das tábuas anteriores, indica o valor da declinação do astro ⁽¹¹⁾.

Para que as tábuas pudessem servir perpétuamente, os valores nelas fixados para os lugares do Sol de um determinado ciclo de quatro anos, deviam ser corrigidos nos ciclos posteriores, a fim de se compensar o desacordo existente entre o calendário juliano, então adoptado, e a duração do ano trópico; e alguns almanaques, como o de Zacuto, apresentavam já calculadas as correcções a considerar nos vários quadriénios (veja-se a «*tabula equationis solis*» do *Almanach Perpetuum*, pág. 41 da edição citada).

A obtenção da declinação solar a partir de tabelas com a estrutura que acaba de ser descrita e que é a do *Almanach Perpetuum*, era um pouco morosa, pois implicava a resolução de certas operações aritméticas e exigia até, em geral, que se fizesse uma interpolação, visto a tábua donde se tirava a declinação a partir dos lugares apresentar, por via regra, entradas em graus inteiros (é isto o que se verifica na obra de Zacuto, como se vê na fig. 1).

A preparação das tabelas náuticas consistiu, pois, em efectuar com antecedência todo o cálculo necessário ao conhecimento das declinações solares para o período de um determinado quadriénio, reunindo-se esses elementos em novas tabelas de leitura directa, que eram fornecidas aos pilotos e lhes evitavam trabalho e possíveis erros ⁽¹²⁾.

⁽¹¹⁾ Os *Almanaques Portugueses de Madrid* (ed. Luís de Albuquerque, Coimbra, 1961) contêm as quatro tábuas dos lugares do Sol, mas não a quinta tábua com as declinações do astro; do que conhecemos das *Tabulae Astronomicae* da Biblioteca da Ajuda (Cod. 52.VI.25), ainda não identificadas, podemos afirmar que se encontram nas mesmas condições.

A propósito destas tábuas convém assinalar um facto que não tem sido apontado: no códice da Ajuda existem, na verdade, dois grupos de tábuas, que até pela caligrafia se distinguem; no primeiro grupo, escrito com mais cuidado, estão assinaladas datas que vão dos primeiros anos do século XIV à primeira metade do século XV; no segundo grupo não encontramos até agora qualquer indicação de data.

⁽¹²⁾ O mesmo Zacuto (segundo diz Gaspar Correia), e provavelmente José Vizinho, encarregaram-se deste trabalho de cálculo. Por outro lado Valentim Fernandes informa ter sido Gaspar Nicolas,

Tabula declinationis planetarum et solis ab æquinoctiali					Tabula æquationis solis						
gdo	o	6	1	7	2	8	gdo	reuo	g	m	õ
1	0	24	11	53	20	27	29	1	0	1	46
2	0	48	12	14	20	39	28	2	0	3	32
3	1	12	12	34	20	51	27	3	0	5	18
4	1	36	12	55	21	3	26	4	0	7	4
5	2	0	13	15	21	14	25	5	0	8	50
6	2	24	13	35	21	25	24	6	0	10	36
7	2	48	13	55	21	35	23	7	0	12	22
8	3	11	14	15	21	45	22	8	0	14	8
9	3	35	14	34	21	54	21	9	0	15	54
10	3	59	14	53	22	3	20	10	0	17	40
11	4	22	15	12	22	12	19	11	0	19	25
12	4	46	15	31	22	20	18	12	0	21	11
13	5	9	15	49	22	29	17	13	0	22	57
14	5	33	16	7	22	35	16	14	0	24	43
15	5	56	16	25	22	42	15	15	0	26	50
16	6	19	16	42	22	49	14	16	0	28	15
17	6	43	17	0	22	55	13	17	0	30	0
18	7	6	17	17	23	0	12	18	0	31	46
19	7	29	17	33	23	5	11	19	0	33	32
20	7	51	17	49	23	10	10	20	0	35	18
21	8	14	18	6	23	14	9	21	0	37	4
22	8	37	18	21	23	18	8	22	0	38	50
23	8	59	18	37	23	22	7	23	0	40	36
24	9	21	18	52	23	25	6	24	0	42	22
25	9	43	19	7	23	27	5	25	0	44	8
26	10	5	19	21	23	29	4	26	0	45	54
27	10	27	19	35	23	31	3	27	0	46	40
28	10	49	19	48	23	32	2	28	0	47	25
29	11	10	20	2	23	33	1	29	0	51	11
30	11	32	20	15	23	33	0	30	0	52	57
								31	0	54	43
								32	0	56	29
								33	0	58	15
								34	1	0	0

Fig. 1 — Tábua com as declinações solares em função dos lugares do Sol, *Almanach Perpetuum* de Abraão Zacuto (ed. facsimilada de Joaquim Bensaúde, pág. 41).

Comparando as tábuas de Zacuto com as tabelas náuticas, Morais e Sousa escreveu, em 1924 ⁽¹³⁾, que as primeiras «eram exclusivamente destinadas aos astrónomos e astrólogos, a quem só interessava o conhecimento do lugar do Sol»; acrescentava, em reforço da sua opinião, que as interpolações exigidas no cálculo da coordenada, eram «absolutamente incompatíveis com a limitada instrução dos nossos pilotos». Na mesma ordem de ideias Fontoura da Costa, referindo-se ao *Almanach Perpetuum*, entendia que era «um livro de gabinete para astrólogos, astrónomos e cosmógrafos, que os marítimos não podiam usar...» ⁽¹⁴⁾; noutro passo, comentando o facto de Pedro Nunes ter em 1537 aconselhado que na pilotagem se passassem a adoptar cinco tábuas análogas às de Zacuto, Fontoura da Costa voltou a insistir naquele seu ponto de vista, dizendo que os pilotos só precisavam de tábuas que lhes dessem «directa e imediatamente a declinação», — muito embora desculpasse o conselho inoportuno de Pedro Nunes por ele ser «um sábio de gabinete, que nunca tinha navegado» ⁽¹⁵⁾.

Estas observações, que são até certo ponto fundamentadas, só pecam pelo seu carácter de generalidade: na verdade, não se conhece nenhum caso em que um marinheiro tivesse efectivamente usado tábuas solares como as de Zacuto na determinação de uma latitude, mas pode-se assegurar que por vezes os pilotos as tiveram à sua disposição e que alguns sabiam como poderiam servir-se delas. O testemunho nesse sentido é produzido pelo piloto Francisco Rodrigues, pois ele refere-se a tábuas do tipo condensado por Morais e Sousa e por Fontoura da Costa, e também ao seu uso, no pequeno caderno sobre coisas de marinharia que nos deixou ⁽¹⁶⁾.

Com uma redacção não muito clara, Francisco Rodri-

autor de uma *Arte Prática Darismética* (1519), quem calculou as tábuas quadrienais incluídas no seu *Reportório dos Tempos* (ed. dec. 1517).

⁽¹³⁾ Loc. cit., pág. 64.

⁽¹⁴⁾ Loc. e ed. cit., pág. 91.

⁽¹⁵⁾ Ibidem, págs. 105-106.

