

Náutica e cartografia náutica na origem da ciência moderna

Antônio Vieira Martins

Mestre em Geomática pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Professor de Geodésia e Cartografia do Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil

RESUMO

Este artigo descreve a Náutica e a Cartografia Náutica praticadas nos séculos XV e XVI, época dos grandes descobrimentos portugueses, com o objetivo de mostrar que elas foram atividades científicas precursoras do estabelecimento do marco inicial da ciência moderna no século XVII. Apresenta a linha de raciocínio de Pedro Nunes na identificação dos problemas da Náutica e da Cartografia Náutica, indicando suas idéias-chave para evidenciar que seus procedimentos científicos anteciparam a metodologia científica praticada na solução de problemas a partir do século XVII. Mostra a evolução da Cartografia desde os portulanos à carta de marear, fornecendo ferramental e tecnologia para apoiar os empreendimentos náuticos dos portugueses que resultaram nos grandes descobrimentos.

PALAVRA-CHAVE: CARTOGRAFIA NÁUTICA, NAVEGAÇÃO, DESCOBRIMENTOS PORTUGUESES

ABSTRACT

This article describes the nautical practices and the nautical cartography practiced in XV and XVI centuries, in the great Portuguese discoveries epoch. The aim of this article is to show that those nautical practices and nautical cartography were the start of scientific activities and established the Modern Science in the XVII century. In addition, the article shows Pedro Nunes' methods to identify the nautical and nautical cartography problems, pointing his main ideas to evidence that his scientific procedures anticipated the scientific methodology practiced in the problems solving in earlier XVII century. Furthermore, it shows the scientific cartography evolution since *portulanos* until *carta de marear* in order to give tools and technology to support the Portuguese nautical enterprises which resulted in great discoveries.

KEYWORDS: NAUTICAL CARTOGRAPHY, NAVIGATION, PORTUGUESES DISCOVERIES

ANTECEDENTES

A ciência na Idade Moderna

Historiadores anglo-saxônicos da ciência defendem que a ciência moderna tomou forma na Europa no século XVII, quando os cientistas formuladores de teorias preocupavam-se também com a manufatura de instrumentos precisos. Desta forma, ao realizar medições, um dos objetivos do filósofo natural seria levar em conta, na sua argumentação, a *precisão* das medidas. Galileu e Newton são citados como referências na observância desse procedimento. Os instrumentos científicos modernos transformaram o velho mundo aristotélico e mudaram o aspecto qualitativo da ciência para o quantitativo.

O saber ativo em oposição ao saber contemplativo é uma das características do pensamento moderno. O conhecimento não parte apenas de noções e princípios, mas da própria realidade observada e submetida à experimentação. Da mesma forma, este saber deve retornar ao mundo para transformá-lo. Dá-se a aliança da ciência com a técnica.

Galileu tinha uma oficina: plano inclinado, termômetro, luneta, relógio de água, o que mostra o valor dado por ele à *observação* e em que sentido a ciência caminhava, ou seja, deixava de ser especulativa para se tornar *ativa*. Galileu solicita o auxílio da *técnica* e valoriza a *experiência* e se preocupa com a descrição dos fenômenos.

No final do século XIX dá-se a fragmentação do saber, ou seja: a física investiga o movimento dos corpos; a biologia estuda a natureza dos seres vivos e a química preocupa-se com a transformação das substâncias. Esta divisão ocorreu com os positivistas, cujo principal representante foi Augusto Comte. A partir daí cada ciência se ocupa de um *fragmento de um mundo real* e aperfeiçoa-se o *método científico*, fundado, sobretudo, na *experimentação* e no *matematismo*. Ao se confrontar os resultados da experimentação com a realidade, verifica-se a uniformidade das conclusões. A ciência pretende mostrar como os fenômenos ocorrem, quais as suas relações e, conseqüentemente, como prevê-los.

Por tudo isso, Galileu é considerado um marco no surgimento da ciência moderna. Os historiadores da ciência dizem que ela não é resultado de uma evolução, mas de uma *revolução científica*, de uma *ruptura*, da adoção de uma nova linguagem com a união da *experimentação* com a *Matemática*.

Surge aqui uma reflexão: teria isto ocorrido em outra época? Ao estudar a história dos séculos XV e XVI constatam-se atividades científicas no sentido moderno do termo, que apoiaram as grandes navegações portuguesas. Nelas vê-se que Pedro Nunes está para a Náutica e a Cartografia Náutica como Galileu está para o estudo do movimento e suas experimentações. A que se deve o pouco conhecimento sobre as obras de Pedro Nunes? Poderia ser explicado pela dificuldade na divulgação do conhecimento ao longo dos séculos e por estarem os livros escritos em latim? Por que, raramente, se faz menção a ele na historiografia anglo-saxônica?

Analogicamente a Galileu, Pedro Nunes tinha um laboratório: a superfície terrestre (o

mar), a esfera celeste, astrolábio, quadrante, bússola. Solicitando o auxílio da técnica, valorizou a experiência com a descrição dos fenômenos, e estudou e ensinou aos navegantes como determinar a posição de suas embarcações e que caminhos seguiam no mar.

Portanto, não seria razoável aceitar Pedro Nunes como precursor da ciência moderna, uma vez que ainda inventou instrumentos científicos? Desenvolveu a ciência cartográfica, que visava a dominar o espaço geográfico, com base na Matemática. Aplicou o instrumental e a Cartografia para embasar a Náutica, que, por sua vez, fundamentava-se na Astronomia. Esta reflexão sugere uma volta ao passado.

A VOLTA AO PASSADO

As viagens marítimas portuguesas foram um empreendimento organizado que ainda hoje serve de protótipo para grandes empreendimentos modernos. O planejamento em longo prazo foi de importância capital e assinalou uma grande época para a humanidade. Empreendimentos de navegação anteriores deixaram pouco rastro na história. Os descobrimentos portugueses tiveram como característica principal o inter-relacionamento dos povos da Terra pela sua capacidade de regressar com mercadorias e informações que realimentavam o planejamento de novas viagens.

O cenário da Europa no século XV era de lutas e temores. A Guerra dos Cem Anos e a conquista de Constantinopla pelos turcos, em 1453, praticamente paralisaram a Europa. Portugal, em vivo contraste com os outros países, foi um reino unido em torno do projeto do infante D. Henrique, cuja obstinação e capacidade de organizar revelaram-se essenciais para a primeira grande empresa de descoberta moderna que repercutiu por quatro séculos.

Para realizar aquele empreendimento foi preciso apoiá-lo no tripé recursos financeiros, tecnologia e mão-de-obra especializada. Para garantir os recursos financeiros, uma expedição portuguesa liderada pelo Rei D. João I, pai do Infante D. Henrique,

invadiu Ceuta, em 1415, no norte da África, por ser ali um centro de comércio para o qual caravanas transportavam grande quantidade de ouro. Além disso, em 1420, o infante passa a ser o administrador da Ordem dos Cavaleiros de Cristo. Originária da antiga Ordem dos Templários, a Ordem de Cristo era a mais opulenta e a mais enigmática das ordens militares da Europa medieval. Seu objetivo era “combater os sarracenos e todos os demais infiéis e inimigos da cruz, não só na África, mas em todas as partes do mundo” [Bueno, 1998]. Pelos dois séculos seguintes, todas as expedições ultramarinas dos portugueses partiram sob a bandeira da Ordem de Cristo – tendo como símbolo a Cruz-de-Malta, usada nas velas dos navios lusos – e algumas delas seriam financiadas pelos recursos aparentemente inesgotáveis dessa espécie de sociedade secreta.

