

**UNIVERSIDADE
DE
ÉVORA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM ENSINO DA FÍSICA**

***“ESTUDO E TENTATIVA DE
ENQUADRAMENTO DA CONTRIBUIÇÃO
DOS PORTUGUESES PARA O ESTUDO DO
GEOMAGNETISMO NA ÉPOCA DOS
DESCOBRIMENTOS”***



142 268

JORGE MANUEL DE CARVALHO MOREIRA
sob orientação do Prof. António Correia

“Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”

**ÉVORA
2003**

ÍNDICE

<u>AGRADECIMENTOS</u>	3
<u>NOTA PRELIMINAR</u>	4
<u>LISTA DE SÍMBOLOS</u>	6
<u>INTRODUÇÃO</u>	7
<u>CAP. I - DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO</u>	10
<u>CAP. II - O GEOMAGNETISMO NA ÉPOCA DOS DESCOBRIMENTOS</u>	18
<u>CAP. III - O GEOMAGNETISMO E OS DESCOBRIMENTOS PORTUGUESES</u>	32
<u>CAP. IV - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES</u>	49
PARTE A - ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA	49
PARTE B - D. JOÃO DE CASTRO E O MÉTODO EXPERIMENTAL	61
PARTE C - SOBRE OS ARTIGOS DE H. D. HARRADON	69
<u>ANEXO - O CAMPO GEOMAGNÉTICO E A SUA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA</u>	81
<u>LISTA DE REFERÊNCIAS</u>	93

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos aqueles que contribuíram para que esta monografia fosse possível e em especial ao Prof. António Correia pela disponibilidade manifestada.

Não podemos ainda deixar de salientar que um importante conjunto de artigos foi conseguido pelo Prof. António Correia, no Canadá. Desconhecemos se esses trabalhos, da autoria de A. Crichton Mitchell e H. D. Harradon, existem em Portugal.

NOTA PRELIMINAR

A história dos Descobrimentos Portugueses foi, desde há longos anos, objecto de análise e discussão, por vezes acesa, entre muitos estudiosos da História de Portugal. Foram explorados campos tão vastos como: a génese da expansão; a importância social, política e económica; a influência na cultura e nas letras; a arte de navegar, os instrumentos náuticos, a sua origem e desenvolvimento; a cartografia; a influência de Portugal no mundo; as consequências da expansão; e tantos outros.

Conhecem-se inúmeros trabalhos publicados, essencialmente ao longo do último século, produzidos por grandes vultos da cultura portuguesa. Nomes como Sousa Viterbo, Joaquim Bensaúde, os irmãos Cortesão (Jaime e Armando), Teixeira da Mota, Luciano Pereira da Silva, Luís de Albuquerque, Gago Coutinho, Fontoura da Costa, Luís Filipe Barreto, José Manuel Garcia, Manuel Fernandes Costa, Vitorino Magalhães Godinho, Joaquim Veríssimo Serrão, Joaquim Barradas de Carvalho, Quirino da Fonseca, Alexandre Herculano, Oliveira Marques, Oliveira Martins, Vitorino Nemésio, António José Saraiva, António Sérgio, Damião Peres, Hernâni Cidade,... ficaram intimamente ligados à história da Expansão Portuguesa, quer pelos trabalhos pioneiros que efectuaram, quer pelos documentos “perdidos” que deram a conhecer ao mundo ou ainda pelas opiniões que manifestaram. Infelizmente, alguns dos trabalhos produzidos, porque não foram ainda reeditados, são de acesso quase impossível.

Ao longo dos anos também foram realizadas diversas comemorações e congressos. Eventos como o Congresso da História da Expansão Portuguesa no Mundo, o Congresso do Mundo Português ou o Congresso Internacional de História dos Descobrimentos, produziram muitos trabalhos importantes nesta área, contribuindo deste modo para uma melhor compreensão deste capítulo da História de Portugal.

Existe, portanto, um avultado conjunto de trabalhos que cobrem variadas áreas da epopeia portuguesa dos Descobrimentos. Porém, em relação ao assunto

NOTA PRELIMINAR

que será o tema central desta dissertação, deparámos com enormes dificuldades. Os estudos não abundam, e trabalhos recentes ainda menos; ficamos com a sensação que há ainda muito espaço vazio que falta preencher. Por outro lado, julgamos que o assunto talvez não tenha sido ainda abordado numa perspectiva abrangente. Há algum, não muito, material disperso, do qual uma parte significativa já foi publicado há bastantes anos, o que envolve sempre dificuldades para a sua consulta.

Pela quantidade de trabalhos produzidos e pela profundidade e dimensão que lhes conferiu, Luís de Albuquerque é nesta área a primeira figura de referência. Não é de surpreender, por isso, que ao longo desta monografia os seus artigos sejam muitas vezes mencionados, e que com grande frequência recorramos às suas opiniões.

Por último, queremos fazer referência a dois livros, que constam na bibliografia, onde é possível encontrar outros trabalhos relacionados com o vasto tema dos Descobrimentos Portugueses. São eles:

História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal no séc. XX - Bibliografia das Obras de Autores Nacionais Publicados durante o séc. XX que se ocuparam das Actividades Científica e Técnica dos Portugueses nos Séculos Anteriores, de Rómulo de Carvalho;

Viagens dos Descobrimentos, de José Manuel Garcia (Organização, Introdução e Notas), págs. 285-292.

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Símbolos</i>	<i>Grandeza</i>
\vec{B}	Indução magnética (Campo magnético)
\vec{D}	Deslocamento eléctrico
D	Declinação magnética ou variação da bússola
\vec{E}	Campo eléctrico
\vec{F}	Intensidade magnética
\vec{H}	Intensidade do campo magnético
I	Inclinação magnética
\vec{J}	Densidade de corrente de condução
ϵ	Permitividade eléctrica
μ	Permeabilidade magnética
ρ	Densidade de carga eléctrica
σ	Condutividade eléctrica

INTRODUÇÃO

Situemo-nos entre os séculos XV e XVI, época que, como sabemos, foi o período áureo dos Descobrimientos Portugueses e, portanto das grandes viagens de exploração marítima. Enquanto a navegação foi efectuada com costa à vista não se colocaram grandes dificuldades de orientação; a situação passou a ser muito diferente quando as naus e caravelas portuguesas se aventuraram em alto mar. Sem possuírem quaisquer pontos de referência fixos, tornava-se essencial encontrar sistematicamente a posição do navio no mar; a determinação do ponto no mar tornava-se pois uma necessidade primordial.

Possuindo métodos e instrumentos que permitiam a determinação da latitude, restava o problema da determinação da longitude. Talvez por este conhecimento ser fundamental, terão os navegadores associado, sem se perceber a razão, longitude e declinação magnética. Pensava-se que medindo a variação da bússola se poderia conhecer o meridiano local. Tal procedimento, que parte de um fundamento errado, teve uma consequência importante: gerou grande interesse pelo conhecimento da declinação magnética.

Esta dissertação tem como objectivo procurar analisar até que ponto os conhecimentos adquiridos como resultado desse interesse foram relevantes enquanto contributos para o conhecimento do campo geomagnético e para a evolução desse próprio conhecimento. Faremos um percurso em quatro fases, de modo a adquirirmos uma panorâmica tanto quanto possível minuciosa, sobre o modo como os fenómenos magnéticos foram entendidos pelos homens dos Descobrimientos, e sobre as suas relações com as questões náuticas.

É evidente que esta monografia teria de começar por uma abordagem física ao campo geomagnético. É o que faremos no primeiro capítulo com a descrição física desse campo, em termos breves mas, tanto quanto possível abrangente, dos principais aspectos. Assumimos a escolha de a fazer em termos qualitativos, sem recorrer a formalismos matemáticos, pois pensamos ser esta a melhor forma de apresentar um trabalho produzido essencialmente para não especialistas. Dei-

INTRODUÇÃO

xamos contudo, em anexo, o tratamento matemático do campo geomagnético, pois tememos que uma dissertação desta natureza possa de algum modo ficar incompleta.

No segundo capítulo serão sublinhados os fundamentos necessários para que os navegadores dos Descobrimentos pudessem levar à prática a determinação da longitude por meios magnéticos. Falamos, é claro, da descoberta da designada propriedade directiva do íman e da sua posterior aplicação na bússola, e do conhecimento do fenómeno da declinação magnética e da sua variação espacial. Será uma abordagem efectuada numa perspectiva histórica do conhecimento e evolução destes conceitos e do modo como poderão ter chegado ao conhecimento dos homens dos Descobrimentos.

O terceiro capítulo é dedicado por inteiro ao esforço dos portugueses dos Descobrimentos em determinarem a longitude através da declinação magnética, ao modo como essa relação foi sucessivamente entendida e às consequências que daí advieram. Neste contexto será evidenciado o trabalho colectivo de todos aqueles (pilotos, cosmógrafos, navegadores, aventureiros, homens da ciência, artesãos,...) que contribuíram com o seu esforço para esta causa. De entre todos, torna-se necessário destacar, pelo trabalho produzido e pelo modo como o efectuou, uma das mais importantes personalidades do séc. XVI: D. João de Castro.

Terminaremos com uma reflexão mais pessoal, em jeito de conclusão, abordando três vertentes, que em nosso entender devem merecer destaque. A primeira procura extrair conclusões sobre o trabalho dos portugueses dos séculos XV /XVI, e a sua importância no contexto do magnetismo terrestre. Supondo que até possa nem ser imprescindível efectuar uma análise desta natureza, consideramos que esta abordagem faz sentido. Não é de descartar a possibilidade de, num contexto, alguém possa sentir a necessidade de se interrogar sobre tal assunto. A segunda relaciona-se com o procedimento de D. João de Castro face à observação de alguns fenómenos magnéticos, em que denota características invulgares para o seu tempo. Pareceu-nos importante apresentar esta reflexão em separado em relação ao capítulo anterior, porque pretendemos ir mais além do que os objecti-

INTRODUÇÃO

vos inicialmente formulados para aquele capítulo. A terceira procura dissecar os trabalhos de um autor não português cujos artigos, sobre alguns dos capítulos da história do magnetismo terrestre, pensamos serem mal conhecidos em Portugal, senão mesmo desconhecidos. Esta opção de trabalho sobre o conjunto de artigos de H. D. Harradon justifica-se, em nosso entender, porque nos textos elaborados pelo autor (que acompanham as traduções dos originais portugueses) há conteúdos que podem ser considerados polémicos. Procuramos, por isso, pôr em evidência alguns desses conteúdos e os motivos porque poderão ser considerados controversos.

Para finalizar resta referir que ficaríamos muito satisfeitos se esta monografia pudesse dar algum contributo, por mais pequeno que fosse, para um melhor conhecimento do tema em análise.

CAP. I - Descrição física do campo geomagnético

O campo geomagnético (ou campo magnético da Terra) é um campo vectorial, que varia no tempo e no espaço, e que, em qualquer ponto, pode ser caracterizado por dois vectores: \vec{F} , intensidade magnética, e \vec{B} , indução magnética. Quando situados no vazio, estes dois vectores, estão relacionados através da seguinte expressão:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{F} \quad (\text{I.1})$$

em que μ_0 é uma constante, denominada permeabilidade do vazio.

Como nas antigas unidades do electromagnetismo (u.e.m.), a permeabilidade do vazio era adimensional e igual a 1, \vec{B} e \vec{F} tornavam-se indistinguíveis quando expressas na mesma unidade, habitualmente o gauss (G)¹ ou o seu submúltiplo gamma (1 gamma = 10^{-5} G). Era então usual recorrer a \vec{F} , em detrimento de \vec{B} , para expressar o campo geomagnético, sendo esse vector designado por campo magnético da Terra. Porém, com a adopção generalizada do Sistema Internacional (SI), em que a permeabilidade do vazio vale $4\pi \times 10^{-7}$ H.m⁻¹ ou T.m.A⁻¹, a intensidade magnética e a indução magnética foram consideradas grandezas físicas distintas, e como tal são expressas por unidades diferentes: no primeiro caso em ampere por metro (A.m⁻¹) e no segundo caso em tesla (T).

Como é óbvio, \vec{F} e \vec{B} , embora sejam grandezas caracterizadas por diferentes vectores, têm em comum a direcção e o sentido. Significa isto que continua a ser possível especificar o campo magnético da Terra em termos de intensidade magnética ou indução magnética. Contudo, o IAGA (Internacional Association of

¹ Segundo o sistema C.G.S. a unidade indicada para a intensidade magnética (ou campo magnética) é o oersted (Oe) e não o gauss (G), que é a unidade designada para a indução magnética (ou densidade de fluxo magnético). Contudo, na ausência de um meio magnetizável é válida a igualdade 1 G = 1 Oe. No caso do geomagnetismo, esta igualdade é perfeitamente válida, uma vez que a permeabilidade do ar ao nível do mar é praticamente igual à permeabilidade do vazio, que neste sistema vale 1. Deste modo, como a distinção entre o gauss e o oersted não é importante, na maior parte das vezes, por razões históricas, utiliza-se o gauss como unidade do campo magnético da Terra.

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

Geomagnetism and Aeronomy), que é o organismo internacional que mais diretamente se relaciona com o estudo do geomagnetismo, recomenda o uso do SI e que os valores do campo geomagnético sejam expressos em termos de \vec{B} . Com esta escolha, o IAGA garantiu que a mudança de sistema de unidades seja uma tarefa extremamente simples, uma vez que $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ ($1 \text{ nT} = 1 \text{ gamma}$).

A especificação do vector campo magnético num qualquer ponto O da superfície terrestre, quer seja feita em termos de \vec{F} ou de \vec{B} , pode ser efectuada a partir de um sistema de referência X, Y, Z . Em tal sistema (ver Figura I.1), em que o eixo X aponta para o Norte geográfico, o eixo Y para Este e o eixo Z para o centro da Terra, o campo magnético \vec{B} tem a sua direcção e sentido fornecidos pela orientação de uma agulha magnética colocada nesse ponto². A especificação de \vec{B} (ver novamente Figura I.1) poderá ser feita, de modos distintos, a partir dos eixos desse referencial, de \vec{H} (a componente horizontal de \vec{B}) e dos ângulos D e I . O valor do ângulo D , que é considerado positivo quando é medido para Este no plano horizontal que passa por O , designado por declinação magnética ou variação da bússola, é o desvio de \vec{H} , segundo a direcção horizontal Norte; é o ângulo formado entre a direcção da agulha magnética e a direcção do Norte geográfico,

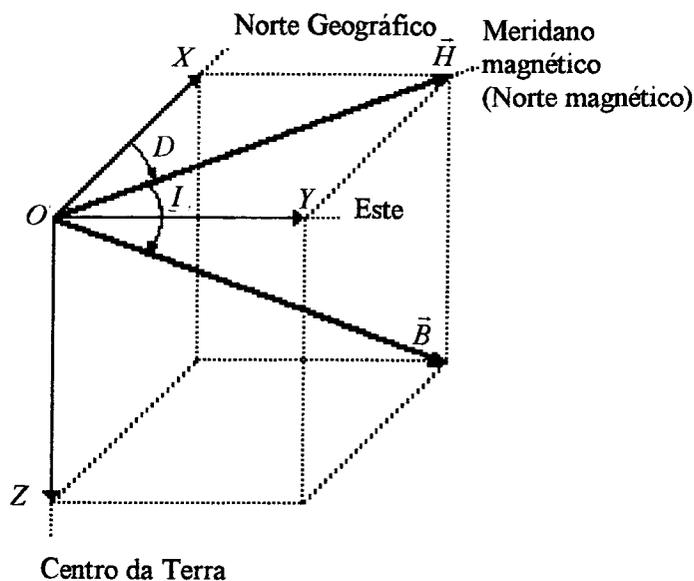


Fig. I.1 - Os elementos do campo geomagnético.

² Usaremos \vec{B} e não \vec{F} , seguindo as recomendações do IAGA.

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

medido num plano horizontal. O valor do ângulo I , que é considerado positivo quando medido para baixo do plano horizontal que passa por O^3 , e que se designa por inclinação magnética, é o desvio de \vec{B} , segundo \vec{H} ; é o ângulo formado entre a direcção da agulha magnética e a horizontal do lugar, medido num plano vertical.

Habitualmente são usadas três formas para efectuar a especificação de \vec{B} num determinado ponto O :

1ª- pelo valor de \vec{B} (B - intensidade total do campo no ponto O) e pelos dois ângulos D e I .

2ª- pelo valor de \vec{H} (H) e pelos dois ângulos D e I . Este método foi muito usado antes do aparecimento dos novos instrumentos de medida, já que estes valores eram mais fáceis de medir nos instrumentos clássicos.

3ª- pelo valor de \vec{H} (H) e pela componente vertical de \vec{B} , Z , que é considerada positiva se estiver dirigida para baixo. Contudo, \vec{H} é muitas vezes expresso em termos de componentes Norte e Este, respectivamente X e Y (que são consideradas positivas de acordo com a orientação dos eixos do sistema representado na Figura I.1) e, como tal, a especificação de \vec{B} , pode ser feita em termos das suas componentes horizontais X e Y , e da sua componente vertical Z .

Note-se que B , H , X , Y e Z são expressas em nanotesla (nT) o que mostra quão pequeno é o campo magnética terrestre, enquanto que D e I são expressos em graus e minutos de arco ou em radianos.

As sete quantidades B , H , D , I , X , Y e Z são chamadas elementos magnéticos⁴ e são habitualmente as mais usadas, embora, por vezes, o vector \vec{B} possa ser

³ No Hemisfério Norte é positivo já que a agulha magnética aponta o Pólo Norte para baixo, mas no Hemisfério Sul é negativo porque o Pólo Norte da agulha aponta para cima.

⁴ Por vezes H , X , Y e Z são referidas como componentes magnéticas.

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

determinado com outros elementos especiais. De acordo com a Figura I.1 os sete elementos magnéticos podem ser relacionados entre si através das seguintes equações:

$$H = B \cos I \quad (I.2)$$

$$Z = B \sin I = H \operatorname{tg} I, \text{ em que } \operatorname{tg} I = \frac{Z}{H} \quad (I.3)$$

$$X = H \cos D, \text{ em que } \operatorname{tg} D = \frac{Y}{X} \quad (I.4)$$

$$Y = H \sin D \quad (I.5)$$

$$X^2 + Y^2 = H^2 \quad (I.6)$$

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = B^2 \quad (I.7)$$

Daqui se conclui que para especificar \vec{B} são necessários três elementos independentes; qualquer um dos restantes pode ser determinado facilmente através destas relações.

De um análise mais cuidadosa da Figura I.1 torna-se perceptível que os pólos magnéticos são os pontos onde $I = \pm 90^\circ$ (conforme se trate do Pólo Norte ou do Pólo Sul) e $H = 0$, enquanto que o Equador magnético (que não coincide com o Equador geográfico) é definido pelos pontos onde $Z = 0$ e $I = 0$. O meridiano magnético plano a qualquer ponto (meridiano magnético local) é o plano vertical definido pela direcção das linhas de força magnética desse lugar, ou seja, é o plano vertical que passa por \vec{B} ou \vec{H} .

A distribuição dos elementos magnéticos fica mais adequadamente ilustrada através de cartas magnéticas onde linhas que unem pontos de igual valor para o

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

mesmo elemento magnético estão representadas (cartas isomagnéticas). Assim, podemos encontrar cartas com linhas isogónicas⁵ referentes a D que convergem para os pólos magnéticos e geográficos, cartas com linhas isoclínicas referentes a I , e cartas com linhas isodinâmicas relativas a B , H , X , Y e Z . As variações seculares ou mudanças de longo período do campo geomagnético são geralmente indicadas nas cartas nacionais ou mundiais por linhas isopóricas, em que cada uma une pontos de igual variação secular⁶; de todas elas, as isogónicas ou cartas D , são as mais importantes. Habitualmente estas cartas eram publicadas com intervalos de cinco anos, enquanto as restantes com intervalos de dez anos, e eram traçadas à mão a partir de observações ajustadas dos diversos elementos magnéticos. Actualmente, todos os elementos são colocados em cartas de cinco em cinco anos a partir de modelos definidos pelo IAGA no mesmo intervalo de tempo. Estes modelos têm origem na observação dos elementos magnéticos e no seu posterior tratamento através da análise harmónica esférica.

(Alldredge, 1989; Campbell, 1997; Forbs, 1989; Whitham, 1967)

Como foi inicialmente referido, o campo geomagnético não varia apenas no espaço, mas também, no tempo. É da variação temporal do campo magnético da Terra, de que a variação secular, já aqui mencionada, é um exemplo, que iremos de seguida considerar.

A variação no tempo do campo geomagnético pode ser observada em todos os elementos magnéticos, embora a sua influência não se faça sentir do mesmo modo, nem seja por vezes fácil de identificar. Esta dificuldade resulta da sobreposição de diversos fenómenos magnéticos com frequências diferentes e, dos efeitos por si produzidos nos elementos magnéticos se traduzirem por um grande espectro de magnitudes. A variação secular (que é considerada uma variação de longo período), a primeira a ser identificada a partir de valores da declinação magnética, mas que pode ser observada em qualquer elemento magnético com relativa facilidade, distingue-se das variações de curto período, habitualmen-

⁵ A isogónica de valor zero chama-se agónica.

⁶ Estas cartas representam a variação da intensidade vertical do campo magnético.

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

te designadas de transientes, não só pela escala temporal com que se manifesta, mas também pela sua origem. Enquanto a variação secular tem origem no interior da Terra, as variações transientes são essencialmente de origem externa. Algumas destas, provêm de fontes situadas quer na magnetosfera quer na ionosfera e na influência que estas camadas exercem sobre a Terra. No entanto, é hoje praticamente indiscutível o reconhecimento que o Sol é a causa última da maioria das variações de pequeno período.

(Alldredge, 1989; Campbell, 1997)

As variações de curto período podem manifestar-se com perturbações irregulares, ou podem exibir uma periodicidade bem definida que se repete, por exemplo de dia para dia. Estas variações regulares com período de um dia, designadas por variações regulares diárias, são as mais importantes, mas não são as únicas; existem muitas outras que exibem períodos muito diferentes. Estes podem estender-se desde décadas (ciclo solar) até milissegundos (pulsações ELF). Também o efeito destas variações, regulares e irregulares, nas amplitudes do campo geomagnético não se faz sentir do mesmo modo; os valores do campo sofrem variações consideráveis devido à sua influência. Podemos assim encontrar variações de valores desde 5×10^3 nT (intensidade das tempestades magnéticas) até menos de 10^{-2} nT (micropulsações Pel).

(Barraclough, 1989; Forbs, 1989)

As variações regulares diárias, apesar do padrão repetitivo, apresentam um carácter variacional, por exemplo com as estações do ano. Também a sua influência, apesar de ser um fenómeno que abrange todo o planeta, não se faz sentir com a mesma intensidade em todos os locais da Terra. Estas variações, que são características dos observatórios, dependem do tempo local, dependem da latitude magnética e não afectam do mesmo modo os elementos magnéticos. As mais facilmente detectáveis são as de origem solar, designadas por variações diárias calmas, Sq⁷; têm período de vinte e quatro horas e aparecem nos dias solares

⁷ The solar daily variation on magnetically quiet days.

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

calmos. Para além destas, existe uma variação menos intensa com um período de um dia lunar⁸.

(Barraclough, 1989)

As variações irregulares, que também estão relacionadas com a actividade do Sol, são perturbações de carácter mais ou menos acentuado⁹ e os dias em que são observadas são chamados dias não calmos.

Esta pequena análise à variação temporal do campo magnético da Terra, parece-nos ser suficiente para reconhecer que estamos perante um fenómeno multifacetado de grande complexidade e de difícil tratamento quantitativo. Na realidade, o campo geomagnético resulta da sobreposição de vários campos magnéticos variáveis no tempo e no espaço, com origem no interior e no exterior da Terra. A contribuição exterior é de longe muito menor; a maior parte do campo magnético da Terra, o designado campo principal, representando mais de 90%, tem origem interna. Porém, e apesar deste facto, é necessário salientar que os campos exteriores desempenham um papel fundamental nas variações do campo geomagnético. Estas variações, espaciais e temporais, são manifestações quer dos lentos movimentos de convecção dentro do núcleo da Terra que dão origem à variação secular, quer dos campos exteriores essencialmente originados por correntes eléctricas na magnetosfera e ionosfera.