⁽¹⁶⁾ Armando Cortesão, loc. e vol. cit., págs. 320-321.

gues mostra ter estado em presença de um grupo de tábuas solares que tinham 1508 por ano raiz; e não se pode dizer que a pouca clareza do texto deixe qualquer margem para dúvidas, em virtude da referência ser seguida de um exemplo que cabalmente a esclarece.

Vamos transcrever e comentar esses parágrafos do *Livro* daquele piloto, dando a sua parte final lado a lado com um passo idêntico dos cânones do *Almanach Perpetuum* de Zacuto, pois afigura-se-nos interessante fazer o confronto entre os dois. Na transcrição do *Livro* desenvolvemos as abreviaturas, introduzimos pontuação e actualizamos a ortografia bizarra de Francisco Rodrigues ou do copista que lhe transcreveu as notas. Os primeiros períodos do trecho que nos interessa são os seguintes:

«O grau que achardes sobre os graus de qualquer dos signos das quatro tábuas, então tereis o verdadeiro lugar do Sol; e por escusar trabalho e rectificação, dou⁽¹⁷⁾ uma tábua; a qual achareis na tábua da declinação, à mão direita; na qual se mostra aquilo que devemos de acrescentar em uma das ditas revoluções que hão-de vir.»

Este períodos estão incompletos, como logo se reconhece pela referência às «ditas revoluções», pois elas não foram anteriormente citadas na exposição, ao contrário do que a redacção indica; mas é evidente que visam quatro tabelas com os lugares do Sol, uma tabela de declinações e ainda uma tabuada com as correcções aditivas a introduzir aos lugares por cada «revolução» ou ciclo de quatro anos decorrido sobre o ano raiz, sendo de notar que nos cânones para o *Almanach Perpetuum* também se usa a palavra «*revolución*» com este sentido. A tabuada com as correcções e a tabela das declinações encontravam-se, como diz o piloto, na mesma página, estando a primeira situada à direita da segunda e tendo, por consequência, a mesma disposição da correspondente folha na obra de Zacuto (vide a fig. 1); no entanto, os números registados nas tábuas usadas por Francisco Rodrigues dissentiam, pelo menos em parte, dos que se encontram no almanaque, — como mais adiante verificaremos.

(17) No original lê-se *de*, mas trata-se de um lapso de cópia.

Postas estas observações, vamos continuar a transcrição, mas agora comparando o *Livro* com os cânones explicativos da obra de Zacuto:

(*Livro* de Francisco Rodrigues) (*Cânones* de A. Zacuto)

«E por que isto seja mais declarado a quem o ler, quero pôr por figura este exemplo: que (é) sabermos o verdadeiro lugar do Sol no ano do Nascimento de Nosso Senhor Jesus Cristo de 1520 anos, aos 15 dias do mês de Março; e tirareis dos ditos 1520 a raiz das tábuas, que são 1508 anos, de maneira que ficam 12 anos; dos quais tirareis todos os quatro quantos achares, e ficar-vos-ão na mão quatro anos; o qual vos amostrará que haveis de entrar na quarta tábua do Sol».

«E por que esto sea mas claro a los leyentes pornemos exemplo. Quiero saber el verdadero lugar del Sol año del nacimiento de Nuestro Señor de 1495, a 15 dias de Março; sacaré de 1495 la rays de las tablas, que son 1472, y quedan 23 años, de los quales sacaré todos los 4 quanto fuere posible, y quedaran en mi mano 3; los quales 3 me demuestran que tiengo de entrar en la tercera tabla del Sol»;

Desde já se verifica, portanto, que há perfeita analogia entre o que Francisco Rodrigues escreveu e o que fora publicado alguns anos antes na tradução castelhana, feita por José Vizinho, das explicações para o uso do *Almanach Perpetuum*.

Por outro lado, e ainda que mais adiante assinalemos outra diferença essencial entre as tábuas referidas pelos dois autores, deve-se observar que já neste passo se verifica serem distintas: na verdade, embora ambas terminem por ano bissexto, as de Zacuto estavam calculadas para 1473-1476, e aquelas que o piloto tinha à vista referiam-se ao quadriénio de 1509-1512.

É ainda de notar que os lugares do Sol não corrigidos para 1520, que foi bissexto, deviam ser lidos na quarta tabela do quadriénio, e isso devia ser indicado pela divisão

(¹⁸) *Canons en espagnol* para o *Almanach Perpetuum* de Zacuto, traduzidos por José Vizinho, ed. facsimilada de Joaquim Bensaúde, pág. 6. Genebra, s. d.

exacta por quatro do número de anos decorridos do ano raiz até 1520 (o quociente 3 da mesma operação dava o número de «revoluções» concluídas desde 1508); mas Francisco Rodrigues erra a divisão, declarando que o seu resto saía igual a 4, decerto para obter uma concordância inequívoca entre esse número e o número de ordem da tábua a utilizar.

Voltemos aos dois textos, que terminam do seguinte modo:

«Depois de entrardes na quarta tábua, (n)aquele dia própria-mente, s. a 15 dias de Março, achareis que o Sol está em 4 graus e 53 minutos e 31 segundos, os quais são por três revoluções do Sol que são passadas⁽¹⁹⁾, segundo o vereis na tábua em direito das três revoluções. E desde que o achardes, direis verdadeiramente que o Sol está em 4 graus e 53 minutos e 31 segundos (de Aries) e terá de declinação 2 graus e 20 minutos».

«Estonces, entrando en la tercera tabla al dia propuesto, s., a 15 dias de Março, y hallo el Sol que esta en 3 grados y 47 minutos de Aries; lo qual asy hecho, a estos grados y minutos añadole 8 m. y 50 s., los quales son por cinco revoluciones del Sol pasadas, segundo que aparece en la tabla en derecho de 5, los quales halados diremos que el Sol esta en 3 grados y 52 minutos de Aries»⁽²⁰⁾.

Vê-se que Rodrigues, continuando a acompanhar a explicação de Zacuto, só dá o valor final do lugar do Sol (ou seja: o ângulo que resulta do valor lido na quarta tabela do Sol acrescido da correcção referente a três revoluções já decorridas sobre o ano raiz), e sem referir o valor dessa correcção. Mas se por aqui nos é impossível saber se alguns dos elementos utilizados por Francisco Rodrigues procediam ou não do *Almanach Perpetuum*, há um modo de vermos que, salvo o caso de erros de cálculo cometidos pelo autor, foi outra a sua origem.

(19) No original está: *passados*.

(20) Já noutro trabalho assinalámos que há erro no valor final indicado para o lugar do Sol, pois devia ter-se escrito 3° 56'; note-se ainda que o valor da coordenada para 15 de Março na terceira tábua do Sol é de 3° 47' 35", o que devia dar 3° 48' e não 3° 47', como o texto afirma, quando arredondada a minutos inteiros.

De facto, quando se calcula pelo *Almanach* o lugar do Sol para 15 de Março de 1520, chega-se ao valor de $4^{\circ} 53' 30''$ que só difere em $1''$ do registado no *Livro* de Rodrigues; no entanto verifica-se que a declinação $2^{\circ} 20'$ indicada no texto como correspondente ao lugar $4^{\circ} 53' 31''$ de Aries, nunca podia ter sido deduzida da «tabula declinationis» de Zacuto, pois esta conduzia ao valor $1^{\circ} 58'$.

