



Aplicação De Software Livre De Análise Cartométrica Em Cartografia Moderna Portuguesa

ÂNGELA MATOS PITÉ

Trabalho de Projecto apresentado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, vertente de Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizado sob a orientação científica do professor Rui Pedro Julião

Para a minha avó Ângela Matos (in memoriam),

E para o meu avô Almerindo Matos

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, queria agradecer ao meu orientador, o professor Rui Pedro Julião, pela sua disponibilidade, e pelas sugestões e recomendações muito oportunas no desenrolar do Trabalho de Projeto. Seguidamente gostaria de agradecer à minha família por todo o apoio prestado, principalmente na fase final de conclusão do trabalho. Em relação a uma fase mais inicial, gostaria de agradecer aos elementos do Laboratório de Humanidades Digitais (Instituto de História Contemporânea) aquando da minha passagem por lá, Daniel Alves e Danielle Sanches, por terem feito com que este fosse um trabalho mais digital. Também no decorrer do trabalho, e partindo do curso Erasmus + “Geonatura: Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Socioambientais”, agradecer às duas importantes amizades aí estabelecidas, nas pessoas de Callie Wentling e Veronica Figueiredo, pelo incentivo e troca de ideias. Por último, mas claro não menos importante, queria agradecer ao núcleo da FCSH, que se manteve sempre presente e muito apoiante, seja de forma online ou presencial, e de que fazem parte Edgar Teles, Filipe Soares, Mauro Costa e Rute Mendes.

APLICAÇÃO DE SOFTWARE LIVRE DE ANÁLISE CARTOMÉTRICA EM CARTOGRAFIA MODERNA PORTUGUESA

ÂNGELA MATOS PITÉ

RESUMO

PALAVRAS-CHAVE: cartométrica, cartas náuticas, MapAnalyst, história da cartografia, cartografia moderna portuguesa

O presente estudo pretende aplicar um software livre e de código aberto que foi criado para analisar as características planimétricas e geométricas de mapas antigos – MapAnalyst (disponível em MapAnalyst.org - versão 1.3) em várias Cartas Náuticas de autores portugueses da época Moderna. Após a georreferenciação das Cartas disponíveis digitalmente o programa permite construir redes de distorção, vetores de deslocação, e linhas de valores iguais de escala e rotação delimitadas espacialmente; e desta forma aferir a exatidão geométrica e a distorção na elaboração dos mapas. Este exame permitirá também compará-los entre si de modo a perspetivar uma certa evolução na construção cartográfica e no próprio conhecimento geográfico dos espaços representados. Com esta abordagem pretende-se igualmente explorar a adequação destas técnicas para a análise de Cartografia Histórica e o seu potencial no estudo deste estilo cartográfico.

**APPLICATION OF FREE CARTOMETRIC ANALYSIS SOFTWARE IN MODERN
PORTUGUESE CARTOGRAPHY**

ÂNGELA MATOS PITÉ

ABSTRACT

KEYWORDS: cartometric, nautical charts, MapAnalyst, history of cartography, Modern Portuguese cartography

This study aims to apply a free and open-source software that was created to analyse the planimetric and geometric features of old maps - MapAnalyst (available at MapAnalyst.org - version 1.3) in several nautical charts of Portuguese authors of the modern era. After georeferencing the digitally available charts, the program allows to build distortion grids, displacement vectors, and spatially limited lines of equal scale and rotation values; and thus to assess the geometric accuracy and distortion in map making. This examination will also allow to compare them with each other in order to perceive a certain evolution in cartographic construction and in the geographic knowledge of the spaces represented. With this approach it is also intended to explore the suitability of these techniques for the analysis of Historical Cartography and its potential in the study of this cartographic style.

ÍNDICE

Introdução	1
Capítulo I: Cartografia náutica portuguesa de época Moderna	2
Capítulo II: Tecnologias de Informação Geográfica e análise planimétrica de cartografia antiga	26
Capítulo III: Estudo cartométrico das cartas náuticas através do MapAnalyst.....	42
III. 1. Carta náutica anónima de Modena de c. 1471	43
III. 2. Carta náutica de Pedro Reinel de c. 1492	46
III. 3. Carta náutica de Pedro Reinel de c. 1504	50
III. 4. Carta náutica de Lopo Homem de 1550	54
III. 5. Carta náutica atribuída a Jorge Reinel de c. 1550	58
III. 6. Carta náutica de Sebastião Lopes de 1558	62
III. 7. Carta náutica de João Teixeira Albernaz de c. 1620 – 1640	65
III. 8. Carta náutica atribuída a João Teixeira Albernaz de c. 1640	70
Capítulo IV: Discussão dos Resultados	73
Conclusão	78
Bibliografia	80
Lista de Figuras	85
Anexo I: Imagens das cartas náuticas analisadas	87

INTRODUÇÃO

Os mapas não só são o reflexo dos conhecimentos geográficos da época, como refletem a ideologia contemporânea e os interesses geopolíticos de um determinado tempo, podendo mesmo ser adulterados no seu processo de produção para servir propósitos específicos. Outra componente igualmente presente nos mapas é o seu valor estético, assim como a decoração e ilustrações que incorporam, típicas de cada época e escola cartográfica.

Nas décadas mais recentes o uso de mapas antigos como fontes de investigação histórica tem aumentado, seja devido ao aumento da disponibilidade de imagens de mapas antigos em formato digital, ou aos avanços tecnológicos registados, inclusive no caso das Tecnologias de Informação Geográfica, ou também a uma maior disseminação do uso de Sistemas de Informação Geográfica. A partir do estudo de mapas antigos é igualmente possível retirar outras informações geográfico-históricas (como por exemplo, a identificação de toponímia antiga), e as visualizações das distorções ajudam a avaliar a exatidão das informações geográficas previamente a estas serem integradas noutros estudos.

A natureza frágil dos mapas requer cuidados especiais para seu armazenamento, preservação, disseminação e uso, o que também motivou um número crescente de instituições a digitalizar a sua herança cartográfica, uma vez que o mapa digital não se degrada fisicamente, é facilmente acessível por download digital, e seu conteúdo pode ser analisado e interpretado múltiplas vezes através de ferramentas digitais.

Desde a primeira metade do séc. XX têm sido desenvolvidas várias técnicas de análise e visualização da exatidão planimétrica de mapas antigos, que vieram a ganhar um maior relevo com o uso de sistemas computacionais modernos. Porém, até há pouco tempo, os softwares disponíveis para historiadores focados em mapas antigos possuíam alguns inconvenientes pois não eram facilmente acessíveis, eram parcialmente baseados em software SIG dispendioso, não podiam ser facilmente melhorados ou não tinham um interface de fácil utilização (Jenny e Hurni; 2011).

O objetivo do presente trabalho de Projeto é a aplicação da análise disponível no software livre e de código aberto – MapAnalyst – existente em www.mapanalyst.org (versão 1.3) numa seleção de mapas portugueses de época Moderna. Após a georreferenciação dos mapas antigos disponíveis em formato digital o programa permite construir redes de distorção, vetores de deslocamento, isolinhas de escala e rotação (delimitadas espacialmente); e desta forma aferir a exatidão geométrica e a distorção na elaboração dos mapas. A partir da análise desses resultados outro objetivo será assim o de responder às questões de conceção desses mapas, encontrando evidências científicas que estejam na sua origem, e que possam desse modo demonstrar a evolução da área. Outra componente será a verificação de diferentes estudos de análise cartométrica semelhantes que se possam também adaptar à análise dessa cartografia. Irá se proceder, ao mesmo tempo, à interpretação do processo de análise cartométrica efetuada pelo software, tentando explorar a adequação destas técnicas nos estudos de Cartografia Antiga e as possibilidades de análises decorrentes que se mostrem mais adequadas.

O MapAnalyst é, assim, um programa em formato java criado para analisar as características planimétricas e geométricas de mapas antigos, que posteriormente a ser efetuada a georreferenciação do mapa, permite elaborar redes de distorção, vetores de deslocamento e isolinhas de escala e rotação, e ainda determina a escala, ângulo de rotação e outros indicadores estatísticos referentes ao mapa antigo. Desta forma, na primeira fase da sua aplicação é feita a identificação de pontos de controlo (ou seja, georreferenciação) de um mapa antigo e de um mapa correspondente que é usado como referência. O programa foi desenvolvido em 2005 por Bernhard Jenny e Adrian Weber na ETH Zurique (Institute of Cartography and Geoinformation) e tem sido atualizado por Bernhard Jenny que atualmente trabalha na Monash University em Melbourne.

O método que utiliza, conforme é descrito em Jenny *et al* (2007), baseia-se numa série de transformações geométricas que convertem pontos de controlo de um mapa de referência atual para o sistema de coordenadas de um mapa antigo. Com base nesses pontos convertidos a exatidão planimétrica e geodésica do mapa antigo é

analisada computacionalmente e são geradas várias visualizações das deformações espaciais.

Este programa fornece assim ferramentas interativas (permitindo igualmente determinar o sistema de projeção quando desconhecido), entre as quais se incluem vários tipos de transformações, e integra igualmente o OpenStreetMap (a partir da plataforma online que se encontra em openstreetmap.org) como um mapa de referência atual pronto a usar. De acordo com os seus autores, como é indicado em Jenny *et al* (2007), o software MapAnalyst foi, assim, criado com ênfase num interface de fácil utilização de modo a permitir a investigadores sem conhecimentos prévios na área a capacidade de analisar sem dificuldade a geometria interna de mapas antigos.

Segundo as reações à sua criação, o MapAnalyst e o método que utiliza foram bem recebidos entre historiadores, historiadores de mapas e geógrafos, e tem sido usado em variados estudos, tendo sido revisto na revista *Cartographica* em 2007 e considerado "um ótimo software para analisar mapas antigos e que será de esperar que o MapAnalyst seja uma adição bem-vinda aos desktops de historiadores de mapas em todo o lado", segundo Raymond (2007).

A Cartografia Antiga a analisar no âmbito deste estudo será de época Moderna (que se estende sensivelmente entre os séculos XV e XVIII), e que se pode caracterizar por uma evolução dos conhecimentos sobre o mundo e uma crescente aproximação entre as diversas partes do globo, que teve início pelas viagens de exploração marítimas ibéricas (desde a primeira metade do século XV) e se principiou ao longo da costa norte ocidental de África.

Esta atividade teve influência e repercussões na técnica de Cartografia da época, a qual verificou um avanço nesse período, devido ao desenvolvimento de conhecimentos do espaço geográfico, da Astronomia e das técnicas de navegação, contribuindo por sua vez igualmente para o progresso das viagens exploratórias (Alegria *et al*; 2012).

Neste âmbito, verifica-se também a existência de uma tipologia específica dentro da produção cartográfica da época – as Cartas Náuticas, que teriam existido desde o século XIII, embora se focassem mais na área do Mediterrâneo. As Cartas Náuticas apresentam características marcadamente específicas como a representação

mais rigorosa da costa, contendo pouca representação ou nenhuma de elementos geográficos no interior dos continentes. Teriam sido elaboradas a partir de informações recolhidas na navegação, nomeadamente a orientação magnética (denominada de rumos da agulha), as distâncias estimadas, em função do tempo e velocidade de navegação, e também as latitudes observadas astronomicamente, e não teriam em conta a adoção de uma projeção cartográfica apropriada para a área geográfica representada (Gaspar e Leitão; 2018). Apresentam também normalmente uma sobreposição de uma rede de linhas de rumo, a representação de elementos importantes para a navegação e a presença de uma série de topónimos de pontos costeiros. Devido a estas características serviram assim como instrumentos de navegação e refletem as técnicas de navegação da época.

O conjunto de estudo para esta análise foi, pois, selecionado a partir de um grupo de Cartas Náuticas que se mostraram as mais adequadas para esta análise, tanto devido à área geográfica que abrangem, como por poderem ter base em anteriores ou poderem ser considerados como marcos importantes nas evoluções técnicas portuguesas da época. Foram, assim, definidas 8 Cartas Náuticas de modo a abranger um período cronológico suficiente e verificar a evolução das técnicas e dos conhecimentos adquiridos neste tempo, com uma área geográfica que engloba as linhas de costa do Atlântico (principalmente Norte) e ainda parte do Mediterrâneo e do Mar do Norte. Os seus autores terão tido origem portuguesa ou trabalhado em Portugal, e abrangem uma cronologia de produção entre os séculos XV e XVII.

Têm como requisitos necessários para serem incorporadas neste Trabalho de Projeto o facto de se encontrarem em repositório digital, serem de acesso livre, e terem igualmente uma boa resolução.