(Forbs, 1989)

As diversas variações do campo magnético terrestre podem ser observadas sob a forma de fenómenos mais ou menos conhecidos. Assim e para além da variação secular, podemos recordar a deriva para Oeste do campo magnético da Terra¹⁰, as anomalias regionais¹¹ e locais¹² ou o campo induzido¹³ para não citar

⁸ Vinte e cinco horas.

⁹ As perturbações mais violentas designam-se por tempestades magnéticas.

¹⁰ Fenómeno provavelmente relacionado com as variações da velocidade de rotação da Terra.

¹¹ Variações espaciais de grande amplitude que também estão relacionadas com os movimentos do núcleo da Terra.

¹² Variações espaciais resultantes da presença de rochas na superfície da Terra, que apresentam características especiais e por esse facto alteram o valor do campo geomagnético nesse local.

¹³ Campo magnético resultante das correntes eléctricas induzidas na Terra a partir de fontes

DESCRIÇÃO FÍSICA DO CAMPO GEOMAGNÉTICO

outros. A existência destes e de outros fenómenos relacionados com o campo geomagnético mostra, o quanto difícil é obter uma sua descrição rigorosa e completa.

Não é de estranhar, por conseguinte, que a sua matematização revele as mesmas dificuldades e sinta a necessidade de recorrer a formalismos de certo modo complexos. Não considerando este assunto primordial no desenvolvimento desta dissertação, à luz dos objectivos inicialmente formulados, optamos por não a apresentar no texto principal mas, em anexo (**ver Anexo**).

externas. As correntes são induzidas pela variação do campo magnético externo, produzindo um campo secundário que pode ser entendido como a parte interna do campo exterior.

CAP. II - O Geomagnetismo na época dos Descobrimentos

Não será certamente muito controverso afirmar que, quer o uso do magnetismo terrestre para fins de orientação, quer o próprio estudo do fenómeno em si, com vista a uma melhor compreensão do mesmo, foram actividades que deste muito cedo fizeram parte das preocupações da Civilização Ocidental. Como tal, foram das primeiras a entrar no enorme grupo de conhecimentos habitualmente designado por “Ciência”¹. Claro que, muito antes de se poder falar em Civilização Ocidental, já outros povos e outras civilizações se haviam mostrado interessadas neste fenómeno, sendo portanto corrente afirmar-se que o geomagnetismo, designação usual para essas duas actividades tem as suas raízes numa das grandes civilizações milenares da Antiguidade, que desde muito cedo se terá dedicado à sua aplicação prática: a Civilização Chinesa. Curiosamente, este parece ser o único ramo da ciência, dita clássica, que o Mundo Ocidental herdou de uma outra civilização, que não a antiga Civilização Grega. Desta última, como é unanimemente reconhecido, herdou o Mundo Ocidental, através da Civilização Islâmica, grande parte do conhecimento que dominava o pensamento do Homem quinhentista. Da antiga Civilização Chinesa, não se tem a absoluta certeza que possa ter recebido os instrumentos, ou os conhecimentos para a sua elaboração, que lhe permitiram ir à descoberta de novos mundos.

O facto de um pedaço de pedra-íman, ou íman natural², atrair pequenos pedaços de ferro era familiar a muitos povos da Antiguidade. O seu conhecimento estaria mesmo generalizado por volta de meados do primeiro milénio a.C.. No entanto, a descoberta da designada propriedade directiva ou direcciona da pedra-íman no campo magnético terrestre³ só muito mais tarde viria a ser descoberta (Barraclough, 1989). Quem, quando e onde se fez esta descoberta, é um assunto

¹ O termo “Ciência” refere-se, neste contexto, ao grupo de ciências modernas.

² Forma natural de magnetite que se encontra naturalmente magnetizada.

³ Descoberta que a pedra-íman, livre de se mover sobre o seu próprio centro de gravidade, acaba sempre por parar, aproximadamente, segundo a direcção Norte-Sul.

que se encontra longe de estar encerrado. Muito se tem escrito sobre esta matéria, mas devido à complexidade do tema, que resulta essencialmente da dificuldade da análise dos antigos escritos (Mitchell, 1932), muito poucas são as certezas. Por consequência, a origem da aplicação desta propriedade à navegação, através da bússola náutica, encontra-se na mesma situação e debate-se com as mesmas dificuldades.

A opinião muito generalizada que corre habitualmente em meios não científicos, e que atribui aos chineses a descoberta e aplicação da propriedade diretiva e posterior transmissão à Europa Ocidental, não se reveste de igual entusiasmo nos meios científicos. Neste, como em muitos outros aspectos da história do geomagnetismo, ainda há evidentes incertezas, até mesmo controvérsias (Harradon, 1943). Apesar de muitos esforços terem sido feitos nesse sentido, a história do geomagnetismo ainda está longe de estar concluída. Num trabalho que deverá ser bastante recente⁴, intitulado “Geomagnetism: historical introduction”, David R. Barraclough escreve “*This article is a roughly chronological sketch of the most significant events in the history of geomagnetism from the discovery of this directive property until the end of the nineteenth century. For the present century no attempt has been made to be at all comprehensive...*” (Geomagnetism: historical introduction, *The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Edited by David E. James, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1989, pág. 584). Salvaguardando a hipótese de Barraclough exagerar um pouco, na verdade não nos foi possível encontrar um variado leque de livros que versassem exclusivamente esta questão. G. Hellmann (1898) terá sido, a primeira pessoa a tentar reunir os principais documentos que fizeram a história do geomagnetismo (Harradon, 1943). O seu livro *Rara Magnetica*⁵ deverá ser hoje uma autêntica preciosidade, mas infelizmente inalcançável para nós. Uma outra obra fundamental é o livro de

⁴ Embora não seja possível datá-lo com absoluta segurança, é de certeza posterior a 1983, pois nas referências bibliográficas encontram-se obras com esta data. O artigo faz parte de uma obra editada em 1989.

⁵ Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus, No. 10, Berlin, Asher und Co. (1898).

Heinz Balmer (1956) intitulado *Beitrag zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus*⁶ (Albuquerque, 1964, 1982, 1987, 1991). Neste caso, não tivemos oportunidade de a consultar por não dominarmos a língua alemã e por não ter chegado ao nosso conhecimento a existência de traduções para outros idiomas

Outra obra que percorre parte da história do geomagnetismo, e que pudemos consultar, é o conjunto de artigos já com alguns anos, mas nem por isso menos importante⁷, publicado na revista *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, entre 1943 e 1945, da autoria de H. D. Harradon, sob o título “Some early contributions to the history of geomagnetism - I-II/III-IV-V-VI-VII-VIII”. Neles, apresentou⁸ a tradução para língua inglesa de alguns dos mais importantes documentos que, em seu entender, mereciam ser olhados como marcos históricos no desenvolvimento do conhecimento do geomagnetismo e cuja importância num ponto de vista histórico considerou incontestada (Harradon, 1943). No entanto, estes artigos abrangem apenas a vertente europeia e um período que vai desde o séc. XIII até ao séc. XVI⁹.

Um outro conjunto de artigos, na sua maioria um pouco mais antigos, mas também de grande importância¹⁰ foi por nós consultado. Trata-se dos trabalhos de A. Crichton Mitchell publicados também eles na revista *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, entre 1932 e 1946, com o título “Chapters in the history of terrestrial magnetism I-II-III-IV”. Neste trabalho Mitchell analisa com grande detalhe quatro marcos fundamentais na história do desenvolvimento do conhecimento e compreensão do magnetismo terrestre: a descoberta da propriedade directiva e a origem da bússola náutica; a descoberta da declinação magnética; a descoberta da inclinação magnética; o desenvolvimento da ciência magné-

⁶ Aarau (1956).

⁷ Estes artigos encontram-se referenciados no trabalho de David R. Barraclough intitulado “Geomagnetism: historical introduction” (1989), já aqui referido.

⁸ Harradon, baseou-se nas reproduções, algumas feitas em facsímile, publicadas na obra de Hellmann, anteriormente referida.

⁹ Mais concretamente, desde Pierre de Maricourt ou Petrus Peregrinus (1269) até Simon Stevinus (1599).

¹⁰ Estes artigos também se encontram-se referenciados no trabalho de David R. Barraclough.

tica na antiguidade clássica.

Como é possível verificar, nem os trabalhos de Harradon nem os de Mitchell fazem um estudo completo da história do geomagnetismo. O trabalho de Balmer é de facto mais completo pois, entre outros aspectos importantes: contém um resumido estudo sobre a evolução do conhecimento dos fenómenos magnéticos; apresenta traduções para alemão de partes importantes de textos (clássicos, medievais, modernos e até contemporâneos); inclui uma pesquisa sobre as ideias ou autores mais importantes que ao longo do tempo se preocuparam com estes assuntos; possui uma pesquisa biográfica de todos aqueles que escreveram sobre o magnetismo natural (Albuquerque, 1964, 1982, 1987, 1991). No entanto também este trabalho revela algumas limitações, como refere Luís de Albuquerque (1991), num trabalho intitulado “Contribuição das navegações portuguesas do século XVI para o conhecimento do magnetismo terrestre”¹¹, “...Apesar da utili-

¹¹ Conhecemos três artigos deste autor que versam este assunto, com diferenças assinaláveis. Para além do já mencionado, temos “Contribuição das navegações do séc. XVI para o conhecimento do magnetismo terrestre”, datado de 1970 e “A contribuição portuguesa para o conhecimento do magnetismo terrestre no século XVI”, editado em 1987 num livro contendo diversos trabalhos seus (existe um outro livro que também contém este mesmo artigo e que foi editado em 1986).

É muito provável que este conjunto de artigos, nesta ou em outras versões, se possa encontrar em diversos livros, pois como o próprio autor refere, neste último trabalho “O texto que se segue condensa vários trabalhos que ao assunto tenho dedicado desde há mais de vinte anos e repetirá, forçosamente, algumas considerações feitas em publicações anteriores. Alguns comentários serão, porém, originais.” (*As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, pág. 81). Saliente-se ainda que existe um outro artigo intitulado “O magnetismo terrestre no século XVI”, datado de 1964, que embora tenha alguma relação com os anteriores, é muito mais sucinto e superficial.

O artigo “A contribuição portuguesa para o conhecimento do magnetismo terrestre no século XVI” não se encontra datado, mas podemos, com quase absoluta certeza, afirmar que deverá ter sido escrito por meados da década de oitenta. Baseamos a nossa afirmação em quadro factos:

- o autor refere no artigo que à mais de vinte anos que escreve trabalhos dedicados ao tema e como o mais antigo que conhecemos está datado de 1964, logo este só poderia ter sido escrito a partir de 1984;
- no artigo “Acerca de Santa Cruz e do seu *Libro de las Longitudes*” do mesmo autor, apresentado na sua versão original em 1978, faz-se referência ao trabalho elaborado em 1970, o que poderá significar que este ainda não tinha sido escrito;
- uma nota colocada no artigo faz referência a um trabalho que julgamos ser “Acerca de Santa Cruz e do seu *Libro de las Longitudes*”, o que significa ter sido escrito em data posterior, ou seja, depois de 1978;
- no artigo faz-se referência a um trabalho do mesmo autor escrito em 1982.

Parecemos que este conjunto de quatro artigos, quando colocados por ordem cronológica, reflectem o modo como autor ao longo do tempo foi trabalhando este tema. O mais antigo é, como já foi referido, breve e ligeiro; é claramente uma primeira abordagem ao tema. O artigo de 1970 e o seguinte são muito mais extensos e profundos; contêm entre si pequenas diferenças (são sem qualquer dúvida os

O GEOMAGNETISMO NA ÉPOCA DOS DESCOBRIMENTOS

dade deste livro...tem falhas graves quanto ao nome de autores castelhanos e portugueses do séc. XVI, que contribuíram para o conhecimento do magnetismo da Terra...” (*Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, págs. 114-115*).

Os estudos profundos efectuados a partir de fontes tanto quanto possível originais não têm acontecido a um ritmo suficientemente elevado para permitir escrever uma história da evolução do conhecimento do magnetismo terrestre o mais completa possível. O que se pode obter mais facilmente são artigos dispersos que se vão baseando em trabalhos anteriores e que quase nada de novo acrescentam. Existem, no entanto, obras que não versando exclusivamente este assunto, são fundamentais para quem procure fazer a sua própria história do geomagnetismo. É o caso do trabalho de J. Needham intitulado *Science and Civilisation in China*, Cambridge, Cambridge University (1962), que no seu volume 4 discute com enorme detalhe toda a problemática relacionada com a descoberta da propriedade directiva da pedra-íman e da sua aplicação à navegação na antiga Civilização Chinesa.

Para este autor não parecem subsistir grandes dúvidas que terá sido na China que, pela primeira vez, se descobriu a propriedade direcciona. Os geomânticos chineses terão feito esta descoberta por volta do primeiro século d.C. e deverão ter feito uso dela na sua prática, através da utilização de certas montagens que mais não eram que formas primitivas de bússolas. A substituição da pedra-íman por agulhas magnéticas, na geomância, terá ocorrido pela primeira vez, algures entre o séc. IV e o séc. V, por razões técnicas. Contudo, a primeira aplicação desta bússola à navegação parece ter sido feita apenas por volta do ano

mais perecidos) e apresentam uma forte componente técnica. O último artigo publicado no ano da sua desaparecimento, explora o tema numa perspectiva diferente; está elaborado para ser acessível a um público mais vasto. É o próprio autor que o refere quando escreve “Tenho-me acupado diversas vezes do tema a que este capítulo se subordina, mas quase sempre o fiz com recurso a indicações de carácter teórico e erudito, e até com o auxílio de expressões matemáticas...mas agora, tendo em vista uma audiência mais larga, considero-as dispensáveis, e não ser, de facto, dispensadas...não ambiciono ir além de uma simples exposição descritiva dos factos...” (*Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, pág. 113*).

Todos estes trabalhos se encontram referenciados na bibliografia.

1000. Num livro da autoria de Shen Kua, escrito uns anos depois (1088), encontram-se as primeiras descrições pormenorizadas de bússolas náuticas. A partir do começo do séc. XII são conhecidas muitas referências chinesas ao uso da bússola na navegação, apontando todas elas para o uso de instrumentos cuja base de funcionamento era uma agulha magnética flutuante (Needham, 1962).

Uma outra contribuição para este problema tinha sido dada alguns anos antes por Mitchell (1932) no seu primeiro trabalho intitulado "On the directive property of a magnet in the earth's field and the origin of the nautical compass". Neste artigo, Mitchell (1932) debruça-se com grande pormenor sobre este assunto, analisando inúmeras fontes, o que lhe permitiu chegar a três conclusões que nos parecem relevantes:

1^a- a propriedade directiva do íman poderia ser do conhecimento dos chineses, por volta de 1093, mas não a usaram até pelo menos duzentos anos mais tarde;

2^a- não existe nenhuma evidência que aponte a origem desse conhecimento para os árabes, e é muito improvável que possam ter transmitido qualquer informação sobre esta matéria para a Europa, já que a sua mais antiga menção à bússola foi registada, aproximadamente, meio século depois da primeira referência na Europa;

3^a- a bússola era usada na Europa Ocidental em 1187 e como a propriedade directiva deve ter sido descoberta muito antes, é provável que o conhecimento desta propriedade e da sua aplicação na Europa Ocidental, tenha uma origem independente e mais antiga, ou pelo menos simultânea à da China.

Apesar dos trabalhos de Mitchell (1932) e Needham (1962) estarem apenas separados por algumas décadas, não deixa de ser surpreendente a disparidade de opiniões neles manifestadas, especialmente no que concerne à primeira e terceira conclusões apresentadas. Esta divergência de ideias é, em nossa opinião, bem sintomática da dificuldade que os meios científicos têm encontrado na demanda de respostas seguras, e do caminho que ainda falta percorrer na busca incessante dessas mesmas respostas.

Uma análise sobre a origem e época em que a bússola passou a ser utiliza-

da na navegação pelos ocidentais não pode, como se viu, ser separado do contexto anterior. Por outro lado, e para complicar ainda mais, toda esta questão se encontra mergulhada num profundo abismo de incertezas. Entre o primeiro documento importante que menciona este assunto¹² (Mitchell, 1932) e o aparecimento de material suficientemente claro nos princípios do séc. XVI (Albuquerque, 1987), apenas podemos encontrar o tratado de Petrus Peregrinus (1269) que é o mais antigo tratado escrito por um ocidental sobre o magnetismo¹³ (Harradon, 1943) (Barraclough, 1989) em verdadeiros termos científicos (Mitchell, 1932). Todos os restantes documentos são, de um modo geral, pouco claros e em quase nada contribuem para dissipar as muitas névoas que teimam em subsistir à volta da origem da bússola náutica. Contudo, como no tratado de Petrus Peregrinus são introduzidos aperfeiçoamentos na bússola náutica (Mitchell, 1932) (Harradon, 1943), podemos concluir que pelo menos a partir do séc. XIII esta foi utilizada na navegação. Deste modo, não persistem quaisquer dúvidas que quando teve início a expansão marítima portuguesa, a bússola náutica (ou agulha de marear, como é habitual ser designada) era conhecida e utilizada pelos marinheiros europeus.

Outra questão que tem suscitado muitas dúvidas nos meios científico, é a que se relaciona com a descoberta da declinação magnética. O facto da agulha da bússola não dar sempre a indicação exacta da direcção Norte-Sul foi reconhecido muito antes de se entender este fenómeno como sendo universal e, consequentemente, de se chegar ao conceito de declinação magnética (Mitchell, 1937). Num trabalho em que discute com grande pormenor a origem deste conceito intitulado “The discovery of the magnetic declination” (1937), Mitchell defende que, pelo menos, trezentos anos antes de Gilbert publicar *De Magnete*, já existiam referências que mostravam o conhecimento deste facto. Porém, numa primeira fase ele era entendido como um fenómeno paralelo: as primeiras explicações aponta-

¹² Trata-se do tratado *De Rerum Naturis* de Alexandre Neckam, escrito em finais do séc. XII.

¹³ Trata-se da carta que Petrus Peregrinus escreveu a um seu amigo (Mitchell indica a data de 1209).

vam para a pedra-íman que era utilizada na magnetização da agulha que teria propriedades diferentes em diferentes locais; mais tarde, as responsabilidades eram repartidas entre as imperfeições do método de magnetização da agulha e os erros na observação da sua direcção (Mitchell, 1937).

Discutir quem, quando e em que circunstâncias o fenómeno da declinação magnética foi pela primeira vez observado, não é ainda, tal como a questão da descoberta da propriedade directiva do íman ou da origem da bússola, uma tarefa concluída com êxito. Dada a escassez de documentação e o modo como o tema é apresentado nos poucos antigos escritos acessíveis, será sempre muito difícil poder indicar, em termos precisos, pessoas, datas ou locais onde esta importante descoberta possa ter sido feita. O modo mais correcto de encarar este problema será falar na sua história e no modo como o conceito foi evoluindo; nunca na sua descoberta, no sentido em que este termo é habitualmente utilizado (Mitchell, 1937).

Existem, no entanto, marcos históricos considerados fundamentais no processo de desenvolvimento do conceito de declinação magnética. Barraclough (1989) apresenta de modo resumido alguns desses marcos; Mitchell (1937) discute-os em pormenor no trabalho já aqui mencionado. Este autor explora com elevada minúcia inúmeras pistas, tanto na China como na Europa, e é peremptório em concluir que o conhecimento da declinação magnética não teve origem na China, restando, portanto, como única hipótese a Europa (Mitchell, 1937). Em tempos mais recentes, Barraclough (1989) defendia uma tese radicalmente oposta: o livro escrito por Shen Kua é claro na referência que faz ao facto da agulha da bússola não indicar exactamente a direcção Norte-Sul, o que significa que, pelo menos, cerca de 400 anos antes dos europeus, já os chineses conheciam a declinação magnética. Needham (1962) vai mais longe e apoiando-se na literatura geomântica e noutro material relacionado com esta «arte», sustenta que os geomânticos chineses já estariam cientes da declinação magnética antes de meados do séc. IX.

Esta divergência de opiniões que acabamos de referir é muito elucidativa



no que concerne às dificuldades de interpretação do material escrito. É que o mesmo livro¹⁴ que está na base da tese defendida por Barraclough, quando analisado por Mitchell permite-lhe extrair precisamente o oposto. Estes dois autores estão, contudo, em sintonia quanto aos primeiros indícios que, com relativa segurança, parecem indicar o conhecimento da existência da declinação magnética na Europa e que estão situados no séc. XV. Com efeito, e a partir das pistas exploradas por Mitchell, parece poder inferir-se que até esse século não existiam dados muito concretos que mostrassem o conhecimento daquele fenómeno.

A “descoberta” da declinação magnética na Europa terá sido feita de modo gradual pelos construtores e utilizadores de bússolas; terão sido os construtores alemães de relógios solares de bolso, em meados do séc. XV, os primeiros a aperceberem-se desse facto¹⁵. Não é contudo completamente seguro concluir-se que a “descoberta” da declinação magnética se possa atribuir aos fabricantes destes instrumentos; há certas evidências que parecem indicar que o desvio da agulha magnética em relação ao Norte geográfico podia ser atribuído a defeitos na própria agulha ou na pedra-íman utilizada para a sua magnetização (Barraclough, 1989) (Mitchell, 1937).

Uma outra pista minuciosamente explorada por Mitchell (1937) é aquela que conduzia à possibilidade¹⁶ de ter sido Cristóvão Colombo quem descobriu a declinação magnética, ou pelo menos o primeiro ocidental a observar tal fenóme-

¹⁴ Trata-se do livro *Meng Qi Pi Tan (Dream Pool Essays)* de Shen Kua (Barraclough, 1989) ou *Mung-khi-py-than* de Shonkua (Mitchell, 1937). A ligeira diferença no nome do autor e na designação do livro não são mais do que isso mesmo. É com absoluta certeza o mesmo livro pois as datas referidas para a sua datação são quase iguais. Por outro lado, a análise efectuada ao que cada um dos autores escreveu sobre o referido livro, levam-nos a pensar desse modo. Seria uma muito grande coincidência que chegassem até aos nossos dias, provenientes duma época já muito longínqua, dois livros com títulos semelhantes que falam do mesmo assunto, cujos autores ostentam nomes muito parecidos e que teriam sido escritos em datas muito próximas.

¹⁵ Alguns dos relógios solares de bolso construídos por volta de 1450, em Nuremberga, maior centro de manufactura destes aparelhos durante a séc. XV, possuíam duas marcações, uma indicando o Norte geográfico e a outra afastada desta vários graus. Sabendo-se que para se poder usar de modo adequado estes relógios solares é necessário orientá-los correctamente em relação à direcção Norte-Sul geográfica, e que uma das formas de o fazer é incorporar nestes instrumentos uma pequena bússola, parece lógico concluir-se que a existência das duas marcas indicia o conhecimento de que a agulha magnética não indica o Norte verdadeiro e, tentavam compensar essa falha (Barraclough, 1989) (Mitchell, 1937).

¹⁶ Esta opinião parece ter surgido no principio do séc. XIX (Mitchell, 1937) e teve grande aceitação até à descoberta dos já referidos relógios solares de bolso (Barraclough, 1989).

no, durante a sua primeira viagem, em 1492. Após um estudo apurado das versões sobreviventes dos diários das suas viagens, este autor rejeita esta possibilidade ao concluir “...is almost entirely certain that an easterly declination had been observed in northwestern Europe before Columbus sailed on his first voyage.” (Chapters in the history of terrestrial magnetism II - the discovery of the magnetic declination, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 42, 1937, pág. 268). O que Cristóvão Colombo poderá ter descoberto na sua primeira viagem foi a variação espacial da declinação magnética. No entanto, nem esta possibilidade é sustentada com segurança a partir dos dados disponíveis. Há ainda a considerar a existência de alguns pequenos indícios que, parecem realçar o conhecimento da variação da declinação magnética com a posição considerada à superfície da Terra, por parte de alguns navegadores, ainda antes da sua primeira viagem (Mitchell, 1937).