Nada mais podemos dizer sobre as tábuas de que Francisco Rodrigues dispunha. Mas, não obstante a sua brevidade, aquele passo do seu *Livro* conduz a duas conclusões com algum interesse; em primeiro lugar mostra-nos que, como escrevemos e em contrário do que em geral se admite, alguns pilotos dos descobrimentos conheciam e sabiam utilizar as tábuas solares «de gabinete» (como as classificou Fontoura da Costa) que haviam sido preparadas para trabalhos astrológicos muito antes do advento da náutica astronómica; em segundo lugar, leva-nos à suspeita de que foram esporadicamente utilizadas na náutica portuguesa do século XVI tábuas análogas às de Zacuto mas com índices diferentes destas, o que nenhum outro texto conhecido da época sugere sequer de modo indirecto.

3. Já lembrámos que as tábuas quadrienais dos lugares do Sol, e a tabuada dos índices correctivos que as acompanhava, eram consequência da não uniformidade do movimento do Sol na eclíptica e da não coincidência do ano trópico com a duração média do ano civil do calendário juliano.

Todavia, podia-se admitir que o Sol se deslocava aparentemente no zodíaco com marcha uniforme que correspondesse ao acréscimo de 1° diário da sua longitude, o que implicaria um erro de cerca de 5° por excesso na posição do astro, ao fim de um ano comum. Este erro atenuar-se-ia acertando a longitude solar à entrada de cada signo, isto é, indicando as datas em que o Sol chegava ao princípio de cada um dos signos do zodíaco, e mantendo a partir daí o acréscimo de 1° diário, até o início do signo seguinte.

Por outro lado, podia-se também aceitar que a variação da declinação se mantinha constante em períodos de certo número de dias sucessivos, definidos em cada signo

e chamados os «cursos» do astro. Nestas condições tornava-se possível fixar dia a dia o valor da declinação do Sol por um conjunto de regras que, embora não fossem de fácil memorização, podiam dispensar o recurso a tábuas.

No *Livro de Marinaria* de André Pires, que publicámos em 1963 ⁽²¹⁾, aparece um conjunto de regras desta natureza para os três primeiros signos do zodíaco percorridos pelo Sol, a partir do equinócio da Primavera. No estudo que antecede a transcrição do texto, mostrámos que estas regras se baseavam na «tabula declinationis planetarum et solis ab equinoctiali» de Zacuto, salientando que o copista do manuscrito omitiu alguns períodos e errou a transcrição de vários números.

Também então escrevemos que os enunciados nos pareciam incompletos, pois apenas acompanham a marcha aparente do Sol nos signos Aries, Taurus e Geminis.

Começaremos por corrigir esta afirmação: de facto, se se considera que o movimento do Sol nos restantes três grupos de três signos consecutivos, repete pela mesma ordem ou por ordem inversa, a marcha descrita pelas três regras que o texto reproduz, então o regimento terá de se considerar completo, pois dá a possibilidade de acompanhar todos os cursos do astro até o fim da sua revolução aparente em redor da terra. E pensamos que esta interpretação está inteiramente de acordo com o texto quando lemos no final do regimento uma observação que a confirma: de facto, a variação da declinação do Sol do solstício do verão ao equinócio do outono (signos Cancer, Leo e Virgo) ou do solstício do inverno ao equinócio da primavera (signos Capricornius, Aquarius e Pisces) repetiria por ordem inversa a variação da coordenada do equinócio da primavera ao solstício do verão (signos Aries, Taurus e Geminis), que o manuscrito regista; enfim, a variação da declinação neste último grupo de três signos seria idêntica, e pela mesma ordem, à variação do equinócio do outono ao solstício do inverno (Libra, Scorpius e Sagitarius). Se representarmos lado a lado estes grupos de signos, colocando na mesma

(21) Ed. cit., págs. 216-217.

linha aqueles em que a variação da declinação é a mesma, teremos :

(Princípio) Aries (Fim)	↑	(Fim) Virgo (Princípio)	↓	(Princípio) Libra (Fim)	↑	(Fim) Pisces (Princípio)
(Princípio) Taurus (Fim)	↓	(Fim) Leo (Princípio)	↑	(Princípio) Scorpius (Fim)	↓	(Fim) Aquarius (Princípio)
(Princípio) Geminis (Fim)	↑	(Fim) Cancer (Princípio)	↓	(Princípio) Sagittarius (Fim)	↑	(Fim) Capricornius (Princípio)

Mostra este quadro, onde as setas indicam o sentido do movimento aparente do Sol, que a decomposição de Aries em «cursos» de variação constante para a declinação solar seria repetida pela mesma ordem em Libra, e por ordem inversa em Virgo e Pisces; a de Taurus repetia-se pela mesma ordem em Scorpius e por ordem inversa em Leo e Aquarius; enfim, a decomposição de Geminis em cursos do mesmo tipo é repetida em Sagittarius pela mesma ordem, e também em Cancer e Capricornius, mas em sentido oposto.

Ora no final do regimento que nos interessa no livro de André Pires, antes de se indicarem os dias do ano em que o Sol entrava em cada signo, pode-se ler uma observação que inteiramente concorda com o que acabamos de dizer, pois explica exactamente como as regras copiadas no texto e referentes aos signos de Aries, Taurus e Geminis eram suficientes para também se acompanhar o movimento do Sol nos três signos imediatos: esse trecho, muito lacónico, é o seguinte :

«Entender-se-á desta maneira: o fim de Geminis com o começo de Cancer; e o fim de Cancer com o começo de Geminis. Item: o fim de Taurus com o começo de Leo; o fim de Leo com o começo de Taurus. O fim de Virgo com o começo de Aries; o começo de Virgo com o fim de Aries».

É evidente que faltam aqui as referências análogas respeitantes aos últimos dois grupos de três signos.

Mas ainda a propósito deste regimento deve ser dito que, pelo estudo dos índices registados na tábua das decli-

nações de Zacuto, é não só possível interpolar os passos do regimento que a transcrição omitiu, como também se podem corrigir alguns dados numéricos errados que ele inclui. Sintetizamos esse estudo no quadro I, onde se escreveram os acréscimos, para graus consecutivos de cada signo, das declinações inscritas na «tabula declinationis» do *Almanach Perpetuum* (confrontar com a fig 1); indicam-se igualmente nesse quadro as decomposições dos signos em «cursos» de acréscimo constante, apontado-se o valor que o regimento atribui a esta constante em cada curso; finalmente, o quadro inclui os valores que Zacuto registou para a declinação no final ou no início dos vários cursos.

Estes últimos valores numéricos também são fornecidos, com algumas incorrecções, nos enunciados de André Pires, e não há dúvida que o objectivo dessas indicações era permitir ao leitor que voltasse ao valor certo da declinação solar no final de cada curso. A circunstância de em todos os casos se fixar em minutos inteiros o acréscimo a adoptar nos vários cursos, quando a média exacta dos acréscimos diários se exprimia em minutos e segundos, produzia ao cabo do curso uma diferença de alguns minutos de arco entre a declinação obtida por sucessivas adições daquele acréscimo e a declinação das tábuas; para que tais erros se não acumulassem, no início de cada curso deveria ser retomado o valor fixado na tabela do *Almanach*.