O conjunto inicial incluirá assim as seguintes Cartas Náuticas:

- Carta Náutica anónima de Modena de c. 1471
- Carta Náutica de Pedro Reinel de c. 1492
- Carta Náutica de Pedro Reinel de c. 1504
- Carta Náutica de Lopo Homem de 1550

- Carta Náutica atribuída a Jorge Reinel de c. 1550
- Carta Náutica de Sebastião Lopes de 1558
- Carta Náutica de João Teixeira Albernaz de c. 1620 – 1640
- Carta Náutica atribuída a João Teixeira Albernaz de c. 1640

A Metodologia a aplicar consistirá, numa primeira etapa após a escolha da cartografia, na sua georreferenciação, e na análise cartométrica segundo as diferentes variáveis, optando por escolher as formas mais apropriada para cada caso específico, tendo em vista as questões que se querem responder. Procurar-se-á efetuar assim uma análise global e comparativa entre os diferentes mapas analisados (seguindo também uma ordem cronológica) e procurando retirar conclusões acerca das formas da criação de cada mapa.

Ao mesmo tempo, será efetuada uma análise bibliográfica e de estudos históricos semelhantes para enquadrar os objetos de estudo no contexto da época e dos conhecimentos técnicos que deram origem a esta série cartográfica específica, com qualidades e características próprias.

Similarmente ira-se proceder à análise do funcionamento do algoritmo do programa, e à sua conceção, tendo como base a análise de bibliografia sobre o tema, assim como noutros estudos com utilização deste software, de modo a interpretar o modo de funcionamento do programa e a sua adaptabilidade ao estudo da cartografia em questão e de outra tipologia.

Como output final será realizada uma sistematização dos resultados obtidos num Story Maps, uma ferramenta online da ESRI, incluída no conjunto de ferramentas que fazem parte do ArGIS Online (www.storymaps.arcgis.com).

Para a condução desta análise é de realçar os trabalhos de investigação recentes desenvolvidos por Joaquim Alves Gaspar e Henrique Leitão do CIUHCT-FCUL (Gaspar e Leitão; 2018/2019) sobre a geometria específica de Cartas Náuticas. Acerca das teorias relativas à conceção geométrica das Cartas Náuticas é descrito que as informações recolhidas na navegação seriam posteriormente transferidas diretamente

para o desenho de um mapa plano sem considerarem que foram medidas na superfície esférica da Terra. Por outro lado, as medidas seriam representadas na única escala de latitudes e uma barra de distâncias (escala de léguas ou milhas) para todo o mapa, e consideravam igualmente que os meridianos e paralelos eram representados como linhas retas perpendiculares entre si. Estas suposições resultariam assim, segundo os autores, numa rede quadrada de meridianos e paralelos sem o uso de uma projeção específica, ao contrário da aplicação de uma “Projeção Equirectangular” que tinha sido defendida anteriormente por vários autores.

De facto, registam-se certos problemas na representação do espaço geográfico nas Cartas Náuticas, que segundo estudos recentes são atribuídos à impossibilidade de determinar a longitude no mar na época e ao efeito da declinação magnética, que tem uma distribuição geográfica desigual e teve alterações ao longo do tempo.

Segundo algumas fontes contemporâneas das Cartas Náuticas em questão, estes problemas foram também percecionados na época, sem terem contudo avançado com uma solução, como são os casos do *Tratado em defensam da carta de marear* do português Pedro Nunes de 1537 e do *Certaine Errors in Navigation* do inglês Edward Wright de 1599. Pedro Nunes teria sido o primeiro a notar a incompatibilidade entre a geometria das Carta Náuticas e a representação que tentavam efetuar, defendendo então que os navegadores deveriam confiar nas direções e distâncias prescritas e que teriam sido anteriormente confirmadas pela navegação.

Para os estudos relaciona dos com a História da cartografia antiga portuguesa há que referir, além da obra geral da História da Cartografia a nível mundial – *The History of Cartography* – em quatro volumes sob direção de J. Harley e D. Woodward (1987), os trabalhos realizados por Armando Cortesão e Avelino Teixeira da Mota, em especial a compilação em seis volumes da cartografia portuguesa do século XV até ao século XVII – *Portugaliae Monumenta Cartografica* (1960, mas com edição em *fac-simile* e revista de 1987). Outros autores relevantes serão nomeadamente Armando Cortesão (1935), Jaime Cortesão, com o seu capítulo na História de Portugal sob direção de Damião Peres (1932), e mais recentemente há a destacar por exemplo as obras de Maria Helena Dias e Henrique Ferreira Botelho (1998) e a de Maria Fernanda

Alegria, Suzanne Daveau, João Carlos Garcia e Francesco Relaño (2012) – *História da Cartografia Portuguesa (séculos XV-XVII)*.

Entre os estudos de análise cartométrica de cartografia antiga destaca-se maioritariamente a publicação de artigos, salientando para esta análise os relativos a métodos de comparação de mapas antigos realizados por W. R. Tobler (1966 e 1994), D. F. Andrews (1974), C. Boutoura e E. Livieratos (1986); os que analisam as características geométricas de cartografia antiga de M.J. Blakemore e J. Harley (1980), E. Livieratos (2006) e A. T. Weiss (2013); assim como alguns mais recentes relacionados com as Cartas Náuticas e a sua geometria específica desenvolvidos por J. A. Gaspar (2007 e 2010), e J. A. Gaspar e H. Leitão (2018 e 2019).

Como resultados esperados do Trabalho de Projeto incluem-se, portanto, a interpretação das distorções na elaboração das Cartas Náuticas e a verificação das evoluções técnicas no conjunto estudado; assim como a análise da estrutura de funcionamento do software e a avaliação da sua adaptação no estudo da Cartografia selecionada com indicação das melhores opções de análise dentro do software. Por outro lado, será feita uma tentativa de identificar as melhores metodologias ou programas de TIG para estudar a geometria interna das Cartas Náuticas Portuguesas de época Moderna, e por fim, será realizada uma sistematização visual num StoryMaps disponível online com os principais resultados, mostrando as evidências da evolução tecnológica dos materiais analisados.

O 1º capítulo começa por analisar o contexto de surgimento e evolução da cartografia náutica portuguesa na época Moderna, e os aspetos técnicos ligados à forma como seriam elaboradas e utilizadas no apoio à navegação. Segue-se um capítulo relacionado com o uso das Tecnologias de Informação Geográfica na análise planimétrica de cartografia antiga, sendo descrito o método do MapAnalyst. Segue-se então a análise das várias cartas náuticas portuguesas escolhidas, e a discussão dos resultados obtidos, finalizando-se com o capítulo da conclusão, em que é debatida também a eficácia do software para o estudo desta tipologia cartográfica específica.

CARTOGRAFIA NÁUTICA PORTUGUESA DE ÉPOCA MODERNA

Um facto inerente aos mapas é o de construírem representações “ajustadas” da realidade, englobando uma combinação específica de características físicas ou outras, visíveis ou não, efetuada de acordo com um objetivo de representação e uma determinada escala. Desta forma, as Cartas Náuticas constituem uma determinada forma de mapa, especialmente criado de modo a apoiar a navegação marítima, e referem, assim, informação terrestre ou marítima que assegure uma eficiente e segura navegação como a forma da costa, locais relevantes, profundidade ou características do fundo, *etc.* (Gaspar; 2013).

A Cartografia pode, ao mesmo tempo, não só representar o conhecimento geográfico de uma época, como enquadrar ideologia e diferentes interesses geopolíticos, contendo igualmente um valor estético, em que figuram decorações e ilustrações típicas de diferentes épocas e escolas cartográficas.

Em português não se encontra uma diferença nas expressões de ‘mapa’ e ‘carta’, sendo que a palavra ‘mapa’ deverá ter origem medieval e era utilizada para designar reproduções “terrestres”. A partir do séc. XIV os mapas passariam também a ser conhecidos por ‘cartas’ (e nomeadamente ‘cartas de marear’) para uso em navegação, termo que abrangeria outras formas de representação¹.

Embora com grandes melhorias na informação contida nas cartas náuticas, desde que as primeiras foram construídas, para apoiar a navegação no Mediterrâneo, os princípios fundamentais sobre as quais elas se apoiam mantiveram-se constantes.

De acordo com estudos recentes, a que se chamaria de navegação científica europeia pode ter-se desenvolvido a partir do século XIII, após a introdução da bússola marítima e do sistema decimal (além do uso da sonda), sendo que a construção das primeiras cartas náuticas, as quais se denominam “cartas-portulano”, deve ter-se seguido naturalmente. O seu nome deriva de poderem ser consideradas realmente

¹ Em Portugal, ‘carta’ é usado em mapas para apoiar a navegação (as náuticas e aeronáuticas) ou topográficas; enquanto a expressão ‘chart’ em inglês é usada em cartas náuticas e aeronáuticas. (Gaspar; 2013)

uma lista de portos, consistindo assim numa “expressão gráfica da informação de rumos e distâncias entre lugares registada pelos pilotos nos seus roteiros na época [os ‘portulanos’]” (Gaspar; 2013).²

Contrariamente à restante cartografia sua contemporânea, mais tradicionais, e que geralmente representavam o mundo conhecido de uma forma esquemática e simbólica, as “cartas-portulano” eram realizadas com outros objetivos e escala, e apresentavam uma precisão admirável, tendo em consideração também a época, os meios e instrumentos disponíveis.

Para tal terá também tido influência o significativo desenvolvimento do comércio na Europa nos séculos XIII e XIV, sendo que Portugal pela sua localização geográfica terá sido um importante ponto de contacto das rotas entre as diferentes regiões do Norte e Sul do continente europeu.

No início do século XV, a navegação e cartografia ibéricas eram baseadas maioritariamente nesta “arte de navegar” no Mediterrâneo, de que se destacam as escolas cartográficas genovense e maiorquina, a origem de vários dos exemplares de “carta-portulano” mais conhecidos.

Neste início das viagens de exploração ibéricas no Norte de África, há quem indique que o Infante D. Henrique terá procurado se rodear de pessoas com experiência no mar e reunir informações sobre África e o Oceano Atlântico enquanto acompanhava essa exploração do Norte de África. Há evidências históricas que sugerem que nesse âmbito terá alistado os serviços de um fabricante de “cartas-portulano” conhecido, chamado Mestre Jácome, para divulgar os seus métodos cartográficos, embora sem confirmação concreta. Existe assim uma influência mediterrânica na cartografia náutica portuguesa desse tempo, e que segundo Alegria *et al* (2012) pode ser comprovada pela ligação estilística entre as de tradição maiorquina e as cartas náuticas de origem portuguesa mais antigas de que há conhecimento, como o caso da carta náutica de Jorge de Aguiar datada de 1492.

² Por sua vez, a fonte histórica mais antiga onde a construção das cartas-portulano é mencionada é o códice “Liber de existência riveriarum” de cerca de 1200, onde há menção da recolha desses dados pelos pilotos.



Figura 1 - Carta náutica de Jorge de Aguiar de 1492 (Beinecke Rare Book and Manuscript Library, University of Yale)

Os autores (Alegria *et al*; 2012) relatam que, conseqüentemente, o surgimento de uma cartografia náutica portuguesa é caracterizado por representar geograficamente uma área mais extensa além do Mediterrâneo, e que, também por não existirem evidências precisas, terá tido base num conjunto cultural variado e heterogêneo.

Desse modo, através dos instrumentos disponíveis, de entre os quais se incluía a carta náutica, a forma de navegação estruturava-se essencialmente no cálculo da distância percorrida, com base na velocidade que atingiam que era estimada pelos pilotos, e à determinação da sua posição, em função do rumo “da agulha” – bússola marítima – e da distância percorrida. Essa estimacão podia ser feita visualmente sobre a carta, utilizando a escala de distâncias em milhas e a malha de linhas de rumo que irradiavam de certos pontos, característica destes exemplares cartográficos. Este método ficou conhecido por “ponto de estimativa” ou “ponto de fantasia”, numa referência clara a uma certa dubiedade na sua estipulação (Gaspar; 2013).³

³ Para saberem os avanços e recuos ao longo de um caminho por um rumo estabelecido foram concebidas as “regra de marteloio”, uma técnica matemática veneziana de orientação, baseada no uso da denominada “toleta de marteloio” – tabela trigonométrica com valores previamente calculados.

Os “novos” lugares eram, por sua vez, incorporados nas cartas náuticas através dos dados de direções e distâncias que os ligavam a outros lugares, como na prática da navegação; porém havendo a impossibilidade de conservar, num plano, todas as direções e distâncias que são registadas sobre uma superfície esférica, numa escala constante, verificar-se-á, deste modo, a existência de uma incoerência geométrica. Essa transferência das informações diretamente para a carta era feita não pela ignorância da esfericidade da Terra por cartógrafos e pilotos, mas por tratar-se de uma consequência dos métodos de posicionamento da navegação. Desta forma, este método geraria, portanto, uma geometria específica e complexa, cujas representações geográficas estariam supostamente muito dependentes de como os lugares eram registados, e das rotas utilizadas, sendo os mapas elaborados de forma incremental tendo um ponto central como a origem.

Em termos atuais, este tipo de cartografia foi, assim, realizado com a suposição de que a superfície da Terra poderia ser representada localmente por um plano tangente, onde os ângulos e distâncias curvos eram aproximados pelas medidas correspondentes no plano (Gaspar; 2013).