Infelizmente não são colocados ao dispor do leitor outros pormenores sobre estes pequenos indícios, nem é referido quem poderiam ser esses navegadores. Mas, partindo do princípio que era em Espanha e Portugal que se encontravam os melhores navegadores desse tempo, não será de excluir a hipótese da variação espacial da declinação magnética, e por consequência, a própria declinação magnética ser do conhecimento dos navegadores portugueses ainda antes do séc. XVI. Albuquerque (1987), num dos artigos já referidos assume esta possibilidade ao escrever “...tudo parece indicar, como salientou Teixeira da Mota³, que já antes das viagens de Colombo às Antilhas o fenómeno [da declinação magnética] era conhecido, pois Bartolomeu Dias deu o nome de cabo das Agulhas a um lugar ribeirinho da África do Sul onde, nesse tempo, era nula a declinação magnética; refira-se, no entanto, que o topónimo só aparece registado em 1502.” (*As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, pág. 83). Esta afirmação, em nosso entender, significa ainda que a variação espacial também era conhecida; ao atribuir-se este nome sublinha-se o facto de existir um lugar onde não havia declinação magnética, em contraste com tantos outros lugares, visitados pelos navegadores, que não exibi-

am tal particularidade. Note-se porém que, num outro artigo sobre o mesmo tema, Albuquerque (1991), baseado nos mesmos dados, não menciona de modo explícito esta eventualidade.

É pois possível que, já em 1488, fosse prática usual nas naus e caravelas portuguesas medir declinações magnéticas. Pode até ser possível que a sua variação espacial fosse também conhecida dos navegadores portugueses do séc. XV. No entanto, não estão ainda reunidas provas suficientemente sólidas para se poder extrair conclusões definitivas acerca do séc. XV (Albuquerque, 1987, 1991). Deste modo, muito do que se possa dizer ou escrever sobre este tema ou assuntos relacionados, será sempre polémico e discutível. A possibilidade de Cristovão Colombo ter adquirido conhecimentos sobre a declinação magnética ou a sua variação espacial através dos portugueses, é um bom exemplo do que acabamos de referir.

Sabe-se que Cristovão Colombo esteve em Portugal¹⁷; José Manuel Garcia (1994) num estudo intitulado “Colombo em Portugal” refere que este genovês veio para o nosso país, talvez em 1476, ainda jovem (com cerca de vinte e cinco anos) e cá permaneceu até seguir para Espanha, em 1485¹⁸. Admite-se que Colombo possa ter adquirido conhecimentos náuticos através do contacto com os navegadores portugueses: Manuel Fernandes Costa (1979) no seu livro *As Navegações Atlânticas no séc. XV* não tem sobre este assunto quaisquer dúvidas quando escreve “*Navegando em navios portugueses, aprendendo com pilotos portugueses as técnicas de navegação, servindo-se dos seus sacrifícios e experi-*

¹⁷ Não podemos deixar de referir que ao longo dos anos têm aparecido quem defenda a ideia de Colombo ser português (ou, pelo menos, agente secreto ao serviço de Portugal). Esta tese, que teve alguma aceitação, em certos meios, à algumas décadas atrás, foi abandonada e parecia ter caído no esquecimento. Nos meios ligados aos estudos da História dos Descobrimentos Portugueses não temos conhecimento que nos tempos mais recentes algum historiador a tenha exibido. Contudo, em 1987 voltou de novo a ser apresentada pela mão de Mascarenhas Barreto. O livro em questão foi mal recebido em certos sectores e gerou um acesa troca de palavras “azedas” entre o autor e Luís de Albuquerque, que envolveu inclusivamente o recurso à comunicação social. Para definitivamente enterrar esta tese, Luís de Albuquerque (1990) discutiu-a com enorme detalhe. A mesma intenção levou Vasco Graça Moura (1991) a publicar um livro dedicado em exclusivo ao tema.

¹⁸ Mais tarde, em 1488, portanto ainda antes de partir rumo às Américas, voltou a Portugal para de novo tentar convencer o rei D. João II a apoiar o seu projecto de descobrir o caminho marítimo para a Índia, por Ocidente (Garcia, 1994).

O GEOMAGNETISMO NA ÉPOCA DOS DESCOBRIMENTOS

ências de anos e anos de pesquisas no mar e do conhecimento de abordagens às ilhas e terras do outro lado do Atlântico...” (*As Navegações Atlânticas no séc. XV*, 1ª edição, Instituto de Cultura Portuguesa, 1979, pág. 53); Garcia (1994) no artigo já referido exprime opinião semelhante ao escrever “...os portugueses...facultaram...os meios e as informações para que grandes empreendimentos se realizassem fora da sua alçada directa. ...o mais famoso de todos eles, consistiu no descobrimento da América por Cristovão Colombo. Esta grande figura da História da Humanidade...recebeu uma formação portuguesa...ficou a dever a parte mais importante da sua formação cultural e náutica à vivência de cerca de uma década em Portugal.” (*Ao Encontro dos Descobrimentos: Temas de História da Expansão*, 1ª edição, Editorial Presença, Lisboa, 1994, pág. 160). No entanto, isto só por si não significa que entre as técnicas de navegação que Colombo possa ter aprendido em Portugal, esteja a utilização da declinação magnética ou a sua variação espacial como meio auxiliar de navegação. Com efeito, as provas mais seguras do conhecimento da declinação magnética por parte dos navegadores portugueses são mais tardias; situam-se nos princípios do séc. XVI (Albuquerque, 1970, 1987, 1991).

O nome de Cristóvão Colombo, ou qualquer outro, não é, na actualidade, associado à descoberta da declinação magnética, já que cada vez mais se acredita que esta descoberta não pode ser atribuída a um determinada personalidade ou personalidades, nem pode ser enquadrada num intervalo de tempo bem definido. O reconhecimento do segundo fundamento do magnetismo terrestre, foi um processo gradual que decorreu das melhorias introduzidas nos instrumentos utilizados e, conseqüentemente, no acréscimo de cuidados nas observações efectuadas (Mitchell, 1937). Outro aspecto importante é aquele que aponta para a possibilidade de, em meados do séc. XV a declinação magnética ser uma fenómeno conhecido na Europa Ocidental, pelo menos em alguns países. Em finais desse século, ou até talvez antes, o seu conhecimento deveria estar generalizado em todo o continente (Mitchell, 1937). A partir do séc. XVI é possível encontrar os primeiros registos de valores da declinação magnética. No entender de Mitchell

O GEOMAGNETISMO NA ÉPOCA DOS DESCOBRIMENTOS

(1937) este facto só vem demonstrar que este conceito já tinha sido formado anteriormente.

Se em Portugal esse conhecimento foi adquirido logo no início ou apenas mais tarde, é ainda uma questão sem resposta. O pouco que se sabe está, como vimos, relacionado com a sua aplicação à navegação. Desconhecemos a existência de qualquer documento (ou autor que sobre o assunto tenha escrito) que neste período faça qualquer referência ao fenómeno da declinação magnética, sem que de algum modo esteja relacionado com a náutica. Não é, portanto, de excluir a hipótese desse conhecimento ter entrado ou ter sido adquirido através da via náutica. Mas, também nada se sabe sobre quando, onde e em que situações se começou a utilizar a declinação magnética na navegação. Somos, então, forçados a reconhecer que sobre a declinação magnética e a sua aplicação à náutica, tudo é inconclusivo quanto à origem e modo como se efectuou esse conhecimento.

Deste modo, não resta outra alternativa que não seja admitir, a partir de provas documentais, que em determinada altura alguns pilotos portugueses, senão todos, efectuavam determinações da declinação magnética. Quanto à data que, de modo inequívoco, se pode apontar para o início desta actividade, Albuquerque (1991) apoiando-se no topónimo «Cabo da Agulhas», já aqui referido, escreve “*Limitando-me ao caso dos navegadores portugueses posso adiantar que, o mais tardar em 1502, eles tiveram conhecimento da declinação da agulha quer ela fosse por si pela primeira vez notada, quer registada por outros....Do que não há qualquer dúvida...é que os marinheiros portugueses por essa época conhecerem e medirem* [«medirem» no original está escrito em itálico] *a declinação da agulha...*” (*Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, págs. 116-117*). Outros dados por si apontados confirmam que, quer o conhecimento do fenómeno, quer a sua medição, faziam parte do rol de saberes náuticos em datas um pouco posteriores (Albuquerque, 1970, 1987, 1991).

Com absoluta certeza, foi também nos princípios do séc. XVI que os marinheiros portugueses tiveram conhecimento da variação espacial da declina-

O GEOMAGNETISMO NA ÉPOCA DOS DESCOBRIMENTOS

ção magnética. Albuquerque (1991) sustenta que esta informação, adquirida pela própria experiência ou transmitida, foi conhecida pouco depois de começarem a efectuar medições da declinação magnética. Este saber foi de extrema importância; graças a ele e a uma essencial, mas errada, relação foi fomentado o interesse pela observação de declinações magnéticas. Como resultado deste incremento, e com o decorrer dos anos, foi reunido um vasto conjunto de dados que viria a desempenhar um papel fundamental na compreensão do magnetismo terrestre (Albuquerque, 1991). Parece pois infundado, que Barraclough (1989) tome como certo 1529 não só para o seu reconhecimento, como também para o seu estudo sob o ponto de vista quantitativo¹⁹.

¹⁹ Foi nesse ano que os marinheiros franceses Jean e Raoul Parmentier fizeram várias medidas da declinação magnética no Atlântico Sul enquanto viajavam de França para Sumatra. Essas medidas cobriam, aproximadamente, uma extensão de 10° em declinação (Barraclough, 1989).

CAP. III - O Geomagnetismo e os Descobrimientos Portugueses

Como vimos no capítulo anterior, na época dos Descobrimientos o conhecimento da propriedade directiva e a sua aplicação na bússola náutica era um dado adquirido pelos marinheiros há bastante tempo. Contudo, o conhecimento da declinação magnética e da sua variação espacial era relativamente recente, mesmo contemporâneo do início da expansão. Outros fenómenos geomagnéticos, como a inclinação magnética ou a variação secular só um pouco mais tarde viriam a ser conhecidos¹.

É pois evidente que, no tempo em que os primeiros navegadores portugueses se aventuraram no mar, o leque de conhecimentos sobre o campo magnético terrestre que estava à sua disposição, era extremamente limitado. Por outro lado, o seu interesse, muito provavelmente, nem sequer passava pela compreensão e, talvez, ainda menos pelo estudo dos fenómenos geomagnéticos até então conhecidos. Na verdade, tal como já referimos no capítulo anterior, não encontramos nenhuma referência a trabalhos escritos por portugueses sobre estes temas, nesse período. Os marinheiros portugueses dos Descobrimientos nunca se interessaram por efectuar investigações teóricas; as suas preocupações dirigiam-se para a resolução dos problemas que o mar desconhecido lhes colocava (Albuquerque, 1987).

A ligação entre os Descobrimientos Portugueses e o magnetismo terrestre não pode, por isso, ser estabelecida a partir de um pretenso interesse científico pelos fenómenos geomagnéticos. Esta conexão foi efectuada por uma outra via muito menos formal. Numa determinada fase da expansão, surgiu uma necessidade premente que precisava ser superada: o problema da orientação no alto mar. Esta era a questão que se mostraria fulcral naquela época, e que estabeleceria a ligação entre os Descobrimientos Portugueses e um dos fenómenos geomagnéticos: a declinação magnética e a sua variação espacial.

¹ A inclinação magnética só seria observada pela primeira vez a partir de meados do séc. XVI e a variação secular só começou a ganhar contornos em finais desse século, ficando definitivamente estabelecida a sua existência por meados dos anos trinta do século seguinte.

O GEOMAGNETISMO E OS DESCOBRIMENTOS PORTUGUESES

Numa primeira fase, as viagens dos Descobrimentos eram realizadas junto à costa ou nas suas proximidades, de modo que os navegadores nunca perdiam a linha de costa como referência. Esta navegação costeira, em que a vista de terra quando perdida podia rapidamente ser adquirida, era praticada desde longa data pelos marinheiros mediterrânicos. Uma parte da exploração da costa africana foi efectuada recorrendo a esta arte de navegar tradicional.

Com a passagem do Bojador e o acesso à costa da Guiné, abriram-se novos horizontes à Expansão Portuguesa. Porém, à medida que esta exploração ia avançando mais para Sul, o regime de ventos e de correntes do Atlântico colocava novos problemas à prática dos navegadores. Tornou-se inevitável que nas viagens de regresso a Portugal as rotas seguidas pelas naus e caravelas, quase sempre, se afastassem do continente africano. Entrava-se numa nova fase, em que os navios se aventuravam por mar alto durante largas semanas e, por conseguinte, tornou-se impossível utilizar a linha da costa como referência.

A navegação secular mediterrânica, que durante alguns anos tão bem serviu os interesses dos pilotos portugueses teve progressivamente de ceder o seu lugar a uma nova arte de navegar, a designada navegação astronómica. A nova arte de navegar, nascida em Portugal na segunda metade do séc. XV, transformou uma navegação “artesanal” numa técnica de navegação e por essa razão, é hoje apontada como a origem da náutica moderna (Albuquerque, 1991).

Na origem desta transformação esteve a necessidade de navegar em pleno alto mar durante meses imposta pelos condicionalismos geofísicos do Oceano Atlântico. Surgiu assim um problema de orientação que se tornou numa das situações mais complicadas de resolver para os navegadores. A necessidade de encontrar uma solução para o problema da determinação simultânea da latitude e da longitude no alto mar, a designada «determinação do ponto no mar», viria a tornar-se a origem das preocupações e pesquisas de todos aqueles que de algum modo estavam ligados aos problemas náuticos.

Para conhecerem a sua posição no alto mar, os pilotos dos navios precisavam de conhecer, em simultâneo, a latitude e a longitude do local. Desde que

surgiu tal imperativo, foram aperfeiçoados e desenvolvidos um conjunto de técnicas e instrumentos capazes de, em qualquer situação, permitirem obter com relativa simplicidade o valor da primeira coordenada geográfica. É esta conquista fundamental que marca o prólogo da navegação astronómica; os portugueses do séc. XV iniciaram-na, mas nunca a puderam completar.

O problema da determinação da longitude não apresentava no séc. XV, tal como nos seguintes, a mesma acessibilidade. Dadas as limitações instrumentais, não era possível efectuar uma medição rigorosa do tempo a bordo de um navio. Como tal, a determinação desta coordenada geográfica nunca foi um problema efectivamente resolvido até ao aparecimento dos primeiros cronómetros de precisão em meados do séc. XVIII. Até lá, muitos foram aqueles que, utilizando quase sempre a via astronómica, se esforçaram por conseguir inventar métodos para alcançarem tão cobiçado objectivo. Tais esforços foram infrutíferos já que as soluções propostas ou eram impraticáveis, ou se baseavam em pressupostos errados.

Uma destas conjecturas circulou largo tempo nos meios ligados à náutica. Julgava-se então que entre a declinação magnética e a longitude existia uma relação directa, de tal modo que quem observasse a primeira facilmente chegaria ao valor da segunda. Esta crença, muito generalizada na fase da expansão do séc. XVI, esteve na origem do enorme interesse que o conhecimento deste último ângulo despertou. É, indiscutivelmente, esta associação que está na base de qualquer relação que se possa estabelecer entre os Descobrimentos Portugueses e o magnetismo terrestre.

Desconhece-se quase tudo em relação à origem e ao modo como esta ideia foi difundida nos meios náuticos. Fontoura (1958) aponta uma origem portuguesa, mas esta opinião não parece ser compartilhada por outros estudiosos da Expansão Portuguesa. Também, muito pouco se sabe sobre o modo como eram determinadas as declinações magnéticas nos princípios do séc. XVI. A primeira indicação clara do modo como se podia obter a declinação da agulha surge no designado *Tratado da Agulha de Marear*, manuscrito datado de 1514, atribuído

ao piloto João de Lisboa. Cópias deste pequeno documento, o mais antigo tratado conhecido sobre a agulha de marear (Albuquerque, 1991), podem ser encontradas em várias compilações, vulgarmente designados livros de marinharia, desde meados do séc. XVI até ao início do século seguinte (Albuquerque, 1982).

Uma análise a este pequeno tratado, permite concluir que ele é o primeiro marco da presença portuguesa na história do magnetismo terrestre. Há três motivos fundamentais: descreve a bússola náutica então utilizada - a primeira descrição clara que se conhece (Albuquerque, 1991)²; apresenta, como já foi referido, o modo de determinar a declinação magnética a partir da Estrela Polar e do Cruzeiro do Sul³; difunde (tanto quanto sabemos é o primeiro texto a fazê-lo) a já mencionada relação entre a longitude e a declinação magnética.

Parece um pouco paradoxal afirmarmos que uma relação, partindo de um pressuposto errado, possa ser considerada importante no contexto da história do magnetismo terrestre. Note-se, contudo, que esta crença gerou a necessidade de

² Nos capítulos I, II e III do tratado, sem se fazer uma descrição exaustiva, são referidos os principais preceitos a ter em conta na construção de uma agulha de marear:

- a agulha de marear deveria ser a maior possível;
- o ferro da agulha era colocado exactamente sobre a flor de liz (sem estar inclinado para nordeste ou noroeste);
- a caixa era dividida no seu interior em 32 partes iguais (as quartas), de modo que estas divisões coincidissem com as da rosa-dos-ventos;
- a rosa-dos-ventos deveria ser do tamanho do interior da caixa, para se poder apontar bem pelas suas marcações;
- a caixa de fora estava dividida em quatro partes iguais, Norte, Sul, Leste e Oeste;
- um semicírculo estava fixo aos pontos Norte e Sul da caixa, para com ele bornear a estrela;
- a caixa tinha uma esfera e era firme sobre os pontos de Leste e Oeste;
- a caixa deveria estar equilibrada não pendendo para nenhum dos lados;
- para melhor alinhar a caixa com o semicírculo, era colocada uma linha ou fio de arame que dividia a caixa e a rosa-dos-ventos em duas partes iguais (esta linha estava sempre alinhada com o semicírculo).

³ No capítulo VI do tratado é descrito, com muito pormenor, o método para determinar declinações magnéticas, utilizando a agulha de marear descrita nos capítulos iniciais:

- a bússola deveria ser manuseada estando a nível, de tal modo que uma linha com um chumbo colocada no semicírculo deveria cair no meio da rosa-dos-ventos;
- borneava-se então a estrela pelos furos do semicírculo, até que estivesse metida pela abertura;

- via-se para onde apontava a flor de liz da bússola, através das marcações da caixa - esse era o valor da declinação.

efectuar medições rigorosas da declinação magnética. Como resultado dessa exigência, houve que aperfeiçoar os métodos para determinar o seu valor. Esta, digamos, foi uma consequência imediata mas, houve uma outra. Ao longo do séc. XVI foi-se reunindo um vasto conjunto de dados que cobriam uma parte significativa do globo terrestre. Este feito foi de grande importância: pela primeira vez era possível ter, ainda que muito ténue, uma ideia sobre o modo como um fenómeno magnético variava à superfície da Terra.

A ideia preconizada por João de Lisboa, pressupunha, como é evidente, que a declinação magnética se mantinha constante ao longo de um mesmo meridiano. Isto equivale a dizer que todos os locais com igual declinação magnética estavam situados sobre o mesmo círculo. Como referência era tomado o designado «meridiano vero», baseado na conjectura da linha agónica⁴ ser coincidente com um meridiano. Este, nas palavras do próprio piloto “...divide a Ilha de Santa Maria e a Ponta da Ilha de São Miguel...e passa entre as Ilhas de Cabo Verde, por cima da Ilha de São Vicente, e assim passa entre o Cabo da Boa Esperança e o Cabo Frio.” (O «Tratado da Agulha de Marear» de João de Lisboa; Reconstituição do Seu Texto, Seguida de Uma Versão Francesa com Anotações, Centro de Estudos de Cartografia Antiga, série separatas CL, Coimbra, 1982, pág. 22). Note-se que estes locais não estão situados sobre o meridiano. Contudo, João de Lisboa não tinha qualquer possibilidade de se aperceber deste erro, dada a inexistência de métodos capazes de fornecerem a longitude no mar.

A partir do «meridiano vero» era então admitido que a agulha magnética se desviava proporcionalmente para Oriente ou para Ocidente⁵, o que permitia saber se o navio rumava para Leste ou para Oeste. Para se conhecer o valor do seu afastamento, e uma vez feita a medição da declinação magnética pelo processo indicado⁶, havia que determinar o paralelo. Recorria-se, depois, a uma tabela⁷

⁴ Linha que une os pontos com declinação magnética nula.

⁵ «Nordestear» e «noroestear» das agulhas, segundo as palavras usadas por João de Lisboa.

⁶ «Bornear» a estrela, segundo as palavras usadas por João de Lisboa.

⁷ Na tabela, estão indicados os valores correspondentes para cada «quarta» que a agulha «nordestear» ou «noroestear», para cada um dos catorze paralelos considerados, desde o equador até ao para-

que estabelecia a relação entre valores da declinação magnética (mais precisamente para uma «quarta» de declinação) determinados num dado paralelo, e o afastamento medido em léguas⁸.

Mesmo supondo que na verdade a declinação magnética coincidia com o valor da longitude do lugar, ainda assim continuava a subsistir um problema. Para se conhecer a posição exacta do navio e saber qual a rota seguida, era necessário possuir cartas náuticas que permitissem trabalhar com coordenadas geográficas. Mas as cartas então usadas não estavam preparadas para tal. Herdada dos marinhos mediterrânicos, a carta-portulano estava destinada a uma navegação feita por rumos magnéticos e distâncias estimadas⁹ (Albuquerque, 1989, 1990).

Quando se começou a utilizar a navegação astronómica e, portanto, a determinação da latitude passou a ser uma prática corrente, os cartógrafos introduziram esta coordenada geográfica nas cartas então usadas. Como este tipo de cartas não estava preparado para receber uma escala de latitudes, agravou-se ainda mais o desacordo entre elas e os dados astronómicos (Albuquerque, 1989, 1990). O próprio João de Lisboa reconhecia no seu tratado que as cartas baseadas em rumos magnéticos davam distâncias falsas por não atenderem à declinação magnética, situação que só poderia ser alterada recorrendo à navegação por rumos geográficos. Mas, logo de seguida, alertava para navegar do modo tradicional, mesmo junto à costa, enquanto não fossem introduzidas correcções nas cartas. Apesar de, com o decorrer do tempo, a construção das cartas náuticas ter sofrido alterações, nunca se chegaram a resolver os problemas de fundo; a cartografia tinha entrado em crise (Albuquerque, 1989).

lelo 65°, de cinco em cinco graus.

⁸ Na náutica da época utilizava-se como medidas de comprimento a milha e a légua (Albuquerque, 1989). Não tem sido fácil estabelecer uma correspondência com as medidas actualmente utilizadas. Fontoura (1958) aponta 1480 metros para o valor da milha (dita italiana), e de modo não implícito a correspondência de 1 légua = 4 milhas. Com estes dados, poderíamos dizer que a légua equivale a 5,92 km. No entanto, Albuquerque (1991) refere, num determinado contexto, que a légua é tomada com o valor de 3 milhas. Num outro trabalho do mesmo autor (1989) são apontados alguns valores, considerados inconclusivos. Garcia (1983) estabelece a seguinte relação: 1 légua portuguesa = 5290 m (= 4 milhas italianas).

⁹ Ainda se desconhece se existia ou não um sistema de projecção para o traçado destas cartas.

Pouco se conhece sobre o impacto nos meios náuticos do falso método para determinar longitudes, proposto por João de Lisboa. É de supor, contudo, que tenha tido enorme relevância; várias razões apontam neste sentido. Num período caracterizado pelas grandes explorações marítimas, com navegação frequente em mar alto, um método para ajudar a resolver o problema da orientação no mar assumia uma importância vital. O que levaria o piloto João de Lisboa (repare-se que é piloto, portanto homem ligado às práticas náuticas) a escrever um tratado sobre um assunto, se este não tivesse importância para as actividades quotidianas da navegação!

O próprio João de Lisboa não terá sido, muito provavelmente, o inventor de muitos dos aspectos, senão até todos, que aparecem referidos no tratado. O mais correcto será admitir que o autor passou para um suporte escrito as ideias, técnicas e processos de navegação, que no seu tempo circulavam entre os homens ligados à náutica. Se este foi o caminho seguido, e tudo parece apontar nesse sentido, então o tratado nasce do interior dos círculos náuticos, o que reforça a sua importância. Não é uma criação de alguém que está fora dessa comunidade e como tal correria o risco de apresentar propostas de solução que não seriam levadas à prática por parte dos elementos dessa comunidade.