Para suprir os recursos tecnológicos e a mão-de-obra especializada, o infante concentra todo o conhecimento de Astronomia, Geografia, Cartografia e Náutica desde Ptolomeu. Atraindo sábios e especialmente os judeus que, desde o século XIV fugiam das perseguições que se desencadeavam na Espanha, D. Henrique fundou a Escola de Sagres, que existiu apenas no sentido filosófico da palavra. O principal assessor de D. Henrique foi Jehuda Cresques, judeu catalão, filho de Abraão Cresques, presumível autor do *Atlas Catalão*, feito em 1375-77. Entretanto, deve-se lembrar que a Cartografia Náutica portuguesa deve ter tido seu desenvolvimento auxiliado pelo genovês Manuel Pessanha, contratado em 1317 por D. Dinis [Aguiar, 2001].

Sagres constituiu-se num centro de Cartografia, navegação e construção naval, concentrando-se ali marinheiros, viajantes e sábios de toda parte. A bússola, como outros instrumentos, foi testada para verificar sua utilidade e levar o navegador mais longe e, depois, trazê-lo de volta. À medida que os navegantes portugueses penetravam no oceano, constatavam a inadequação das embarcações pesadas, usadas no mediterrâneo, com suas velas redondas.

Experiências em construção naval deram origem a um novo tipo de barco, a caravela, especialmente concebida para a natureza da navegação portuguesa: não era um navio de carga, tinha que percorrer longas distâncias em águas desconhecidas e, se necessário, ter grande facilidade de manobra e de navegar contra o vento. A sua carga mais importante na volta era o *conhecimento*, que realimentava as viagens seguintes. Era trazido em pequenos volumes, ou mesmo no cérebro humano.

O seu pequeno calado permitia-lhe explorar águas próximas da costa. As velas, denominadas latinas, permitiam-lhes navegar a 55° do vento contrário, o que permitia menos mudanças de direção na derrota, que para viagens longas reduzia a distância e o tempo em muitas semanas de permanência no mar. Acredita-se que tenha sido inventada no Oriente, na região do Oceano Índico onde imperava o regime de ventos das monções. Seu nome pode ter se derivado de “a la trina” – de três lados – em alusão à forma triangular da vela [Bittencourt, 2003].

Embora em Sagres não tenha sido instalado efetivamente um instituto de investigação nos moldes modernos, juntaram-se, porém, todos os ingredientes essenciais para isso. Foram reunidos livros, cartas marítimas, fabricantes de instrumentos e bússolas, construtores navais, carpinteiros e outros artesãos, tudo e todos para planejar, avaliar e preparar as viagens para os portos distantes e desconhecidos.

Ao descer abaixo do Equador os navegadores deixavam de ver a Estrela Polar, e por isso tiveram de descobrir outra maneira de determinar a latitude pela altura do Sol ao meio-dia. O Rei D. João II, prosseguindo a obra do Infante D. Henrique, falecido em 1469, mandava efetuar viagens de descobrimentos cada vez mais ao sul do Equador, para contornar a África e chegar à Índia. D. João II morreu em 1495, dois anos antes de Vasco da Gama realizar seu sonho. Foi um estadista astucioso, obtendo a soberania da metade do mundo ao firmar o Tratado de Tordesilhas com os reis da Espanha.

DISCUSSÃO

A navegação astronômica

Enquanto as viagens para o sul do Equador se faziam sem dificuldades, o mesmo não acontecia no regresso a Portugal, devido aos ventos contrários. Esta dificuldade manteve-se com o uso da caravela e sua vela latina. Para vencê-la e regressar à Pátria, os portugueses afastaram-se da costa de maneira que a rota tornou-se uma curva conformada com os ventos favoráveis. Essa rota passava pelas proximidades dos Açores e, dali, sem dificuldades, chegava-se ao porto de destino.

Nasceu assim a chamada *volta pelo largo*, que tornaram as viagens mais curtas em tempo e mais cômodas para as tripulações, embora o caminho percorrido fosse mais longo. A volta pelo largo trouxe uma nova dificuldade: não era possível navegar com o apoio costeiro. Foi necessário alterar os métodos de navegação, até então usados, recorrendo aos astros para conseguir a posição do navio. Nasce assim a navegação astronômica.

Usava-se a estrela Polar enquanto se navegava no hemisfério norte e, quando os navios passavam para o sul do Equador, recorria-se ao Sol na sua passagem meridiana.

A medição da altura daqueles astros era feita usando o quadrante, o astrolábio náutico e a balestilha. O astrolábio se constituía de uma escala de madeira com uma escala em graus, um pino central (a alidade) com orifícios nas duas extremidades (as pínulas). Ao se fazer a alidade girar até que os raios-do-sol atravessassem os orifícios das pínulas, o número então iluminado na roda indicava a altura do sol acima do horizonte, permitindo ao piloto calcular a latitude do navio naquele momento. À noite, a altura das estrelas era medida com a balestilha. Esta era constituída de duas réguas, uma horizontal (o virote) com escala em graus e outra vertical (a soalha). A extremidade inferior da soalha era alinhada com o horizonte, enquanto a superior buscava se alinhar com a estrela observada. A posição que a soalha adquiria no virote depois desse alinhamento marcava a altura da estrela em graus.

A INVENÇÃO DO NÔNIO

A principal causa da incerteza na posição ocorria quando a visada não caía num grau exato e era preciso estimar o valor do ângulo. Surge assim o problema: como dar rigor à leitura das frações da menor divisão de uma escala circular (no caso do astrolábio) de um instrumento de medida? Pedro Nunes apresentou, em 1542, na sua obra *De Crepusculis*, uma solução para resolver o problema. Inventava, assim, o *nônio*, em alusão ao Nunes do seu nome.

Entretanto, mesmo aprimorando-se a determinação da posição do navio, ainda restavam problemas: essa posição era marcada nas rudimentares cartas-portulanos, antigos mapas náuticos feitos pelos árabes em peles de carneiro ou pergaminhos.

PEDRO NUNES (1502-1578)

Pedro Nunes aparece na cena da vida lusitana quando a Europa prosperava na crista cultural da "onda" renascentista. Teve toda a sua vida dedicada ao aprimoramento da Náutica e da Cartografia Náutica. Participou na implementação do projeto das grandes navegações iniciado pelo, já falecido, infante D. Henrique. Foi um pensador, um filósofo que aliou a cultura da época com a técnica e o humanismo. Suas concepções teóricas, normalmente, eram incentivadas pelas dúvidas e dificuldades encontradas pelos navegantes no regresso de suas viagens, depois postas em prática e verificadas pelos pilotos. Nasceu em Alcácer do Sal em 1502, faleceu em Coimbra em 1578 – Portugal. Foi médico, cosmógrafo e professor de matemática e astronomia das universidades de Lisboa e Coimbra. Em 1547 foi nomeado Cosmógrafo-mor do Reino, ausentando-se da regência da sua cadeira na universidade, por um período de quatro anos, para se ocupar de tarefas ligadas à ciência da navegação. A abrangência planetária das atividades marítimas portuguesas urgia o refinamento, nas áreas de formação de mão-de-obra especializada e de recursos tecnológicos, estes últimos embasados na ciência. Até o final da Idade Média, a arte de navegar baseava-se,

essencialmente, em regras de caráter prático e empírico, não exigindo do piloto grandes conhecimentos técnicos ou “científicos”.