Para áreas mais circunscritas, como o Mediterrâneo, as distorções seriam relativamente menores e poderiam até ser ignoradas, sobretudo tendo em conta a imprecisão ainda decorrente do método de navegação, que não ampliaria essa deformação geométrica.

Há ainda que ter em conta que se perpetuavam ainda algumas teorias inexatas e infundadas que poderiam comprometer uma análise diferente desta questão da representação da forma terrestre. Assim, de acordo com Maria Alegria (1998), no século XV, a evolução destas representações cartográficas ficaria assinalada por três acontecimentos que teriam diferentes efeitos nas suas características: a “redescoberta” da *Geographia* de Ptolomeu do século II; o início das viagens exploratórias marítimas ibéricas; e a invenção da imprensa que expandiria a divulgação de novos olhares sobre o Mundo, de diferentes formas e ritmos nos outros mapas impressos em gravuras.

Uma das obras mais importantes de Ptolomeu – *Geographia* – de 8 volumes, engloba uma série de coordenadas geográficas do mundo conhecida na época do

Império Romano, e que terá também sido baseada em trabalhos do geógrafo Marinus de Tiro. Os mapas apresentados, de época posterior a Ptolomeu, parecem bastante deformados, uma vez que os dados registados tinham muitos erros, principalmente nas zonas exteriores ao Império Romano. Após a sua “redescoberta”, no início da época do Renascimento, Ptolomeu tinha, portanto, uma autoridade indiscutível, como é provado pelas várias edições da *Geographia* (5 desde 1475 até 1490, sendo a 1ª com mapas de 1477), o que faria com que alguns dos seus pressupostos da elaboração de mapas continuassem a ser tidos como normas.

Seria durante este período inicial das viagens exploratórias no Norte de África que as incertas notícias, por exemplo, sobre os Açores dariam lugar ao “descobrimento” efetivo das ilhas. Para alguns autores, acontecimentos deste tipo e o avanço das viagens ao longo da costa teriam que ser registados em cartas padrão pelas autoridades portuguesas, que deveriam ser regularmente atualizadas.

Em relação a fontes documentais que refiram a elaboração de mapas portugueses, as primeiras encontradas enquadram-se no contexto da expedição ao Cabo Bojador. Um alvará emitido em Penela pelo príncipe Pedro em outubro de 1443 (quando ainda atuava como regente do jovem rei Afonso V), testemunha a falta de conhecimento da região e da forma em grande medida errada de representação dessa zona mais meridional na cartografia contemporânea, acrescentando que, por esse motivo, o infante D. Henrique teria enviado vários navios de modo a efetuarem uma “carta de marear” da área.⁴

Com o contínuo avanço de navegações exploratórias no Atlântico para Sul, Gil Eanes em 1434, dobrou o Cabo Bojador, culminando assim catorze anos de tentativas, em que estiveram envolvidos diversos navegadores, também segundo orientações de Infante D. Henrique, e que deverão ser um início do contínuo processo de atualização cartográfica portuguesa (Alegria *et al*; 2012)

⁴ Essas mesmas indicações encontram-se também na “Crónica dos feitos da Guiné” do cronista Gomes Eanes de Zurara (de 1453, com emendas após 1460), em que refere que teria pedido novas cartas náuticas, mas com indicações de profundidade de águas e bancos de areia (o que poderá ser pouco plausível nessa fase segundo alguns autores) (Alegria *et al*; 2012).

Nesta época, os métodos de navegação ainda não estavam totalmente adaptados às viagens oceânicas, pelo que navegavam, quanto possível, à vista da costa ou a curta distância desta, sendo que a ausência de referências visuais fazia com que fosse mais difícil de estipular a conjeturável posição do navio, aliada à necessidade de ajuste constante do rumo para se adaptar à direção do vento.

Nessa região da costa africana existiam vários perigos à navegação, como recifes longe da costa, além dos ventos alíseos, de nordeste, e da corrente das Canárias na direção sudoeste, que auxiliavam o progresso para Sul mas que tornavam o regresso, por sua vez, muito mais difícil. Decorrente disso foi criada uma nova rota desde cerca de 1445, afastando as embarcações da costa e evitando estes fatores, com um percurso que iria até perto do Mar dos Sargaços, e procurando-se aí a latitude dos Açores, a qual viria a ser conhecida como a “volta da Guiné” ou “volta do Mar Largo”.

Por outro lado, através de desenvolvimento técnicos, inclusive do maior conhecimento do regime de ventos e correntes, a inclusão, por volta de 1450, das caravelas – embarcações capazes de progredir mais eficazmente contra o vento, as viagens de regresso ficaram mais facilitadas.

Com os novos métodos astronómicos de navegação que estavam a ser desenvolvidos, estas dificuldades seriam também mais facilitadas. Numa primeira etapa, o recurso a estes métodos seria denominado de “navegação por altura-distância”, segundo o qual se media a altura da Estrela Polar com o quadrante em locais da costa conhecidos, na sua passagem meridional, a qual seria registada, e que possibilitava a determinação da distância Norte-Sul a esses locais, fazendo com pudessem regressar a esses lugares sem dificuldade.⁵

Acompanhando o avanço da exploração da costa ocidental africana ao mesmo tempo que se iam aprimorando estes sistemas, o início da náutica astronómica portuguesa fundamentou-se na sistemática medição da altura da estrela Polar, e de outras estrelas, nas passagens meridionais, e que era comparada com a altura a que

⁵ Esta metodologia tem a menção mais antiga conhecida num relato oral de autoria atribuída a Diogo Gomes, que teria sido transcrito para latim por Martin Behaim em cerca de 1460, em que se menciona o uso de um quadrante para calcular e registar a altura da Estrela Polar acima do horizonte, próximo da ilha de Santiago, no arquipélago de Cabo Verde (Gaspar; 2013).

essa estrela chegaria em Lisboa, ficando os pilotos com uma ideia aproximada das léguas a navegar, num meridiano, para se atingir o paralelo que passava por Lisboa.

Posteriormente seria também usada a medição da altura meridiana do Sol, através do uso do astrolábio, ao se adaptar e simplificar processos utilizados nas observações terrestres por astrónomos e cosmógrafos já em época medieval, e que viria por sua vez permitir a determinação direta da latitude na navegação tanto de noite como de dia.

No decorrer destes anos, seria efetuado um levantamento contínuo das altitudes das áreas costeiras a conhecer, numa empreitada que parece ter-se iniciado em 1485, com um levantamento astronómico de toda a Guiné, que teria sido ordenado pelo rei D. João II, em que estiveram envolvidos vários cosmógrafos e hidrógrafos portugueses (deixando uma obra importante, que se pode reconstituir através do “Esmeraldo de Situ Orbis” de Duarte Pacheco Pereira de 1506, mantido em segredo na época).

Por outro lado, devido à diferente configuração do céu noturno no hemisfério Sul, tentaram também regimentar o Cruzeiro do Sul para poderem estimar à noite a latitude, tendo essa tarefa sido realizada em 1507 por Pêro Anes e João de Lisboa, que viriam a escolher a estrela “Crucis” ou “Crux”, ou estrela do Pé do Cruzeiro como se chamava, de modo a estimarem a latitude na passagem meridiana superior.

Similarmente, seria assim alterado o método de orientação com a integração da latitude do lugar, que passaria a ser denominado “ponto de esquadria” e em que a posição era estabelecida fazendo a intersecção do paralelo da latitude observada (através de uma linha horizontal) com a linha de rumo ou, caso este fosse próximo de 90º (Este) ou de 270º (Oeste), com um arco que registava a distância percorrida.

Enquanto no método do “ponto de fantasia”, a latitude e a longitude poderiam ser alteradas por eventuais erros de rumo, relativamente ao método do “ponto de esquadria” somente a longitude poderia ser afetada. Assim, se não existissem quaisquer erros no rumo, distância estimada ou latitude o “ponto de fantasia” seria coincidente com o “ponto de esquadria”, mas tal era muito difícil de se verificar,

devendo-se esse facto sobretudo aos efeitos da declinação magnética e aos desacertos nas estimativas das distâncias.

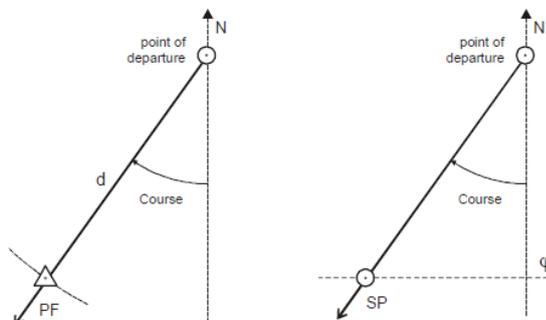


Figura 2 - Ponto de fantasia (à esquerda) e ponto de esquadria (à direita) (ϕ é a latitude), retirado de Gaspar; 2010

Por estes três fatores serem recorrentemente divergentes foi criado um conjunto de regras para conciliar melhor o “ponto de fantasia” com os dados decorrentes da latitude, o qual seria designado por “Emendas do ponto de fantasia”, e segundo o qual, na maioria das vezes, a latitude devia prevalecer sobre os outros fatores aquando do cálculo da posição, embora podendo deter pesos diferentes⁶.

Com a introdução do ponto de esquadria, surgiria então o “Regimento das Léguas”. Mais uma vez, tratava-se de resolver um triângulo retângulo, neste caso, o triângulo formado por um segmento orientado segundo o rumo da embarcação, correspondente a uma variação de latitude de um grau, por um arco de meridiano contendo o ponto inicial e por um arco de paralelo contendo o ponto final.

Por um outro prisma, há ainda que ter em conta que uma elaboração de uma carta náutica com informações de navegação não teria somente repercussões devido a essa incoerência geométrica, mas também devido aos efeitos da declinação magnética (*ie.*, o ângulo, num certo lugar e momento, entre a direção do Norte geográfico e a direção do Norte magnético dada pela bússola), que não tem uma distribuição espacial

⁶ A mais antiga descrição destas emendas conhecida atualmente é a do cosmógrafo-mor Manuel Pimentel, na sua “Arte de Navegar”, publicada em 1712 (Cortesão e Mota; 1987).

igual e sofre alterações ao longo do tempo. Hoje em dia a distribuição espacial para os séculos XV, XVI ou XVII pode ser analisada através de modelos geomagnéticos feitos a partir de observações paleomagnéticas ou, por outro lado, pelas observações náuticas feitas na época e registadas, a que tenhamos acesso atualmente.

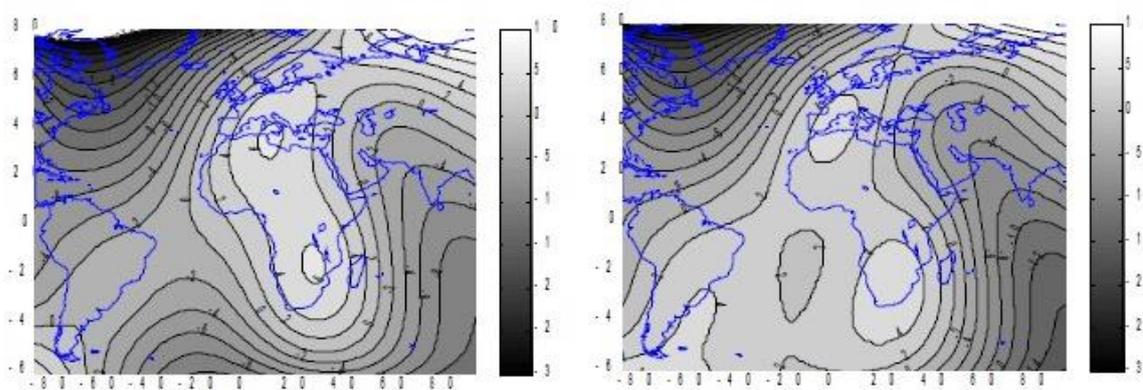


Figura 3 - Distribuição espacial da declinação magnética, em graus, para o Oceano Atlântico em 1400 e 1500 segundo o modelo paleomagnéticos de Korte e Constable (2005)

Embora não entendendo completamente este fenómeno, que se julga ser desconhecido até finais do século XV, os pilotos e cosmógrafos estavam cientes da sua influência, o qual seria chamado de “variação da agulha”. De acordo com o que o piloto João de Lisboa descreve no seu “Tratado da Agulha de Marear”, o texto mais antigo conhecido acerca da bússola marítima, era ainda costume entre os marinheiros usar-se uma técnica referida como “nordestear” ou “noroestear da agulha” constituindo uma *“prática comum entre os construtores de instrumentos náuticos rodar a rosa-dos-ventos colocada sobre as agulhas magnetizadas de modo a que aquelas apontassem para o Norte verdadeiro no local onde eram construídas”*, uma vez que consideravam igualmente *“todas as cartas falsas por uma quarta ou duas”* (Albuquerque, 1982).