Por último e como já referidos, cópias deste tratado podem ser encontradas em vários livros de marinharia do séc. XVI, sem que neles ou em outros documentos conhecidos apareçam críticas ou reparos ao seu conteúdo. Há, porém, duas excepções: Pedro Nunes, em 1537, punha em causa o método para determinar declinações magnéticas baseado na Estrela Polar (Albuquerque, 1964, 1970, 1987, 1991); D. João de Castro reunia, em 1538, provas suficientes para negar a existência de uma relação entre a longitude e o desvio da agulha (Albuquerque, 1964, 1970, 1987, 1991) (Fontoura, 1958). Estas foram as primeiras críticas conhecidas (Albuquerque, 1870, 1987, 1991).

Supõe-se, portanto, ter havido uma boa aceitação do conteúdo do pequeno tratado, embora pudesse, em termos práticos, levantar alguns problemas. É muito possível que tenham começado a aparecer discrepâncias entre as observações e os

resultados obtidos a partir das ideias expostas no texto do tratado. O próprio tratado entra, por vezes, em contradições, como demonstrou Albuquerque (1970, 1987, 1991). Por outro lado, o método descrito para determinar a declinação magnética deveria ser de difícil execução, pois João de Lisboa recomendava extremos cuidados nesta operação. Por este ou por outros motivos, em determinada altura foram propostos outros métodos para determinar a declinação da agulha, todos eles partindo de observações solares¹⁰. É o segundo marco da presença portuguesa na história do magnetismo terrestre.

Os novos métodos devem-se ao cosmógrafo Francisco Faleiro¹¹, um português que desenvolveu parte do seu trabalho em Espanha, e ao matemático e cosmógrafo Pedro Nunes¹². O primeiro deles no seu *Tratado del Sphera y del Arte de Marear* (ou *Navegar*), editado em 1535¹³, propõe quatro métodos - três segundo Harradon (1943) - todos baseados em observações efectuadas a partir do Sol (Albuquerque, 1970, 1987, 1991). Pedro Nunes no *Tratado em defensam da Carta de Marear*, publicado juntamente com o *Tratado da Esfera*, em 1537, inclui três dos quatro métodos de Francisco Faleiro¹⁴; o quarto método é rejeitado, pois não poderia ser aplicado naquela época¹⁵ (Albuquerque, 1970, 1987, 1991). Albuquerque (1970, 1987) analisa com grande pormenor todos estes métodos.

É muito provável que estes novos meios para determinar declinações magnéticas tenham substituído completamente o método de João de Lisboa, pois eram mais rigorosos e versáteis. No entanto, o falso processo para determinar longitudes, embora com algumas reservas, deve ter continuado a ser aceite por

¹⁰ Albuquerque (1970, 1991) admite a hipótese de já em princípios do séc. XVI, ser utilizado o Sol para obter declinações magnéticas. Em 1987, parece não considerar essa possibilidade.

¹¹ Francisco Faleiro e seu irmão, Rui Faleiro, passaram para o serviço de Espanha em 1517, juntamente com Fernão de Magalhães.

¹² Pedro Nunes foi o primeiro cosmógrafo a ser promovido ao cargo de cosmógrafo-mor.

¹³ Licenciado para impressão desde 1532 (Albuquerque, 1987).

¹⁴ Albuquerque (1991) afirma que continua em aberto a prioridade da invenção destes métodos, mesmo tendo em conta as datas das edições das respectivas obras. Noutras ocasiões (1970, 1987) dedicou alguma atenção ao assunto, avançando com a hipótese de uma descoberta independente.

¹⁵ Só foi possível aplicar com rigor este método em finais do séc. XVI (Albuquerque, 1970, 1987).

alguns pilotos. Albuquerque (1991) manifesta a opinião que “...no momento de ser publicado o *Tratado da Esfera* [«Tratado da Esfera» no original está escrito em itálico] de Pedro Nunes deviam correr nos meios náuticos de Lisboa muitas dúvidas, nascida da experiência, acerca da «regra» que a partir de João de Lisboa corria sobre daquele falso meio de obter longitudes no mar.” (*Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses*, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, pág. 121).

Daquilo que nos foi dado observar, parece claro inferirmos que, pelo menos, a ideia de determinar longitudes a partir da declinação magnética, continuava a ser aceite. Pensamos que só deste modo é possível explicar o aparecimento dos contributos de Francisco Faleiro e Pedro Nunes. Se estes cosmógrafos não admitissem essa possibilidade, que interesse os motivaria para efectuar uma nova abordagem ao problema? E mais, se à partida soubessem que os pilotos já não acreditavam nessa possibilidade, porque razão iriam propor novos métodos para medir declinações magnéticas? Com excepção dos marinheiros, muito poucos seriam os que se interessavam pelo assunto!

Julgamos que as dúvidas a que Albuquerque se refere, poderiam estar relacionadas com a eficácia do método até então utilizado para efectuar a medida da declinação da agulha. E em parte, também, com o modo de relacionar esses valores com a longitude. A relação em si, ou pelo menos a ideia de obter a longitude a partir da declinação magnética, nunca deve ter estado em causa, pelo menos até D. João de Castro provar a falsidade da relação de João de Lisboa. É de notar, no entanto, que a errónea regra deste famoso piloto continuou a ser aceite por alguns seus congéneres mesmo decorridos muitos anos (Albuquerque, 1991) e a ideia de encontrar a longitude por via magnética persistiu até ao séc. XVII (Harradon, 1943).

Pouco tempo depois de terem sido divulgados os novos métodos para determinar a declinação da agulha, D. João de Castro viajou pela primeira vez para a Índia. No decurso dessa viagem, realizada entre 6 de Abril e 11 de Setembro de 1538, o mais tarde 13º governador e 4º vice-rei da Índia teve a “feliz”

ideia de registar as suas observações sobre tudo o que considerou ter interesse para a navegação. O registo diário dessas observações, a que o autor com modéstia chamou “ROTEIRO DA VIAGEM QUE DOM JHOÃO DE CASTRO FEZ A PRIMEIRA VEZ QUE FOY A INDIA NO ANNO DE 1538”, tornou-se conhecido pela designação de *Roteiro de Lisboa a Goa*. Outros textos idênticos se seguiriam; em 1538-1539, durante a viagem de Goa até Diu¹⁶, redigiu o seu segundo roteiro que ficou conhecido por *Roteiro de Goa a Diu*; ao terceiro e último, realizado durante a expedição ao mar Vermelho em 1541¹⁷, costuma-se chamar *Roteiro do Mar Roxo*.

No seu conjunto estes três trabalhos têm enorme relevância na história do magnetismo terrestre e, por esse motivo, representam o terceiro e último marco fundamental da presença portuguesa nessa história. O conjunto de várias dezenas de observações da declinação magnética obtidas, quer em terra quer em pleno mar, é um dos aspectos mais significativos dessa presença¹⁸. Mas, não é o único: o *Roteiro de Lisboa a Goa*, em particular, é neste capítulo o mais rico de todos. Para além de fazer o primeiro estudo sistemático da declinação magnética e de incluir a descoberta de um fenómeno magnético, contém a prova de que a ideia preconizada por João de Lisboa não correspondia à verdade.

A negação da falsa teoria de João de Lisboa foi feita em duas fases. Cerca de uma semana depois de ter saído de Lisboa, quando estava nas proximidades das Ilhas Canárias, D. João de Castro, munido do instrumento de sombras¹⁹ de Pedro Nunes, deu início às suas observações. Tinha em vista dois objectivos

¹⁶ A viagem iniciou-se com a partida de Goa a 21 de Novembro de 1538 e chegada a Diu a 8 de Fevereiro do ano seguinte. A partida de Diu para Goa foi em 29 de Março desse ano.

¹⁷ A viagem iniciou-se com a partida e regresso a Goa, entre 31 de Dezembro de 1540 e 21 de Agosto do ano seguinte.

¹⁸ Os diversos registos da declinação magnética estão inseridas no texto dos roteiros e relacionam-se com observações efectuadas ao longo da derrota seguida pelo navio. Por este motivo, muitas dessas observações foram efectuadas em pleno alto mar, algures no oceano Atlântico e Índico. Há, no entanto, situações em que D. João de Castro dá indicações aproximadas do local onde operava, por se encontrar com terra à vista, com é o caso das Ilhas Canárias, na costa do Brasil, na zona do Cabo de S. Vicente, Ilhas Tristão da Cunha, zona do Cabo das Agulhas, porto de Moçambique e junto ao Cabo Delgado.

¹⁹ Aparelho desenvolvido por Pedro Nunes para determinar a declinação da agulha a partir dos métodos por si idealizados.

“...com grande [«n» no original está escrito em itálico] *deseio de verificar duas cousas: a primeira, se nestas Ilhas variaução as agulhas ou não, por ser prática de muitos pilotos que* [«ue» no original está escrito em itálico] *neste lugar e meridiano feria o norte de suas agulhas no verdadeiro polo do mundo (20); e a segunda, se era verdadeira* [«ei» no original está escrito em itálico] *e punctual a regra que nos deu o doctor Pero nunez pera, em toda a ora do dia em que fizer sombra, sabermos a leuação do polo...*” (Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 128). Para além de ter constatado a funcionalidade do instrumento, mais à frente encontrou, com observações efectuadas antes do meio-dia “...*ficção 5 graos 1/2, que he a quantidade* [«n» no original está escrito em itálico] *que neste lugar a agulha nordestea (24).*” (Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 130) e depois do meio-dia “...*virão à parte 5 graos 1/2, que* [«ue» no original está escrito em itálico] *he a quantidade que* [«ue» no original está escrito em itálico] *neste lugar a agulha nordestea (24).*” (Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 130). Um dia depois, seguiram-se outras observações, tendo obtido o valor de 6° para nordeste; pôde, então, mais concluir “...*E por que estas duas operações, de que acima fallo, forão feitas no meridiano das Canareas, ss., huma* [«m» no original está escrito em itálico] *de llas estando* [«n» no original está escrito em itálico] *da banda norte das ilhas, e a segunda achando me ja da banda do sul, em ambas se vereficou nordestearem as agulhas cinco graos e ½ atee 6, fica falsa a opinião dos que dizem* [«m» no original está escrito em itálico] *que no meridiano destas ilhas fere a* [«a» no original está escrito em itálico] *agulha nos verdadeiros pollos do mundo (38)*” (Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e

Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 136). Estava experimentalmente demonstrado que o «meridiano vero» não passava pelas Canárias; era o primeiro abalo na prática dos pilotos²⁰.

Decorrido cerca de um mês deste primeiro acontecimento, regista a primeira observação que punha directamente em causa a teoria de João de Lisboa. Escreve D. João de Castro “*Quando fiz estas operações, eu me fazia 10 graos ½ do meridiano que passa pello cabo de são Vicente pera* [«er» no original está escrito em itálico] *a banda do accidente...que* [«ue» no original está escrito em itálico] *era norte sul com a ilha de sancta Maria, huma* [«m» no original está escrito em itálico] *das ilhas terçeras (87); e neste merediano vinha dizendo o piloto que as agulhas julgauão verdadeiramente* [«n» no original está escrito em itálico], *e ferião o seu norte no verdadeiro polo do mundo (80).*” (*Obras Completas de D. João de Castro* edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 164).

Foi, porém umas semanas mais tarde, e já com mais de uma dúzia de observações efectuadas, que pôde extrair uma conclusão peremptória “*Destas operações fica claro que a variação que fazem* [«m» no original está escrito em itálico] *as agulhas não he per diferença de meredianos, pois na cidade de Lisboa nordesteão 7 graos 1/2, e estando agora em seu merediano, nordesteão 19 ou 20 graos; mas parece que tem outro respeito, ho qual até ao dia de oje não he chegado a minha notiça (121).*” (*Obras Completas de D. João de Castro* edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 184). Estava claro que

²⁰ João de Lisboa não refere no seu tratado, como foi mencionado, que o «meridiano vero» passe pelas Ilhas Canárias. No entanto, era corrente no séc. XVI admitir esta ideia, como o próprio D. João de Castro refere e tenta explicar. Recordando que Ptolomeu fez passar por uma das ilhas desse arquipélago o meridiano por si escolhido para início da contagem das longitudes, levanta a hipótese do erro dos pilotos daí derivar por julgarem que essa escolha estaria relacionada com a eventualidade das agulhas não apresentarem qualquer variação.

diferentes valores da declinação magnética podiam ser medidos no mesmo meridiano; tal evidência contrariava em definitivo a teoria de João de Lisboa.

Em relação a esta última conclusão de D. João de Castro, Albuquerque (1987, 1991) chama a atenção para dois aspectos:

1º- apesar de ter feito cair uma teoria, não avançou com nenhuma outra em sua substituição;

2º- D. João de Castro não podia assegurar com provas manifestas que aquele lugar ficava no meridiano de Lisboa já que não existia nenhum processo para determinar longitudes - terá utilizado a prática habitual da «navegação estimada» que dava para obter resultados bastante satisfatórios.

Com a negação da ideia apresentada no tratado de João de Lisboa, podemos ser levados a pensar que os navegadores não mais se interessaram pela observação da declinação magnética. Tal não aconteceu; D. João de Castro, como é sabido, continuou a efectuar observações e a bordo dos navios portugueses esta prática foi seguida com o decorrer do século (Albuquerque, 1970, 1987, 1991). No entanto, Albuquerque (1970, 1987, 1991) assegura que para a grande maioria dos navegadores, a declinação magnética deixou de ser um indicativo da longitude e passou a desempenhar outro papel: a declinação da agulha ajudava a uma boa navegação. Refere o autor “...a declinação magnética tomada no mar podia ser uma indicação do lugar aproximado em que o navio se encontrava, ou seja, que podia servir de «conhecença»,...a par dos aspectos de terra...a cor das águas, os animais marinhos ou os pássaros avistados, etc.” (*Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, pág. 123*).

Este aspecto era ainda considerado muito importante, tanto mais que, a variação secular não fazia parte do rol de conhecimentos de meados do séc. XVI. No entanto, nem todos os homens ligados à náutica entenderam a declinação magnética deste modo. Afirmo Albuquerque “...a ideia veiculada pelo texto de João de Lisboa continuou a ser aceite por alguns navegadores; é o insuspeito piloto Aleixo da Mota quem no-lo afirmaria no início do século XVII; e o mais

*grave é tal facto andar registado em textos náuticos... Apesar das observações de Castro, mais de meio século volvido havia ainda, pois, quem acreditasse na falsa lei de João de Lisboa.” (Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, pág. 123). Fontoura da Costa no seu livro *A Ciência Náutica dos Portugueses na Época dos Descobrimentos* (1958), afirma “O estranho processo, condenado pelo grande navegador D. João de Castro, que reconheceu na prática a sua falsidade completa, foi ainda aconselhado por Santa Cruz. Sustentado por diferentes autores estrangeiros, entre os quais se encontra o genial Mercator (1546), Samuto (1558) e William Bourne (1577), volta a Portugal no século XVII com Cristovão Bruno, Mariz Carneiro e outros; foi então definitivamente enterrado.” (Costa, A. Fontoura, *A Ciência Náutica dos Portugueses na Época dos Descobrimentos*, Comissão Executiva das Comemorações do Quinto Centenário da Morte do Infante D. Henrique, Lisboa, 1958, págs. 45-46).*

Foi ainda durante a primeira viagem que realizou entre Lisboa e Goa, que D. João de Castro fez uma outra descoberta importante para a história do magnetismo terrestre. Em finais de Maio, depois de ter procedido a uma determinação da declinação magnética, encontrou um valor que, em comparação com os obtidos no dia anterior, classificou de impossível. Tentando explicar o facto, avançou com a hipótese de a rectificação do aparelho, efectuada no dia anterior, ter resultado numa desmagnetização das agulhas. Nas semanas seguintes, foi obtendo, entre valores que considerou normais, resultados que continuou a classificar de impossíveis. A hipótese explicativa antes levantada deixava de fazer sentido; D. João de Castro continuava sem conhecer as razões destes resultados anómalos.

A explicação para tais resultados, só seria encontrada em princípios de Agosto, quando se encontrava ancorado no porto de Moçambique. No dia 5 desse mês²¹, quando se preparava para operar com o instrumento de sombras, teve

²¹ Albuquerque (1987) indica a data de 2 de Agosto. Algumas notas colocadas no texto do *Roteiro de Lisboa a Goa (Obras Completas de D. João de Castro, vol. 1)* também dão essa indicação (por exemplo, págs. 171 e 182). O texto do roteiro mostra, no entanto, que foi no dia 5 que D. João de Castro registou a explicação para as observações anómalas.

necessidade de utilizar várias agulhas. Foi nessa altura que verificou que cada uma delas dava uma indicação diferentes. D. João de Castro ficou intrigado, mas acabou por encontrar a explicação: a presença de uma pequena peça de artilharia nas proximidades do local onde operava, influenciava o comportamento das agulhas. De imediato, associou este comportamento aos resultados anómalos que tinha obtido ao longo de várias semanas.

D. João de Castro, tinha acabado de descobrir o fenómeno magnético mais tarde designado por «desvio da agulha»²². No entanto, este feito não é mencionado pelos autores estrangeiros que consultámos. A explicação poderá estar relacionada com a atribuição da descoberta a uma outra personagem. Fontoura (1958) e Albuquerque (1987, 1991) referem que esta descoberta costuma ser atribuída a Guilherme Dinis (ou Guillaume Denis), mais de um século depois, em 1666.

Ainda nesse mesmo ano, durante a viagem de Goa para Diu, D. João de Castro registou, no *Roteiro de Goa a Diu*, a observação de um outro fenómeno magnético. Quando se encontrava nas proximidades de Baçaim, entre 13 e 23 de Dezembro, registou em locais bastante próximos, valores da declinação magnética muito diferentes. Surpreendido com esta observação, procurou encontrar uma explicação para as anomalias. Atribuiu-as ao facto de estar a operar junto à costa, numa zona rochosa, que supôs de constituição férrea, e que, por conseguinte, teria a capacidade de atrair para si o ferro da agulha, desviando-a deste modo da posição natural²³.

Tal como na descoberta do primeiro fenómeno magnético, D. João de Castro voltava a encontrar uma explicação correcta para o que tinha observado. Este outro fenómeno, cuja descoberta é reconhecida pelos autores estrangeiros

²² Este fenómeno consiste na perturbação da agulha magnética devido à presença de objectos com propriedades magnéticas.

²³ Fontoura (1958) defende que este fenómeno foi descoberto em 13 de Dezembro, no Rio do Pagode de Baçaim (esta foi a data e local do primeiro registo de observações anómalas). Albuquerque (1970) e Garcia (1994) apontam a data de 22 de Dezembro. O anotação efectuada no *Roteiro de Goa a Diu* que contém a explicação para os registos anómalos, foi escrita no dia 23, mas refere-se a determinações anteriores.

por nós consultados, veio depois a ser designado por «atração local»²⁴.

Com D. João de Castro, atingia-se o apogeu de uma sequência brilhante de contributos para um melhor conhecimento dos fenómenos do magnetismo terrestre. Depois dos *Roteiros*, qualquer outra contribuição que fosse dada, correria o inevitável risco de ser considerada menor; a fasquia tinha sido colocada demasiado alta. Por outro lado, um país preocupado com grandes problemas, muitos deles inerentes ao próprio processo dos Descobrimentos, não podia investir energias em assuntos que não tivessem resultados práticos imediatos. A principal preocupação dos homens ligados à náutica era resolver os problemas da navegação quotidiana, não tentar encontrar teorias explicativas para determinados fenómenos. Também as mentalidades do séc. XVI ainda não estavam preparadas para trabalhar nesta vertente; só com o aproximar do final do século, e mais acentuadamente, durante o século seguinte, é que surgiu a preocupação de esboçar as primeiras teorias explicativas do magnetismo terrestre. Os portugueses desse período, no entanto, não enveredaram por esse caminho; mantiveram-se sempre fiéis às causas práticas, não participando activamente nesse processo.

As últimas e ligeiras presenças dos portugueses na história do magnetismo terrestre são de finais do séc. XVI, início do século seguinte, já sob dominação espanhola, e estão naquela linha. Foram dados pelos cosmógrafos que, ao aperfeiçoaram certas técnicas, tornaram possível a utilização de outros processos para determinar a declinação da agulha. Até então, esses processos, embora conhecidos, eram quase sempre impraticáveis. Albuquerque (1991) menciona, neste campo, o trabalho de João Baptista Lavanha sobre as tábuas de amplitudes ortivas do Sol e os melhoramentos aí introduzidos por Manuel de Figueiredo.

Os apontamentos que ao longo do capítulo fomos referindo, traduzem as diversas marcas, possíveis contributos, que designaríamos por parte visível. Há, no entanto, um outro aspecto, não menos importante, que se pode considerar a parte mais oculta; durante largas dezenas de anos os portugueses mediram decli-

²⁴ Este fenómeno tem como causa uma anomalia magnética (anomalia local) provocada pela presença de determinado tipo de rochas (magnetização das rochas), que provoca uma alteração brusca do valor da declinação magnética nesse local.

O GEOMAGNETISMO E OS DESCOBRIMENTOS PORTUGUESES

nações magnéticas pelos quatro cantos do mundo. Oralmente ou através do acesso aos inúmeros roteiros e outros documentos, muitos deverão ter tido conhecimento desses valores. O matemático holandês, Simon Stevin (ou Stevinus) e o médico da rainha de Inglaterra, William Gilbert terão sido os que melhor souberam aproveitar esses dados para começarem a esboçar as primeiras teorias globais sobre o campo magnético terrestre.

CAP. IV - Discussão e Conclusões

Parte A - Acerca da contribuição portuguesa

Saber qual foi a contribuição dada pelos portugueses da epopeia dos Descobrimientos e que importância terá tido no contexto do avanço do magnetismo terrestre, não é uma análise fácil, nem um tema passível de resposta imediata. Percorrendo as opiniões dos autores por nós consultados, podemos ficar com uma ideia global que de certo modo põe em destaque alguns dos aspectos mais significativos acerca dessa contribuição, e o modo como ela foi entendida. Note-se que ao escrevermos “contribuição” e não “hipotética contribuição”, estamos a assumir que de facto houve um contributo, mesmo que para os mais cépticos possa ser considerado diminuto ou demasiado limitado no tempo.

Luís de Albuquerque, sem qualquer dúvida um dos autores que mais se terá dedicado a este assunto, não tem quaisquer dúvidas e num dos vários ensaios que dedicou ao tema, diz textualmente: “...a contribuição dos Portugueses de Quatrocentos e Quinhentos para o estudo desse fenómeno da geografia física foi fundamental...” (*As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, pág. 82). Contudo, como o próprio autor sublinhou em diversos trabalhos (1964, 1982, 1987, 1991) este contributo nem sempre teve o devido reconhecimento por parte dos autores estrangeiros que se dedicaram à história do geomagnetismo, justificando o seu ponto de vista a partir da obra de Balmer. Num desses artigos, a propósito do trabalho deste autor refere “...nenhum autor que escrevesse em português ou castelhano é aproveitado, salvo Pedro de Medina...Autores como João de Lisboa, Francisco Faleiro, Pedro Nunes, D. João de Castro e Manuel de Figueiredo, só para falar de alguns portugueses, por vezes nem são citados no referido «registo» [o autor refere-se à pesquisa biográfica], como é o caso de João de Lisboa...e outros apenas o são com uma sucinta nota (é o caso de D. João de Castro)...” (*Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimientos Portugueses*, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa,

1991, pág. 114). Albuquerque (1964, 1982, 1987, 1991) sustenta que o desconhecimento de Balmer em relação às línguas ibéricas (que o próprio autor reconhece e evidencia ao recorrer a uma versão francesa da obra de Pedro de Medina para efectuar a sua tradução) explica a existência destas lacunas.

O trabalho de Harradon que engloba não apenas as traduções mas, também algumas considerações escritas pelo próprio autor, atribui à contribuição portuguesa um peso mais substancial. Com efeito, os artigos “Some early contributions to the history of geomagnetism - II/III-V-VII”, formam um conjunto mais representativo daquilo que os Descobrimientos Portugueses podem ter dado à causa do geomagnetismo¹.