Com a introdução da navegação astronômica tornou-se necessário realizar alguns cálculos para a obtenção da latitude. Mas mesmo estes não tinham por base concepções matemáticas teóricas. Entretanto, os problemas surgem com a marcação de direções sobre a superfície terrestre e a respectiva representação nas cartas usadas em navegação.

A DERROTA A PERCORRER

Pedro Nunes estudou os dois tipos de derrotas usadas na condução de um navio no mar, a ortodromia e a loxodromia. Estes assuntos são tratados, pormenorizadamente, nas suas obras intituladas *Da Sphera* e *De arte atque ratione navegandi* e no *Tratado em defensam da carta de marear*. Para muitos estudiosos, a *De arte* é não só a sua mais importante obra científica, como também a melhor que se escreveu sobre ciência e arte de navegar até a morte de Pedro Nunes.

Neste artigo procura-se, apenas, averiguar que razões levaram Pedro Nunes a estudar determinados assuntos. Por conseguinte não é exaustivo, em termos náuticos, ou seja, a atenção é centrada em alguns temas que ele abordou. Nos seus textos, encontram-se os fundamentos teóricos que permitem entender as vantagens e os inconvenientes dos dois tipos de derrota acima citados. Um dos assuntos que ele mais estudou foi a representação das linhas de rumo, ou seja, as loxodromias. O problema principal reside no fato de os navios seguirem sobre a superfície terrestre que é aproximadamente esférica, enquanto que a base sobre a qual é registrado o caminho percorrido, a carta Náutica, é uma superfície plana. A planificação daquela superfície esférica não é possível sem que sejam cometidas distorções, sendo algumas delas comentadas por Nunes.

A derrota ortodrômica consiste em navegar sobre um arco de círculo máximo, que é a menor distância entre dois pontos quaisquer da superfície terrestre, considerada esférica. A derrota loxodrômica é aquela que o

navegante segue sobre uma linha que faz um ângulo constante com todos os meridianos. Ambos os processos têm vantagens e inconvenientes. A ortodromia é a distância mais curta, como já foi dito, por conseguinte, é o caminho que pode ser percorrido num menor intervalo de tempo, para uma dada velocidade. Como principais inconvenientes à sua utilização pode-se apontar: a grande complexidade da sua representação nas cartas náuticas e o fato de ser necessário estar sempre alterando o rumo para manter a derrota ortodrômica. Embora, na prática, uma derrota ortodrômica seja conduzida percorrendo pequenos segmentos de loxodromias que se aproximam do arco de círculo máximo.

Quanto à loxodromia, ela implica um aumento da distância a percorrer entre os pontos de partida e de chegada, o qual é mais significativo em longas viagens, como é o caso das transoceânicas. Tem como principal vantagem o fato de ser mais simples a sua representação nas cartas náuticas, pois é representada por uma linha reta. Como consequência, o controle da derrota é feito verificando se o navio segue ou não uma linha reta traçada na carta.

PEDRO NUNES E OS PILOTOS

Os resultados dos estudos de Nunes foram por ele apresentados em ocasiões em que apontava os erros cometidos pelos pilotos e sugeria soluções para saná-los. Dada a experiência extremamente prática dos pilotos, a aceitação das soluções encontrava resistência entre eles. Convém abrir um parêntese para esclarecer que o objetivo de Nunes ao estudar o assunto foi o esclarecimento de algumas dúvidas colocadas por Martim Afonso de Souza ao voltar de sua viagem na costa sul-americana. O estudo foi publicado na sua obra *Tratado sobre certas dúvidas da navegação*. O texto tem finalidade pedagógica e pretende mostrar aos pilotos que eles teriam mais valor profissional se soubessem mais teoria a respeito da prática da navegação astronômica. Para ilustrar isso, reproduz-se de [Almeida, 2002] um texto transcrito do referido Tratado de Nunes onde se percebe sua relação árida com os

pilotos. No texto, ele se refere à latitude e à longitude como *alturas e longuras*:

“Bem sey quam mal sofrem os pilotos que fale na Índia quem nunca foy nella: mas justificam se mal: poy lhes nos sofremos a elles: que cõ sua maa lingoagem e tam barbaros nomes: falem no Sol/ e na Lua/ nas Estrellas/ nos círculos/ movimentos/ e declinações: como nacem/ e como se poem: e a que parte do horizonte estam inclinados: nas alturas e longuras dos lugares do orbe: nos astrolábios: quadrantes: balestilhas e relógios em annos comuns e bisextos: equinócios e solstícios: nam sabendo nada disso: e posto que elles nos digam que navegar he outra cousa per si: sabemos certo que se aproveitam muito disto: e que se algum delles vem a ter a presunçam de saber na esphera: quer logo triunfar dos outros que a nam sabem”.

Depreende-se que a intenção de Nunes, junto aos pilotos e na sua obra *Em defensão da carta de marear*, era cuidar do aprimoramento da mão-de-obra usada na navegação portuguesa daquele tempo.

OS PROBLEMAS E SOLUÇÕES

Os textos de Pedro Nunes são enriquecidos por demonstrações matemáticas, algumas originais, cuja análise transcende o escopo deste artigo. Aqui, o objetivo é apresentar a linha de raciocínio do cosmógrafo, indicando suas idéias-chave para mostrar que o *matematismo* da ciência de navegar e os demais procedimentos têm um paralelo com aqueles que ocorreram em outras áreas da ciência, nos séculos posteriores ao XVII.

Antes de começar a analisar as idéias, convém apresentar algumas dúvidas que Martim Afonso de Souza expôs. Numa delas o piloto declara que constatou o fato de que nos dias dos equinócios, o Sol nascia exatamente no azimute este, onde se dá o cruzamento do horizonte com o Equador e, no entanto, um navio aprofado nessa direção nunca atinge o referido equador.

Pedro Nunes mostra, em seu Tratado, um desenho (Figura 1), no qual representa a projeção do hemisfério terrestre sobre o plano

equatorial. Ela contém algumas linhas loxodrômicas com origem no círculo mais externo, que representa o Equador, e linhas retas, concorrentes no pólo, que representam os meridianos. Aquelas linhas que partem do Equador, sempre com o mesmo rumo, encontram-se todas no pólo. Pedro Nunes enfatiza que as linhas têm a forma do desenho mas nunca atingem o pólo.

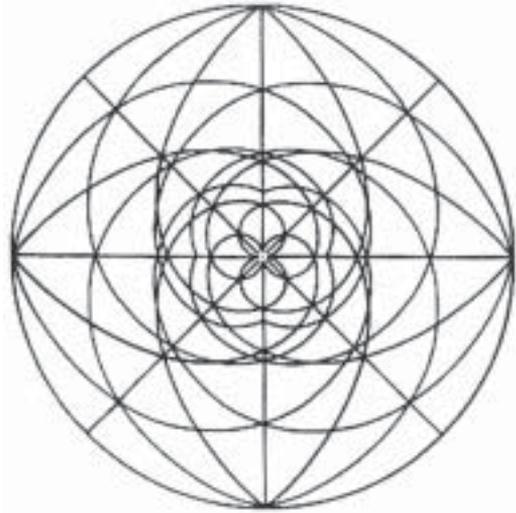


FIGURA 1 - Loxodrômicas
 FONTE: Canas, 2002, p.61.