Como consequência desta característica a exatidão das cartas náuticas produzidas com estas informações seria então fortemente afetada, mas, contudo, não

se verifica que essas correções tenham sido aplicadas na construção das cartas, uma vez que que iriam implicar alterações significativas nos rumos magnéticos entre os lugares representados, o qual constituía uma informação com mais importância para os pilotos do que a das distâncias estimadas, e que se baseavam no rumo indicado pela experiência de marinharia e não pelo que era apontado nas “cartas de marear”.

Por outro lado, a precisão da leitura dos rumos magnéticos a bordo aumentou bastante quando, no século XVI, a agulha passou a estar instalada sobre uma suspensão com dois eixos de liberdade, de modo a compensar os efeitos de balanço do navio.

Por seu turno, estes desenvolvimentos técnicos e metodológicos levaram também à necessidade de simplificação dos instrumentos de observação (quadrantes e astrolábios), de modo a se adaptarem à medição da altura nos navios, e igualmente ao estabelecimento de regras de uso mais simples para serem utilizadas por pilotos, que poderiam não ter uma instrução tão avançada. Deste modo, no caso da Estrela Polar, as regras ficaram conhecidas como “Regimento do Norte” e serviam para corrigir a altura observada para se poder determinar a latitude.⁷ Para as observações relativas ao Sol, as regras associadas ficaram conhecidas como “Regimento do Sol”, contendo tabelas de declinação desse astro para todos os dias do ano, que indicavam a distância angular do equador celeste ao Sol (declinação) correspondente ao meio-dia, sendo este obtido por meio de cálculos matemáticos a partir de observações astronómicas.

Utilizavam, assim, as correções fornecidas por tábuas de declinação do Sol, incluídas, por exemplo, no “Almanach Perpetuum”, traduzido do hebraico para latim e castelhano pelo Mestre José Vizinho, e referenciadas ao meridiano de Salamanca (sendo uma tábua solar única que podia ser utilizada em anos comuns e bissextos), tendo sido empregue nas viagens de Diogo Cão (1482-1486), Mestre José Vizinho (1485) e Bartolomeu Dias (1487-1488).

⁷ Devido ao facto da Estrela Polar não se encontrar exatamente no Pólo Ártico, mas sim, percorrer um arco diurno aparente de cerca de três graus e meio, tinham de efetuar uma correção à altura observada para se conseguir um valor certo de latitude. Essa correção estava ligada à posição da estrela em relação ao meridiano do lugar, que seria avaliada pela orientação das guardas da Ursa Menor (Gaspar; 2013).

A determinação em chegar à Índia pela rota do Cabo levou a que, anos mais tarde, surgissem as tábuas mais exatas, quadrienais, de declinação do Sol, elaboradas por Abraão Zacuto para a primeira viagem de Vasco da Gama em 1497-1498, as quais teriam uso também em viagens posteriores. A estas seguiram-se outras tábuas quadrienais efetuadas de acordo com o prosseguimento das deslocações marítimas e as suas necessidades.

Nesta fase, e após a passagem para o Oceano Índico, viria igualmente a ser desenvolvido um novo instrumento náutico de observação da altura (para além da poma), designado de balestilha, que dá maior rigor às leituras, e teria uma mais simples utilização. Trata-se do primeiro instrumento com a referência no horizonte, como aconteceria em instrumentos posteriores, nomeados de dupla reflexão, como o octante e o sextante.

Como consequência evidente, estes avanços na navegação portuguesa tiveram reflexos na cartografia náutica ao pretenderem compatibilizar dados espaciais obtidos por metodologias diferentes, e passaram por exemplo também a incorporar uma escala de latitudes; mas, uma vez que o traçado do rumo era feito por pontos estipulados por observação astronómico, estas “cartas de marear” deixavam de ser completamente fiéis, com a exceção das zonas equatoriais, em que o desenho da superfície esférica no plano não vai alterar significativamente os ângulos e as distâncias.

Uma das questões fundamentais desta análise, e não tida em conta em vários estudos anteriores debruçados sobre o tema, assenta no facto de, à época, as cartas náuticas serem vistas como um instrumento de navegação e não como esforços para representar rigorosamente o Mundo (Gaspar; 2013). Isso encontra-se aludido nitidamente nos tratados modernos, como nos de Pedro Nunes e de Edward Wright.

Nenhum texto anterior ao século XVI sobre as cartas náuticas é conhecido. A fonte mais antiga na qual a composição geométrica da carta de latitudes é, de facto, analisada é o “Tratado em defensam da carta de marear” do matemático Pedro Nunes, de 1537, (tendo este texto sido, mais recentemente, coligido e analisado numa edição de 2002 elaborada por Henrique Leitão (Pedro Nunes; 2012)). Este tratado viria também a ser simplificado, traduzido para o latim e publicado trinta anos mais tarde

em Basileia. Ao tentar conciliar as indicações cartográficas de Ptolomeu com as representações geográficas presentes nas cartas náuticas, o autor concluiu que os meridianos não podiam ser representados como segmentos paralelos orientados na direção sul-norte, como na projeção cilíndrica equidistante centrada no Equador, também chamada projeção “Marinos de Tire”, nem poderiam ser retos. Em outras palavras, as representações geográficas eram inconsistentes com as linhas retas e paralelas traçadas sobre elas.

Edward Wright, um matemático e cartógrafo inglês, publicou no seu livro “Certaine Errors in Navigation” de 1599, as bases dos fundamentos matemáticos da projeção de Mercator, desenvolvidos a partir dos trabalhos de Pedro Nunes.

Outros textos posteriores conhecidos sobre as cartas náuticas e a navegação associada são os de Pedro de Medina, “Arte de Navegar” (1545), de Alonso de Chaves, “Quatru parti in cosmografia práctica” (cerca de 1538) e de Martín Cortés de Albarca, “Breve compendio de la esfera y deal arte de navegar” (1551).

Outro aspeto relevante do uso das cartas náuticas no Renascimento liga-se às noções, referidas também no texto do tratado de Pedro Nunes, de que as linhas verticais das cartas estavam sempre alinhadas com as direções Norte-Sul e que os percursos a rumo constante dos navios eram definidos por segmentos de reta orientados de forma certa, as quais não se encontravam corretas.

Apesar dessa dificuldade, Pedro Nunes defende claramente que nenhuma outra forma de cartografia é mais indicada para apoio à navegação, mas recomenda a se confiar somente nas direções e distâncias anteriormente confirmadas em navegação. Embora não pudesse compreender completamente todos os fatores que afetavam a geometria da carta náutica contemporânea, principalmente o efeito da declinação magnética, ele foi o primeiro a notar essas incompatibilidades.

O tratado do matemático português seria um marco importante na discussão que ocorreu no século XVI, na Europa, acerca das formas de criação e uso das cartas náuticas, entre os cosmógrafos, matemáticos, cartógrafos e pilotos. Havia então a diferença verificada entre os métodos efetivamente usados na sua elaboração, através das informações de navegação, e a ideologia teórica do que consistiria uma

representação precisa do Mundo, com base nos preceitos descritos na *Geographia* de Ptolomeu.

No seu tratado Pedro Nunes apresenta também novas tábuas de declinação do sol para o quadriénio de 1537-40, decorrentes dos avanços nesse campo, calculando agora as alturas extra-meridianas do Sol. Este método foi testado pelo navegador D. João de Castro na viagem que efetuou à Índia em 1538, em que realizou uma observação do magnetismo sistemática, que ficou registada no seu “Roteiro de Lisboa a Goa”.

Nesta época, acreditou-se então que as “isógonas” (ou seja, linhas de igual declinação magnética) se orientavam na direção norte-sul de forma equidistante, e que, portanto, conhecer a sua medição possibilitaria determinar a longitude no mar.

Através da sua análise, D. João de castro parece constatar que a declinação magnética não variava, de facto, proporcionalmente com a mudança de longitude, além de verificar que, na rota de Lisboa ao Brasil, e também ao Cabo da Boa Esperança, as agulhas magnéticas indicavam a Leste do verdadeiro Norte; enquanto que na rota do Cabo para a Índia indicavam a Oeste.

Concordantemente, tal como já assinalado na época, a distância apresentadas nas várias Cartas Náuticas entre a costa do Brasil e do Cabo da Boa Esperança seria exagerada, tal se devendo a existirem elevados valores de declinação magnética na zona Sul do Atlântico no século XVI (em determinados locais na ordem dos 20º Este), fazendo com que os rumos lidos na agulha, e depois transcritos para os mapas, denotassem uma rotação seguindo o sentido dos ponteiros do relógio, o que viria a fazer com que as costas das áreas apresentadas tivessem uma configuração rodada a Este excessivamente (Gaspar; 2013).

Porém, mesmo com os estudos e observações efetuados, a teoria da possibilidade de determinação da longitude pelo conhecimento das “isógonas” seria mantida de certa forma até meados do século XVIII, quando foi realmente rejeitada com a invenção do cronómetro marítimo.

Muitos cartógrafos que se baseavam nessas cartas náuticas, e que realizaram as representações do globo terrestre usadas como meios políticos e diplomático da

época Moderna, também não se aperceberam efetivamente da existência dessas deturpações nos modelos cartográficos. Assim, essa cartografia considerada mais luxuosa seria suportada em atividades basilares de marinharia podendo ser praticadas, por exemplo, por pessoas que poderiam ter menos instrução.

Em Portugal, as atividades de regulamentação do comércio e assuntos extra-fronteiras funcionariam na entidade que seria primeiro denominada de Casa de Ceuta, posteriormente Casa da Guiné, e da Mina, e finalmente Casa da Guiné, Mina e Índias, ou simplesmente Casa das Índias, em Lisboa, com funções igualmente relacionadas com as ciências náuticas, incluindo a preparação de mapas. Este organismo, que também seria designado de Armazém da Guiné e Índias, é referido por muitos autores como o local onde se fazia e conservava a “Carta padrão de el-Rei” que servia de base às restantes cartografias e que seria regularmente atualizada. Há também teses que indicam que esta carta padrão não terá sido ainda confirmada por se ter perdido com o terramoto de 1755, assim como outros mapas e documentos importantes.

Relacionado com as atribuições dessa entidade há uma cédula real de 1504, dirigido ao responsável do Armazém, a proibir as cartas náuticas de exibirem a costa de África a Sul do rio Zaire, ficando assim incumbido dessa censura. Mais tarde surgiria outra cédula em que a proibição se estenderia até às ilhas de S. Tomé e Príncipe, numa censura que parece apenas ser referente às “cartas de marear da Guiné” (Alegria *et al*; 2012). Essa “política” de sigilo parece assim ser aplicada apenas em medidas concretas e transitórias, em casos mais específicos, com uma importância diferenciada, ligados à política diplomática. Neste sentido, há que se ter, por exemplo, em conta que portugueses e castelhanos falsificaram as cartografias do Brasil com modificações intencionais de modo a que os estuários do rio da Prata e do Amazonas estivessem incluídos nas suas esferas de influência respetivas. (Alegria *et al*; 2012).

Em 1547 foi criado o cargo de cosmógrafo-mor, atribuído a Pedro Nunes até à sua morte, que estaria intrinsecamente ligado ao Armazém. No “Regimento do cosmógrafo-mor” de 1592, baseado principalmente num de 1559, entretanto desaparecido, é estabelecida essa estreita ligação com o responsável do Armazém, e percebe-se a forma de regulamentação das várias atribuições dessa entidade, central na organização da náutica portuguesa. Quanto ao cosmógrafo-mor estaria

responsável, inclusivamente, por supervisionar a instrução mais teórica e a aquisição dos mais recentes conhecimentos científicos e geográficos pelos pilotos e restantes navegadores, lecionando uma aula de matemática dirigida a essas questões. Similarmente tinha o dever de atualizar e corrigir os “Roteiros de Navegação” (obras com informações práticas e importantes das viagens usadas regularmente pelos pilotos) com os novos registos. Há ainda indicações de que em cada expedição ao Oriente seriam dadas aos pilotos duas cartas náuticas a serem devolvidas no regresso, com as alterações mais relevantes, ao Armazém. Essa prática de atualização cartográfica em Portugal aparenta ter sido mais comum após o século XV, tal como comprovado pela existência de um número mais relevante de cartas náuticas datadas do primeiro terço do século XVI.

A não existência de tantos exemplares conhecidos para outros períodos pode também ser explicada pelo próprio carácter utilitário dos mapas, objeto de uso recorrente e em diversas condições, tal como devido a perdas naturais, e também devido ao facto de nas cartas náuticas o pergaminho ser usado numa nova carta, não se conservando as antigas.

Embora com limitações e condicionantes as melhorias da cartografia e da forma de navegar contribuíram para uma representação do globo mais precisa ao mesmo tempo que se estendia o conhecimento geográfico de diversas áreas da superfície terrestre. Ao mesmo tempo que estas novidades chegavam ao continente europeu figurando em mapas mundiais e atlas impressos, muito disseminadas também pela imprensa, também as variadas representações cartográficas incluíam as idiossincrasias dos modelos das cartas náuticas e dos levantamentos geográficos, revelando informações de configuração de terras que eram, propositadamente, corretamente ou erroneamente divulgadas, ou que também eram conhecidas por outros meios. Essas representações, com um carácter mais prático e que se tornariam por vezes objetos de luxo, viriam a ser naturalmente utilizadas em objetivos políticos e diplomáticos, não estando totalmente cientes das condicionantes e imprecisões que poderiam ter e, assim, de as propagar. Tal como é descrito em Alegria *et al* (2012): “A Cartografia deixou então de constituir um domínio de saber estritamente reservado

aos mais poderosos, para se tornar num instrumento de cultura geral, acessível ao conjunto das classes letradas, nobres e burguesas.”