Os artigos II e III, publicados em conjunto, não se relacionam apenas com Portugal. Martin Cortes (ou Cortez) era espanhol e Francisco Faleiro, como já antes referimos, era um português que publicou o seu principal trabalho no país vizinho, embora tenha iniciado as suas actividades ligadas à náutica em Portugal. Deste último cosmógrafo, Harradon seleccionou para tradução o capítulo oito da segunda parte do *Tratado del Sphera y del Arte de Marear* de 1535, intitulado “Del nordestear de las agujas”.

O quinto artigo da série é dedicado a Pedro Nunes, e inclui a tradução de “Estromento de Sombras” (ou “Instrumento de sombras”), secção do livro *Tratado da Sphera com a Theorica do Sol e da Lua* de 1537.

O último artigo relacionado com portugueses, que é também o mais completo, é dedicado a D. João de Castro. Para além da tradução de alguns excertos dos três *Roteiros*, Harradon apresenta algumas notas, sobre a sua vida e obra, onde é destacada a importância dos seus trabalhos. Nessas notas, entre outras considerações, o autor:

- salienta a grande variedade e quantidade de observações efectuadas e, sobretudo, o facto dos 43 valores da declinação magnética recolhidos entre os anos de 1538 e 1541, terem sido a primeira série do seu género que chegou até nós;

¹ O conteúdo destes artigos será objecto de análise neste capítulo em: Parte C - Sobre os artigos de H. D. Harradon.

ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA

- menciona a descoberta da magnetização das rochas e realça o facto de não se encontrar qualquer menção a este assunto na literatura europeia antes do séc. XVII;
- considera os *Roteiros* a mais extensa e valiosa colecção de observações náuticas, magnéticas, meteorológicas e hidrográficas da primeira metade do séc. XVI e, como tal, merecedoras de um estudo cuidadoso por parte daqueles que pretendem escrever a história da geografia física ou da navegação daquele período;
- recorda que Hellmann considerou D. João de Castro o mais proeminente representante da oceanografia científica dos últimos anos dos Descobrimentos;
- faz referência ao facto dos *Roteiros* terem ficado guardados, durante cerca de três séculos, nos arquivos de Portugal, praticamente sem uso, até serem publicados, em três volumes, em 1833, 1843 e 1882.

Este último artigo revela preocupação do autor em dar a conhecer pormenores importantes dos feitos de D. João de Castro, embora os excertos traduzidos, por serem uma pequena parte dos *Roteiros*, sejam pouco elucidativos do seu trabalho. No seu conjunto, os artigos de Harradon são representativos, mas continuam a evidenciar algumas lacunas, sobretudo em relação a documentos importantes como é o caso do *Tratado da Agulha de Marear* de João de Lisboa.

O desconhecimento da existência deste pequeno tratado não abrange apenas Harradon. Mitchell (1937) também o revela ao considerar a possibilidade do método proposto em 1522, por Sebastian Cabot, para determinar a distância entre dois lugares, a Este e a Oeste, a partir da bússola, representar a mais antiga tentativa para determinar a longitude a partir da declinação magnética.

Aplicamos o termo “desconhecimento” em relação a Harradon e Mitchell, como poderia ter sido feito em relação a outros autores, porque produziram afirmações que revelam que não conheciam este documento ou não lhe atribuíram importância. No entanto, naquela época o texto de João de Lisboa já tinha sido editado; poderia era não ter sido divulgado entre os historiadores da ciência ou,

como refere Albuquerque (1982) ter levantado problemas de interpretação². Depois de 1982, com a reconstituição do texto do tratado de João de Lisboa efectuada por Luís de Albuquerque e simultânea tradução para francês, estes problemas deixaram de existir. Contudo, Barraclough (1989) não lhe faz qualquer referência, tal como em relação a Francisco Faleiro ou a Pedro Nunes.

O artigo deste autor teria que ser forçosamente muito sintético, pois procurou efectuar um percurso muito longo em poucas páginas. Por esse facto, omitiu muitos capítulos importantes da história do magnetismo terrestre. Dos portugueses só menciona D. João de Castro a propósito das viagens de exploração marítima efectuadas no séc. XVI, e das muitas observações da declinação magnética que foram feitas e registadas por muitos dos que participaram nessas aventuras marítimas. De D. João de Castro, salienta a sua série de observações efectuadas durante as suas viagens de Lisboa para Goa, ao longo da costa ocidental da Índia e no mar Vermelho. Regista ainda a primeira observação efectuada num local de anomalia magnética, e o facto de D. João de Castro atribuir, de forma correcta, este resultado à magnetização das rochas que se encontravam nas vizinhanças.

Parece-nos que este artigo, mesmo a partir da perspectiva em que foi escrito, revela muito pouco acerca da contribuição portuguesa. A utilização de fontes “tradicionais” - Harradon e Balmer - condicionou o trabalho do autor. É notório que o texto sobre D. João de Castro se baseia no artigo que Harradon escreveu cerca de quarenta anos antes. Este, por sua vez, já derivava do trabalho que Hellmann produziu em 1898!

Do que até agora foi referido, há desde já uma conclusão que nos é possível extrair: na história da evolução do conhecimento do magnetismo terrestre, ainda não foi dado o devido relevo ao contributo dos portugueses da época dos Descobrimientos. Isto leva-nos a pensar que além fronteiras há falta de divulgação dos poucos trabalhos que foram desenvolvidos sobre o tema. É então pertinente colocar a questão: na perspectiva portuguesa, qual foi efectivamente o contributo

² Albuquerque (1982) no trabalho em que apresenta a reconstituição do tratado, aponta esta possibilidade como principal razão para o seu desconhecimento. Foi este um dos motivos que o levou, em 1982, a empreender esta tarefa e a traduzir o texto para francês.

que os portugueses dos séc. XV/XVII deram à causa do avanço do conhecimento do magnetismo terrestre?

Fontoura da Costa ao terminar o seu livro *A Ciência Náutica dos Portugueses na Época dos Descobrimentos* (1958), apresenta, sob a forma de conclusão, seis domínios em que, em sua opinião, os portugueses foram pioneiros. Num desses domínios, sob o título “A agulha de marear”, são destacados sete contributos:

- o aperfeiçoamento da instalação da agulha de marear, e adopção da «suspensão de balança», antes de Cardan;
- a realização embrionária da primeira agulha de marear;
- a adopção dos termos «nordestear» e «noroestear»;
- os métodos para determinar a declinação magnética a partir da Estrela Polar, do Sol e do Cruzeiro do Sul;
- o cálculo da primeira «tábua de amplitudes do Sol» por Lavanha e posteriores aperfeiçoamentos por Manuel de Figueiredo;
- a invenção do processo de determinar a longitude a partir da declinação magnética, e como consequência o «primeiro esboço de uma carta de isógonas», por Cristovão Bruno;
- a descoberta do «desvio da agulha» e da «atração local», por D. João de Castro.

Note-se que parte do sexto contributo indicado por Fontoura pode merecer algum reparo, dado tratar-se de um processo que parte de um fundamento errado. No entanto, como já tivemos oportunidade de referir, terá sido ele o responsável pelo interesse em se efectuarem observações da declinação magnética, e pela consequente procura de métodos para atingir esse objectivo. Nesse sentido, podemos entender este processo como contribuição, partindo do princípio que terá sido inventado por portugueses, o que não é perfeitamente claro.

Albuquerque (1970) num dos vários ensaios que dedicou a este assunto³,

³ Nos artigos posteriores (1987,1991) deixou de apresentar conclusões.

ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA

aponta quatro contribuições dadas pelos homens ligados à náutica do séc. XVI:

- os sucessivos aperfeiçoamentos da bússola;
- as melhorias que progressivamente foram introduzindo nos processos para determinação da declinação magnética;
- a grande quantidade de registos da declinação magnética;
- a descoberta das duas propriedades magnéticas por D. João de Castro.

A. Cortesão no trabalho *Contribution of the Portuguese to Scientific Navigation and Cartography* (1974) prefere destacar:

- a invenção do «instrumento de sombras» por Pedro Nunes;
- as observações da declinação magnética contidas nos *Roteiros*;
- o estudo sistemático da declinação magnética efectuado por D. João de Castro durante a viagem de Lisboa a Goa;
- a negação da existência de uma relação entre a declinação magnética e a longitude, assim com a descoberta dos dois fenómenos magnéticos, por D. João de Castro.

Como é possível constatar, a opinião destes importantes autores portugueses é, em certa medida, convergente. Tal poderá querer significar que certos aspectos da contribuição são mais relevantes. Também parece evidente que uma parte considerável desses contributos pertence a um domínio que poderíamos designar por “técnico”; um dos aspectos menos considerados pelos autores estrangeiros. Numa divisão meramente formal, podemos encontrar, no pólo oposto, um outro domínio de contribuições, a que chamaríamos “científicos”. É, neste último agrupamento que estão os contributos mais significativos. Dizemos “significativos”, não “importantes”; consideramos que todos os contributos, grandes ou pequenos, que possam ter sido dados à causa de um melhor conhecimento dos fenómenos do magnetismo terrestre, são importantes. “Significativos”, implica tão só, que são contributos a que se dá maior relevo ou que são mencionados com maior frequência. A grande quantidade de observações magnéticas efectuadas durante este período, é um dos exemplos.

Um dos agentes impulsores do avanço no conhecimento do geomagnetismo foram, como sublinhou Harradon (1943), as observações da declinação magnética efectuados não só pelos portugueses mas, também pelos espanhóis. Albuquerque (1970, 1987), manifesta opinião semelhante quando destaca que do esforço realizado essencialmente no séc. XVI pelos navegadores portugueses, resultou um importante conjunto de dados que posteriormente serviria para o estudo do magnetismo terrestre. Ainda segundo este autor, terão sido Stevin e Gilbert os primeiros a usufruir de tão valiosa informação. Nos meios internacionais, em artigos relacionados com estes temas, é possível encontrar por vezes opiniões de autores que perfilham ideias semelhantes⁴.

É, no entanto difícil demonstrar claramente qual foi a importância que terá tido tal conjunto de informações, na elaboração das primeiras teorias explicativas do magnetismo terrestre. Numa época em que não havia preocupação em mencionar as fontes utilizadas na elaboração de textos e em que era usual socorrer-se do plágio, a (possível) utilização deste conjunto de dados não mereceu, por parte de Stevin, qualquer referência. Albuquerque (1970) refere que, embora o matemático holandês não o tenha mencionado, utilizou valores de origem portuguesa numa tabela em que apresenta declinações magnéticas de zonas do Atlântico e Índico.

Tivemos possibilidade de aceder a essa tabela através da tradução de parte do trabalho de Stevin, que Harradon apresentou no artigo que lhe dedicou, e que aqui reproduzimos em cópia (Tabela IVA.1). Tentamos inclusivamente, confrontar com alguns dos registos de D. João de Castro. Para tal, percorremos os *Roteiros*, retiramos os diversos valores que se encontravam dispersos no texto e com os que consideramos comparáveis⁵ construímos uma tabela (ver Tabela IVA.2). Constata-se, no entanto, que esta tentativa de comparação é muito limitada dada a

⁴ Veja-se, por exemplo, o artigo publicado na revista *Science & Vie* dedicado aos 1000 anos da ciência, intitulado “Les fruits théoriques d’un étrange écart” (*Les Cahiers de Science & Vie-1000 ans de sciences, II-Renaissance*, 44, Abril de 1999, pág. 29).

⁵ Entendemos por valores comparáveis, os registos em que é possível identificar com relativa segurança a zona onde D. João de Castro fez a observação através das informações que são dadas e/ou da indicação da latitude do local.

ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA

pequena quantidade de registos de D. João de Castro que se encontra na tabela. Com efeito, não pudemos tomar em consideração a maior parte das suas observações, uma vez que as informações sobre a longitude são estimadas e, portanto, imprecisas. Por outro lado, é de supor que os valores indicadas por Stevin para a longitude, tomados a partir do meridiano que atravessa a por si designada «Flemish Island Corvo», sejam, talvez com excepção da Europa, muito incorrectos, dadas as dificuldades que existiam em determinar esta coordenada geográfica.

Tab. IVA.1 - Tabela de declinações magnéticas de Stevin

(cópia da reprodução efectuada por H. D. Harradon)

Table of magnetic declinations

		North-easting	Latitude	Longitude		
The northeasting or the east variation of the first part or space towards the north	Increasing	In the Flemish Island Corvo.....	0 00	N37 00	0 00	
		In the Flemish Island Saint Mary.....	3 20	N37 00	8 20	
		Near the Island Maio.....	4 55	N15 00	11 20	
		At Palma, one of the Canary Islands.....	6 10	N28 30	16 20	
		At the Rock near Lisbon.....	10 00	N38 55	24 30	
		In the westernmost part of Ireland.....	11 00	N52 08	24 12	
	Decreasing	In the west part of England.....	12 40	N50 21	28 00	
		About one mile eastward from Plymouth.....	13 24	N50 18	30 00	
		By Tynemouth in the sea.....	12 40	N55 00	33 00	
		At London in England.....	11 30	N51 24	34 06	
		In the foreland of England.....	11 00	N51 08	35 40	
		In Amsterdam.....	9 30	N52 20	39 30	
The northwesting or the west variation of the second part or space towards the north	Increasing	At Helmsshade to the westward from the North Cape of Finmark.....	0 00	N.. ..	60 00	
		At the North Cape of Finmark.....	0 55	N71 25	61 30	
		At Norquinda.....	2 00	N71 10	63 30	
		At S. Michael or Archangel in Russia.....	12 30	N64 54	83 30	
		In the South Strait of Vaigatz.....	24 30	N69 30	103 00	
		At Langenes in Novaya Zemlya.....	25 00	N73 20	100 30	
	Decreasing	In Williams Island.....	33 00	N75 35	110 00	
		At Yshouck } in Novaya Zemlya.	27 00	N77 12	120 30	
		At Winterhouse }	26 00	N76 00	120 30	
		North-easting	105 Spanish leagues westwards from Cape S. Augustine in Brazil.....	0 00	S.. ..	0 00
			At Cape S. Augustine in Brazil.....	3 10	S 8 30	6 00
			North and south with Cape das Almas in Guinea.....	12 15	S 0 00	29 00
Towards the northwest northerly from the Islands of Tristan da Cunha.....	19 00		S31 30	30 00		
Towards the northwest, westerly from the same islands.....	15 00		S31 30	36 06		
North and south with the Cape of Good Hope.....	2 30		S35 30	57 00		
The northwesting of the second part or space towards the south, except Goa, Cochin, and Cantan	Increasing	Seventeen German miles from Cape das Aguilas eastwards.....	0 00	S.. ..	60 00	
		Five miles in the sea from Terra de Natal.....	4 30	S33 00	66 00	
		At the shoals of India.....	11 00	S22 00	79 30	
		In Mozambique.....	11 00	S14 50	81 40	
		In the Bay of S. Augustine in Madagascar.....	13 00	S23 30	83 00	
		Southwards from Cape S. Romain.....	16 00	S28 00	86 20	
		In Anthony Gill's Bay in Madagascar.....	15 00	S16 20	91 00	
		Thirty-four German miles southeast from S. Brandon.....	22 00	S19 20	110 00	
		In Goa, a famous mart town in India.....	15 10	N15 30	120 00	
		In Cochin.....	15 00	N 9 45	121 00	
	Decreasing	Twenty-five German miles west, a little northerly from the southwest corner of Sumatra.....	6 00	S 5 28	147 00	
		In Bantam, a mart town in Java.....	4 45	S 6 00	150 00	
		In the Island Lubocqua.....	2 25	S 6 10	155 00	
		In the southwest corner from the Isle of Bali.....	1 30	S 8 40	157 00	
		In the mouth of the River Cantan in China.....	0 00	N23 00	160 00	
		In Bunam, 46 Dutch miles eastwards from the east part of Java.....	0 00	S.. ..	160 00	

ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA

Tab. IVA.2 - Tabela de variações da agulha construída a partir de alguns dos registos efectuados por D. João de Castro

<i>Localização geográfica</i>	<i>Variações da agulha</i>	
Ilha da Palma (7/8 léguas a Norte)	05° 30'	Nordeste
Cabo Verde (a Sul)	05° 30'	Nordeste
Ilhas Canárias (a Sul)	06° 00'	Nordeste
Lisboa	07° 30'	Nordeste
Terra do Natal (Ponta Primeira)	00° 00'	
Çuaquem	01° 15'	Noroeste
Ilha de Comaro	05° 45'	Noroeste
	06 30'	Noroeste
Moçambique (Porto)	06° 30'	Noroeste
	06° 45'	Noroeste
	07° 00'	Noroeste
Índia	10° 15'	Noroeste
	11° 00'	Noroeste
	11° 15'	Noroeste

Por todos estes motivos, os resultados da tentativa de confrontação de valores são, como se pode constatar, inconclusivos: dos poucos registos passíveis de serem comparados, alguns assemelham-se (por exemplo, na Ilha da Palma ou na Índia); outros, porém, são muito diferentes (por exemplo, em Lisboa ou em Moçambique)⁶. Porém, a semelhança de alguns dos valores também nada significa, pois não se sabe se Stevin teve acesso aos *Roteiros*. É uma forte possibilidade que tenha utilizado valores com origem em Portugal, de D. João de Castro ou dos

⁶ Existem outros registos nos *Roteiros*, sobretudo no *Roteiro de Lisboa a Goa*, que apresentam muita semelhança com os valores indicados por Stevin (por exemplo, registos efectuados a determinada distância das Ilhas Tristão da Cunha ou na zona do Cabo da Boa Esperança, Cabo das Agulhas e Terra do Natal). No entanto, não é possível fazer uma correlação fiável entre estes dados pelos motivos já apontados e, portanto, não foram considerados para a elaboração da tabela. Note-se que, Ilha da Palma, Lisboa e Moçambique correspondem às comparações que podemos considerar mais fiáveis.

muitos outros que os navegadores anónimos foram acumulando. A presença de vários registos para locais situados no Atlântico e no Índico faz suspeitar dessa possibilidade; nessa ocasião, não estavam disponíveis muitas outras vias de acesso a valores da declinação magnética de lugares tão distantes. Não é, no entanto, de excluir a hipótese de parte desses dados ser de origem holandesa, uma vez que os Países Baixos nessa época também já tinham iniciado a sua exploração em paragens longínquas.

O caso de Gilbert é ligeiramente diferente; no do Livro IV do seu *De Magne*, nos Capítulos IX, XIII e XV, fala nas observações efectuadas pelos portugueses. No entanto, não menciona claramente que as tenha utilizado e atribuí-lhes mesmo pouco rigor. Esta ideia aparece logo no Capítulo IX, onde Gilbert deixa entrever que Stevin recorreu aos registos de origem portuguesa. É, contudo, no Capítulo XIII, que claramente Gilbert reforça aquela ideia; afirma, apoiado em textos portugueses não identificados, que eles contêm equívocos, e mostram a falta de um real entendimento na construção e uso da agulha de marear com vista à determinação de declinações magnéticas. Em sua opinião, a agulha de marear de origem portuguesa, conduzia à obtenção de resultados incorrectos. Esta ideia volta a ser apresentada no Capítulo XX, onde novamente é vinculada a ideia das observações efectuadas pelos portugueses não serem dignas de confiança.

Está fora do âmbito deste trabalho efectuar uma análise à obra de Gilbert. No entanto, gostaríamos de salientar que algumas das críticas efectuadas, talvez fossem injustas. Parece ser verdade que o modo de construir a agulha de marear em Portugal poderia, em certos casos, conduzir a resultados errados, se não fossem tidos em conta certos procedimentos; Albuquerque (1987) faz referência a esse facto. Contudo, este autor tal como muitos outros, têm como opinião que a construção da agulha de marear era correcta, cuidadosa e bem fundamentada. Os resultados obtidos a partir daí é que, por vezes, não eram os mais correctos, por vários motivos, como salientou Albuquerque (1987). Um dos exemplos apontados por Gilbert, parece vir de encontro a esta possibilidade, apesar de se referir a

ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA

um local, que, pela localização indicada⁷, nos parece fora das rotas tradicionais dos navios portugueses. No entanto, um segundo exemplo por si apontado, merece um reparo: refere que em Moçambique a indicação portuguesa é que a agulha declina para noroeste (atribui o erro à agulha de marear portuguesa); em sua opinião a agulha declina para sudoeste. Há então, que considerar os seguintes aspectos:

- desconhecemos o que significa a agulha desviar-se para sudoeste, mas partindo do princípio que esta direcção é coincidente com a direcção nordeste, talvez o autor queira dizer que a declinação seja para esse lado;
- não são indicados pelo autor as razões que o levaram a manifestar tal opinião;
- em Portugal, usavam-se os termos «noroestear» (por vezes, «norestear») e «nordestear» (um registo de declinação em termos de “sudoestear” não seria muito usual);
- os registos de D. João de Castro, a partir de observações efectuadas no porto de Moçambique, indicam de modo muito claro que a declinação magnética era para noroeste.

É claro que, a discrepância deste exemplo, tal como outros referidos por Gilbert, poderá talvez ser explicada pelo fenómeno da variação secular, que no seu tempo ainda não era perfeitamente compreendida. Por este facto, não podemos efectuar críticas muito acentuadas à posição pouco positiva que manifesta sobre os registos de origem portuguesa. Independentemente do julgamento que sobre eles fez, não parecem restar dúvidas que os terá usado, pelo menos, para os comparar com outros dados a que deverá ter tido acesso.

Outro exemplo de contributos significativos para o geomagnetismo, é a descoberta, por D. João de Castro, dos fenómenos magnéticos do «desvio da agulha» e, sobretudo da «atração local». Garcia (1994) aponta estas descobertas

⁷ Refere-se à Ilha de Brandö (numa nota do texto, é indicado que se situa na direcção do golfo da Bothnia, perto da costa ocidental da Suécia).

ACERCA DA CONTRIBUIÇÃO PORTUGUESA

como contributos importantes para a ciência moderna. No entanto, é quase sempre dado maior realce à descoberta da «atração local», talvez porque ela mostrou uma faceta mais relevante do magnetismo terrestre.

Numa época em que Portugal, fruto da necessidade imposta pelas viagens oceânicas, poderia estar na vanguarda da procura de um melhor entendimento sobre os magnetismo terrestre, muitos foram os contributos dados. Contudo, por uma ou outra razão, não teve continuidade nos séculos seguintes, e a presença portuguesa na história do magnetismo terrestre cessou. Albuquerque (1987) a propósito da contribuição portuguesa do séc. XVI em prol da ciência, defende que não só em relação a este tema mas, também em todos os outros campos científicos em que os Descobrimentos desempenharam um papel fundamental, houve uma paragem súbita de actividade. Na sua opinião, as rotinas que progressivamente se instalaram nas navegações contribuíram para que as actividades intelectuais também se tornassem rotineiras.

Note-se, por último, um outro aspecto importante: uma grande fatia da contribuição portuguesa é devida a D. João de Castro, e resultou do modo muito particular como encarou a observação de certos fenómenos magnéticos. Todavia, porque não teve seguidores, o seu trabalho e, sobretudo, o seu método, não teve continuação. O que poderia ser um magnífico embrião para o estudo do campo magnético terrestre perdeu-se por completo. Decorridos alguns anos, quando o campo geomagnético começou a ser estudado globalmente numa perspectiva científica, já a actividade pioneira de D. João de Castro fazia parte do passado.

Parte B - D. João de Castro e o Método Experimental

Pensamos ser hoje opinião generalizada o reconhecimento da importância de D. João de Castro como figura ímpar no contexto português do séc. XVI. Apesar de não ser nosso objectivo uma abordagem à sua personalidade multifacetada, não podemos deixar de salientar alguns dos principais aspectos que caracterizam a sua forma de proceder, em relação ao assunto que temos vindo a desenvolver. Os seus trabalhos e o modo como os desenvolveu foram reconhecidos, dentro e fora de fronteiras, e projectaram-no como uma referência da ciência europeia do seu tempo. Vamos, pois, explorar um pouco a faceta científica de D. João de Castro procurando perceber o seu modo de encarar uma certa forma de fazer ciência, a que mais tarde alguém chamou experimental!