Estas observações e a análise do quadro bastam para justificar as correcções ao regimento que a seguir propomos, procurando ao mesmo tempo interpolar nos enunciados os passos que o copista teria passado em claro. As nossas interpolações vão impressas em itálico; às alterações introduzidas seguem-se os números, palavras ou frases que foram substituídas ⁽²²⁾:

«SE QUIZERES SABER O QUE O SOL CURSA PELOS SIGNOS,
E O QUE O SOL FAZ DE DECLINAÇÃO (AFASTAMENTO).

Em Aries, 3 cursos.

Item. O primeiro é desde que entra no primeiro grau

⁽²²⁾ Livro de *Marinharia de André Pires*, ed. e págs. citis.

Lugares nos signos	Aries e Libra		Cursos	Taurus e Scorpius		Cursos	Geminis e Sagitarius		Cursos
	Acrés-cimos	Declinações		Acrés-cimos	Declinações		Acrés-cimos	Declinações	
1	0° 24'	4° 22'	1°: 24' por casa	0° 21'	13° 35'	1°: 21' por casa	0° 12'	21° 14'	1°: 12' p. casa
2	24			20			12		
3	24			21			12		
4	24			20			11		
5	24			20			11		
6	24		0° 20'	10	21° 54'	10			
7	23		20	10					
8	24		19	9					
9	24		19	0° 9'					
10	23		19	9					
11	0° 24'	8° 59'	2°: 23' por casa	0° 19'	15° 12'	2°: 19' p. casa	8	22° 35'	2°: 10' por casa
12	23			18			8		
13	24			18			8		
14	23			18			7		
15	23			17			0° 7'		
16	24		18	7	23° 14'				
17	23		17	6					
18	23		0° 16'	5					
19	22		16	5					
20	23		17	4					
21	23	11° 32'	3°: 22' por casa	15	17° 17'	4°: 16' p. casa	0° 4'	23° 27'	4°: 6' por casa
22	22			16			4		
23	22			15			3		
24	22			15			2		
25	22			14			0° 2'		
26	22		14	2	23° 33'				
27	22		13	1					
28	21		14	1					
29	22		13	0					
30						20° 15'			
	Virgo e Pisces			Leo e Aquarius			Cancer e Capricornius		

do signo até 12 graus do signo, que são 11 casas; que faz o Sol cada dia 24 (23) minutos; onde tem, *em este último grau do signo*, 4 graus e 30 minutos de declinação. Destes 12 graus do signo até 24 graus, *faz Sol em cada dia 23 minutos; e neste último grau do signo tem 8 graus e 59 minutos de declinação.*

Item. Destes 24 graus do signo até que sai o Sol deste signo, que são 7 casas, faz cada dia 22 minutos; onde tem, neste *último* o grau do signo, 11 (4) graus e 32 (30) minutos de declinação.

Faz no signo de Taurus 5 cursos.

Quando o Sol entra em este primeiro grau do signo, faz de declinação (afastamento) então o Sol 11 graus e 53 minutos. E desde que entra no primeiro grau até os 6 graus, faz 21 minutos *cada dia*, onde tem estes graus de declinação (afastamento): 13 graus e 35 (30) minutos.

De 6 (16) graus até os 12 do signo faz o Sol em cada dia 19 minutos; onde tem este grau do signo, que são 12 casas, e 15 graus e 12 minutos *de declinação.*

E desde os 12 até os 18 graus do signo, *faz o Sol em cada dia 18 minutos; e este último grau do signo tem 17 graus e 17 minutos de declinação.*

E desde os 18 até os 23 (24) graus do signo, o Sol faz 16 minutos *em cada dia*, onde tem de declinação 18 graus ⁽²³⁾ e 37 minutos *de declinação.*

E desde os 23 (24) até que sai do signo, faz cada dia 14 minutos, donde tem em este dia 20 (24) graus e 15 minutos *de declinação.*

O Sol faz no signo de Geminis 6 cursos ⁽²⁴⁾.

E quando o Sol entra no primeiro *curso* de Geminis, o Sol tem então 20 (24) graus e 27 (20) minutos *de declinação*; e desde o primeiro grau do signo até os 5, faz o Sol 12 minutos, onde tem nesse grau do signo 21 graus e 14 (17) minutos *de declinação.*

⁽²³⁾ No original lê-se: ... *estes mesmos 18 graus*...

⁽²⁴⁾ Omitimos a repetição desta frase com que se inicia a enumeração dos cursos de Geminis.

E desde os 5 até os 9 (10) do signo, faz cada dia 10 minutos, onde tem então, nesse grau do signo, 21 graus e 54 minutos *de declinação*.

E desde os 9 (10) graus do signo até os 14 (5) o Sol faz 8 (6) minutos *em cada dia*; onde tem então, *neste último grau*, 22 graus e 35 minutos *de declinação*.

E desde os 14 (15) até os 21 (20) do signo, faz cada dia o Sol de afastamento 6 (3) minutos; onde tem então o Sol de declinação (afastamento) 23 graus e 14 (22) ⁽²⁵⁾ minutos.

E desde os 21 (20) do signo até 25 do signo, faz o Sol cada dia 3 (2) minutos; onde tem então de declinação (afastamento) 23 graus e 27 (22) minutos.

E desde os 25 dias do signo até que sai, faz cada dia um minuto; onde então tem 23 graus e 33 minutos *de declinação*».

Não pode deixar de se reconhecer que a determinação de declinações solares pela utilização deste conjunto de regras era pouco prática; mas a existência de tal regimento e a circunstância de se encontrar copiado numa compilação que, sem qualquer sombra de dúvida, é obra de pilotos, mostram, em primeiro lugar, que pelo menos alguns deles tinham em conta, com bem mais larga receptividade do que muitas vezes precipitadamente se lhes atribui, as regras preparadas pelos astrólogos; e, além disso, denuncia que se multiplicavam as tentativas para a resolução prática de um problema que era fundamental na marinharia desse tempo.

4. Estas tentativas não se ficaram, de resto, pelos dois tipos de soluções que acabamos de referir: como já dissemos no início deste trabalho, a marinharia dos descobrimentos também eventualmente recorreu a ábacos ou gráficos para a determinação da declinação do Sol em qualquer dia do ano.

Muito embora não se conheça qualquer indicação de

⁽²⁵⁾ O lapso do copista é aqui evidente: ele repete o valor indicado, também com erro, para a declinação solar no final do curso imediato.

que tais processos se tivessem tornado correntes (supomos que seja até de admitir o contrário) devemos referir que apresentaram soluções desse género: Francisco Rodrigues (1513) e João de Lisboa (1514), com um processo mais tarde repetido por Martin Cortez (1551); Pedro Nunes que, num livro publicado em 1537, deu ao problema uma solução a que voltou a referir-se em 1573, e mais tarde foi apresentada pelo P.^o Francisco da Costa na sua *Arte de Navegar* (1596), por Simão de Oliveira (1606) e por Luiz Serrão Pimentel (1673); já na segunda metade do século XVII este último cosmógrafo ainda apresentou um novo método gráfico para a resolução do problema na sua *Arte Prática de Navegar*, texto de lições que fez naquele ano de 1673.