Com intenções de comercialização e exploração de entrepostos estratégicos para os objetivos de Portugal, juntamente com perspectiva de difusão da fé cristã, explorou-se então o Oceano Atlântico em vários sentidos, levando inclusivamente a que os Cortes Reais viajassem pela Terra Nova, se conseguisse fazer a viagem marítima até à Índia na viagem de Vasco da Gama, se chegasse ao Brasil na viagem de Pedro Cabral, e que se iniciasse a sua exploração.

Em 1509, com a vitória na batalha naval de Diu, D. Francisco de Almeida conseguiu a predominância do Índico para Portugal, ao qual se seguiu uma maior exploração da Insulíndia, beneficiando das suas rotas comerciais, e a tomada do porto de Malaca por Afonso de Albuquerque, que seria um grande entreposto comercial dessa zona do Sudoeste asiático. Partindo desta base de implantação foi também efetuado o reconhecimento hidrográfico da área do Extremo Oriente, para determinar a melhor forma de avanço marítimo, o que levou a se chegar até à China em 1513, e mais tarde ao Japão, em Tanegashima, no ano de 1543.

Estudos recentes têm abordado a evolução e a forma de construção da cartografia náutica nestes períodos, sendo de destacar os de Henrique Leitão e Joaquim Alves Gaspar do CIUHCT (2010, 2018, 2019), usando métodos planimétricos e de análise numérica. Esses estudos apontam para que cartas náuticas anteriores à projeção de Mercator não eram elaboradas com base num sistema explícito de projeção. Ao contrário dos mapas e cartas náuticas atuais, que são preparados usando as latitudes e longitudes dos lugares e adotam uma projeção apropriada, as informações geográficas recolhidas eram transferidas diretamente para o plano, em escala constante, não tendo em consideração a esfericidade da Terra. Resulta assim numa inconsistência geométrica, em que cada localização na carta fica dependente de um conjunto específico de rotas usado na sua representação.

Contrariamente há a ideia de que as cartas com indicação de latitude eram construídas segundo o modelo da projeção cilíndrica equidistante centrada no Equador, que seria denominada de “carta quadrada”, ou também de projeção “de Marinus de Tire”, o que parece ter surgido de uma leitura algo incorreta do “Tratado

em defesa da carta de marear” de Pedro Nunes, e que terá se propagado na época e em vários estudos, até atualmente.

A questão, referida também como mito da “carta quadrada”, foi analisada também por António Barbosa (1938), que aponta que a projeção em causa não se adequa para navegação, com estudos que indicam que a geometria das cartas náuticas da época era bastante diferente da geometria subsequente da “carta quadrada”, o que viria a ser estudado somente mais tarde também pelo matemático Luís de Albuquerque (1991), concordando com a tese defendida. Esta é uma questão essencial para se compreender a construção das cartas náuticas antes do uso da projeção de Mercator, que várias vezes terá sido mal interpretado por historiadores e investigadores da área. Contudo, os métodos cartográficos do Renascimento encontram-se bem documentados, apesar de certos pormenores técnicos acerca da elaboração de cada carta, como o método utilizado para cartografar as diferentes áreas e o conhecimento da rota usada no posicionamento dos diferentes locais, possam ser ainda desconhecidos de certo modo.

António Barbosa (1938) terá também defendido que uma total integração do ponto de esquadria na elaboração cartográfica terá demorado, existindo uma altura em que coexistiam os dois métodos de posicionamento e composição cartográfica (método do ponto de fantasia e do ponto de esquadria), um facto que terá sido favorecido também pelos baixos valores de declinação magnética existentes na faixa costeira ocidental de África, até a Cabo Verde, ao longo do século XV. Com o qual, Joaquim Gaspar indica concorda, e referindo que parece se verificar que a cartografia portuguesa dos séculos XVI e XVII se baseia ainda em direções magnéticas. (Gaspar; 2013)

Há ainda de ter em conta que as Cartas Náuticas, decorrentes de uma conceção de uma utilização eminentemente prática, serviam como instrumentos de navegação, integradas num sistema metodológico que se apoiava nas suas informações ao mesmo tempo que fornecia mais informações no sentido de as complementar, e com objetivos muito específicos de orientação e conhecimentos essenciais para a prática segura e mais eficaz da navegação; pelo que não se tratam de efetivas tentações de representação geográfica da Terra. Consequentemente ao se querer analisar estes

itens cartográficos deve-se ter com consideração principalmente a sua capacidade de cumprir o objetivo a que se proponham e não os comparando por exemplo quanto à sua precisão com os mapas atuais.

TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ANÁLISE PLANIMÉTRICA DE CARTOGRAFIA ANTIGA

As Tecnologias de Informação Geográfica têm conhecido nas décadas mais recentes uma significativa melhoria e diversificação, o que causou um aumento exponencial do seu potencial, com consequências a nível dos seus usos e aplicação; o que por sua vez terá também levado a uma maior complexidade nos métodos de análise planimétrica.

Nos últimos anos têm aumentado também os estudos geográfico-históricos baseados em Tecnologias de Informação Geográfica, assim como os que recorrem à análise planimétrica no estudo de documentos cartográficos.

Os historiadores e geógrafos também utilizam cada vez mais os mapas como fontes para estudos históricos, onde a informação geográfica é extraída de mapas antigos e, por exemplo, utilizada para traçar a evolução de terrenos e de redes de tráfego (Jenny *et al*;2007).

Uma vez que estes documentos cartográficos se encontram inscritos em materiais de suporte que sofrem degradação com o tempo e determinadas condições, as diferentes entidades suas repositoras têm procedido à sua digitalização e disponibilização em livre acesso (muitas vezes com alta resolução), não só como preservação, mas também como forma de divulgar e facilitar o conhecimento deste espólio, com mais potencialidades de ser integrado em diversos estudos.

A análise planimétrica em mapas antigos revela-se pertinente, por exemplo, a avaliar a fiabilidade e exatidão de um certo mapa para que esse mapa ou os dados dele obtidos sejam usados com confiança em estudos históricos e geográficos daí decorrentes. Simultaneamente, uma interpretação cartométrica dos mapas antigos poderá auxiliar na compreensão técnica de métodos usados para a sua criação. Como exemplos encontram-se a verificação de hipóteses dos métodos de levantamento, o(s) mapa(s)-fonte que possa(m) estar na origem de um dado mapa, e examinar a projeção usada e as referências geodésicas (Livieratos; 2006).

De acordo com Blakemore e Harley (1980) a precisão planimétrica de um mapa antigo é, assim, definida como “a medida em que as distâncias e os rumos entre objetos identificáveis num mapa coincidem com o seu verdadeiro valor.” De modo a se conseguir essa interpretação são necessárias medidas estatísticas do mapa e visualizações espaciais. Essas visualizações da precisão planimétrica podem contribuir para um novo entendimento com novos factos sobre um mapa antigo (como também podem constituir uma forma de ilustrar essas evidências).

As imprecisões geométricas verificadas poderão ser introduzidas de duas formas, sendo a primeira decorrente das diferentes fases de criação do mapa, como o levantamento dos dados, o próprio traçado, ou a cópia e reprodução de mapas. A segunda forma deve-se aos próprios materiais de suporte dos mapas, maioritariamente papel e pergaminho, que não sendo materiais inertes, contraem e alargam ao longo dos tempos, distorcendo assim a geometria associada ao mapa.

Apesar desse crescente número de projetos e investigações que recorrem a estes métodos de análise planimétrica e numérica há que ter em atenção que esses métodos terão que ser corretamente compreendidos para se fazer o melhor uso na investigação específica e se chegar aos resultados pretendidos (Jenny e Hurni; 2011).

O MapAnalyst consiste num software livre e de código aberto, escrito em java (existente em www.mapanalyst.org)⁸ que foi criado com o intuito específico de realizar uma análise das características planimétricas e geométricas de mapas antigos, sendo possível produzir redes de distorção, vetores de deslocamento e isolinhas de escala e rotação de modo a demonstrar as deformações em diferentes áreas do mapa em questão.

Este software terá sido desenvolvido em 2005 por Bernhard Jenny e Adrian Weber na ETH Zurique (Institute of Cartography and Geoinformation) com as atualizações vindo a ser efetuadas por Bernhard Jenny, que se encontra atualmente na Monash University em Melbourne - Austrália.

Naquela altura, segundo os autores, as aplicações à disposição de investigadores de cartografia antiga não eram facilmente acessíveis, eram

⁸ Tendo-se utilizado para o presente estudo a sua versão 1.3.

parcialmente baseados em software de SIG dispendioso, não eram facilmente melhorados e não tinham um interface de fácil utilização, o que os seus criadores tentaram contrapor com o desenvolvimento do MapAnalyst (Jenny e Hurni; 2011). Por comparação com as técnicas manuais, como a criação da rede de distorção, este software simplifica e facilita a análise, e aumenta a fiabilidade de resultados. Assim, o interface de fácil utilização possibilita a criação de uma série de visualizações complementares em pouco tempo.

Desde a sua criação o software tem vindo a ser aplicado em investigações e estudos de temáticas e abordagens diferentes, e a diversificados documentos cartográficos, entre os quais se incluem não só a comparação entre mapas ou coleções de mapas, ou o exame da precisão de mapas, como a verificação da veracidade de certos elementos presentes num mapa, e a observação de mudanças urbanas.

Para além da aplicação em mapas antigos, a rede de distorção que o software gera também já terá sido utilizada para ilustrar estudos de mapas coremáticos (normalmente muito esquematizados), de sistemas de referência geodésicos, e ainda na evolução de esqueletos em anatomia comparativa.

Tal como já foi previamente referido, foi revisto num artigo da revista *Cartographica* e descrito como “um ótimo software para analisar mapas...” (Raymond; 2007).

O método baseia-se numa série de transformações geométricas que modificam pontos de controlo de um mapa de referência atual para o sistema de coordenadas de um mapa antigo, através dos quais pode ser analisada computacionalmente a precisão planimétrica e geodésica do mapa antigo, e criadas as várias visualizações de distorção espacial. São também apresentados vários indicadores estatísticos sobre o mapa antigo decorrentes dessa transformação, como a escala, ângulo de rotação, etc.⁹

⁹ O método escolhido para o MapAnalyst não compara diretamente a geometria de certas características sectoriais ou lineares como as linhas costeiras ou localizações e geometria de rios, como por vezes se verifica noutros métodos de análise cartométrica.

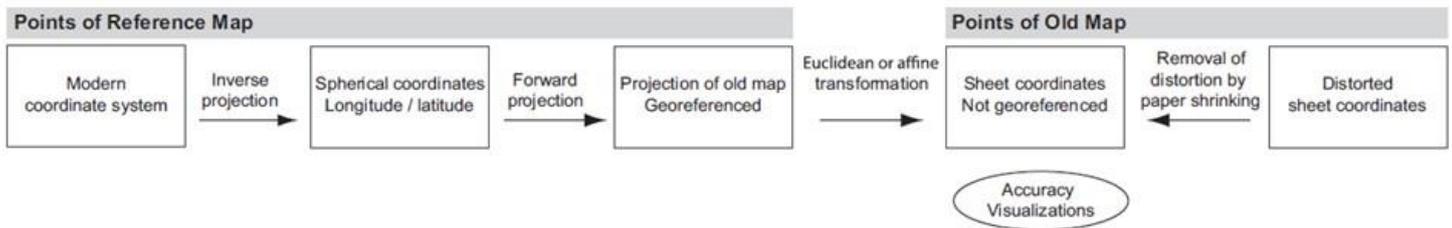


Figura 4 - Sequência de transformação do MapAnalyst para elaborar visualizações de precisão no mapa antigo, em que cada caixa representa um sistema de coordenadas e cada seta uma transformação, retirado de Jenny e Hurni (2011)

Este método, tal como é comum em métodos cartométricos, assenta na localização de pontos que podem ser identicamente identificados num mapa antigo e num mapa atual, usado como um mapa de referência, que está georreferenciado (*i.e.*, referenciado metricamente), e do qual se conhece o sistema de coordenadas geodésicas (contém um datum geodésico que especifica a forma e posição do elipsoide de referência) e a projeção cartográfica. Para se conseguir com que os mapas coincidam são, assim, estipulados esses conjuntos de pontos que são denominados de pontos de controlo (no que pode ser considerado um processo georreferenciação).