Das leituras por nós efectuadas para o desenvolvimento desta dissertação, ressalta a ideia de D. João de Castro revelar uma atitude pouco usual naquela época, em relação ao modo como a ciência era praticada. A sua forma de proceder caracterizada pela observação sistemática, registo e análise das observações, não era de modo algum uma prática muito corrente. Pelo contrário, esta faceta de D. João de Castro mostra que era um homem com espírito científico, e talvez por isso, Albuquerque (1987) o tenha considerado “...um dos mais hábeis experimentalistas portugueses do séc. XVI.” (*As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, pág. 151) e “...um dos pioneiros da física da observação...” (*As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, pág. 97). José Manuel Garcia, num estudo intitulado “Aspectos científicos da obra de D. João de Castro”, apresenta-o como “...uma das personalidades mais interessantes da ciência europeia do séc. XVI...” (*Ao Encontro dos Descobrimentos: Temas de História da Expansão*, 1ª edição, Editorial Presença, Lisboa, 1994, pág. 174) e “...um dos mais notáveis navegadores científicos de todos os tempos...” (*Ao Encontro dos Descobrimentos: Temas de História da Expansão*, 1ª edição, Editorial Presença, Lisboa, 1994, pág. 176).

D. JOÃO DE CASTRO E O MÉTODO EXPERIMENTAL

Diversas personalidades estrangeiras, ao longo dos anos, têm realçado essas características que elevaram D. João de Castro a um lugar de referência dentro da cultura europeia do séc. XVI. É o que se pode constatar ao percorrer a introdução ao volume I das *Obras Completas de D. João de Castro*, ou quando Harradon (1944) põe em evidência o seu carácter científico e a importância dos *Roteiros* pela valiosa colecção de observações. Mas, talvez, nenhuma personalidade estrangeira tenha dedicado tanto do seu tempo a este ilustre português, quanto o fez Reyer Hooykaas. O ensaio que escreveu sobre a sua obra, publicado no volume IV das *Obras Completas de D. João de Castro*, é só por si suficiente para justificar esta afirmação.

A obra de D. João de Castro é mais vasta do que os *Roteiros*, no entanto foram estes extraordinários trabalhos que, quer além fronteiras, quer em Portugal lhe deram a devida projecção. Os *Roteiros* contêm um valioso conjunto de observações sobre temas tão variados como, por exemplo, a náutica, a meteorologia, a hidrografia, oceanografia e a declinação magnética. Não sendo nosso objectivo efectuar um percurso completo sobre os três roteiros, não podemos deixar de salientar que, alguns estudiosos estrangeiros têm dado o devido reconhecimento a todos estes aspectos, e não apenas às observações da declinação magnética¹. São, contudo, estes últimos registos que neste contexto merecem a primazia e serão eles, quase sempre, a nossa referência.

Os *Roteiros* de D. João de Castro são no entender de Garcia (1994) obras únicas dentro deste tipo de escrita que revelam as qualidades de observação crítica, métodos de registo, interesse pela experimentação e tendência para o moderno espírito científico do seu autor. Albuquerque (1987) afirma que o *Roteiro de Lisboa a Goa* é reconhecido como a primeira obra que efectivamente contém, apesar das limitações em que as observações foram efectuadas, uma importante contribuição para o estudo do magnetismo terrestre. Sobre este roteiro, Garcia (1994) tem uma posição semelhante ao defender que nele D. João de Castro fez o primeiro estudo experimental sobre o magnetismo terrestre.

¹ Veja-se, por exemplo, a introdução ao volume I das *Obras Completas de D. João de Castro*.

D. JOÃO DE CASTRO E O MÉTODO EXPERIMENTAL

Quando se fala de rigor, espírito científico e de experimentalistas no séc. XVI não é obviamente à luz daquilo que hoje entendemos sobre estes conceitos. Naquele tempo, faz notar Luís de Albuquerque no seu ensaio “Sobre o empirismo científico em Portugal no séc. XVI” *“...a palavra «experiência» não tinha , mesmo para os observadores mais capazes do século XVI, o sentido de um fenómeno provocado, depois de larga reflexão sobre um conjunto de dados ou de ideias a respeito de determinado tema ou questão em aberto...a experiência para os homens do século XVI revestia-se da forma de observação e do registo dos fenómenos que a natureza ocasionalmente colocava ao seu alcance; algumas vezes também...essa observação e esse registo eram completados pelo intento de encontrar explicação para o que fora observado, mas...sem nunca estar em causa a vontade do observador em produzir de novo, por sua vontade, o acontecimento ou fenómeno já visto e anotado...Este é, de facto, o conceito mais avançado de «experiência» que encontramos em escritos da primeira metade do século XVI...”* (As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, pág. 152).

É nesta perspectiva que enquadramos o procedimento de D. João de Castro perante o fenómeno da declinação magnética, cujo máximo desenvolvimento foi atingido, como veremos mais à frente, na questão do «desvio da agulha» e «atração local». Garcia (1994), sem mencionar estes fenómenos, fala do rigor científico de D. João de Castro que pode ser encontrado no cuidado colocado na obtenção de diversas medições e na forma como efectuou a descrição de vários fenómenos. Este autor, fala ainda da importância que D. João de Castro dava às observações, quer fossem efectuadas por si ou por outros navegadores, enquanto forma de esclarecer dúvidas, corrigir ideias erradas herdadas da Antiguidade ou falhas derivadas de viagens anteriores. A experiência, conclui o autor, era essencialmente um modo de adquirir ou validar conhecimentos.

Esta posição de D. João de Castro pode parecer incongruente com a faceta de humanista que Albuquerque (1987) lhe atribui ou com a qualidade de homem do Renascimento e apaixonado conhecedor da Antiguidade referidas por Garcia

(1994). No entanto, Hooykaas (1983) ou Albuquerque (1987), proporcionam-nos a explicação.

D. João de Castro era um humanista, reflexo da vivência na corte portuguesa que frequentou quando jovem, mas a sua formação era essencialmente prática derivada, sobretudo, das muitas viagens que efectuou desde muito novo². Enquanto humanista, sentiu o peso das ideias do Mundo Antigo, do qual sempre manifestou uma grande paixão. Porém, e coexistindo com esta vertente, havia os conhecimentos adquiridos através de experiências acumuladas pelos seus antecessores e pelas suas próprias. Deste mescla, resultou uma atitude que não era de um humanista típico; estes, desligados dos feitos marítimos, desvalorizavam os contributos dos homens do seu tempo e enalteciam a cultura antiga e os seus conhecimentos. Pelo contrário, D. João de Castro, homem com fortes ligações à navegação, reconhecia o contributo da sua época na ampliação dos conhecimentos herdados da Antiguidade, embora acreditasse que as glórias alcançadas pelos homens dos Descobrimentos, apenas foram possíveis com recurso aos saberes herdados dos antigos. Assim, D. João de Castro ao combinar os conhecimentos da Antiguidade com as experiências das coisas práticas, era muitas vezes confrontado com a realidade de um dilema. Verificava que muitas das ideias clássicas eram completamente desmentidas pelos factos observáveis, o que colocava em causa não esses conhecimentos, como a sua autoridade. É aqui, que a vertente prática de D. João de Castro se revelava; apesar do respeito e admiração que tinha pelos grandes vultos da Antiguidade, não se inibia de os desmentir. Tal pode ser observado, por exemplo, em diversas partes dos *Roteiros* e de modo muito claro (Hooykaas apresenta vários exemplos retirados quer dos *Roteiros* quer do *Tratado da Esfera*³).

² A partida de D. João de Castro pela primeira vez para a Índia, em 1538, não foi o início do seu contacto com as navegações ou com as novas terras conquistadas. Sabe-se que, antes dessa data e por diversas vezes, viajou até África.

³ Alguns desses exemplos (Hooykaas, 1983):

• crítica Ptolomeu e outros autores importantes por terem dado uma localização errada às Ilhas Afortunadas;

D. JOÃO DE CASTRO E O MÉTODO EXPERIMENTAL

Esta atitude crítica sobre tudo aquilo que inegavelmente a realidade lhe mostrava estar em desacordo com os conhecimentos clássicos, era pouco usual no tempo de D. João de Castro. Este modo de ver a Natureza e o Mundo, são atributos que muito poucos se podiam orgulhar de possuir numa época em que ainda dominava a tradição antiga e medieval. Talvez por isso, Garcia (1994) faça notar que D. João de Castro, “*No conjunto de autores relacionados com a náutica do séc. XVI..foi o que melhor soube aliar uma sólida formação teórica com um admirável sentido de observação prática.*” (*Ao Encontro dos Descobrimentos: Temas de História da Expansão*, 1ª edição, Editorial Presença, Lisboa, 1994, pág. 174). Também poderá estar aqui a explicação para a ideia emergente do texto de Hooykaas (1981) em que D. João de Castro parece surgir como uma figura de transição entre a Idade Média e a Idade Moderna. É, no entanto, Albuquerque (1987) que leva mais longe esta particularidade ao escrever “...*também foi...um precursor de certas ideias modernas...*” (*As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Grávida, Lisboa, 1987, pág. 94).

Talvez, o que estes autores queiram evidenciar é a ruptura que D. João de Castro faz com a tradição antiga e medieval, e realçar o seu papel como pré-pioneiro de uma nova forma de fazer ciência - o novo movimento experimental ou ciências baconianas, oficialmente surgido no século seguinte. Não estamos a querer afirmar com isto que D. João de Castro era um verdadeiro baconiano, mesmo antes de existir tal conceito. Basta olhar para o ensaio “*Tradição matemática versus tradição experimental no desenvolvimento da ciência física*”, de Thomas S. Kuhn (1977), onde são apontadas algumas das características deste movimento para verificar o absurdo de tal pensamento. Por exemplo, a grande ênfase dada por este movimento às experiências provocadas que constroem a natureza, e a exibiam sob condições que nunca seria possível atingir sem a intervenção eficaz

• considera a cosmografia do Mar Vermelho e da região, a parte mais confusa e obscura nos textos dos autores antigos;

• em sua opinião os antigos tinham falta de conhecimento das nascentes do Nilo;

• os antípodas na verdade existiam e os antigos estavam enganados quando negavam tal possibilidade.

do homem (Kuhn, 1977). Que tivéssemos tido conhecimento, não se encontra tal tipo de experiência em D. João de Castro, o que de resto, iria contrariar o conceito de «experiência» antes referido. O que nós queremos patentear, é o papel de D. João de Castro como possível elemento da génese desse movimento. Hooykaas (1986), na reflexão intitulada “Contexto e razões do surgimento da ciência moderna”, deixa em aberto esta possibilidade quando expõe a visão de Francis Bacon de considerar as viagens dos Descobrimentos o ponto de partida da ciência moderna. Acrescente-se, para reforçar esta ideia, que Kuhn (1977) manifesta a opinião que os estudos do magnetismo foram um dos novos campos científicos originados pelo baconianismo.

A descoberta do «desvio da agulha» e da «atração local» podem ser apontados como os dois exemplos mais paradigmáticos que surgiram como consequência das observações cuidadosas e diversificadas de D. João de Castro. Parece-nos claro que estes feitos só foram possíveis porque entendia o conceito de «experiência» na sua forma mais avançada. Ao percorrer o ensaio de Luís de Albuquerque (1987) “A contribuição portuguesa para o conhecimento do magnetismo terrestre no século XVI”, nomeadamente na «história» que conta sobre a descoberta do primeiro dos fenómenos, ficamos plenamente convictos que o seu modo de proceder tinha contornos de características similares às que mais tarde viriam caracterizar o denominado método experimental. Provavelmente por esse motivo, Albuquerque (1987) aponta D. João de Castro não só como um dos pioneiros da física da observação, mas até talvez da própria física experimental. Garcia (1994) refere que por vezes os procedimentos experimentais de D. João de Castro denotavam características modernas. Se é verdade que este autor escolhe como exemplo situações que nada têm a ver com o magnetismo terrestre, também é de salientar que logo a seguir reconhece que as pesquisas relacionadas com esta tema são das mais originais.

É, no entanto, nos estudos de Albuquerque (1981, 1987) que encontramos o que, em nossa opinião pode ser considerado uma prova irrefutável do espírito científico de D. João de Castro. A partir dos seus textos, este conceituado autor e

D. JOÃO DE CASTRO E O MÉTODO EXPERIMENTAL

profundo conhecedor da obra de D. João de Castro, salienta os seguintes aspectos, indicadores do seu modo de proceder:

- preocupação em fazer observações da declinação magnética no mar e em terra, valorizando mais estas últimas, e as executadas com mar calmo;
- repetição das observações num mesmo local ou em lugares próximos, com várias agulhas magnéticas ou com a mesma agulha e várias alturas do Sol;
- confrontação cuidadosa dos resultados obtidos;
- registo claro das discrepâncias encontradas;
- procura das causas que provocaram essas diferenças;
- sentido crítico na análise das respostas por si encontradas.

Mesmo quem, como nós, percorra os *Roteiros* sem procurar fazer uma análise profunda, pode aperceber-se de alguns destes aspectos. Por exemplo, no *Roteiro de Lisboa a Goa* quando verifica que a crença de muitos pilotos sobre a localização do «meridiano vero» estava errada, ou quando reúne provas suficientes para deitar por terra a falsa relação entre longitude e declinação magnética ou, ainda, quando finalmente consegue uma explicação para as várias medições anómalas que registou durante várias semanas. Outro exemplo, no *Roteiro de Goa a Diu* quando se apercebe que os resultados anormais por si obtidos se deviam à presença de determinadas rochas.

Reconhecemos nestes procedimentos algumas semelhanças com os parâmetros que caracterizam o método experimental, nomeadamente com o controle das condições físicas, controle de variáveis, análise crítica dos resultados, formulação de uma teoria explicativa e análise da validade dessa teoria. Note-se, mais uma vez, que não temos a pretensão de considerar D. João de Castro um pré-experimentalista, tal como o conceito veio mais tarde a ser entendido. O que pretendemos é dar ênfase, a partir do que lemos e do que analisámos, que, no aspecto científico, D. João de Castro possuía um conjunto de características invulgares naquela época, o que o levou a assumir atitudes e comportamentos que só se generalizaram muito mais tarde. Este parece-nos ser um dos aspectos fundamentais: a ruptura com uma certa tradição e o desempenhar de um papel de transição

D. JOÃO DE CASTRO E O MÉTODO EXPERIMENTAL

entre duas maneiras distintas de observar a natureza e o mundo. Uma discussão à volta de D. João de Castro que se centre no seu experimentalismo, poderá encontrar entre os mais cépticos o argumento de que estamos perante um experimentalismo inconsciente. Por isso, parece-nos que acima de tudo há que valorizar os aspectos inovadores do seu desempenho, e o seu papel num certo contexto da história do conhecimento humano, não esquecendo que, como afirmou Albuquerque (1987), D. João de Castro estudou o magnetismo com rigor científico.

Parte C - Sobre os artigos de H. D. Harradon

Alguns dos artigos¹ da série que H. D. Harradon publicou na revista *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, entre 1943 e 1945, e que se relacionam com portugueses, merecem da nossa parte uma pequena reflexão. As opiniões manifestadas pelo autor e, sobretudo, porque algumas afirmações aí produzidas não se harmonizam com algumas fontes portuguesas por nós consultadas, são razões que julgamos serem mais que suficientes para a elaboração desta análise.

Logo à partida (e esta observação não tem a ver apenas com os artigos em análise) deve ser salientado que Harradon tomou como base de trabalho a colecção de Hellmann datada de 1898, possivelmente pela raridade dos documentos originais e das poucas cópias existentes se encontrarem espalhadas por bibliotecas de vários países, como o próprio reconheceu. Mas, este método deixava em aberto a possibilidade de poder excluir outros documentos, porventura importantes, que posteriormente à publicação de Hellmann possam ter sido conhecidos. Por outro lado, Harradon, ao optar por esta via, assumiu em consciência que Hellmann tinha efectuado uma pesquisa exaustiva sobre todos os documentos escritos que de algum modo se poderiam revelar importantes na perspectiva histórica da evolução do conhecimento do magnetismo terrestre.

Digamos que, a opção de Harradon pode ser considerada adequada face às muitas dificuldades que poderia encontrar se tentasse efectuar uma pesquisa totalmente original. No entanto, o autor não deveria deixar de considerar, nem a possibilidade da existência de novas fontes, nem a hipótese de algum documento importante não ter sido contemplado por Hellmann, por uma ou outra razão, dadas as limitações que aqueles tempos impunham. Não sabemos se Harradon acautelou estas possibilidades ou não, mas admitimos que, pelo menos, alguns documentos importantes lhe possam ter escapado.

¹ Os artigos em questão são, recorde-se, "Some early contributions to the history of geomagnetism - II/III-V-VII".

Poderá estar nesta situação o *Tratado da Agulha de Marear* de João de Lisboa, documento que, como tivemos oportunidade de verificar, se revelou fundamental em vários aspectos. Não sabemos se Harradon desconhecia a sua existência ou se apenas o julgou irrelevante. Se esta última hipótese fôr a confirmada, ficamos ainda com a dúvida se Harradon teria tido conhecimento através da obra de Hellmann ou por outra via. Porém, dado que o autor assumiu o trabalho de Hellmann como referência, parece lógico podermos inferir que:

- Hellmann ou não conhecia o tratado ou não o julgou importante no contexto histórico e como tal não o englobou na sua *Rara Magnética* (não pudemos consultar a obra para desfazer esta dúvida, mas parece-nos que se Hellmann tivesse considerado este documento, também Harradon certamente o teria feito);
- Harradon, se chegou a ter conhecimento da existência deste tratado, não terá sido pelo trabalho de Hellmann (pelas razões acima apontadas).

Parece pois correcto podermos concluir que, muito provavelmente, Hellmann não teve conhecimento da existência do tratado de João de Lisboa. Quando escreveu a sua obra é muito provável que este documento ainda não estivesse ao seu alcance. A edição mais antiga de que temos conhecimento data do início do séc. XX, mas desconhecemos se é a primeira². Também não sabemos quando é que este documento foi reconhecido como fundamental e se Hellmann teria tido possibilidade de o consultar. Porém, quando Harradon escreveu os seus artigos, este texto estaria sem dúvida ao seu alcance. Ao excluí-lo, por desconhecimento ou por opção, ficou impossibilitado de dar um contributo mais profundo do que Hellmann tinha dado quase meio século antes.

Amputado de um documento importante como é o *Tratado da Agulha de Marear*, os artigos publicados por Harradon que estão em análise, reflectem esse facto. Deve, ainda, ter induzido o autor a produzir afirmações que estão em total desacordo com fontes e opiniões manifestadas por autores portugueses. Vejamos pois de seguida, algumas dessas considerações.

² *Tratado da Agulha de Marear*, incluído no *Livro de Marinharia de João de Lisboa*, ed. de Brito Rebelo, Lisboa, 1903.

Os artigos II e III que, recorde-se, foram publicados em conjunto, e marcam o início da incursão ibérica de Harradon, são muito elucidativos desta discordância, especialmente o que foi dedicado a Francisco Faleiro. Nesse artigo, Harradon afirma que no tempo do grande período dos Descobrimentos que se seguiram às viagens de Colombo, acreditava-se que a longitude no mar poderia ser conhecida a partir da declinação magnética, estando esta crença na origem da grande quantidade de observações magnéticas efectuadas e tendo sido Francisco Faleiro a primeira pessoa a fornecer sob a forma escrita, métodos práticos para determinar a declinação magnética e a discuti-la em detalhe.

Até é compreensível que Harradon não discuta a possível origem dessa crença. É uma questão de contornos difíceis, e o autor, muito legitimamente, pode ter considerado um problema secundário. Porém, já não se pode dizer o mesmo quando refere que Francisco Faleiro foi o primeiro a enunciar métodos práticos para determinar a declinação magnética sob a forma escrita. É que, como tivemos oportunidade de conhecer, o pequeno tratado de João de Lisboa, datado de 1514, mostra de forma inequívoca como a variação da agulha era determinada a partir da estrela Alfa da Ursa Menor ou da estrela Alfa do Cruzeiro do Sul. Fica assim claro que antes de Francisco Faleiro expor no seu *Tratado del Sphera y del Arte del Marea*, datado de 1535, métodos para determinar a declinação magnética, já João de Lisboa tinha proposto um método para alcançar esse objectivo. Francisco Faleiro poderá, de facto, ter sido o primeiro a avançar com métodos baseados em observações solares, mas mesmo assim ainda subsiste a dúvida (Albuquerque, 1970, 1987, 1991) se não terá sido Pedro Nunes, apesar do seu trabalho ter sido publicado um pouco mais tarde.

Outras afirmações de Harradon, ainda dentro do mesmo contexto, talvez merecessem também uma reflexão. Ficar grato a Francisco Faleiro pelo primeiro verdadeiro manual de navegação ou considerar que este português foi o primeiro a discutir com detalhe e por escrito a declinação magnética, são exemplos de

afirmações que talvez possam gerar polémica³. Contudo, não conhecemos a obra de Francisco Faleiro em pormenor, nem os livros de marinharia ou compilações afins com detalhe para podermos emitir qualquer opinião. Uma pesquisa nesse sentido, para além de estar fora do contexto desta dissertação, exigiria profundos conhecimentos que pensamos não serem acessíveis no imediato. E depois, termos como «o primeiro verdadeiro manual» ou «o primeiro a discutir com detalhe» dão, quase sempre, origem a interpretações subjectivas, o que, como se sabe, são sempre difíceis de rejeitar ou validar.

No mesmo artigo, é ainda possível encontrar uma outra significativa discordância com algumas fontes portuguesas. Harradon refere que os métodos de Francisco Faleiro para determinar declinações magnéticas foram, talvez, planeados para um instrumento («brújula de variación») inventado por Filipe Guillen (ou Guillén), embora saliente que este português não faz nenhuma menção ao assunto. Sobre Guillen, afirma que este engenhoso boticário de Sevilha, apresentou este instrumento ao rei de Portugal, D. João III, em 1525. Albuquerque (1987) defende que esta tese teria sido difundida pelo cosmógrafo espanhol Alonso de Santa Cruz, no seu *Libro de las Longitudes*, onde também é preconizada a ideia do seu compatriota ter vindo para Portugal para se colocar ao serviço deste monarca (o que terá feito com grande êxito), e para lhe tentar vender um processo infalível para determinar longitudes (que seria o método proposto por João de Lisboa)⁴. Albuquerque (1987) refere que certas fontes portuguesas apontam para esta ideia não ter qualquer fundamento: Guillen, que chegou a Portugal em 1519, não passaria de um farsante que acabou por cair em desgraça

³ No artigo que dedicou a Martin Cortes, também é feita uma afirmação de contornos similares. Harradon considerou que o seu trabalho *Breve Compendio de la sphaera y de la arte de Navegar* (Sevilha, 1551) contém a mais antiga descrição exacta da bússola náutica e da sua construção. Como já foi referido, no tratado de João de Lisboa também podemos ficar a conhecer como se construía a agulha de marear. Mais, uma vez se nota o desconhecimento do autor em relação ao trabalho deste piloto. No entanto, a designação «descrição exacta» é, certamente neste contexto, bastante subjectiva e um pouco pessoal. Como tal, é de admitir que Harradon, mesmo conhecendo o tratado de João de Lisboa, mantivesse a opinião atrás referida.

⁴ Albuquerque (1987) refere que a hipotética vinda de Guillen para Portugal, em 1525, pode ser explicada pelo facto da biografia de Guillen ser obscura e de Alonso de Santa Cruz escrever decorridos cerca de vinte anos sobre o assunto. Do trabalho efectuado por Viterbo (1898), é possível concluir que, na verdade, a biografia de Guillen contém enormes lacunas.

junto do rei D. Manuel quando lhe tentou vender o tal processo, que foi declarado errado ou fraudulento. Fontoura (1958) não tem qualquer dúvida que os factos se passaram deste modo. No entanto, Albuquerque (1987) salienta que esta versão dos acontecimentos carece de comprovação e poderá ser substancialmente alterada face a novos desenvolvimentos. Viterbo (1898) que estudou vários documentos sobre alguns aspectos da vida de Guillen desde que chegou a Portugal, embora admita a data de 1519 para a sua chegada, tem sobre os acontecimentos posteriores uma visão mais próxima da que, alegadamente, Alonso de Santa Cruz refere.