Nunes demonstra que um círculo máximo da esfera não coincide com a loxodromia, exceto no caso dos meridianos. Para que o navio, na sucessão de planos do horizonte, apontasse sempre para o leste, teria que guinar de modo que permanecesse na direção perpendicular ao meridiano do lugar.

Dada a elevada complexidade de conduzir o navio sobre um arco de círculo máximo, a opção seria conduzi-lo segundo uma linha que fizesse sempre o mesmo ângulo com todos os meridianos, sendo esse ângulo indicado pela agulha do navio.

A CONVERGÊNCIA DOS MERIDIANOS

Como os meridianos na Terra não são paralelos entre si, uma vez que convergem para os pólos, uma linha que os vá cortando sempre com o mesmo ângulo não é uma reta, mas sim uma curva, esclarecia Nunes no seu tratado sobre *certas dúvidas da navegação e em defensão* da carta de marear. A

principal conseqüência deste fato é a estimativa errada da distância percorrida s , em função do rumo V e das latitudes φ e φ' das extremas do trecho percorrido a e B .

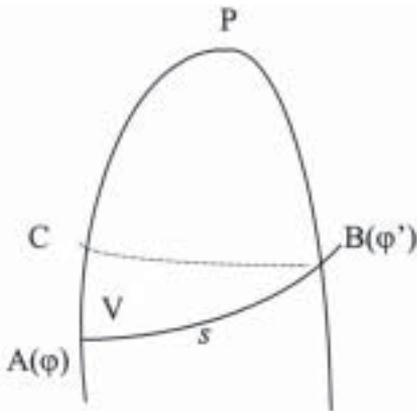


GRÁFICO 1 - Estimativa da distância s percorrida

$$\varphi - \varphi' = s \cos V$$

$$s = (\varphi - \varphi') / \cos V$$

marcada na carta como um segmento de reta, no prolongamento do anterior, que tinha o mesmo rumo V . Na realidade o caminho percorrido era maior porque esta solução fornece a distância ortodrômica, ou seja, AB está sobre um arco de círculo máximo e o navio percorreu uma loxodromia. A posição da embarcação era feita por duas coordenadas: rumo e distância ou rumo e latitude. Porque o problema da determinação da longitude no mar só seria resolvido no século XVIII com a invenção do cronômetro pelo relojoeiro inglês John Harrison.

A RESPOSTA A MARTIM AFONSO

Na sua defesa da carta de marear, Nunes é contundente e evidencia o pouco preparo teórico dos pilotos e dá alguns pareceres que destacam que a carta é um plano, enquanto a Terra era esférica e o fato de se representar os graus dos paralelos iguais aos do Equador: “revela (a carta) a quem navega, para saber o que andou, ou onde está, que uma ilha ou terra firme esteja pintada na carta mais larga do que é, se os graus forem tantos quantos não de ser leste e oeste, porque a mim que faço a conta me fica resguardado saber que estes

graus são na verdade menores que a carta por ser quadrada mostra; e ver quanto menos léguas contém; e isto por táboas de números ou instrumentos, como o quadrante que para isto costume fazer; de sorte que quero concluir: que mais proveito temos da carta por serem os rumos linhas retas eqüidistantes: que prejuízo porque sendo assim fique quadrada: e quem por isso a repreenda não sabe o que diz”.

Na sua obra, Nunes também faz críticas às cartas de navegar usadas no Mediterrâneo. Neste mar, como a navegação praticada era a *navegação estimada*, nunca existiu necessidade de se usar a Astronomia. Entretanto, quando estas cartas foram “estendidas” para o Atlântico, onde se praticava a navegação astronômica, verificou-se que a latitude da maior parte dos lugares mediterrâneos estava errada.

DO PORTULANO À CARTA DE MAREAR

A construção da carta Náutica na percepção de Pedro Nunes deveria atender às necessidades do navegante. A evolução destas cartas usadas em navegação deu-se ao longo de alguns séculos e pode ser dividida em três grandes períodos: antes da Idade Média, séculos XIII – XIV, séculos XV e XVI.

Antes da Idade Média os navegantes conduziam seus barcos junto à costa, registrando as indicações mais úteis, tais como nomes de portos, valores de distância, etc. Sempre que se arriscavam a percorrer derrotas mais afastadas da costa, ou em viagens feitas à noite, procuravam guiar-se pelos pontos cardeais geográficos ou pela posição das estrelas mais significativas, tal como faziam os viajantes terrestres. Assim chegaram aos chamados *portulanos*: textos escritos com informações técnicas úteis dos portos onde ancorassem.

Entre os séculos XIII e XIV, os marinheiros acrescentaram mais elementos aos portulanos: os rumos geográficos, os rumos magnéticos, as latitudes, as longitudes, a distância etc. Se ao longo de uma viagem surgissem motivos imprevistos, ilhas, correntes marítimas, ventos, etc., e o navio fosse arrastado para rumos diferentes daque-

les previstos, os pilotos teriam de *medir* o caminho assim percorrido, bem como *determinar* a respectiva correção necessária a introduzir – conhecida como *toleta de marteloio*. Era calculada por meio de traçados geométricos elementares sem considerar a curvatura da Terra. Registravam as horas de preamar nos dias de lua nova, deduzidas das horas das marés em determinados dias. Este era um elemento auxiliar da navegação, chamado *estabelecimento do porto*. Todos esses elementos eram transportados para *desenhos* chamados *cartas-portulanos*.

A partir do século XV, os navegantes portugueses receberam a herança das cartas-portulanos, lançando-se para o Atlântico e para o Índico. Para atender às necessidades da navegação astronômica foi necessário aperfeiçoar a Cartografia, incluindo nela escalas de latitude a que correspondiam valores iguais para cada grau em toda a sua extensão representada, e inserindo a mesma graduação no Equador. Dessa evolução resultou uma carta onde os meridianos e os paralelos são representados por dois sistemas de retas paralelas, umas segundo a direção dos meridianos e outras segundo os paralelos; portanto perpendiculares entre si. Essa rede quadricular, talvez, foi a razão de chamar-se *carta quadrada* e, para atender à clareza, era assinalada nas bordas da carta. Com o progresso dos portugueses na Náutica, as cartas passam a representar duas escalas: uma de longitudes e outra de latitudes. A carta quadrada, na sua construção, fazia surgir um problema: ela era plana e representava uma superfície esférica. Como resolver este problema? Este problema foi citado por Pedro Nunes acrescentando-o às dúvidas levantadas por Martim Afonso que, ao regressar do Rio da Prata para Lisboa, pretendeu deliberadamente tomar o rumo leste; conservou esse rumo supondo que navegava sobre um círculo máximo perpendicular ao meridiano de partida. Foi com surpresa que verificou, mais tarde, que seguia o paralelo do ponto de saída. Como já foi dito, ao chegar a Lisboa colocou suas dúvidas para Pedro Nunes. Para a solução do problema, sabe-se

que Pedro Nunes chegou à distinção entre a linha de rumo (loxodromia) e a ortodromia.