Se é bem conhecida a solução cuidadosamente explicada por Pedro Nunes ⁽²⁶⁾, já o mesmo se não pode dizer das outras duas. Mas vamos ocupar-nos sucessivamente dos três processos, descrevendo-os e justificando-os, o que nos parece conveniente fazer-se mesmo em relação ao de Nunes, visto essa justificação nunca ter sido exposta, que saibamos, por qualquer dos autores que o referiram e descreveram.

Já lembrámos que entre a obliquidade da eclíptica (ϵ), a declinação (δ) e a longitude celeste (λ) do Sol existe a relação

$$\delta = \text{arc sin} (\sin \lambda \cdot \sin \epsilon) \quad (1')$$

qualquer processo gráfico para a determinação de δ em função de λ deverá, pois, traduzir aproximadamente, pelo menos, as operações indicadas no segundo membro de (1') ⁽²⁷⁾.

Como a mais antiga das soluções que interessam parece ser aquela que se lê no *Livro* de Francisco Rodrigues, vamos

⁽²⁶⁾ Esta solução é referida ou exposta por: Fontoura da Costa, *loc. cit.*, págs. 107-109; L. Morais e Sousa, *loc. cit.*, pág. 74; Salvador Garcia Franco, *Historia del Arte y Ciencia de Navegar*, vol. I, pág. 173, Madrid, 1947.

⁽²⁷⁾ As operações indicadas no segundo membro de (1') podem ser sucessivamente efectuadas por processos gráficos muito simples, que só não expomos para não alongar inutilmente este trabalho; mas a solução assim obtida tem o inconveniente de exigir a construção de círculos de raios diferentes para diferentes valores de λ , ao efectuar-se o produto gráfico de $\sin \lambda$ por $\sin \epsilon$.

apresentá-la em primeiro lugar. O desenho copiado pelo piloto com esse fim foi parcialmente reproduzido no guia de Munique (embora à reprodução faltem, exactamente, a escala e o círculo graduado para a determinação de declinações), e por isso nos ocupámos recentemente do assunto⁽²⁸⁾, dedicando-lhe ligeiras referências que vamos completar agora.

Nesse desenho de Francisco Rodrigues, que damos na fig. 2, interessam à determinação da declinação solar o círculo exterior, decomposto em 360 divisões de 1°, e a escala das declinações, lançada entre os círculos centrais do desenho; esta podia, no entanto, ser preparada à margem do traçado do círculo, o que é sugerido pela mão que na figura empunha a régua onde a escala está inscrita, como a indicar que ela podia ser removida do lugar em que se encontra.

A exposição que respeita a este gráfico é deficiente e está, até, incompleta, por lamentável decisão do piloto a quem se deve o texto; diz assim (introduzimos a pontuação e actualizamos a ortografia)⁽²⁹⁾:

«... no dito zodíaco (quer dizer: no círculo exterior) vão postos os doze signos, e cada um destes tem trinta graus, em que o Sol está trinta dias, por respeito que anda em cada dia um grau; e desta maneira acaba o seu círculo em um ano⁽³⁰⁾; e assim mesmo neste zodíaco andam os planetas; e este zodíaco faz a declinação, s., quando o Sol está em aqueles signos e deles tem pouca declinação, e deles tem muita, cada um em sua quantidade. A declinação é os graus que vão da linha para a mão de baixo e atravessa pelo meio dos círculos. E se quiserdes tirar a declinação, é-vos necessário um compasso e que vades a quem este fez que vo-lo ensine, ou a outrem, porque doutra maneira vo-lo não posso dar a entender».

O período final é, de certo modo, desconcertante, mas não há qualquer dificuldade em indicar a explicação que

⁽²⁸⁾ Luís de Albuquerque, *Os Guias de Munique e Évora*, Lisboa, 1965. Nesta obra inserimos a explicação que F. Maddison deu para outros pormenores do desenho de F. Rodrigues.

⁽²⁹⁾ Armando Cortesão, loc. e vol. cit., pág. 311.

⁽³⁰⁾ Como já salientámos, trata-se de uma avaliação apenas aproximada da marcha do Sol na eclíptica.

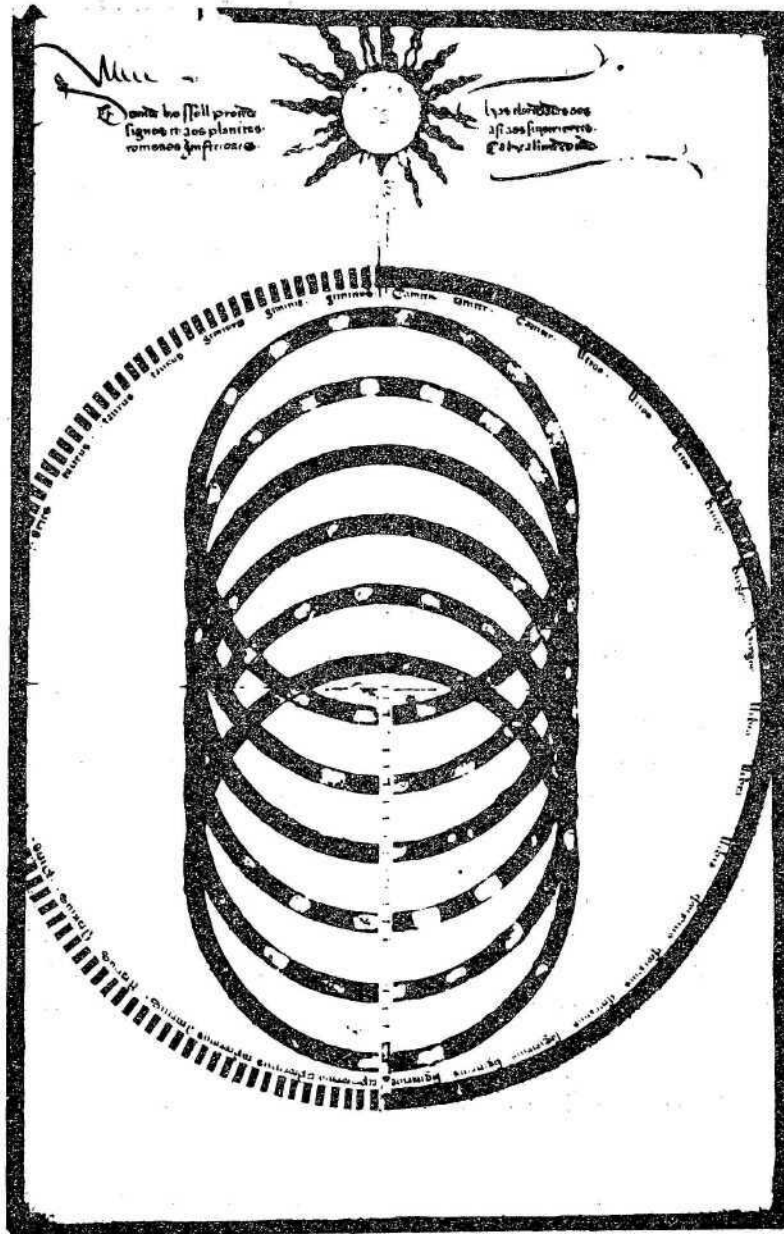


Fig. 2—Abaco para a determinação da declinação do Sol a partir da posição do astro na eclíptica, segundo Francisco Rodrigues. (Armando Cortesão, *Suma oriental of Tomé Pires and the Book of Francisco Rodrigues*, vol. II, Plate XXXI).