Harradon nada diz sobre os dados em que se baseou para chegar a esta hipótese, salientando até que Guillen nada deixou escrito sobre o assunto. Mas como, imediatamente após ter apresentado a sua suposição, salienta os esforços de Alonso de Santa Cruz para determinar a longitude a partir da variação da agulha, será lógico pensarmos que Harradon se baseou no que este cosmógrafo do rei Filipe II de Espanha⁵ escreveu no seu livro dedicado a este tema. Note-se, porém, que o autor não faz qualquer referência ao *Libro de las Longitudes*. Se Harradon consultou este livro, algum excerto que porventura Hellmann tenha reproduzido⁶ ou algum escrito efectuado sobre esta obra, não podemos saber com absoluta certeza. No entanto, uma nota colocada no artigo dedicado a Francisco Faleiro, permite pelo menos ficar a saber que Harradon, a propósito da carta magnética de Alonso de Santa Cruz, consultou um obra publicada em Londres em 1922. Se também foi a partir daí que teve conhecimento do conteúdo do *Libro de las Longitudes* é outra dúvida que fica por esclarecer.

Admitindo que Harradon teve conhecimento da existência do *Libro de las Longitudes*, bem como do seu conteúdo, então a edição em questão só poderá

⁵ Há autores que, por vezes, referem que Alonso de Santa Cruz foi cosmógrafo de Carlos V. Não há qualquer contradição entre esta afirmação e a produzida no texto. Recorde-se que Filipe II era filho do imperador Carlos V (rei Carlos I de Espanha), e que antes de subir ao trono espanhol (1556), portanto no reinado do seu pai, foi nomeado regente (1543).

⁶ Não é muito provável que Hellmann tenha tido conhecimento dos trabalhos de Alonso de Santa Cruz. Albuquerque (1987) refere que só no primeiro quartel do séc. XX é que se deu a merecida importância à obra deste cosmógrafo espanhol, com a publicação, nos anos vinte, de três dos seus livros, entre eles o *Libro de las Longitudes*.

ter sido a primeira, que segundo Albuquerque (1987) foi publicada em Sevilha, em 1922. Baseados na datação por nós efectuada para o artigo “A contribuição portuguesa para o conhecimento do magnetismo terrestre no século XVI”⁷ de Luís de Albuquerque e numa nota nele colocada, pensamos que seja a segunda edição a que terá sido publicada muito mais tarde, posterior aos artigos de Harradon, que, recorde-se, foram escritos na década de quarenta.

A primeira edição foi objecto de análise por Luís de Albuquerque num trabalho intitulado “Acerca de Santa Cruz e do seu *Libro de las Longitudes*”, e é a que, segundo este autor, suscitou duras críticas por parte de muitos historiadores da náutica, em especial portugueses. No artigo que lhe dedicou foi peremptório em considerá-la de má qualidade dada a pouca atenção do editor e, sobretudo, da cópia utilizada conter muitos erros. Realça ainda o facto de Alonso de Santa Cruz produzir algumas afirmações discordantes com os textos de autores portugueses com quem afirma ter conversado, mas em seu entender se devem à cópia utilizada e não à má fé do cosmógrafo. Um bom exemplo é sublinhado por Albuquerque, em relação a D. João de Castro, nomeadamente sobre o episódio envolvendo Guillen. Refere o autor que, Alonso de Santa Cruz afirma que D. João de Castro lhe disse que nas suas viagens levava sempre consigo o instrumento de Guillen, e que nunca lhe fora de proveito no mar. Apoiando-se nos *Roteiros* de D. João de Castro, Albuquerque afirma que tais afirmações nunca poderiam ser feitas por este navegador, por não corresponderem à verdade⁸.

Como salientou Albuquerque e se pode com facilidade comprovar, nos *Roteiros* de D. João de Castro é possível encontrar muitas observações da declinação magnética efectuadas no mar através da utilização de um instrumento apropriado. Também, e como realçou este autor, podem-se encontrar no *Roteiro de Lisboa a Goa*, de 1538, referências a este instrumento e à sua origem. Por exemplo, na seguinte passagem “...e alcançado com estormento de sombras inu-

⁷ Veja-se o CAP. II, nota 13.

⁸ Estas e outras afirmações de Alonso de Santa Cruz, foram consideradas por Albuquerque (1987) erros que são verdadeiras fraudes, mas que em seu entender deverão estar relacionadas com a cópia utilizada.

entado pello doctor Pero nunez...e feito por mãos de Johão gonçalvez [«onç» e «ve» no original estão escritos em itálico]...*e sobretudo aprouado pelo muito* [«ui» no original está escrito em itálico] *excelente Princepe o Iffante* [«ant» no original está escrito em itálico] *dom Luis, o qual antre outras muitas merçes que de sua alteza rezebi pera esta jornada, foy este estormento, com o qual* [«ua» no original está escrito em itálico] *vimos a alcançar a leuação do polo a toda a ora do dia, e assi a verdadeira variação que fazem as agulhas...pelo que será justo darmos fé a estormento de tamanha auctoridade, e o que por elle se achar auer de ser certo.*” (*Obras Completas de D. João de Castro* edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968, pág. 199) as referências são bem claras. Note-se, contudo, que estes dados só por si poderão não ser suficientes para, de modo claro, provar aos mais cépticos que Guillen não entra nesta história. D. João de Castro podia ignorar a origem do instrumento e atribuí-la a Pedro Nunes. Este cosmógrafo podia ter tido conhecimento do instrumento de Guillen e nunca mencionar tal facto; naquela época não havia preocupações com os direitos de autor. Por último, Viterbo (1898), refere, com base em documentos, que a Guillen foram atribuídos pagamentos anuais por serviços prestados e invenção de certos instrumentos. Parece pois, que os contornos de todo este enredo ainda não são bem conhecidos, o que deixa em aberto a possibilidade de Harradon não estar inteiramente errado.

Voltemos aos trabalhos de Harradon, para concentrarmos a nossa atenção no quinto artigo da série, que é dedicado a Pedro Nunes e ao seu «Estormento de Sombras». Nele, o autor, apresenta a tese deste não ser mais do que uma melhorada «brújula de variación» de Guillen, consistindo na adição de um dispositivo que permitia a observação de altitudes do Sol. Para além desta tese poder voltar a entrar em conflito com o que anteriormente mencionamos e de Harradon não mencionar as fontes em que se baseia, há ainda um outro aspecto que merece ser mencionado: o autor não tinha conhecimentos de língua portuguesa e muito me-

nos do português do séc. XVI. Esta nossa observação baseia-se no facto da tradução do texto de Pedro Nunes, ter sido efectuada por J. de Sampaio Ferraz, do Rio de Janeiro⁹.

Acontece, porém, que Sampaio Ferraz encontrou sérias dificuldades em efectuar essa tradução, como o próprio reconheceu numa carta enviada a Harradon¹⁰. Ora, se o próprio tradutor não conseguiu compreender a descrição do instrumento a partir do texto em português, como será possível interpretar essa parte na tradução em língua inglesa! Harradon estava consciente desta dificuldade, pois salientou que tanto quanto era do seu conhecimento, aquela era a única tradução para inglês de um texto difícil, e como tal, encontrava-se muito satisfeito por o poder colocar à disposição dos leitores da revista para consideração e estudo.

A carta de Sampaio Ferraz merece-nos, por outro lado, um pequeno comentário. Nela afirmou que tinha consultado vários especialistas e nenhum foi capaz de revelar mais detalhes. Sem querer duvidar da sua palavra, não deixa de ser muito curioso o facto de não ter encontrado nenhuma pessoa capaz de lhe prestar mais esclarecimentos sobre esta matéria. Não sabemos quem terá consultado, mas da sua carta parece poder inferir-se que as suas pesquisas ficaram pelo Brasil (note-se que afirma que tal instrumento era completamente desconhecido neste país, não fazendo qualquer referência a Portugal). Uma consulta a portugueses conhecedores da obra de Pedro Nunes era imprescindível! Não é crível que na década de quarenta não houvesse em Portugal personalidades capazes de esclarecerem quaisquer dúvidas sobre um instrumento que no Brasil, e pelas próprias palavras de Sampaio Ferraz, era completamente desconhecido. Havia de certeza especialistas, tanto mais que a Academia das Ciências de Lisboa tinha

⁹ O mesmo veio a suceder com os excertos dos *Roteiros* de D. João de Castro.

¹⁰ Apresenta-se aqui a transcrição integral: "*The most difficult part of the excerpt is the one that describes the instrument which, by the way, is completely unknown to us in Brazil, in museums or learned commentaries. The translation made of the descriptive parts is, I think, ipsissimis verbis* [*«ipsissimis verbis» no original está escrito em itálico*] *of what is written in the old Portuguese original, but incomprehensible at that. I consulted several authorities. None of the persons consulted, like myself, can make out the minor details* [*«minor details» no original está escrito em itálico*] *(and only these) from the description in the old text.*" (Harradon, H. D., *Some early contributions to the history of geomagnetism - V, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 48, 1943, págs. 197-198.

acabado de editar o primeiro volume dos seus trabalhos, volume esse que incluía o *Tratado da Esfera* que é o texto que contém a descrição do instrumento¹¹. Se, e como já foi referido, parece ser legítimo inferir da sua carta que apenas consultou autoridades brasileiras, então, e dada a referência anterior, não é de surpreender que não tenha conseguido qualquer avanço.

Não querendo levantar polémicas, parece-nos que Harradon poderia ter sido um pouco mais ambicioso. Em vez de ficar pelo reconhecimento da dificuldade, poderia ter solicitado o apoio a pessoas conhecedoras ou entidades portuguesas ligadas ao estudo da obra de Pedro Nunes, e ter avançado para uma análise tanto quanto possível rigorosa de um assunto que mereceu a sua atenção e interesse. Não o fez, talvez por seguir Hellmann e não tentar procurar outras fontes, e assim limitou-se a reconhecer as grandes dificuldades encontradas na tradução e interpretação de documentos antigos, especialmente daqueles que contêm descrições de instrumentos dos quais não se conhecem modelos ou outras informações.

O último artigo de Harradon relacionado com portugueses, que é dedicado a D. João de Castro, também não está isento dos mesmos problemas que afectaram os anteriores. O artigo é iniciado com uma pequena descrição dos factos mais relevantes da sua vida, onde entre outras afirmações não inteiramente correctas, se diz que faleceu em Ormuz¹². De seguida, o autor afirma que o navegador português foi incumbido, pelo infante D. Luís, de testar os dois métodos antes experimentados por Pedro Nunes, em Évora, no ano de 1533, tendo para esse efeito fornecido a D. João de Castro um instrumento. Harradon não explicita que instrumento é esse, mas numa nota, remete o leitor para o artigo sobre Pedro Nunes, o que parece querer significar que tal instrumento seria o que, segundo o autor, o cosmógrafo aperfeiçoou a partir do de Guillen. De novo se volta a colocar aqui a problema das fontes que poderão sustentar esta tese, bem como a discordância em relação a algumas fontes portuguesas.

¹¹ *Obras de Pedro Nunes*, vol. I, edição da Academia das Ciências de Lisboa, Lisboa, 1940.

¹² O mesmo erro viria a ser cometido anos depois por Balmer (Albuquerque, 1991). D. João de Castro faleceu em Goa.

Sobre o trabalho de D. João de Castro, há apenas dois pequenos aspectos que gostaríamos de salientar:

1º- talvez uma questão de pormenor: Harradon fala numa série de 43 valores de declinação magnética recolhidos entre os anos de 1538 e 1541¹³, mas só no roteiro escrito durante a viagem de Lisboa para Goa, podemos encontrar 56 observações - vários autores assim o confirmam, por exemplo Albuquerque (1970, 1987) e Garcia (1994);

2º- bem mais importante: Harradon apresenta a tradução do excerto dos *Roteiros* em que D. João de Castro descobre o «desvio da agulha», mas não faz sobre isso qualquer observação.

Harradon termina o seu artigo publicando o comentário efectuado por Sampaio Ferraz a propósito dos excertos por si traduzidos¹⁴. Consideramos que esse comentário revela alguns aspectos importantes, nomeadamente por colocar em evidência uma das várias notas por si introduzidas na tradução dos excertos dos *Roteiros*¹⁵ e que nos pareceu merecedora de uma pequena apreciação.

¹³ A mesma indicação viria a ser dada anos depois por Balmer (Albuquerque, 1991). Albuquerque (1991) afirma que os 43 valores foram obtidos em 68 dias. Note-se que a viagem de Lisboa a Goa demorou cerca de cinco meses (iniciou-se em seis de Abril de 1538 e terminou a onze de Setembro do mesmo ano).

¹⁴ Apresenta-se aqui a transcrição integral: “*The author (in the copies at Evora Library on which the text is based) is confusing in the naming of the rose’s sectors NW and NE, written in different ways. I adopted the following basis: ‘Noroestear’ and ‘norestear’ are the two forms employed in the text to designate northwesting and ‘nordestear’ is the only form used to name northeasting. But only a check of yhe individual sets of observations will show if our basis has failed. As I point out in one of my notes, the most authoritative commentator of de Castro log-books, Commander Fontoura, has apparently been a victim himself of the variable forms for designation of sectors. Commander Radler de Aquino [que Harradon considerou amigo de Sampaio Ferraz e que, ainda segundo Harradon, leu as traduções] agrees with my note on Fontoura’s seeming error*” (Harradon, H. D., *Some early contributions to the history of geomagnetism - VII, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 49, 1944, pág. 186).

¹⁵ As notas de Sampaio Ferraz acompanham a tradução de alguns excertos dos *Roteiros* a propósito das observações magnéticas efectuadas por D. João de Castro em 1538-1539 e 1541. Esta tradução, segundo o que escreveu o Sampaio Ferraz nas notas do tradutor nos excertos do *Roteiro de Lisboa a Goa* de 1538, foi efectuada a partir do texto completo dos *Roteiros de D. João de Castro* (3 vols., 2ª edição, 1940, publicada pela Agência Geral das Colónias, Lisboa, Portugal). O tradutor, nessas mesmas notas, considerou esta edição preciosa e de confiança, salientando o facto de ela conter o prefácio e numerosas anotações de Fontoura da Costa, sendo algumas dessas anotações do volume I apresentadas, em versão para língua inglesa, logo de imediato. Também para os excertos da primeira viagem ao longo da costa da Índia de 1538-1539, que correspondem às anotações de Fontoura no volume II, Sampaio Ferraz procede do mesmo modo (e provavelmente também para os excertos da Índia ao Suez de 1541, que deverá corresponder ao volume III e que não tivemos possibilidade de consultar por não se encontrar disponível).

As várias notas de Sampaio Ferraz encontram-se entre as traduções das notas da edição utilizada¹⁶ que são da autoria de Fontoura da Costa. É entre as que se relacionam com o volume II (que correspondem à tradução dos excertos da primeira viagem ao longo da costa da Índia) que encontramos aquela que é o centro do nosso interesse. Nessa nota, o tradutor faz a prova da afirmação contida no seu comentário, mostrando que Fontoura da Costa cometeu de facto um pequeno lapso ao escrever «nordeste» em vez de «noroeste». Na tradução efectuada por Sampaio Ferraz, na parte do texto relacionada com a nota de Fontoura da Costa, encontramos referências de declinações da agulha para noroeste. Na edição em português seria interessante verificar como está escrito, assim como nas cópias a partir das quais a edição foi efectuada. Infelizmente, não conseguimos encontrar nenhum exemplar desta edição. As nossas consultas foram efectuadas a partir de uma outra edição¹⁷, onde podemos verificar que a agulha declinou sempre para noroeste. Não é de descartar, por isso, a possibilidade do lapso resultar da cópia utilizada, pois como reconheceu Albuquerque (1987) era frequente nos manuscritos da época confundirem-se as palavras «nordestear» e «noroestear».

A nota de Sampaio Ferraz é também relevante por um outro motivo. Nela é salientado que D. João de Castro atribuiu correctamente a grande diferença de valores obtidos à presença de rochas e ao efeito por elas produzido, descobrindo desta forma o fenómeno da «atração local». O tradutor termina referindo que este aspecto fundamental do roteiro foi pela primeira vez posto em evidência por Hellmann. Não dispomos de dados que confirmem ou refutem esta opinião, mas partindo do princípio que Sampaio Ferraz possa estar certo, então estamos na presença de um bom exemplo em que, sobre temas que são referências relevantes da cultura de uma nação, fomos notoriamente ultrapassados por personalidades estrangeiras. É sempre de louvar que o trabalho dos portugueses da época dos Descobrimentos seja internacionalmente reconhecido, mas já não será tão positi-

¹⁶ *Roteiros de D. João de Castro*, 3 vols., 2ª edição, 1940, publica pela Agência Geral das Colónias, Lisboa, Portugal.

¹⁷ *Obras Completas de D. João de Castro*, vol. II, edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, Coimbra, 1971.

vo que sejam as personalidades estrangeiras que primeiro põe em evidência determinados factos; esse papel deveria caber aos portugueses. Hellmann, apenas deve ter tomado contacto com os *Roteiros* depois de, pela primeira vez, terem sido editados a partir de meados do séc. XIX (recorde-se que ficaram inéditos durante cerca de três séculos). Depois de os ler, reconheceu-lhes o devido mérito¹⁸ e, é muito provável, que tenha sido nessa leitura ou em estudos posteriores que deparou com a descoberta da «atração local», antecipando-se deste modo aos estudiosos portugueses¹⁹. Esta ocorrência não é única; por exemplo Albuquerque (1991) refere uma situação similar em relação ao reconhecimento das navegações portuguesas do séc. XV como ponto de partida para a náutica moderna.

Terminamos, voltando novamente ao comentário de Sampaio Ferraz. Desde logo, ficamos a saber que ele não só conhecia Fontoura da Costa, como o considerava o maior especialista dos *Roteiros*. Ora, parece de todo lógico que o tivesse consultado, não só neste último assunto, como também naquela questão anteriormente abordada, sobre o instrumento de Pedro Nunes. Como já foi igualmente registado, não sabemos se o terá feito, mas tudo parece indicar que não, e este novo dado parece reforçar esta hipótese. Se foi este o caso, parece-nos que o trabalho de Sampaio Ferraz e, por acréscimo o de Harradon, ficou incompleto. No entanto, registre-se, talvez o maior problema dos artigos de Harradon seja outro: ao desenvolver um trabalho muito centrado em Hellmann, como o próprio autor reconhece em diversas ocasiões, ignorou os desenvolvimentos posteriores que aos diversos temas foram sendo dados, o que, como vimos, se traduz em artigos menos conseguidos.

¹⁸ Veja-se a introdução ao volume I das *Obras Completas de D. João de Castro*.

¹⁹ Desconhecemos quem, pela primeira vez, reconheceu a descoberta do «desvio da agulha», mas supomos que tenha sido uma personalidade portuguesa.

ANEXO - O campo geomagnético e a sua formulação matemática

A primeira tentativa bem sucedida para a matematização do campo geomagnético deve-se ao grande matemático alemão Johann Carl Friedrich Gauss. O interesse de Gauss pelo geomagnetismo parece ter nascido em 1828 quando numa conferência sobre ciências naturais, realizada em Berlim, conheceu Friedrich Heinrich Alexander von Humboldt. Este grande entusiasta alemão do estudo do campo magnético terrestre mostrou-lhe os instrumentos do seu observatório magnético situado em Berlim, o que parece ter motivado Gauss. Por volta de 1832 já tinha inventado um método para medir a intensidade do um campo magnético em unidades absolutas e, em colaboração com o físico alemão Wilhelm Weber, construiu instrumentos para implementar esse método. Esta colaboração foi mais longe e deu origem à construção e apetrechamento de um observatório magnético em Göttinger, que entrou em funcionamento em 1833, tendo em 1835 Gauss e Weber assumido a responsabilidade pela coordenação das observações diárias. Este observatório, juntamente com muitos outros impulsionados por Humboldt, estiveram na origem da União Magnética de Göttinger que, durante os cinco anos seguintes se expandiu e chegou a englobar os observatórios britânicos de Greenwich e Dublin. Porém, a União Magnética de Göttinger teve uma curta duração e, em 1841, quando começou a entrar em declínio, a responsabilidade da coordenação das observações diárias passou para a Royal Society. Por esta época, e por sugestão de Humboldt, a Royal Society construía observatórios magnéticos situados nas distintas colónias britânicas espalhadas por todos os continentes.

Foi, contudo, em 1839 que Gauss deu ao geomagnetismo a contribuição que definitivamente o faria progredir. A representação matemática do campo magnético da Terra a partir de uma técnica designada de análise harmónica esférica, que mais não é do que uma generalização da análise de Fourier para três dimensões e coordenadas esféricas, foi fundamental. Até então, o estudo do geomagnetismo era essencialmente prático e centrado em trabalho de campo. Predominavam, por isso, as informações mais ou menos sistemáticas sobre a variação diária obtidas através dos muitos observatórios magnéticos espalhados por várias partes do mundo, e também as mais ou menos sistemáticas medições dos diferentes elementos magnéticos efectuados em diversos locais da Terra. Faltava, pois, utilizar toda esta informação numa perspectiva teórica e a partir dela modelar o campo geomagnético. Foi o que Gauss fez utilizando, como já foi dito, a análise harmónica esférica¹. A partir de valores da declinação, da inclinação e da intensidade total interpolados de cartas destes três elementos que cobriam 84 pontos regularmente espaçados na

¹ Posteriormente também viria a ser utilizada na modelação da variação secular e em algumas das variações de curto período.

superfície da Terra, Gauss conseguiu deduzir valores para os primeiros 24 coeficientes da expansão harmónica esférica do campo geomagnético. Conseguiu ainda demonstrar que, de acordo com as incertezas naquela época, o campo magnético principal não tinha fontes externas a partir da superfície da Terra, tornando quantitativa a afirmação feita por William Gilbert, duzentos e muitos anos, antes «a Terra é um enorme íman».

(Barraclough, 1989).

Ao efectuar o tratamento matemático do campo magnético terrestre, Gauss partiu da hipótese de que este seria gerado por um potencial escalar V_m . A confirmação desta hipótese foi obtida por Gauss a partir dos dados experimentais disponíveis que mostravam que, efectivamente, tomando em consideração algumas simplificações, o campo magnético seria dado pela expressão

$$\vec{B} = -(\mu_0) \text{grad } V_m \quad (\text{A.1})$$

Quando Gauss chegou a esta conclusão não seria certamente possível atingir o mesmo resultado por outro caminho; em 1839 James Clerk Maxwell só tinha 8 anos de idade e o seu enorme contributo para o estudo dos fenómenos electromagnéticos - as designadas equações de Maxwell - só seriam apresentadas alguns anos mais tarde, em 1864.

O campo magnético da Terra pode ser estudado recorrendo às equações de Maxwell. Estas equações no SI podem ser escritas da seguinte forma:

1) equações de evolução

$$\text{div } \vec{B} = 0 \text{ ou } \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{A.2})$$

$$\text{rot } \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0} \text{ ou } \nabla \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0} \quad (\text{A.3})$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho \text{ ou } \nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{A.4})$$

$$\text{rot } \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} \text{ ou } \nabla \times \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} \quad (\text{A.5})$$

2) relações constitutivas

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{A.6})$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{A.7})$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (\text{A.8})$$

em que:

\vec{B} - indução magnética (campo magnético);

\vec{D} - deslocamento eléctrico;

\vec{E} - campo eléctrico;

\vec{H} - intensidade do campo magnético;

\vec{J} - densidade de corrente de condução;

ϵ - permissividade eléctrica;

μ - permeabilidade magnética;

ρ - densidade de carga eléctrica;

σ - condutividade eléctrica.

Vamos supor que o campo geomagnético é idêntico ao campo magnético criado por uma esfera magnetizada uniformemente e que a sua origem se situa exclusivamente no interior da Terra. A aceitação desta premissa implica admitir que o campo magnético da Terra é quase-estacionário, isto é, que a sua variação temporal é suficientemente pequena para poderem ser desprezadas correntes de deslocamento, e que não há corrente eléctrica no exterior da superfície da Terra. Nestas condições

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{0}, \text{ pois } \vec{D} = \vec{0}$$

e

$$\vec{J} = \vec{0}$$

Portanto a equação (A.5) transforma-se em

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{0} \quad (\text{A.9})$$

Por outro lado, a condição necessária e suficiente para que um campo vectorial admita um potencial escalar é que o seu rotacional seja igual a zero. Então, podemos afirmar que \vec{H} deriva de um potencial V_m , isto é,

$$\vec{H} = -\text{grad } V_m \quad (\text{A.10})$$

A partir da equação (A.7) e para regiões exteriores à superfície da Terra podemos escrever

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

pois $\mu \approx \mu_0$ ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H.m⁻¹ ou T.m.A⁻¹), o que permite obter a Equação (A.1), ou seja

$$\vec{B} = -(\mu_0) \text{grad } V_m$$

Este resultado corresponde ao esperado e mostra que, como já foi referido, a ideia de Gauss em aplicar a teoria do potencial ao campo geomagnético é perfeitamente válida, introduzindo é claro algumas simplificações.