NASCE A CARTA DE MAREAR

No *Tratado de Hidrografia*, do Padre Francisco da Costa, encontra-se a descrição de como se construía uma carta Náutica e é mostrado como eram desenhados os mapas portugueses da primeira metade do século XVI. Na descrição nota-se que a carta destina-se ao navegante, pois atenta para pormenores que a afastam de uma carta geográfica nos moldes preconizados por Ptolomeu. Ali ele diz:

“Em pergaminho ou papel imperial descreva-se um paralelogramo retângulo, cujo comprimento tenha o dobro da largura, e lancem-se duas linhas em cruz pelo meio, como em centro, ali façam ângulo retos.” Estas linhas representam o Equador e um meridiano. E segue-se: “este meridiano se dividirá para uma e outra parte, começando da equinocial, em 90 partes iguais, que são os graus de cada quarta [...] se lançarão de uma e outra parte da equinocial duas linhas vermelhas [...] representarão os dois trópicos [...] Assim mais, tomando a mesma distância de 23 graus, 31 minutos dos pólos se lançarão outras duas linhas vermelhas paralelas às dos trópicos [...] círculo ártico [...] antártico”. A seguir, manda marcar uma rosa-dos-ventos central e dividir a periferia desse círculo em 32 partes iguais e, tirar do centro dela retas por todos os pontos da divisão. E continua: “o mesmo se fará de cada um dos 32 pontos da divisão, fazendo deles centro e tirando de cada um linhas que atravessem por todos os outros. E assim se terá preparado uma carta universal e arrumada, para nela se lançar todos os mares, costas, praias, enseadas, cabos, ilhas, ilheos, baixos, penedos, com tudo o mais que em semelhantes cartas se costuma apontar”.

A flor-de-lis é colocada no topo de cada círculo para indicar o norte geográfico. Destaca-se que, logo após a marcação do Equador e de um meridiano de referência, se traçam múltiplas linhas de rumo representando-as por linhas retas.

CARTA DE MAREAR NO BANCO DOS RÉUS

Pedro Nunes, em sua obra *Tratado em defensam da carta de marear*, tem como objetivo “desculpar a carta das culpas e erros de que todos geralmente a acusam”. Sua exposição é toda voltada para os problemas reais da carta, cuja causa é a adoção da igualdade dos valores dos graus de meridianos e paralelos.

Entretanto esta não era a única causa. Existiam, ainda, os efeitos da declinação e da inclinação magnéticas, quando os rumos magnéticos eram lançados no desenho. Porém, Nunes considerava como defeito mais relevante da carta a excessiva deformação das superfícies terrestres nelas desenhadas, visto que, como dizia Nunes, as cartas representavam a superfície da Terra como se fosse uma superfície cilíndrica e, por isso, aparecem os paralelos subentendidos por dois meridianos, todos iguais entre si, e as linhas de rumo, excetuando-se os meridianos e paralelos, deformadas e não retas.

No pensamento de Nunes estavam bem claras as condições a satisfazer para que as cartas pudessem ser instrumentos científicos aplicáveis à navegação. Essas condições assim se resumem:

a) representar as linhas de rumo por retas; unir dois pontos A e B por um segmento de reta; ler o ângulo, que é constante, que a linha de rumo faz com os meridianos;

b) conservar os ângulos que as linhas de rumo fazem com os meridianos. Resultava assim que os paralelos e meridianos – que são linhas de rumo – eram representados por dois sistemas de retas paralelas, sendo as dos meridianos perpendiculares às dos paralelos;

c) Nunes recomendava a substituição da carta geral da Terra por uma série de cartas parcelares, por zonas, cuja altura seria maior ou menor segundo o grau de aproximação desejado, tomando em cada zona o seu paralelo médio; tudo isto para evitar a deformação excessiva da superfície terrestre. As cartas parcelares eram reunidas num livro.

O PLANISFÉRIO DE MERCATOR

As cartas parcelares de Nunes tinham o inconveniente de não se ligarem entre si. Isto foi notado e corrigido, em 1569, pelo cartógrafo flamengo Gerardo Mercator (1512-1594) na sua famosa *Carta plana retangular reduzida*. Alguns pesquisadores admitem que Mercator deve ter chegado ao seu planisfério passando do Atlas de Pedro Nunes para uma só carta. Aliás, é o próprio Nunes que parece ter sugerido esta “translação” quando, no seu *Tratado em defensam da carta de marear*, destaca: “Mas melhor seria para escusar todos estes trabalhos, que fizéssemos a carta de muitos quarteirões, de bom compasso grande, nos quais guardaremos a proporção do meridiano ao paralelo do meio, como faz Ptolomeu nas taboas das Províncias.”

Vale ressaltar que o artifício, destacado por Pedro Nunes em seu *Tratado*, é verificado ainda hoje nos serviços hidrográficos na construção de cartas náuticas de pequenas áreas onde se pode desprezar a curvatura da Terra, tal como portos, baías. É conhecido como a “noção do Plano”: conserva-se na carta a proporção existente entre o arco de meridiano e de paralelo médio, tal como ocorre sobre a superfície terrestre.

A SOLUÇÃO DO PROBLEMA DO ERRO DO RUMO NORTE-SUL

Quanto ao problema do erro dos rumos norte-sul, entre locais situados no Equador e em algum paralelo, Nunes sugere uma maneira de corrigir o problema que é a base do cálculo das proporções entre meridianos e paralelos. Propõe que se tome uma linha norte-sul, numa região que haja certeza que este rumo é correto, sugerindo a direção da costa portuguesa. Tomada esta direção como padrão de um meridiano, as distâncias a outros meridianos são fornecidas em *graus de Equador*, com um valor de 17,5 léguas, para cada grau, ou em *graus do paralelo*, do respectivo local que se pretende marcar. Os graus de paralelo eram calculados em função do seno da colatitude ($90^\circ - \varphi$).¹

⁽¹⁾ Na bibliografia portuguesa pesquisada, atribui-se como 5920m o equivalente a uma légua. Em 24/09/1835, uma lei brasileira fixou em 5555,5m a légua marítima e 6600m a légua de sesmaria. (Nota do Autor)

Para ilustrar, Nunes exemplificava com um lugar que se situava na latitude de **40° N**:

17,5 sen50° = 13,5 léguas por grau de paralelo de 40°.

Portanto, sendo 262 léguas o valor da distância entre a costa portuguesa e a Ilha Terceira, nos Açores, o valor em graus de paralelo será obtido dividindo-se 262 por 13,5. E acrescentava: “*será esse o valor a marcar sobre o Equador para definir o ponto onde irá ter um navio que navegue norte-sul, a partir daquela ilha açoriana*”.

Era um cálculo necessário para corrigir os rumos norte-sul nas cartas desenhadas. Não é difícil aceitar que tais cálculos eram complexos para aquela época, levando-se em conta os recursos de cálculo existentes. Para sanar esta dificuldade, mais uma vez se percebe na atuação de Nunes a aliança da ciência com a técnica. Preocupando-se com a utilização prática das coisas que pensava, ele inventou um aparelho simples constituído por um quadrante, cujo limbo exterior era graduado de 0° a 90°. Um dos lados do quadrante era dividido em 17 partes e meia, correspondendo às 17,5 léguas de cada grau de círculo máximo, e o outro lado dividido em cem partes iguais. Fazendo cruzar as duas escalas por uma linha móvel, determinava-se sobre a escala de léguas o valor do grau nessa latitude.