Os próprios métodos de análise cartométrica têm tido igualmente um crescimento considerável nos últimos tempos, devido também ao aumento da capacidade e disponibilidade de computadores e técnicas digitais. Um dos artigos importantes neste campo foi o de Tobler (1994), em que o método do MapAnalyst também se baseia, e que alertou geógrafos e historiadores para as técnicas de regressão bidimensional que eram usadas em geodesia e cartografia, e a sua capacidade de adaptação para outras áreas. Essa investigação levou a que fosse pioneiro na visualização de características geométricas de mapas antigos, ao utilizar redes de distorção concebidas digitalmente, indicatriz de Tissot, vetores de deslocamento e campos vetoriais.

Os métodos cartométricos recorrem normalmente a técnicas de interpolação e ajuste, tal como ocorre no software em questão. Nas técnicas de interpolação não são corrigidos os dados medidos, mas estimados os valores intermédios, assumindo que os

erros mudem contínua e gradualmente. Por vezes, não só os valores interpolados são contínuos, mas também a taxa de variação dos valores interpolados.

Por seu lado, as técnicas de ajuste pressupõem que existe um conhecimento prévio sobre a função que está a ser medida, e em que se efetua uma técnica de melhor ajuste. Os “desvios” que resultaram dessa técnica de melhor ajuste são designados de "residuais" ou "erros residuais", e são a base das estimativas de precisão e testes estatísticos para a maioria das técnicas de ajustamento. Esse processo de melhor ajuste é normalmente definido pelo critério dos mínimos quadrados, que tem tido um papel importante nos métodos de análise cartométrica, sendo igualmente utilizado em vários problemas geodésicos.

No método do MapAnalyst a parte central na sequência de transformação do MapAnalyst é uma transformação homogénea ou afim definida por uma estimativa de mínimos quadrados. É possível selecionar entre três tipos de transformações, sendo a predefinida a transformação Euclidiana de quatro parâmetros (também conhecida como transformação Helmert em geodesia), com um fator de escala uniforme, uma rotação única, e duas translações na vertical e horizontal. Trata-se de uma transformação rígida pois não resultam distorções da forma da translação, do ajustamento da escala e da rotação. É suposto que a transformação Euclidiana seja utilizada na generalidade das situações, quando não deverão existir grandes alterações devido ao envelhecimento do material de suporte ou outros fatores.

Outra opção é a transformação afim de 5 parâmetros, com uma translação horizontal e uma translação vertical, uma diferença de escala horizontal e vertical e uma única rotação de ambos os eixos. Existe também a transformação afim com seis parâmetros, tendo uma translação horizontal e uma vertical, uma diferença de escala horizontal e vertical, uma rotação sobre o eixo horizontal e outra rotação sobre o eixo vertical.

As transformações afins podem ser utilizadas quando se quer compensar uma alteração considerável ou unilateral do material de suporte do mapa, sendo que uma transformação de cinco parâmetros possibilita uma escala independente em duas direções em ângulos retos, o que poderá compensar uma contração não homogénea dos materiais. Por outro lado, a transformação afim de seis parâmetros adiciona uma

outra rotação, que poderá ajudar a remover ruturas abruptas verificadas no material de suporte, ou causadas por incorreções na digitalização (Jenny e Hurni; 2011).

Todas as transformações referidas são lineares, pois as linhas retas existentes serão sempre transformadas em linhas retas. Tobler (1994) desenvolveu ainda outro modelo de transformação linear, as transformações projetivas, nas quais se obtém uma imagem “em perspectiva” do original, através de rotações não-uniformes e de ajustes de escala.

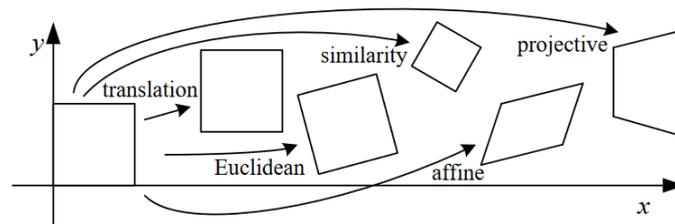


Figura 5 - Série básica de transformações planas 2D, retirado de Szeliski (2010)

Transformation	Matrix	# DoF	Preserves	Icon
translation	$\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{t} \end{bmatrix}_{2 \times 3}$	2	orientation	
rigid (Euclidean)	$\begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix}_{2 \times 3}$	3	lengths	
similarity	$\begin{bmatrix} s\mathbf{R} & \mathbf{t} \end{bmatrix}_{2 \times 3}$	4	angles	
affine	$\begin{bmatrix} \mathbf{A} \end{bmatrix}_{2 \times 3}$	6	parallelism	
projective	$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{H}} \end{bmatrix}_{3 \times 3}$	8	straight lines	

Figura 6 - Hierarquia de transformações de coordenadas em 2D, retirado de Szeliski (2010). Cada transformação preserva também as propriedades enumeradas em todas as linhas que se encontram debaixo

Por padrão, os parâmetros do tipo de transformação selecionada são calculados através do ajuste por mínimos quadrados, que é um método típico em situações nas quais existem mais dados disponíveis do que os mínimos requeridos para o cálculo dos parâmetros desejados, e permitirá, assim, minimizar globalmente as distâncias ao quadrado entre os dois conjuntos de pontos. O método dos mínimos quadrados tem a desvantagem de ser sensível aos valores discrepantes nos dados, mas

essa desvantagem pode ser combatida repetindo a transformação, sem os valores mais discrepantes, e realizando outros testes estatísticos, de modo a rejeitar essas disparidades.

No MapAnalyst existe igualmente mais uma alternativa, não sendo necessários esses testes posteriores, quando se verifica a existência de muitos pontos discrepantes (como é comum nos mapas antigos), através da opção de um método de ajuste robusto para calcular a transformação: Huber, Hampel ou estimador em V. Apesar de aparecerem como um quarto tipo de transformação, trata-se de uma maneira diferente de calcular uma transformação Euclidiana ou Helmert. A transformação robusta do Helmert irá atribuir pesos diferentes para cada par de pontos de controle. Os três métodos robustos disponibilizados são baseados no método dos mínimos quadrados, mas usam uma técnica automatizada para reduzir os efeitos dos valores mais discrepantes. Dieter Beineke terá estudado esses métodos e criou o método estimador em V, em específico para a análise dos mapas antigos (Jenny e Hurni;2011).

As transformações podem ser globais, se aplicadas na totalidade da área do mapa, ou locais, se calculadas e aplicadas em pequenas áreas próximas de onde os valores devem ser interpolados. Enquanto as transformações globais geralmente não são exatas, as locais normalmente têm coincidência ou aproximação entre valores calculados e os de pontos de controle. Uma transformação local é, por exemplo, o método dos elementos finitos, em que se cria uma rede triangular tendo os pontos de controle como vértices, e posteriormente os lados de cada triângulo são usados para interpolar valores. Outro modelo mais recente é o *morphing*, no qual uma superfície lisa de características praticamente elásticas é localmente adaptada em determinados pontos de controle, e então usada para interpolar valores nos locais intermédios (Boutoura e Livieratos, 1986).

Adicionalmente aos modelos lineares, existem também vários modelos não lineares, maioritariamente aplicados em transformações locais, como *splines*, métodos de triangulação, polinómios com ponderação ou muitos outros.

De seguida, na sequência de transformações usada pelo MapAnalyst, outro passo importante é a reprojeção dos pontos de referência de modo a compensar a influência da projeção desse mapa. Para se conseguir obter os dados para as

visualizações de precisão planimétrica é importante que o mapa antigo e o mapa de referência tenham uma projeção cartográfica igual, caso contrário seriam introduzidas deformações extra e padrões artificiais que inviabilizariam as visualizações de precisão.

Quando se pretende estudar mapas antigos, o efeito que teria o sistema de coordenadas geodésicas (ou seja, a forma e posição do elipsoide de referência) pode não ser tida em conta, visto que a incompatibilidade devido aos sistemas de coordenadas geodésicos normalmente é pequena comparando com as distorções planimétricas já existentes no mapa.

Dessa forma, neste processo, os pontos de controlo do mapa de referência são transformados para a projeção do mapa antigo através da chamada projeção inversa, transformando os pontos de controlo do sistema de coordenadas projetadas para posições esféricas de longitude e latitude, seguindo-se uma projeção “para a frente” que converte os pontos para o sistema de coordenadas do mapa antigo. Trata-se de um procedimento para uma funcionalidade típica dos Sistemas de Informação Geográfica.

O processo desenvolvido, à partida, presume que se conheça a projeção do mapa antigo. Se, por outro lado, a projeção ou os parâmetros associados forem desconhecidos, a projeção é estimada. Muitas vezes, a projeção ou parâmetros de projeção do mapa antigo não são totalmente conhecidos ou podem existir várias dúvidas.¹⁰

Segundo os autores do software (Jenny e Hurni; 2011) a projeção do mapa antigo pode, igualmente, ser identificada com uma metodologia de tentativa e erro, avaliando as diferentes supostas projeções. Em cada tentativa numa suposta projeção, os pontos de controlo do mapa de referência são, assim, convertidos para o mapa antigo através da projeção inversa e depois projetados “para a frente” na projeção em teste, e posteriormente transformados através de uma transformação Euclidiana ou afim, determinada com o método dos mínimos quadrados. Finalmente, o desvio

¹⁰ John Snyder (1993) elaborou uma coletânea de projeções antigas e do seu uso, mas segundo variados estudos, apesar do conhecimento da forma da Terra e do desenvolvimento de projeções teóricas, não é aparente que a maioria dos mapas tenham sido elaborados a partir de uma projeção específica anteriormente da criação e disseminação do uso da projeção de Mercator.

padrão das distâncias entre pares de pontos de controle é calculado no sistema de coordenadas do mapa antigo. A projeção em teste que tiver o menor valor de desvio padrão é, portanto, usada para a transformação final dos pontos de controle. De acordo com os seus autores esta metodologia foi testada em diferentes condições e terá tido resultados positivos.

Por vezes, a sequência de transformações pode ainda ser estendida através de uma transformação opcional de modo a compensar uma retração unilateral do suporte material de algum mapa, e que se encontra mais à direita no esquema da sequência de transformações. No entanto, esta transformação não é feita frequentemente, e tais métodos não têm sido analisados sistematicamente.

Após esta transformação, podem-se gerar as visualizações de precisão, sendo os vetores de deslocamento calculados imediatamente. Fica igualmente disponível um relatório de síntese com os valores dos parâmetros imputados e a relacionada estimativa de precisão do mapa antigo. No caso da transformação euclidiana, estes serão as translações horizontal e vertical, fator de escala, ângulo de rotação, erro médio de deslocamento e o desvio padrão dos deslocamentos.

Os vetores de deslocamento algoritmicamente são uma técnica de visualização simples e com interpretação fácil. Os vetores ligam as posições finais dos pontos de controle, em cada par, com um segmento reto direcionado. É assim fácil de identificar vetores excessivamente longos, que serão valores anómalos, e indicam maiores erros de posição no mapa. No MapAnalyst os valores anómalos são identificados a cor vermelha no vetor de deslocamento e marcados no resultado numérico do cálculo, e foram estipulados como três vezes o desvio padrão dos residuais. Similarmente, padrões locais de vetores com orientação e comprimento idênticos também se tornam facilmente identificáveis.

Estes deslocamentos são a base da análise de precisão e podem ser exibidos como vetores ou como círculos, cuja área corresponde à magnitude do deslocamento centrada em cada ponto, tendo o vetor mais informação por também apresentar a direção do deslocamento.

Por sua vez, a rede de distorção é construída com base num modelo não-linear, desenvolvido por Beineke, apoiado na interpolação multiquádrica estabelecida previamente por Rolland Hardy, e cujo processo tem a vantagem de reduzir a influência de pontos com erros muito grandes e evitar que se criem linhas circulares fechadas. Para este software foram usadas as fórmulas de Beineke, no seu trabalho de 2001, envolvendo a soma de equações de superfícies cónicas centradas em cada ponto de controlo segundo o método de Hardy.

Rolland Hardy desenvolveu este método para permitir a criação automatizada de contornos de altura interpolando valores medidos a partir de alturas de terreno. Para ser aplicada à análise de mapas, a altura do terreno é trocada pelos deslocamentos de pontos, que são divididos numa componente X (Este-Oeste para um mapa orientado a Norte) e numa componente Y (Norte-Sul para um mapa orientado a Norte). Este algoritmo de interpolação é então aplicado duas vezes, e os resultados das duas interpolações são depois combinados de modo a produzir a rede de distorção.

O termo multiquádrica refere-se às propriedades das superfícies que são produzidas através desses valores interpolados. Se se pensar que o erro horizontal será um tipo de altura de terreno torna-se perceptível o uso do termo “superfície” (Hardy;1971).

Estas redes de distorção para visualizar a deformação cartométrica do mapa são utilizadas em análises de mapas antigos há muito tempo, pensando-se que a primeira vez poderá ter sido por Hermann Wagner em 1895.