As simplificações introduzidas facilitam o tratamento matemático do campo magnético da Terra. Se tivéssemos tomado em conta a variação temporal do campo geomagnético, o que equivale a dizer que não desprezávamos as correntes de deslocamento e, conseqüentemente, teríamos de considerar a existência de corrente eléctrica, então

$$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \neq \vec{0}, \text{ pois } \vec{D} \neq \vec{0}$$

e

$$\vec{J} \neq \vec{0}$$

A Equação (A.5) deixa de poder ser simplificada e traduz a existência de um \vec{H} que não

deriva de um potencial ($\text{rot } \vec{H} \neq \vec{0}$), isto é, estamos perante um campo magnético cuja origem não se situa apenas no interior da Terra, mas também no seu exterior. Fica assim inviabilizada a dependência de \vec{H} de um gradiente de uma função escalar V_m e, portanto, \vec{B} também não pode derivar de um potencial escalar. Como consequência deste facto, não se poderia aplicar a teoria do potencial ao estudo do campo geomagnético.

Por outro lado, as simplificações introduzidas são totalmente aceitáveis. Sem recorrer a grandes formalismos matemáticos, podemos mostrar a sua legitimidade, atendendo às condições físicas do fenómeno. Sabe-se que existe uma corrente eléctrica entre a atmosfera e a superfície da Terra, cujo valor da sua densidade, em média, é da ordem dos 10^{-12} A.m⁻². Este valor é extremamente pequeno e, conseqüentemente, o campo magnético por si produzido será de fraca magnitude. Aliás, partindo da lei de Ampère, podemos com relativa facilidade encontrar a sua ordem de grandeza. Começemos por calcular a circulação de \vec{H} ao longo de um perímetro de uma certa área conhecida. Por questões de simplicidade de cálculos podemos considerar uma superfície circular de área unitária, que terá um raio da ordem 10^0 m. Nestas condições, a lei de Ampère

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot \vec{n} \cdot da \quad (\text{A.11})$$

pode ser escrita da seguinte forma:

$$H \cdot 2\pi \cdot r = \mu_0 \cdot J \cdot \pi \cdot r^2 \quad (\text{A.12})$$

ou seja,

$$H = \frac{\mu_0 \cdot J \cdot r}{2} \quad (\text{A.13})$$

Como $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$, vem

$$B = \frac{\mu_0^2 \cdot J \cdot r}{2} \quad (\text{A.14})$$

Substituindo pelos respectivos valores, obtem-se

$$B \approx (4\pi \times 10^{-7})^2 \times 10^{-12} \times 10^0 \approx 10^{-26} \text{ T} \approx 10^{-17} \text{ nT}$$

Este resultado mostra que o valor do campo magnético criado pela corrente que circula entre a atmosfera e o solo é demasiado pequeno para poder ser medido experimentalmente. Deste modo, são perfeitamente legítimas as aproximações efectuadas, pois este resultado deixa bem patente o facto do campo geomagnético ser essencialmente de origem interna.

Uma vez provado que o campo geomagnético se comporta como um campo que deriva de um potencial, podemos partir para a sua matematização, usando o formalismo matemático desenvolvido por Gauss: a análise harmónica esférica. Partindo da Equação (A.1) e da Equação (A.2), obtemos

$$\text{div}(-\mu_0) \text{grad } V_m = 0$$

Como

$$\text{div grad } V_m = \text{lap } V_m$$

e μ_0 é uma constante, então

$$\text{lap } V_m = 0 \tag{A.15}$$

Esta relação, designada de equação de Laplace, é o ponto de partida para a análise harmónica esférica.

O potencial V_m , como acabamos de verificar, satisfaz a equação de Laplace em todos os pontos exteriores à superfície da Terra. Então, para que possamos encontrar uma expressão geral para este potencial, torna-se necessário resolver esta equação às derivadas parciais. Em coordenadas cartesianas a equação de Laplace é escrita da seguinte forma:

$$\text{lap } V_m = \frac{\partial^2 V_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_m}{\partial z^2} = 0 \tag{A.16}$$

Porém, por razões de simetria é conveniente expressar esta equação em termos de coordenadas esféricas (r, θ, ϕ), definidas do seguinte modo (ver Figura A.1):

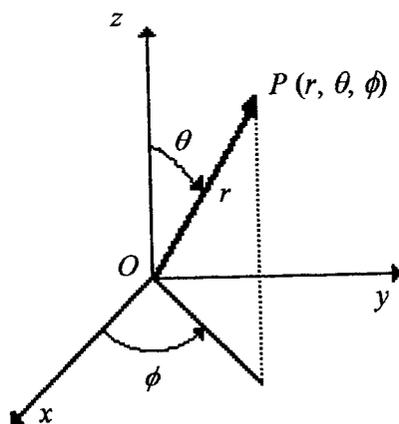


Fig. A.1 - Definição das coordenadas esféricas r , θ , ϕ .

em que:

r é o comprimento do raio vector ou distância do ponto P à origem do referencial - neste caso, a origem do referencial é o centro da Terra e P é o ponto onde se deseja conhecer o potencial;

θ é a colatitude, ângulo entre o raio vector e o eixo Oz (ângulo \widehat{zOP}) - neste caso para que a colatitude seja dada por 90° menos latitude do ponto P , o eixo dos z tem que coincidir com o eixo de rotação da Terra (também se pode escolher o eixo magnético e então a colatitude estará relacionada com a latitude magnética);

ϕ é a longitude, ângulo entre o eixo Ox e a projecção do raio vector no plano \overline{xOy} - nesta caso a longitude é medida a partir de um meridiano de referência (habitualmente o meridiano de Greenwich), isto é, o eixo Ox "atravessa" a superfície da Terra no ponto de intersecção do Equador com o meridiano de referência.

Neste sistema de coordenadas, a equação de Laplace é dada por²:

$$\text{lap } V_m = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V_m}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V_m}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V_m}{\partial \phi^2} = 0 \quad (\text{A.17})$$

² As equações que permitem efectuar a mudança de referencial são:

$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$

Usando o método de separação de variáveis, a solução da equação de Laplace pode ser expressa como um produto de três expressões, que são funções, respectivamente de r , θ e ϕ . A solução é pois da forma:

$$V(r, \theta, \phi) = R(r) \cdot S(\theta, \phi) \quad (\text{A.18})$$

em que

$$S(\theta, \phi) = T(\theta) \cdot L(\phi) \quad (\text{A.19})$$

Por outro lado, sabe-se que

$$R(r) = r^n \text{ ou } \left(\frac{1}{r}\right)^{n+1} \quad (\text{A.20})$$

e que

$$S(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.21})$$

Os termos de $S(\theta, \phi)$ representam conjuntos de uma classe especial de funções, designadas polinómios de Legendre, em que a variável independente θ foi multiplicada pelos termos da função seno e cosseno da variável independente ϕ . $P_n^m(\cos \theta)$ - alguns autores usam $P_n^m(\theta)$ - é a função associada de Legendre, polinómio associado de Legendre ou função esférica, de grau n e ordem m ($m \leq n$) com a normalização de Schmidt, que também é conhecida pela designação de função quase-normalizada de Schmidt. A função $P_n^m(\cos \theta)$ é dada por

$$P_n^m(\cos \theta) = P_{n,m}(\cos \theta) \text{ quando } m = 0 \quad (\text{A.22})$$

$$P_n^m(\cos \theta) = \sqrt{2 \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} P_{n,m}(\cos \theta) \text{ quando } m > 0 \quad (\text{A.23})$$

onde

$$P_{n,m}(\cos \theta) = \frac{(2n)!}{2^n n!(n-m)!} \sin^m \theta \times \left(\cos^{n-m} \theta - \frac{(n-m)(n-m-1)}{2(2n-1)} \times \cos^{n-m-2} \theta + \dots \right) \quad (\text{A.24})$$

Quando $m=0$, $P_n^0(\cos \theta)$ origina as harmónicas de superfície zonal, harmónicas zonais ou apenas zonais, também designadas funções de Legendre, cujos gráficos dividem a esfera em zonas de valores positivos e negativos separados por círculos de latitude. Se $m=n$, as harmónicas esféricas são conhecidas por harmónicas de superfície sectorial, harmónicas sectoriais ou apenas sectoriais e dividem a esfera em sectores de sinal constante delimitados por meridianos. Quando $n > m > 0$, as harmónicas esféricas designam-se por harmónicas esféricas de superfície tesserar, harmónicas tesserais ou apenas tesserais e como o próprio nome indica, dividem a esfera em xadrez onde alterna o sinal positivo e negativo.

Voltemos de novo ao problema da solução da equação de Laplace. Como ela é linear e homogénea, a soma das suas soluções é ainda uma solução, ou seja

$$V_m = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left[r^n (A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi) + \left(\frac{1}{r}\right)^{n+1} (A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi) \right] P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.25})$$

Porém, nos problemas de geofísica é conveniente colocar os coeficientes dimensionalmente uniformes, relacionando r com o raio da Terra a . Deste modo a Equação (A.25) fica:

$$V_m = \frac{1}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left[\left(\frac{r}{a}\right)^n (A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi) + \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} (A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi) \right] P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.26})$$

Por outro lado, é necessário ter em conta que o campo geomagnético não tem apenas origem no interior da Terra. Existe também um pequeno contributo das fontes exteriores à sua superfície. A Equação (A.25) traduz precisamente esse facto ao apresentar duas séries distintas. A primeira é constituída por termos crescentes em r^n , isto é, os termos tornam-se cada vez maiores com o incremento de r . Significa isto que à medida que r aumenta, a proximidade a uma fonte de corrente de um campo externo é cada vez maior. Estes termos são conhecidos pela designação de V_e - termos da fonte exterior da função potencial. A segunda série é constituída por termos em

$(1/r)^{n+1}$ que se tornam cada vez maiores à medida que r vai diminuindo, o que significa que a aproximação a uma fonte de corrente de um campo interno á cada vez maior. Estes termos são conhecidos por V_i - termos da fonte interior da função potencial.

Para traduzir as diferentes contribuições dos termos V_i e V_e , é usual substituir os coeficientes A_n^m e B_n^m pelos coeficientes C_n^m, S_n^m para representar a contribuição de origem interna e pelos coeficientes $C_n^{\prime m}, S_n^{\prime m}$ para representar a contribuição de origem externa. A Equação (A.26) aparece então na forma:

$$V_m = \frac{1}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left\{ \begin{array}{l} \left[C_n^m \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} + C_n^{\prime m} \left(\frac{r}{a} \right)^n \right] \cos m\phi + \\ + \left[S_n^m \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} + S_n^{\prime m} \left(\frac{r}{a} \right)^n \right] \text{sen } m\phi \end{array} \right\} P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.27})$$

Contudo, em geomagnetismo é mais prático usar outros coeficientes definidos do seguinte modo:

$$g_n^{mi} = (\mu_0) \frac{C_n^m}{a^2} \quad (\text{A.28})$$

$$h_n^{mi} = (\mu_0) \frac{S_n^m}{a^2} \quad (\text{A.28})$$

$$g_n^{me} = (\mu_0) \frac{C_n^{\prime m}}{a^2} \quad (\text{A.29})$$

$$h_n^{me} = (\mu_0) \frac{S_n^{\prime m}}{a^2} \quad (\text{A.30})$$

o que transforma a Equação (A.27) em

$$V_m = \frac{a}{(\mu_0)} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left[\begin{array}{l} \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^{mi} \cos m\phi + h_n^{mi} \text{sen } m\phi) + \\ + \left(\frac{r}{a} \right)^n (g_n^{me} \cos m\phi + h_n^{me} \text{sen } m\phi) \end{array} \right] P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.31})$$

A determinação dos coeficientes $C_n^m, S_n^m, C_n'^m$ e $S_n'^m$ pode ser feita a partir da Equação (A.27). Porém, uma vez que V_m não é directamente observável, é necessário recorrer às medidas das componentes Norte (X), Este (Y) e vertical (Z) do campo à superfície da Terra, isto é, quando $r=a$. A partir das relações

$$X = (\mu_0) \frac{1}{r} \left(\frac{\partial V_m}{\partial \theta} \right)_{r=a} \quad (\text{A.32})$$

$$Y = -(\mu_0) \left(\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V_m}{\partial \phi} \right)_{r=a} \quad (\text{A.33})$$

$$Z = (\mu_0) \left(\frac{\partial V_m}{\partial r} \right)_{r=a} \quad (\text{A.34})$$

esses coeficientes podem ser determinados.

Quando Gauss utilizou pela primeira vez esta técnica na análise do campo geomagnético não era conhecida a existência das fontes externas. Por esse facto, ignorou os termos correspondentes ao campo exterior. Hoje, sabe-se que tal não corresponde à verdade e, de facto, existe uma pequena contribuição de origem externa. No entanto, essa contribuição representa habitualmente menos de um por cento, valor que cai dentro da incerteza que acompanha o cálculo dos coeficientes. À superfície da Terra, em dias magneticamente calmos, o campo exterior tem um valor que ronda os 30 nT, o que representa cerca de 10^{-3} do campo total. É evidente que esta contribuição aumenta substancialmente, por exemplo durante as tempestades magnéticas, contudo, ainda hoje, em variadas situações se supõe o campo magnético apenas com origem interna. Como consequência destes factos, é usual escrever a Equação (A.31) da seguinte forma, em que os índices i são excluídos:

$$V_m = \frac{a}{(\mu_0)} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \right] P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.35})$$

Os coeficientes g_n^m e h_n^m desta equação - que correspondem aos coeficientes g_n^{mi} e h_n^{mi} da Equação (A.31) - são conhecidos pela designação de coeficientes de Gauss ou coeficientes harmónicos esféricos. Na Equação (A.35), g e h são coeficientes de amplitude, $\cos(m\phi)$ e $\sin(m\phi)$ são osci-

lações sinusoidais sobre o círculo de latitude e $P_n^m(\cos \theta)$ são oscilações de onda de Legendre ao longo do grande círculo da longitude.

Note-se ainda dois aspectos importantes em relação à Equação (A.35):

1º- quase sempre o termo de grau zero, $n = 0$, não é considerado pois corresponde a um monopólo magnético colocado no interior de esfera (os três termos do 1º grau, $n = 1$, correspondem a um dipólo magnético, os cinco termos do 2º grau, $n = 2$, a um quadripólo magnético, ...);

2º- como é evidente, é impossível calcular um somatório que vai até ao infinito. Por isso, a série das harmónicas tem de ser truncada a partir de um determinado grau. Este grau de truncatura, poderá influenciar os valores dos coeficientes de Gauss se fôr muito baixo. Por outro lado, se fôr demasiado alto os cálculos a efectuar poderão ser trabalhosos e requerem muito tempo. Felizmente hoje existem computadores e *software* adequado para resolver a expressão do potencial magnético até graus bastante elevados.

Tendo em linha de conta estes dois factos, a Equação (A.35) aparece por vezes escrita da forma:

$$V_m = \frac{a}{(\mu_0)} \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left[\left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \right] P_n^m(\cos \theta) \quad (\text{A.36})$$

(Allredge, 1989; Campbell, 1997; Schmitz, 1989; Stacey, 1977; Vestine, 1967)

Após a determinação dos coeficientes de Gauss, a partir de medidas dos elementos magnéticos obtidos em observatórios, satélites ou outras fontes de informação, é possível extrair muitos dados, cujo objectivo primordial é estabelecer modelos que descrevam, como máximo de rigor possível, o comportamento do campo geomagnético. Como já tivémos ocasião de referir, esses modelos vão posteriormente servir de base à elaboração de cartas dos diferentes elementos magnéticos.

LISTA DE REFERÊNCIAS

Albuquerque, Luís de, *As Navegações e a sua Projecção na Ciência e na Cultura*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1987, págs. 23-36, 81-100, 133-148, 149-162.

Albuquerque, Luís de, *A Náutica e a Ciência em Portugal - Notas sobre as Navegações*, 1ª edição, Gradiva, Lisboa, 1989, págs. 7-24, 43-69, 91-99, 101-130.

Albuquerque, Luís de, *A Projecção da Náutica Portuguesa Quinhentista na Europa*, Agrupamento de Estudos de Cartografia Antiga, série separatas LXV, Coimbra, 1972.

Albuquerque, Luís de, *Crónicas de História de Portugal*, 1ª edição, Editorial Presença, Lisboa, 1987, págs. 83-87, 88-92, 112-116, 131-152, 153-156.

Albuquerque, Luís de, *Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses*, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1990, págs. 29-38, 105-148, 149-163, 165-175.

Albuquerque, Luís de, *Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimentos Portugueses*, 2ª Parte, 1ª edição, Vega, Lisboa, 1991, págs. 29-46, 75-91, 93-111, 113-128.

Albuquerque, Luís de, *Estudos de História da Ciência Náutica*, Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa, 1994, págs. 247-267, 513-531, 581-595, 635-670.

Albuquerque, Luís de, *Introdução à História dos Descobrimentos Portugueses, Parte I: Antecedentes das viagens quatrocentistas; Parte III: Os conhecimentos astronómicos e a náutica*, 4ª edição, Publicações Europa-América, Lisboa, 1987, págs. 48-71, 185-293.

Albuquerque, Luís de, *O «Tratado da Agulha de Marear» de João de Lisboa; Reconstituição do Seu Texto, Seguida de Uma Versão Francesa com Anotações*, Centro de Estudos de Cartografia Antiga, série separatas CL, Coimbra, 1982.

Aldredge, Leroy R., Geomagnetic field: elements, *The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Edited by David E. James, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1989, págs. 495-498.

LISTA DE REFERÊNCIAS

Barbosa, António, *Novos Subsídios para a História da Ciência Náutica Portuguesa da Época dos Descobrimentos*, 2ª edição, Porto, 1948.

Barracough, David R., Geomagnetism: historical introduction, *The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Edited by David E. James, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1989, págs. 584-590.

Barreto, Luís Filipe, *Descobrimentos e Renascimento - Formas de Ser e Pensar nos séculos XV e XVI*, 2ª edição, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, Lisboa, 1983, págs. 185-212.

Bensaúde, Joaquim, *L'Astronomie Nautique au Portugal à l'Époque des Grandes Découvertes*, Berna, 1912.

Campbell, Wallace H., *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, New York, 1977, págs. 3-7, 17-19, 39-42.

Carvalho, Rómulo, *História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal no séc. XX - Bibliografia das Obras de Autores Nacionais Publicados durante o séc. XX que se ocuparam das Atividades Científica e Técnica dos Portugueses nos Séculos Anteriores*, Publicação do II Centenário da Academia das Ciências de Lisboa, Lisboa, 1992.

Coutinho, Gago, *A Náutica dos Descobrimentos*, 2 vols., 2ª edição, Agência Geral do Ultramar, Lisboa, 1969.

Cortese, Armando, *Contribution of the Portuguese to Scientific Navigation and Cartography*, Agrupamento de Estudos de Cartografia Antiga, série separatas XCII, Coimbra, 1974.

Costa, A. Fontoura, *A Ciência Náutica dos Portugueses na Época dos Descobrimentos*, Comissão Executiva das Comemorações do Quinto Centenário da Morte do Infante D. Henrique, Lisboa, 1958.

Costa, A. Fontoura, *A Marinharia dos Descobrimentos*, 3ª edição, Agência Geral do Ultramar, Lisboa, 1960.

Costa, Manuel Fernandes, *As Navegações Atlânticas no séc. XV*, 1ª edição, Instituto de Cultura

LISTA DE REFERÊNCIAS

Portuguesa, 1979, págs. 41-63.

Domingues, Francisco Contente, *Colombo e a Política de Sigilo na Historiografia Portuguesa*, Centro de Estudos de História e de Cartografia Antiga, série separatas 232, Lisboa, 1992.

Forbes, A. J., Geomagnetic field: measurement, *The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Edited by David E. James, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1989, págs. 498-499.

Garcia, José Manuel, *Ao Encontro dos Descobrimentos: Temas de História da Expansão*, 1ª edição, Editorial Presença, Lisboa, 1994, págs. 160-165, 174 -177, 276.

Garcia, José Manuel (Organização, Introdução e Notas), *Viagens dos Descobrimentos*, Editorial Presença, Lisboa, 1983, págs. 285-292.

Gilbert, William, *De Magnete - translated by P. Fleury Mottelay*, Dover Publications Inc., New York, 1958.

Harradon, H. D., Some early contributions to the history of geomagnetism - I/II/III/IV/V, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 48, 1943, págs. 3-17, 79-91, 127-130, 197-199, 200-202.

Harradon, H. D., Some early contributions to the history of geomagnetism - VII, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 49, 1944, págs. 185-198.

Harradon, H. D., Some early contributions to the history of geomagnetism - VIII, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 50, 1945, págs. 63-68.

Hooykaas, R., Contexto e razões do surgimento da ciência moderna, *A Abertura do Mundo: Estudos de História dos Descobrimentos Europeus*, organização de Francisco Contente Domingues e Luis Filipe Barreto, 1º volume, 2ª secção, Lisboa, 1986, págs. 165-184.

Hooykaas, R., *Os Descobrimentos e o Humanismo*, Gradiva, Lisboa, 1983.

Kuhn, T. S., *A Tensão Essencial*, Biblioteca de Filosofia Contemporânea, Edições 70, Lisboa,

LISTA DE REFERÊNCIAS

1977, págs. 74-86.

Mitchell, A. Crichton, Chapters in the history of terrestrial magnetism I - on the directive property of a magnet in the earth's field and the origin of the nautical compass, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **37**, 1932, págs. 105-146.

Mitchell, A. Crichton, Chapters in the history of terrestrial magnetism II - the discovery of the magnetic declination, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **42**, 1937, págs. 241-280.

Mitchell, A. Crichton, Chapters in the history of terrestrial magnetism III - The discovery of the magnetic inclination, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **44**, 1939, págs. 77-80.

Mitchell, A. Crichton, Chapters in the history of terrestrial magnetism IV - The development of magnetic science in classical antiquity, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **51**, 1946, págs. 323-351.

Needham, J., *Science and Civilisation in China*, vol. 4, *Physics and Physical Technology, Part 1: Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1962, pág. 229-334.

Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. I, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1968.

Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. II, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1971.

Obras Completas de D. João de Castro edição crítica por Armando Cortesão e Luís de Albuquerque, vol. IV, edição da Academia Internacional da Cultura Portuguesa, Coimbra, 1981.

Obras de Pedro Nunes, vol. I, edição da Academia das Ciências de Lisboa, Lisboa, 1940.

Schmitz, D., Spherical harmonic analysis, *The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Edited by David E. James, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1989, págs. 1217-1219.

Silva, Luciano Pereira da, "A arte de navegar dos Portugueses desde o infante D. Henrique a D.

LISTA DE REFERÊNCIAS

João de Castro” in *Obras Completas*, vol. II, Agência Geral das Colónias, Lisboa, 1943-1946, págs. 123-432.

Stacey, Frank D., *Physics of the Earth*, second edition, John Wiley & Sons, New York, 1977, págs. 211-212, 215, 319.

Tratado del Sphera y del Arte del Marear de Francisco Faleiro, edição em fac-símile de Joaquim Bensaúde, Munique, 1915.

Whitham, K., Geomagnetic field, elements of, *International Dictionary of Geophysics*, vol. 1, General Editor S. K. Runcorn, Pergamon Press, 1967, págs. 614-616.

Vestine, E. H., Geomagnetic field, analysis of, *International Dictionary of Geophysics*, vol. 1, General Editor S. K. Runcorn, Pergamon Press, 1967, págs. 610-611, 613.

Viterbo, Sousa, *Trabalhos Náuticos dos Portugueses Séculos XVI E XVII, Parte I- Marinharia*, reprodução em fac-símile do exemplar com data de 1898 da Biblioteca da Academia das Ciências, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 1988, págs. 102-105, 141, 170, 174-188, 204, 207-220.