Na realidade, Nunes construiu uma escala de senos, que serviria para as utilizações que esta função pudesse ter. O aparelho não era perfeito, porque a expressão gráfica da função seno, entre 0° e 90° não tem exatamente a forma de um arco de círculo como pressupõe o aparelho, mas não lhe tira a utilidade de fornecer com rapidez e simplicidade os valores aproximados.

A ORIGEM DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

O problema da carta de marear é causado devido ao fato de ser construída mantendo os meridianos paralelos entre si, não considerando a diferença de tamanho dos paralelos, sobre a superfície da Terra, ao

representá-los com igual tamanho sobre a carta. Na carta, na projeção de Mercator, os paralelos da Terra vão sofrendo, progressivamente, um aumento de tamanho à medida que se afastam do Equador, como se pode observar na Figura 7 adiante.

A solução deste problema, por Nunes, tem passado despercebida a muitos estudiosos e tem grande semelhança com a solução encontrada por Mercator, alguns anos mais tarde. Como já foi dito, Mercator concebeu uma representação da Terra numa superfície plana, mantendo os meridianos paralelos entre si, e suprimindo o problema da diferença de tamanho dos paralelos, aumentando progressivamente o tamanho dos graus dos meridianos, a partir do Equador para os pólos. Esta solução permanece até os dias de hoje nas cartas náuticas, permitindo traçar sobre elas rumos, que são linhas retas, representando as loxodromias.

Mercator não definiu a solução matemática do problema, ao que parece limitou-se ao desenho do mapa traçando cada paralelo com uma determinada distância em relação ao paralelo anterior. Contudo, é fácil entender que se os comprimentos correspondentes a um grau de paralelo vão diminuindo na razão direta do co-seno da latitude do lugar, a proporcionalidade entre os graus dos meridianos e dos paralelos será mantida, se o valor do grau do meridiano for aumentado na razão inversa desse co-seno.²

Entretanto, não foi esta a solução de Nunes. Ele percebeu que o erro do rumo norte-sul não era significativo em latitudes baixas, crescendo rapidamente quando a região se afastava do Equador. Isto ficava bem claro quando ele examinava a tabela de senos e via como esse valor obrigava a alterar o valor do grau de cada paralelo. Por exemplo, para 20° de latitude, o fator multiplicativo de 17,5 léguas era cerca de 0,9397, ou seja, os graus seriam cerca de 16,5 léguas; mas se passar para 30°, já serão 15 léguas; e em 40° passam a ser 13,4 léguas. Com certeza, Nunes notou este fe-

² Esse aumento do valor do grau do meridiano é o fundamento da *latitude crescida* ou *latitude isométrica*.

nômeno porque ele se torna óbvio com o uso do quadrante de senos que ele inventou. Assim aconselhava que até os 18° de latitude norte ou sul a carta poderia ser desenhada com “*todo los graos iguais aos do meridiano*”; nas restantes partes do globo a carta deveria ser feita em “*quarteyrões de bom compasso grande: nos quaes guardemos há proporção do meridiano ao paralelo do meo [...] porque assi ficariam todas as longuras alturas³ e rotas no certo ao menos nam auera erro notauel: e trazersea a carta em liuro*” [Canas,2002].

Ao alterar pelo cálculo o valor do comprimento do grau de paralelo, em termos gráficos equivaleria à diminuição da distância entre os meridianos a serem representados. Portanto, a solução das *latitudes crescidas* de Mercator tem aqui uma correspondente, com *longitudes decrescidas*. Pode-se dizer que as duas soluções são isomorfas.

Alguns historiadores da ciência supõem que Mercator tenha tido acesso à solução de Nunes, uma vez que ela foi estudada e discutida por toda a Europa do século XVI.

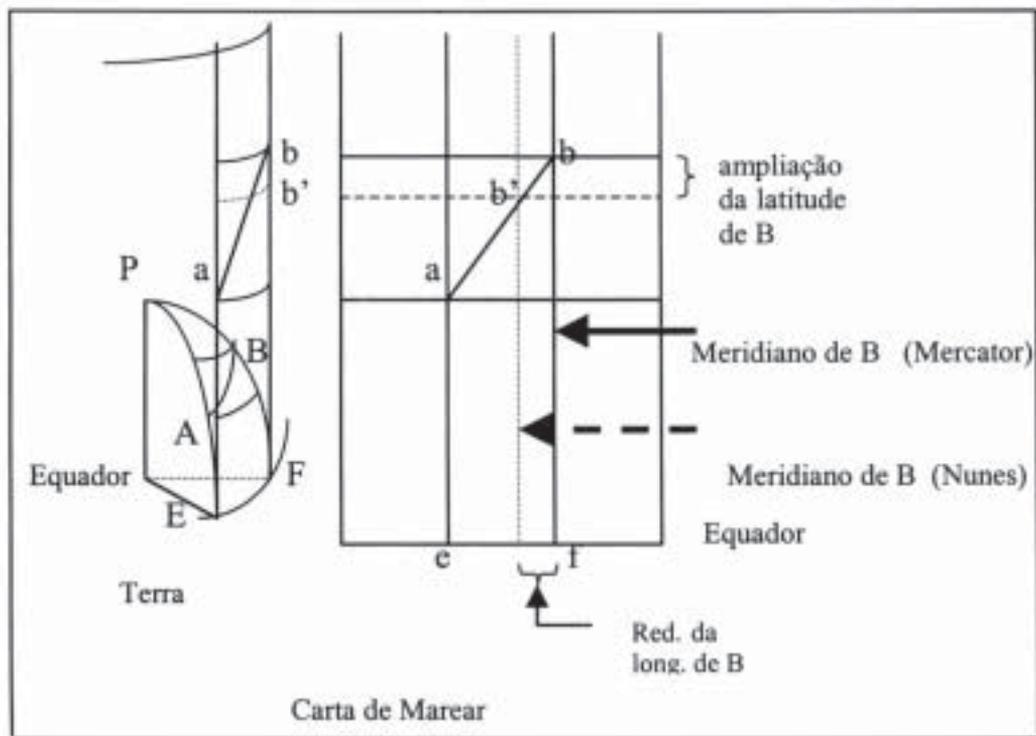


GRÁFICO 2 - Deformação causada na carta de marear ao se adotar o arco de paralelo de A com o mesmo tamanho do arco de equador EF

A figura anterior mostra a linha de rumo AB sobre a superfície da Terra. As linhas tracejadas representam a imagem do paralelo de B, ou seja, o paralelo b'e a imagem do meridiano de B, ambas as linhas são elementos da carta de marear. Na figura fica evidente o isomorfismo das duas soluções: quer se reduzindo a longitude de B, na solução de Nunes, quer se ampliando a latitude de B, na solução de Mercator o rumo da linha AB não se altera.

A Figura 4, a seguir, procura ilustrar como Mercator teria elaborado seu planisfério a partir dos elementos extraídos dos Tratados de Pedro Nunes. Mantendo um mesmo afastamento

⁽³⁾ Vale lembrar que os termos longura e altura são associados a longitude e latitude, respectivamente. Também é digno de nota a sua preocupação em adotar o grau de paralelo na latitude média, um artifício ainda usado nos dias de hoje para reduzir a deformação da projeção cilíndrica.

entre os meridianos sucessivos a, b, etc, simétricos em relação a um meridiano de referência, cada paralelo seria desenhado, a partir do equador, em relação ao paralelo médio do quarteirão imediatamente anterior.