Francisco Rodrigues calou: sabido o lugar do Sol em dado dia do ano ⁽³¹⁾, tomava-se a distância do ponto que o indicava no círculo exterior até o diâmetro horizontal do mesmo círculo; com um compasso transportava-se em seguida esta distância à escala das declinações, onde a coordenada era lida directamente.

Resta dizer como devia ser construída esta escala. Visto na relação (1) o factor $\sin \epsilon$ ser constante, o problema da

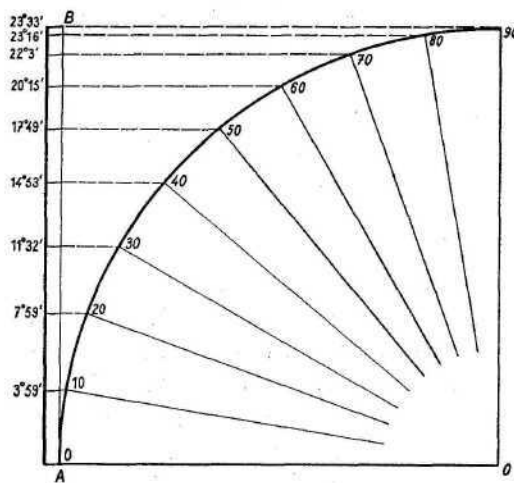


Fig. 3

conversão de δ em ϵ através dos senos dos dois ângulos reduzia-se, afinal, a uma conversão de escalas; mas a solução adoptada, que consistiu em tomar para o máximo de $|\sin \delta|$ (correspondente a $\delta = \pm 23^\circ 33'$) o diâmetro do círculo representativo do zodíaco, reduziu tal conversão ao caso mais simples: na fig. 3, onde nos limitamos a traçar um quadrante de círculo, verifica-se que bastava ao desenhador marcar os valores de $\sin \lambda$ sobre o seg-

⁽³¹⁾ Como já observámos, o lugar do Sol podia ser fixado pela atribuição do acréscimo de 11° diário à coordenada, a partir dos dias da entrada em cada signo, que eram, de resto, referidos quase sempre nas compilações náuticas da época.

mento AB a partir de A, escrevendo em seguida o correspondente valor de δ junto de cada um dos pontos extremos dos diversos valores de $\sin \lambda$.

Os valores da declinação a marcar na escala podiam ser, de resto, tirados de qualquer tábua onde a coordenada fosse dada em função da longitude celeste do Sol, e foi isso o que fizemos na construção da figura, recorrendo uma vez mais à «tabula declinationis planetarum et solis ab equinociali» preparada por Zacuto.

No já referido parágrafo do *Livro de Marinharia* de João de Lisboa⁽³²⁾, onde são evidentes várias deficiências de transcrição, também se ensina, segundo pensamos, a construir este gráfico, — apesar de Fontoura da Costa ter admitido que era aí visado, de maneira pouco clara, o processo descrito por Pedro Nunes de que nos acuparemos em seguida⁽³³⁾.

As explicações sobre a construção e o uso daquele ábaco ou *quadrante*, como se lhe chama no texto, o *Livro de Marinharia* intercala vários esclarecimentos quanto à maneira como a declinação solar varia com o movimento anual aparente do astro na eclítica. Esses passos não interessam ao nosso problema, e por isso nos limitaremos a prestar atenção aos períodos relacionados com a determinação gráfica da coordenada. Eis como na obra se inicia a exposição:

«Item. Primeiramente farás um quadrante muito certo com sua esquadria, e depois serrá-lo-ás (i. é: decompô-lo-ás) e lançarás a quarta parte (do) que em todo o âmbito se contém...».

Vê-se, pois, que esta primeira parte do trecho não diz que o círculo do quadrante representaria a eclítica, nem dedica uma palavra à necessidade de se construir uma escala de declinações; mas dos termos em que a seguir se explica o modo de fazer a sua utilização, podemos suspeitar que, na sua primitiva versão, o parágrafo conteria esses esclarecimentos, possivelmente eliminados na cópia por desatenção

⁽³²⁾ *Livro de Marinharia*, ed. Brito Rebelo, págs. 15-16, Lisboa, 1903.

⁽³³⁾ Fontoura da Costa, loc. e ed. cit., págs. 107 e segs.

de quem caligrafou o manuscrito de que dispomos. Com efeito, o texto que nos interessa termina deste modo:

«Item. Quando quiseres tirar a declinação pelo quadrante, convém que saibas primeiro em quantos graus dos signos está o Sol, e depois, sabendo-o, buscarás aquele grau daquele signo em que achaste que o Sol estava; naquele grau pões a ponta do compasso, e abrirás até dares o primeiro traço⁽³⁴⁾ donde está a declinação; e tanto que tiveres bem notado, tomarás com o dito compasso, sem abrir nem cerrar, e pô-lo-ás no primeiro grau da dita declinação, e a outra ponta ao longo do traço (da declinação), e notarás os graus e minutos que entre as pontas do compasso caírem; e aquela será a declinação daquele dia que isto quiseres saber».

Falta a esta exposição uma figura explicativa, o que desvaneceria todas as dúvidas quanto ao seu significado; mas é evidente que é nela referenciada uma escala ou «traço» de declinações solares, se bem que não se esclareça se tal escala era rectilínea ou estava marcada sobre um arco de círculo. Todavia, supomos que não será forçar o sentido do texto aceitar que a referência inicial ao «primeiro traço da dita declinação» possa visar o diâmetro do quadrante que continha o ponto zero («primeiro traço») da escala das declinações, num desenho semelhante ao da fig. 3; o sentido de escala de declinações que atribuímos à expressão «traço de declinações» é, quanto a nós, confirmado pela circunstância do autor, ao aludir ao zero da escala, lhe chamar o «primeiro grau» — evitando a designação «primeiro traço», que tinha para ele uma acepção diferente.

Com esta interpretação do texto, que pensamos ser a mais aceitável, ele aproxima-se notavelmente da exposição de Francisco Rodrigues, contribuindo até para o esclarecimento de um passo que este último piloto deixou intencionalmente obscuro. Aceitamos, portanto, que o método gráfico para a determinação das declinações solares descrito na compilação de João de Lisboa, seja aquele que já em 1513 fora incompletamente exposto por Francisco Rodrigues.

(34) No texto impresso lê-se *terço*.