Outros métodos digitais têm vindo a ser desenvolvidos, mas que produzem redes de distorção com formas diferentes, como por exemplo, a interpolação por redes triangulares, variações da regressão bidimensional, simulação digital da construção manual e ponderação de distâncias (Jenny e Hurni; 2011).

As isolinhas são um novo meio que foi adicionado para permitir a visualização de variações locais de escala e rotação, que ligam localizações de igual escala e rotação. O algoritmo deste processo utiliza duas redes raster invisíveis que conservam valores de escala e rotação regularmente espaçados. Como primeiro passo cria essas duas redes raster, de seguida calcula um valor de escala e de rotação para cada célula

das redes raster, e por fim extrai isolinhas das redes raster usando um algoritmo de contorno.

Apesar das redes raster e as linhas de contorno derivadas serem normalmente aplicadas em modelação e visualizações de fenómenos espacialmente contínuos (como os modelos de elevação digital), a novidade do modelo apresentado é a estimativa da escala e valores de rotação. No cálculo dos valores para cada célula, não utiliza todos os pares disponíveis de pontos, mas apenas os pontos dentro de um círculo em redor da célula. Os pontos são assim, mais uma vez, transformados de um mapa para os pontos correspondentes do outro mapa usando uma transformação afim e o método dos mínimos quadrados. É perceptível que os pontos mais distantes do centro influenciem o cálculo menos que os pontos mais perto do centro, pelo que é realizada uma ponderação individual de cada ponto consoante a sua distância ao centro do círculo, através de uma distribuição gaussiana. O formato que essas isolinhas irão adquirir depende em grande medida do raio do círculo escolhido (com um raio pequeno as isolinhas poderão perceber as variações locais, ao contrário de um raio grande), fazendo com que seja muito importante ter essa opção em conta ao se pretender aplicar este processo (Jenny *et al.*; 2007).¹¹

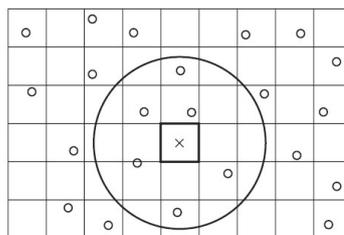


Figura 7 - Exemplo em que seis pontos dentro do círculo determinam a escala e a rotação para a célula central, retirado de Jenny et al. (2007)

A análise planimétrica com MapAnalyst começa com a importação de imagens de um mapa antigo (segundo a predefinição à esquerda na interface do utilizador) e de um mapa atual (à direita na interface) georreferenciado. O utilizador passa então a

¹¹ Continuam a ser desenvolvidas outras formas alternativas de representação de distorções, como elipses de distorção e isolinhas de fator de escala local e de ângulos de rotação.

identificar os locais que têm correspondência nos dois mapas colocando interactivamente pares de pontos nesses locais representados como círculos pequenos ou diamantes, ou ainda pode ser importado um ficheiro que tenha uma lista de coordenadas. Após este processo é escolhido o tipo apropriado de transformação e seleccionados os parâmetros para a visualização de precisão pretendida. É também possível guardar as coordenadas dos pontos em cada mapa.

Pode-se referir que o cálculo das diversas visualizações costuma ser feito rapidamente, pelo que permite uma abordagem iterativa.

Em último, o MapAnalyst possibilita exportar as visualizações criadas em vários formatos.

Numa adição posterior, a partir da versão 1.3, foi integrado, segundo a predefinição e como mapa de referência pronto a usar, o OpenStreetMap, que é um conjunto de dados geográficos mundiais de código aberto.¹² Neste projeto colaborativo, os mapas são criados utilizando dados geográficos voluntários a partir de dispositivos GPS portáteis, fotografias aéreas e outros meios gratuitos.

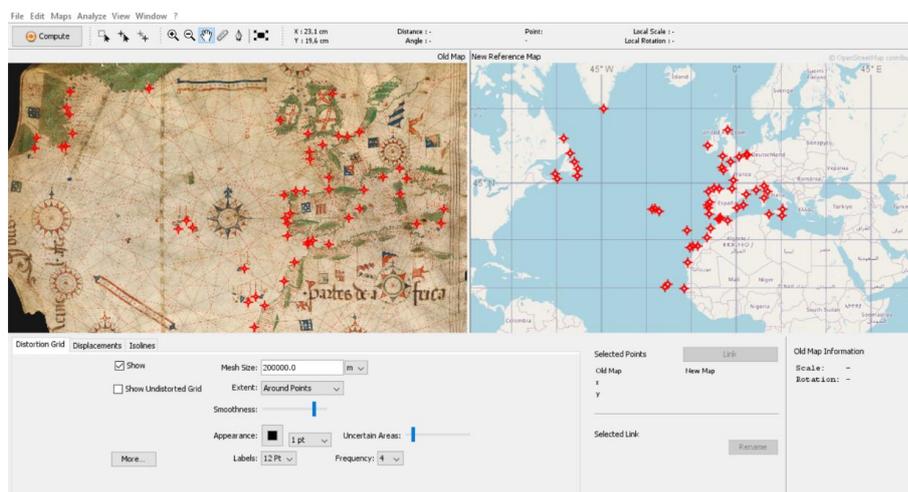


Figura 8 - Interface do MapAnalyst com OpenStreetMap integrado e com pontos de controlo assinalados

¹² Disponível em www.openstreetmap.org/.

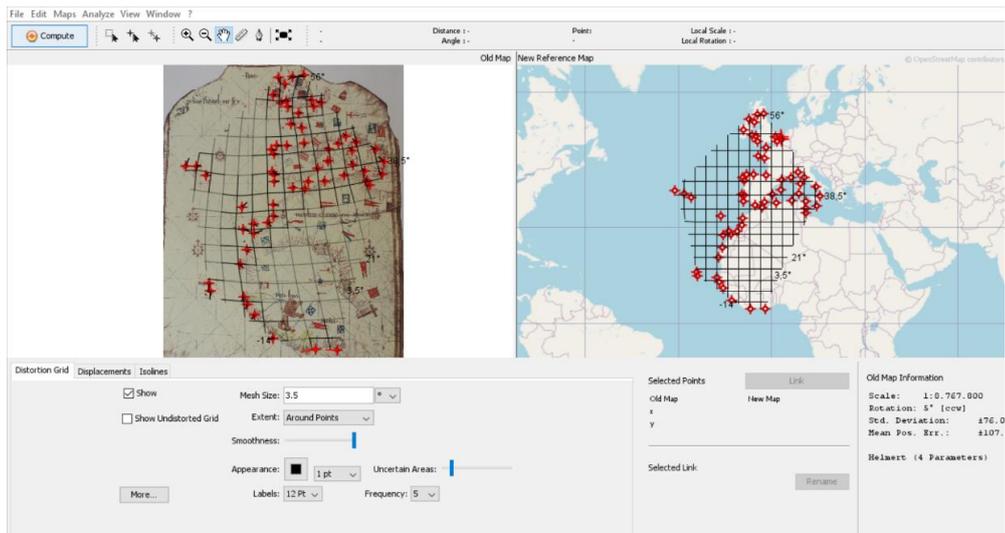


Figura 9 - Exemplo de interface do MapAnalyst com rede de distorção e vetores de deslocamento assinalados no mapa antigo

O OpenStreetMap usa a projeção de Mercator que não é considerada adequada para a análise das distorções em mapas antigos uma vez que adiciona uma considerável distorção das áreas em latitudes médias e altas. Devido a esse aumento drástico na distorção das áreas em direção dos pólos, não é recomendável que esta projeção seja usada em mapas globais e mesmo para as latitudes à volta do Equador essa fonte adicional de distorção não pode ser ignorada.

De modo a compensar os efeitos da projeção de Mercator, é utilizado um processo em que de todos os pontos de controlo são re-projetados a partir da projeção de Mercator para uma projeção cilíndrica transversal de igual área centrada na área de interesse, antes de se fazer qualquer transformação, e os resultados são convertidos de volta para a projeção de Mercator para visualização. A projeção Cilíndrica transversal de área igual é considerada mais adequada para a generalidade dos estudos, por introduzir distorções muito menores (Jenny; 2010).

Porém, mesmo segundo o autor, essa projeção não é tão adequada para a análise de mapas antigos de pequena escala, pois acrescentaria importantes distorções. Em mapas de grande escala a projeção não terá tanta influência, tal como será o caso de mapas de média escala com muitas distorções. É recomendável, portanto, que para as escalas pequenas seja usado um mapa de referência com uma projeção o mais possível aproximada da do mapa antigo.

Embora o software não tenha sido criado para se proceder à georreferenciação, é referido em Gaspar (2010) que este é um processo simples, mas que não pode ser efetuado usando a projeção de Mercator do OpenStreetMap, visto que a rede quadrada sobreposta ao mapa de referência e depois distorcida, de forma a corresponder aos pontos identificados no mapa antigo, não é uma rede regular de paralelos e meridianos. O processo deve, assim, ser efetuado utilizando uma projeção equidistante cilíndrica centrada na linha do Equador (que também é denominada de *plate carrée*) no mapa de referência, o que faz com que as linhas da rede quadrada sejam coincidentes com as linhas dos meridianos e paralelos da projeção, com espaçamentos iguais.

Alguns autores referem, em particular relativamente à análise de “portulanos” e de cartas náuticas, que os métodos cartométricos e/ou numéricos não providenciam nova informação à investigação, como Patrick Gautier Dalché (2011) ou Ramon Pujades (2007), ou também que duvidam de certos resultados obtidos na base de que as análises cartométricas são ainda pouco compreendidas, como por exemplo Tony Campbell.

Outros autores têm se baseado na metodologia do MapAnalyst ou em métodos semelhantes, tentando comprovar a sua utilidade e aplicabilidade nestes campos, assim como tentando auferir a sua precisão. Certos autores também utilizaram o MapAnalyst integrado na sua pesquisa e conjuntamente com outras metodologias relacionadas como por exemplo Gaspar (2010) e Pacheco (2017).

De facto, os resultados do MapAnalyst não podem ser vistos como totalmente autênticos ou irrefutáveis, uma vez que estão muito dependentes dos valores aplicados, da melhor ou pior assertividade de georreferenciação e dos parâmetros usados, pelo que podem não “espelhar” verdadeiramente algum fenómeno cartométrico específico ou mesmo a dimensão da distorção geométrica no mapa antigo. Decorrente da projeção escolhida para a análise comparada e mesmo da transformação e reprojeção dos pontos podem advir várias deformações que não revelam de forma verdadeira a distorção do mapa ou a sua real intensidade. Mesmo a rede de distorção está muito sujeita ao número de pontos identificados e à sua distribuição regular para poder fornecer resultados mais fidedignos, uma vez que, nas

áreas fora dos pontos estipulados, o método de certa forma extrapola os resultados, o que compromete frequentemente a sua exatidão. No MapAnalyst é possível contornar isso ao se selecionar a opção “à volta dos pontos” nas propriedades da rede de distorção. Visto que as cartas náuticas de época Moderna apresentam grandes áreas sem a existência de localizações identificáveis será um aspeto a ter em conta. Pode também ser útil considerar-se aplicar uma suavização mais alta quando se efetua a geração da rede de distorção no MapAnalyst.

Contudo, a rede de distorção é mais resistente às disparidades que possam se verificar entre as projeções cartográficas dos dois mapas, e também aparenta ser mais resistente perante as diversas transformações disponíveis, não tendo muitas variações de acordo com a transformação escolhida.

É assim muito importante ter um conjunto de pontos suficientemente alargado e bem distribuído em toda a extensão do mapa. Os deslocamentos de pontos são uma das principais finalidades e formas de visualização do MapAnalyst, que também deve ser abordada de maneira moderada e criteriosa, visto que os deslocamentos anómalos podem indicar discrepâncias exageradas e que irão deturpar os valores estatísticos, sendo que esses deslocamentos podem se dever, por exemplo, a incompatibilidades nas projeções ou a inexatidões na georreferenciação. É aconselhável retirar, um a um, os valores anómalos, e ir verificando a alteração do valor do desvio padrão, de modo a se tentar chegar a um exame mais certo do mapa em questão. Semelhantemente, é recomendável que se apresente a rede de distorção juntamente com os pontos de controlo e os seus deslocamentos. É também possível analisar partes de um mapa tentando encontrar as áreas em que os valores dos deslocamentos sejam mais iguais. Uma das fontes de informação por vezes não tão utilizada do MapAnalyst é o relatório com as estatísticas da transformação que pode apontar outras informações não tão evidentes pela rede de distorção.

Uma das vantagens adicionais do software é o cálculo de isolinhas de escala e rotação, indicadas com um maior ou menor grau de assertividade, e que poderão revelar futuras formas de investigação do mapa e dados acerca da sua construção.

De facto, o MapAnalyst será eficiente no estudo de mapas de grande escala e de projeção conhecida, e possivelmente com maior rigor, em que não se verifiquem

incompatibilidades entre as projeções atribuídas e efeitos desproporcionados da transformação e reprojeções realizadas na análise planimétrica do mapa, tal como a possibilidade de uma clara identificação dos pontos coincidentes. Neste caso encontram-se mais concretamente mapas a partir da metade final do século XVIII e do século XIX.