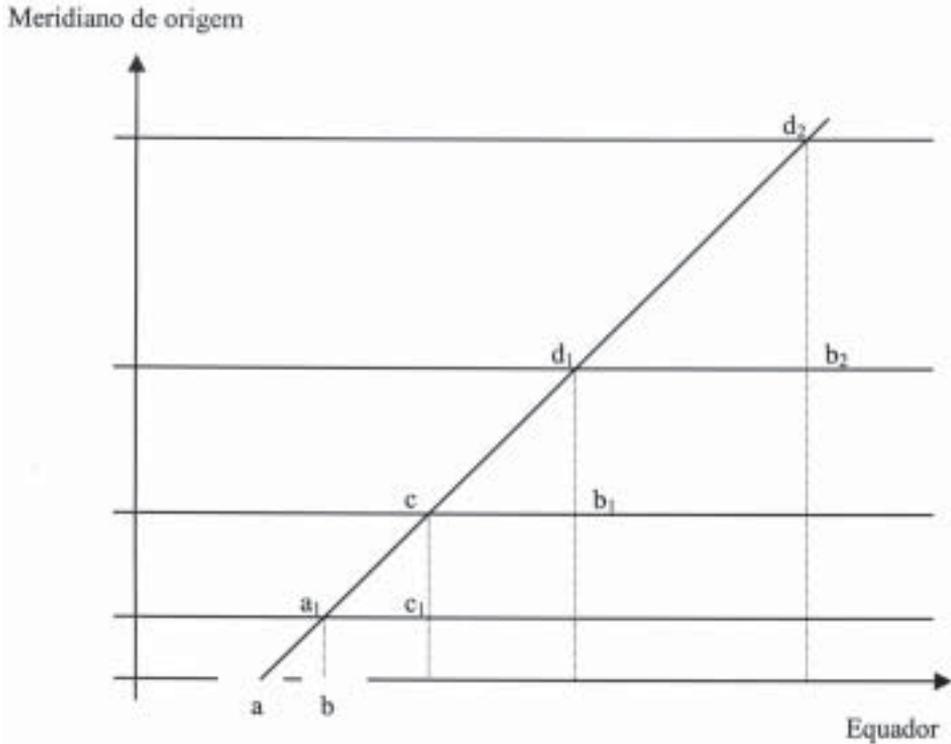


GRÁFICO 3 – Planisfério de Mercator

A ampliação dos sucessivos lados das cartas parcelares ou quarteirões seria calculada com auxílio das tábuas de Nunes, onde BC representa, sobre a Terra, a amplitude de cada quarteirão em latitude, da seguinte forma:

$$ba_1 = \frac{BC * 17,5}{\cos \varphi_1}$$

$$c_1c = \frac{BC * 17,5}{\cos \varphi_2}$$

$$b_1d_1 = \frac{BC * 17,5}{\cos \varphi_3}$$

$$b_2d_2 = \frac{BC * 17,5}{\cos \varphi_4}$$

A soma de todos os arcos de meridiano, desde o Equador até uma latitude j_n , seria a distância entre o Equador e aquele paralelo, na carta:

$$ba_1 + c_1c + b_1d_1 + b_2d_2 + \dots b_n d_n = BC * 17,5 \left(\frac{1}{\cos \varphi_1} + \frac{1}{\cos \varphi_2} + \frac{1}{\cos \varphi_3} + \dots + \frac{1}{\cos \varphi_n} \right)$$

Newton, em 1776, descobre o cálculo infinitesimal e integral, o que tornou possível, em 1822, Gauss traduzir a lei da projeção de Mercator em linguagem moderna. Considerando cada um dos lados dos quarteirões como um infinitésimo dy e seu correspondente sobre a superfície da Terra $Rd\varphi$, ou seja, análogo a $(BC) \times 17,5$. A soma da quantidade infinita de infinitésimos é conhecida como integração, e desta maneira a equação acima pode ser escrita na forma abaixo:

$$\int_0^y dy = R \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{\cos \varphi}$$

Integrando, vem:

$$y = R \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

A latitude crescida y , Gauss denominou *variável de Mercator*, em homenagem ao ilustre cartógrafo flamengo. Pode-se perceber, assim, uma progressividade na idéia de Pedro Nunes iniciada na carta de marear, continuada por Mercator e, finalmente, sintetizada por Gauss.

CONCLUSÃO

Sobre as obras de Pedro Nunes, dentre as conclusões que se pode tirar é que Pedro Nunes quis fazer progredir a ciência nas áreas da Náutica e da Cartografia Náutica embasando-se na Astronomia, na Matemática, na Física, na Hidrografia. Suas obras têm coerência pedagógica na medida em que contribuem para a formação dos navegantes engajados nas grandes navegações. Pedro Nunes era cosmógrafo desde 1529 e tinha consciência que a formação dos responsáveis pela navegação deveria ser tal que eles entendessem os fenômenos que observavam e se servissem deles para melhor conduzir os navios. Deveriam saber o que era a esfera celeste e o movimento sobre a esfera terrestre, em suma Pedro Nunes achava que a Náutica exigia um conhecimento que transcendia o que a intuição mostrava.

Sobre a carta de marear propriamente dita, a conclusão que se pode tirar é que a carta quadrada tinha um problema grave, que até o final do século XVI nunca chegou a ser resolvido. A situação criada pelo fato dos graus de meridiano serem todos iguais entre si aos do Equador provocava dois tipos de erro, explicados por Pedro Nunes nas duas situações extremas: nas medidas leste-oeste e norte-sul. No primeiro caso, em situações afastadas do Equador, o respeito das distâncias implicava o desrespeito pela medida em graus, causando a impossibilidade do uso dos valores das longitudes; e os rumos norte-sul da carta não estariam corretos, porque as terras marcadas fora da região equatorial não estavam sobre o seu meridiano verdadeiro. Para os rumos situados entre as duas situações extremas, ou seja, leste-oeste e norte-sul, subsistiam erros de um tipo e de outro. A rota seria corrigida ao se reduzir as longitudes, daí o nome *longitudes decrescidas*. Pedro Nunes era de opinião que quem usa as cartas deve saber interpretar aqueles erros e efetuar os cálculos para corrigi-los, com auxílio de instrumento adequado. Mercator, mais tarde, soluciona este problema de maneira gráfica, alargando o espaçamento dos paralelos, entre si, de um valor tanto maior quanto mais afastados estejam do Equador, daí o nome *latitudes crescidas*. Ao serem desvinculadas da visão ptolomaica da geografia, as cartas de marear transformaram-se em *cartas hidrográficas*.⁴

Sobre a invenção dos instrumentos, conclui-se que Pedro Nunes os criava à medida que os problemas se apresentavam. Sua construção baseava-se em princípios da Astronomia e/ou da Matemática. É uma constante em sua obra a *matematismo* do espaço geográfico, traduzindo por curvas teóricas as trajetórias dos navios sobre a superfície da Terra. As posições destes, em suas trajetórias reais, eram realizadas por observações aos astros cujos resultados comprovavam se os navios tinham percorrido ou não a linha de rumo traçado na carta. Ele aliou a ciência com a técnica e fez com que os fru-

⁴ As cartas geográficas, na visão de Ptolomeu, foram compiladas em 1502 formando o *Atlas de Cantino*, que era uma carta-portulano. A partir da viagem de Vasco da Gama às Índias, as cartas-portulanos foram perdendo a visão ptolomaica.

tos dessa aliança aumentassem a segurança da navegação.