No cap. VII do seu *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar*, Martin Cortez trata do «uso de um instrumento por el qual se halla el lugar y declinación del Sol y dias y lugar de la luna»⁽³⁵⁾; a descrição de Cortez é acom-

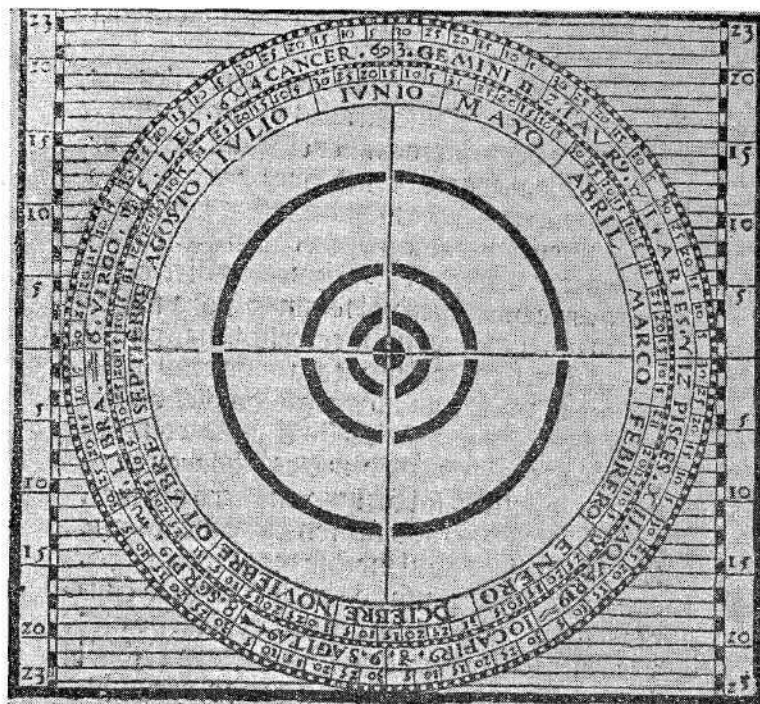


Fig. 4 — Abaco para a determinação da declinação solar, segundo Martin Cortez, *Breve Compendio de la Sphera y de la Arte de Navegar*, Sevilha, 1551, fl. xxxvij.

panhada de um esquema, reproduzido na fig. 4, onde a disposição das escalas da declinação é inteiramente semelhante àquela que construímos na fig. 3, o que logo confirma a explicação apresentada; mas o texto do cosmógrafo espanhol também é suficientemente claro para poder, só por si, confirmar a interpretação que demos ao gráfico de Francisco Rodrigues.

(35) Fls. xxxvi-xxxvii, Sevilha, 1551.

«Este instrumento está en forma quadrada — escreveu Martin Cortez — y por los lados tiene 23 grados y medio, que descende del medio abaxo, y es la declinacion de los signos australes; y 23 grados y medio que suben del medio arriba, que son la declinacion de los signos septentrionales»; em quatro círculos concêntricos com o quadrado estariam sucessivamente marcados, do centro para a periferia, os meses do ano, os dias destes meses (de cinco em cinco), os signos do zodíaco e os graus de 0 a 30 em cada um destes signos; supondo-se que o Sol descrevia o círculo representativo do zodíaco no sentido retrógrado, e este círculo estava disposto de tal modo que o início das escalas de declinações da direita coincidissem com a entrada do Sol em Aries (entre 10 e 15 de Março), logo que se localizasse a posição do Sol em determinado dia do ano, lia-se imediatamente o lugar do Sol; e «marcando por las paralelas que tocan en la circunferencia y saliendo por la que toca el grado del Sol (...) hasta el lado del instrumento, alli hallaremos el numero de los grados de la declinacion que el Sol el tal dia tiene»⁽³⁶⁾.

Explicado o método apresentado por Francisco Rodrigues, passaremos ao descrito por Pedro Nunes⁽³⁷⁾, que Fontoura da Costa considerava ser «provavelmente o mais antigo ábaco conhecido, pelo menos ábaco náutico», para a resolução do problema. Pedro Nunes apresentou-o para um círculo inteiro⁽³⁸⁾, ou seja, para toda a revolução aparente do Sol, mas é claro que basta dar um quadrante do círculo,

(36) Nesta figura de Cortez há quatro coroas circulares: duas delas indicam os signos do zodíaco e os seus graus, marcados de cinco em cinco; nas outras duas estão escritos os nomes dos meses e os dias 5, 10, 15, 20, 25 e último de cada um deles; as coroas podiam deslocar-se por rotação em redor do centro comum, e era à custa desse movimento que se conseguia determinar o lugar da Lua em qualquer dia do ano, uma vez conhecida a data da sua última conjunção com o Sol.

(37) No *Tratado em Defensam da Carta de Marear*, in *Obras*, vol. I, págs. 239-240. Lisboa, 1940.

(38) O mesmo faz, de resto, o P.^o Francisco da Costa, *Arte de Navegar*, fls. 27 v. 28 r; mas em *De arte atque ratione navigandi libri duo* (Coimbra, 1573), Pedro Nunes considera apenas um quarto de círculo.

correspondente à variação da longitude celeste de 0° a 90° — portanto, para o percurso do Sol nos signos Aries, Taurus e Geminis —, pois δ repete nos restantes signos os valores que aí atingir, como já salientámos.

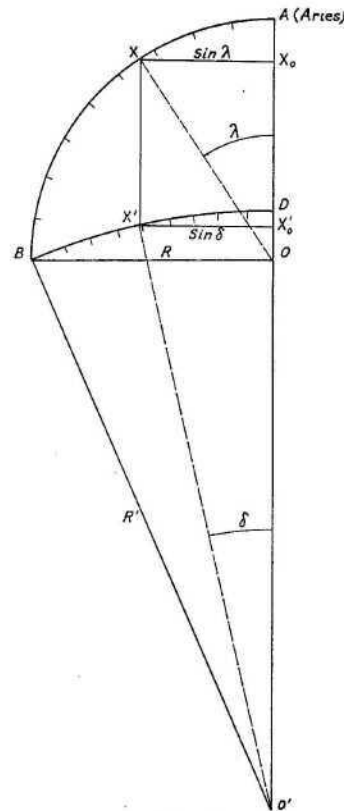


Fig. 5

No quarto de círculo AB de raio R (veja-se a fig. 5) marca-se a longitude celeste do Sol, ou essa coordenada reduzida ao primeiro quadrante, no caso de exceder 90° . Tomando o raio OB como semi-corda, com centro O' na recta OA e tal que $\angle O'OB = 23^\circ 30'$ (valor atribuído à obliquidade da eclíptica), construa-se o arco DB graduado de 0° a $23^\circ 30'$ no sentido de D para B .

Seja X o ponto do quadrante das longitudes que corresponde à posição do Sol no zodíaco em determinado dia do ano; conduzindo por X uma paralela a OA , essa recta intersecta o arco DB no ponto X' , onde logo se lê a declinação solar para o dia considerado.