Pode-se concluir que na época dos grandes descobrimentos não era praticada uma ciência puramente contemplativa, como alguns historiadores da ciência apregoam que se realizava nos séculos anteriores ao século XVII. Entretanto, os puristas da história das ciências dizem que falta rigor à linguagem de Pedro Nunes e que seu pensamento é insuficientemente abstrato para embasar seus estudos ao nível da verdadeira teoria. Consideram que só se é verdadeiramente cientista quando se deixa idéias claramente explicitadas e bem confirmadas, que possam ser retomadas por outros. Ora, se ele não pode ser considerado um cientista, por que não se poderia aceitá-lo como um precursor da ciência moderna? Einstein dizia que "a ciência, considerada como um projeto que se realiza progressivamente, é como qualquer outro empreendimento humano, condicionada subjetiva e psicologicamente" [Thuillier, 1994]. Desta maneira, como ela nasce, como evolui e como se segmenta não pode ser estabelecido de uma maneira rígida. O desejo de um cientista é produzir teorias válidas para o fenômeno que estuda e, ao fazer ciência, não se resume em consultar fatos, acumular dados às cegas e procurar, de uma maneira mecânica, extrair deles teorias boas. O bom cientista é objetivo: escuta a voz dos fatos e se desembaraça de leis e teorias que sejam recusadas por ocasião dos testes experimentais.

Percebe-se, assim, uma semelhança entre o cientista e o engenheiro. Entretanto a ação de um cientista é diferente da do engenheiro. Este, pragmático, procura solução para os problemas práticos que lhe são apresentados, sem que tenha que entrar em controvérsias filosóficas ou epistemológicas. Desta maneira, pode-se concluir que Pedro Nunes mais se assemelha a um engenheiro moderno do que a um cientista. Ao se examinar a vida e a obra de Pedro Nunes, conclui-se que foi com espírito de engenheiro que ele elaborou seus estudos sobre a navegação ortodrômica e loxodrômica, entre outros.

Ao afirmar que a ciência é subjetiva e um projeto progressivo, Einstein mostra que, em certa época, algo é considerado teoria, mas,

com o passar do tempo, torna-se um fato. Por exemplo, a afirmação de que a Terra é esférica (ou quase esférica) teve de início status de teoria. Depois a teoria foi confirmada e, em nossa época, imagens captadas por satélites mostram literalmente a esfericidade (ou quase esfericidade) de nosso planeta. Para nós não se trata mais de teoria, é um fato. A ciência ocidental não caiu do céu. Ela foi elaborada aos poucos, bem devagar, sem que esse processo possa ser resumido por fórmulas simples. Na história, a revolução científica do início do século XVII é freqüentemente apresentada como um triunfo repentino do intelecto humano. E por que essas maravilhosas descobertas foram feitas na Europa? Os gregos e os árabes, entre outros, já haviam desenvolvido noções e esquemas do tipo científico.

Para que as brilhantes teorias de Galileu e Newton pudessem se desenvolver, as noções de tempo e de espaço já deviam ter adquirido um certo rigor. É claro que filósofos e homens da ciência participaram da elaboração desses conceitos. Mas a tarefa já lhes fora enormemente facilitada pelos que desempenharam o papel de engenheiros. Então, pode-se concluir que, ao criar alguns fundamentos para o desenvolvimento de técnicas de representação do espaço geográfico, Pedro Nunes contribuiu para a evolução da ciência medieval no sentido da ciência moderna. Ou seja, a idéia da representação do espaço geográfico curvo sobre uma superfície plana, por quarterões, que seguida, mais tarde em 1569, por Mercator e, confirmada por Gauss, em 1822, usando os recursos do cálculo diferencial e integral, mede a contribuição de Pedro Nunes na ciência moderna. É evidente que ele não dominava, sob sua forma perfeita, as teorias e as leis dessa ciência. Em contrapartida pode-se tentar ver se a inteligência técnica dele contribuiu para engendrar a inteligência científica. Em outras palavras: é possível discernir concretamente nas obras de Pedro Nunes a maturação de uma atitude metodológica na explicitação de novos problemas de Náutica e Cartografia Náutica.

Sem ser pretensioso, neste artigo se sugere uma discussão com o propósito de aceitar Pedro Nunes como um dos precursores

da ciência moderna, quando, desde o século XV, na Península Ibérica, se estabeleceu a Escola de Sagres, congregando cientistas judeus, cristãos e muçulmanos, para tornar real uma das maiores epopéias planetárias da humanidade. Entretanto, sabe-se que a ciência que embasa a tecnologia, não discute a realidade, isto é, o que é a natureza. Já se disse que a filosofia da ciência moderna não encontra em Pedro Nunes contribuições, mas certamente a arte e a técnica de navegar, calcadas no domínio do espaço, muito tem a agradecer aos conhecimentos dos navegantes portugueses.

FONTES

BIBLIOGRAFICAS

- AGUDO, F. R. Dias. *A Academia das Ciências de Lisboa e as edições de Pedro Nunes*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- AGUILAR, Teixeira de et alli. *A Marinha na Investigação Científica do Mar*. Lisboa, Instituto Hidrográfico, 2001.
- ALBUQUERQUE, Luís. *Pedro Nunes e os homens do mar do seu tempo*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- ALMEIDA, Onésimo Teotônio de Almeida. *Sobre a cooperação entre cientistas e navegadores*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- ARANHA, Maria Lúcia de Arruda. *Filosofando: introdução à filosofia*, São Paulo. Moderna, 1989.
- BITTENCOURT, Armando de Senna. A Grande Aventura de Pero de Covilhã. *Revista do Clube Naval*, Rio de Janeiro, n.327, p. 48-53, 2003.
- BOORSTIN, Daniel J. *Os Descobridores*. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1989.
- BUENO, Eduardo. *A Viagem do Descobrimento*, Rio de Janeiro, Objetiva, 1998.
- CANAS, António José Duarte Costa. *Pedro Nunes e as Linhas de Rumo*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- DOMINGUES, Francisco Contente. *Fernando Oliveira crítico de Pedro Nunes*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- GONÇALVES, António Manuel. *A Náutica no Roteiro de Lisboa a Goa (1538)*, de D. João de Castro: *inovações e continuidade*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- LEITÃO, Henrique. *Sobre a difusão europeia da obra de Pedro Nunes*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- MATOS, Luis Jorge Semedo de. *Em defesa da carta de marear*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- REIS, António Estácio. *Os instrumentos de medida de Pedro Nunes*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.
- SILVA, Luciano Pereira da. *Os dois Doutores Pedro Nunes*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.

TARRIO, Ana Maria S. *Do humanista Pedro Nunes*. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimentos Portugueses, 2002.

THUILLIER, Pierre. *De Arquimedes a Einstein – A face oculta da invenção científica*. Rio de Janeiro, Zahar Editor, 1994.

VENTURA, Manuel Sousa. *Vida e obra de Pedro Nunes*. Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, Portugal, Livraria Bertrand, 1985.