A explicação deste procedimento é a que segue: é evidente que aos ângulos λ e δ corresponderiam cordas iguais em círculos de raios R e R' tais que

$$R' \sin \delta = R \sin \lambda,$$

ou seja, atendendo a (1):

$$1 = \frac{R'}{R} \frac{\sin \delta}{\sin \lambda} = \frac{R'}{R} \sin \epsilon;$$

por consequência, se a longitude celeste λ está marcada num

círculo de raio R, o raio do círculo onde a corda definida por δ fica representado pelo mesmo segmento será

$$R' = \frac{R}{\sin \varepsilon}$$

ora o triângulo B O O' da fig. 5 logo mostra que o arco D B pertence a um círculo que tem exactamente este raio ⁽³⁹⁾.

Resta-nos tratar do método apresentado por Luís Serrão Pimentel ⁽⁴⁰⁾. Este autor descreve, de resto, dois processos para a determinação gráfica da declinação; o segundo deles, cuja autoria Pimentel atribui por lapso ao P.^o Clávio e a Metius, é exactamente aquele que acaba de ser descrito; ocupar-nos-emos do primeiro método, não muito correctamente exposto na única cópia da obra que até nós chegou.

Acompanhando um desenho que se reproduz na fig. 6, o texto de Serrão Pimentel é o seguinte:

«Descreva-se o círculo A B C D, por cujo centro do ponto C se lance o diâmetro A E C, e se tome o arco C G igual à máxima declinação da eclíptica (sic); e pelo ponto G e centro E se tire o diâmetro G E H; assinalem-se os pontos B, D distantes 90° dos pontos G M H, imagine-se que o ponto B é o princípio de Aries, D o de Libra. Querendo-se, pois, saber a declinação de qualquer ponto da eclíptica, por exemplo, de 20 graus de Tauro, se contem de B para G, até o ponto K, 50 graus, por haver tantos do princípio de Aries até 20 graus de Tauro. E do ponto K se lance sobre o diâmetro H E G a perpendicular K M».

Há nesta exposição falhas evidentes que vão desde a troca de letras (por exemplo: são os pontos B e D que se

⁽³⁹⁾ Na sua *Arte de Navegar* (Cod. do National Maritime Museum, fls. 27 v. e 28 r), o P.^o Francisco da Costa, depois de descrever este processo, considera que tal modo de obter a declinação era «mais fácil e não menos certo que todos» os outros; por isso aconselha para uso da marinharia tábuas com os lugares do Sol tirados de quaisquer efemérides (cita as de J. A. Magino), obtendo-se a declinação a partir deles pelo processo gráfico que acabamos de expor.

⁽⁴⁰⁾ *Arte Prática de Navegar*, 2.^a ed., págs. 104-106. Lisboa, 1960.

encontram a 90° de A e C, e não os pontos G e M, como o texto diz) até uma omissão na parte final, onde se não chega a explicar como se pode obter de M a declinação procurada.

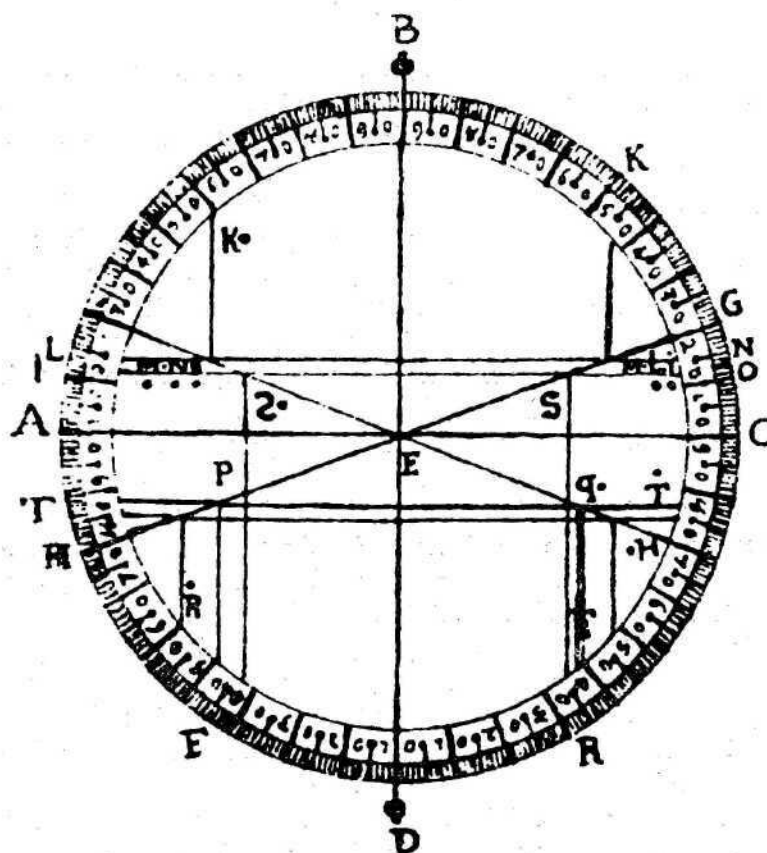


Fig. 6 — Abaco para a determinação da declinação solar segundo Luís Serrão Pimentel, *Prática da Arte de Navegar*, 2.ª ed., Lisboa, 1960, pág. 105.

(A letra M, situada na linha que representa a eclíptica e não longe de G, distingue-se mal no desenho).

Se a explicação é pouco clara, a gravura não o é menos, em virtude do autor a ter querido aproveitar para esclarecer outro passo das suas lições; mas nem pelo facto de avisar que «todas as letras assinaladas (na figura) com

pontos são doutra regra, que vem a ser virada a figura para a parte esquerda», fica facilitada a compreensão do gráfico.

Muito embora em discordância com o texto, que fala em conduzir por K uma perpendicular a EG (ver a fig. 6), supomos que o gráfico do manuscrito deva ser interpretado como mostra a fig. 7.

Nessa figura OE é a linha que representa uma parte da eclíptica, inclinada, por consequência, $23^{\circ} 30'$ sobre o raio OC, que representará uma parte do equador; AK o arco descrito pelo Sol desde a equinócio da Primavera, considerado em A, até o dia em que se deseja saber a sua declinação, — ou esse ângulo reduzido ao primeiro quadrante, no caso de exceder 90° .

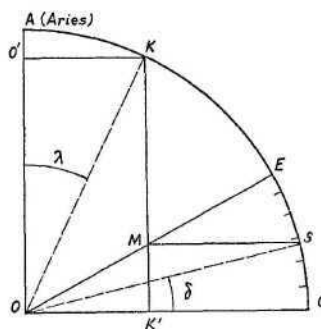


Fig. 7

Conduzindo por K um segmento KK' perpendicular a OC, seja M o ponto em que ele intersecta OE; trace-se em seguida por M a paralela MS a OC, designando S o ponto em que ela corta o arco de círculo EC: a declinação procurada seria então dada, segundo o autor, pelo ângulo SOC.

É fácil de reconhecer que o segmento MK' , considerado no final desta construção como seno da declinação do ponto K da eclíptica, tem na verdade o valor $\sin \lambda \cdot \operatorname{tg} \varepsilon$, afectando a coordenada procurada de um erro proveniente de se substituir o $\sin \varepsilon$ pela tangente do mesmo ângulo. Em resumo: com o procedimento aconselhado cometia-se um erro por excesso de quase 10 % na avaliação do factor $\sin \varepsilon$ que figura no segundo membro de (1).