Será também importante reunir informações convincentes acerca da forma de construção e de contextualização do mapa ou conjunto de mapas.

Em relação a mapas de pequena escala o MapAnalyst poderá gerar deformações geométricas adicionais decorrentes da transformação e reprojeções efetuadas, sendo necessária uma interpretação de resultados mais cuidada e talvez em várias etapas, com atenção na escolha da projeção e aplicando diferentes formas de visualizações.

É de realçar igualmente a interface de fácil manuseamento, que permite, tal como os autores pretenderam, que investigadores sem conhecimentos na área adquiram novos conhecimentos sobre os mapas que estão a analisar e os georreferenciem, e possam assim aplicá-los em variados estudos, e desenvolvam dessa maneira conhecimentos mais pormenorizados nas Tecnologias de Informação Geográfica ao dispor.

Compreendido o método e tendo cuidado na escolha dos parâmetros e na leitura dos resultados (não os entendo como totalmente irrefutáveis) o MapAnalyst poderá constituir um contributo numa investigação cartométrica de mapas antigos ou na definição dos caminhos a seguir, como a sua integração com outros métodos, ou ainda, a destacar, a possibilidade de comparação de dois mapas antigos.

ESTUDO CARTOMÉTRICO DAS CARTAS NÁUTICAS ATRAVÉS DO MAPANALYST

Para esta análise, as imagens das cartas náuticas selecionadas foram obtidas a partir de ficheiros de imagens que se encontravam disponibilizados online, de utilização livre, e com uma boa resolução que fosse suficiente para permitir realizar a sua georreferenciação de forma mais precisa. Ao se escolher as imagens foram privilegiadas as das entidades oficiais suas detentoras.

Há ainda que referir a base de dados MEDEA-CHART (medea.fc.ul.pt) desenvolvida pelo projeto MEDEA-CHART do Conselho Europeu de Investigação (CIUHCT), um sistema de informação online de cartas náuticas antigas, com um vasto repositório, de onde algumas imagens de cartas náuticas foram retiradas.

As imagens das cartas náuticas selecionadas encontram-se disponibilizadas no anexo I.

Foi usado como mapa de referência atual para integrar no MapAnalyst uma imagem de satélite, em formato TIF, da coleção de imagens da *Blue Marble* da NASA, disponível para uso público online. Esta é uma imagem da Terra em cor verdadeira, obtida em fevereiro de 2002, e encontra-se na projeção cilíndrica equidistante centrada na linha do Equador.

CARTA NÁUTICA ANÓNIMA DE MODENA DE C. 1471

A carta náutica que se encontra preservada na Biblioteca Estense Universitaria em Modena é a carta náutica de origem portuguesa mais antiga conhecida. Não está assinada nem datada, mas a nomenclatura dos topónimos registados é indicativa da sua origem portuguesa. A área representada engloba partes da costa atlântica da Europa e de África, desde o Golfo da Biscaia até ao Golfo da Guiné, apresentado apenas a entrada para o Mediterrâneo, e incluindo ainda os arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias e de Cabo Verde.

A carta está desenhada sobre pergaminho e tem uma medida de 75,2 x 65 cm, e contém todos os elementos típicos das cartas náuticas tradicionais: os rumos, uma escala, topónimos, e algumas decorações como as rosas de vento, as bandeiras, e algumas vistas de cidades. O ponto central no desenho da carta encontra-se na África Ocidental a Sul do Cabo de Gué, que seria um posto comercial português na altura. Desse ponto irradiam rumos que são intercetados por pontos de intersecção, alguns com rosas do vento, sendo que esse ponto central tem 16 rumos que partem dele e todos os outros subpontos na carta têm 32 rumos (Metcalf; 2020).

É tradicionalmente atribuída a datação de c. 1471, coincidente com a viagem de Pero Escobar e João de Santarém, que chegaram às costas da Guiné nesse ano, uma vez que *Rio do Lago* (atual Lagos) é dos últimos topónimos registados na carta. No entanto, a carta poderá ter sido produzida posteriormente a esta data, sendo plausível a sua produção nas três últimas décadas do século XV. Pode ainda se referir, por exemplo, o facto de não ser especificamente mencionado ou figurado o Castelo de S. Jorge da Mina, mandado construir a partir de 1482, e bastante traçado nos mapas portugueses posteriores, havendo apenas a referência “amina do ouro” nesse local (Alegria *et al*; 2012). Poderá, assim, encontrar-se relacionada com as viagens exploratórias portuguesas, e servir para as apoiar ou registar esse avanço, o que parece apontar, juntamente com o facto de ter uma decoração escassa, para uma utilidade mais prática da carta.

Para o propósito deste trabalho de projeto a carta de Modena foi analisada no MapAnalyst a partir de 40 pontos de controlo identificados, elaborando-se uma rede de distorção através do método de transformação afim de 6 parâmetros, com um espaçamento de 75m. No geral a rede de distorção parece evidenciar linhas tendencialmente direitas e com espaçamentos mais ou menos regulares, embora com zonas em que existe mais deformação, como nas áreas perto dos arquipélagos atlânticos, e, com mais destaque, na zona da costa africana a Sul de Cabo Verde. O erro médio de deslocamento é de c. 59m e o desvio padrão é de c. 42m. Na totalidade da área reproduzida na carta existe uma rotação no eixo X de 2º e no eixo Y de 6ª, ambas no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio (ccw). Os valores em relação ao uso do método Helmert de 4 parâmetros são de c. 63m no erro médio de deslocamento e de c. 45m no desvio padrão, com uma rotação de 5º ccw. Para a transformação afim de 6 parâmetros os vetores de deslocamento com maior discrepância encontram-se em áreas nos extremos do mapa, um nos Açores e um no ponto mais a Sudeste identificado na costa de África. Ao se utilizar os métodos de ajuste robusto Huber e estimador em V todos os pontos nos Açores e na faixa costeira africana Sul representada no mapa ficam como discrepantes, e o erro médio desce para c. 26m e c. 23m respetivamente. Para o estudo de isolinhas de escala e rotação foi selecionado um raio de influência de 1000m e um intervalo de 1:50 no caso da escala e de 5 para a rotação, verificando-se a existência de mais isolinhas de escala perto do arquipélago dos Açores e próximo dos contornos da faixa costeira Nordeste de África e da parte do Ocidente europeu representado. Quanto às isolinhas de rotação são visíveis numa transversal a meio da Península Ibérica e sensivelmente a meio do continente africano e seguindo a linha de costa, parecendo também indicar que a zona da costa representada a Sul poderá ter tido uma rotação desigual.

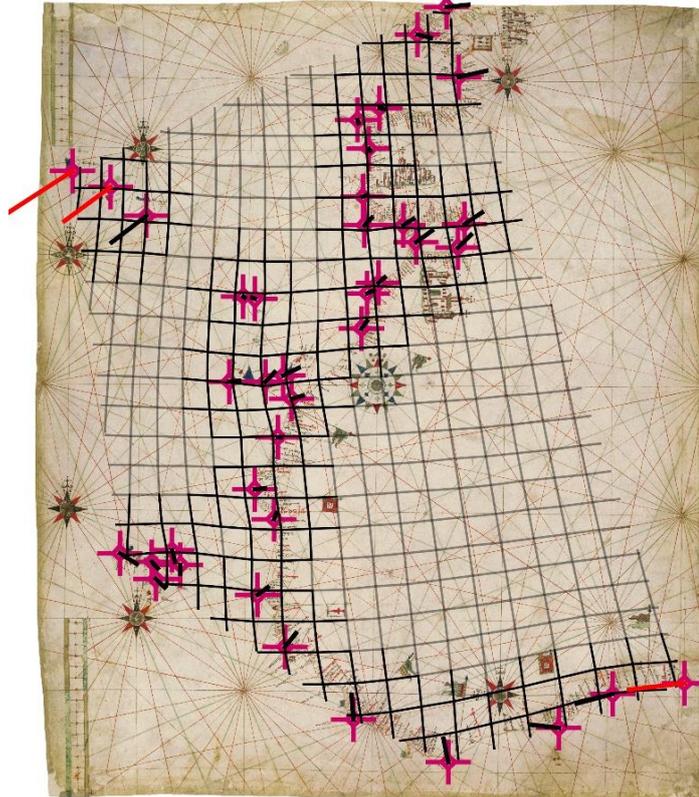


Figura 10 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)

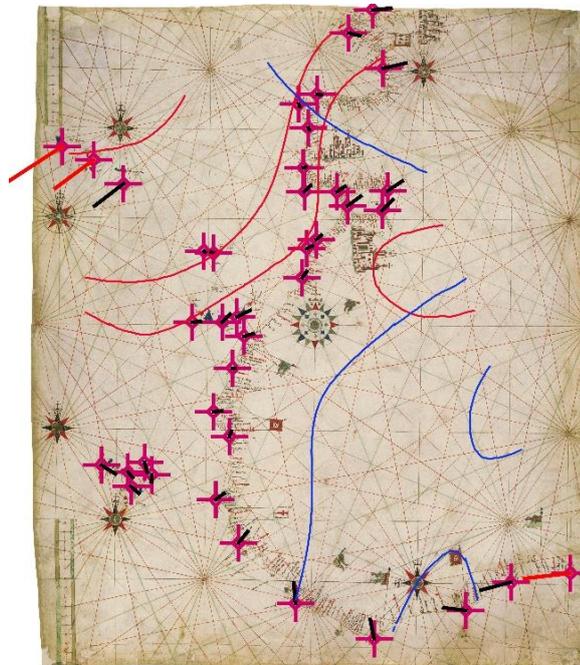


Figura 11 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e de rotação marcadas a azul

CARTA NÁUTICA DE PEDRO REINEL DE C. 1492

Pedro Reinel (c. 1462 – c. 1542) faz parte dos primeiros fabricantes de cartas náuticas portuguesas conhecidos, que, juntamente com o seu filho e seguidor Jorge Reinel (c. 1502 – c. 1572) marcou o estilo cartográfico de origem portuguesa na passagem das viagens mais exploratórias do século XV para a cartografia do século XVI. O cartógrafo tinha oficina em Lisboa, onde terá trabalhado como *mestre de agulhas e de cartas de marear*.

Segundo algumas correspondências da época, os Reineis terão estado, sob circunstâncias pouco esclarecidas, envolvidos também na produção de cartas náuticas que terão servido de suporte à expedição de Fernão de Magalhães no ano de 1519.

Em 1524 estiveram presentes, juntamente com o cartógrafo Lopo Homem, nas negociações da chamada Junta de Badajoz-Elvas, uma conferência que pretendia discutir se as Ilhas das Molucas ficavam no lado português ou espanhol da linha de demarcação estabelecida no Tratado de Tordesilhas, tendo os cartógrafos continuado a trabalhar para Portugal.

A denominada Escola dos Reineis, faria, assim, com que adquirissem uma posição importante na história da cartografia portuguesa pelo seu rigor, capacidade técnica e componente artística das suas cartas (Albuquerque; 1994).

A carta náutica por ele assinada, e preservada nos Archives départementales de la Gironde, com uma medida de 71,5 x 93,5cm, revela uma extensão da área representada desde as Ilhas Britânicas até ao Rio Zaire, abrangendo assim as costas europeias e mediterrânicas Ocidentais, e do Norte de África.

Esta que é carta náutica portuguesa assinada mais antiga que se conhece, teve uma data atribuída inicialmente de 1485, mas poderá ir até 1492, de acordo com representações de bandeiras presentes no mapa. Nesta carta, o cartógrafo virou o pergaminho de modo que o Norte estivesse no cimo do mapa, ao contrário do usual nas cartas portulano de origem mediterrânica, em que esse "pescoço" mais estreito do mapa aparece na parte Oeste representada. Isso terá permitido uma maior extensão

de representação na direção Norte-Sul ao longo das costas atlânticas. Terá também colocado uma faixa de linha de costa no interior do continente africano, que continua o perfil da costa desenhado até ao *Cabo Corço*, perto do Castelo da Mina, sobre o qual não se sabe especificar concretamente o seu propósito (Cortesão; 1935). Nesta análise do mapa, foi copiada e recolocada na sua posição geográfica adequada essa parte da imagem com a faixa costeira traçada no interior do continente.

Deste modo, na sua forma mais “estendida”, a carta contém já os resultados das viagens de exploração feitas ao serviço de Fernão Gomes (1469 -1473) e da primeira viagem de Diogo Cão (1482 – 1484), conferindo-lhe assim uma maior relevância histórica. Esta carta náutica parece assim ter acompanhado as viagens de exploração dos portugueses e os levantamentos que começavam a ser realizados, como as determinações das latitudes, o que indica que teria uma utilização mais prática.

A análise planimétrica foi feita no MapAnalyst através da identificação de 63 pontos de controlo, tendo sido usada primeiramente uma transformação afim de 6 parâmetros, de modo a se criar uma rede de distorção com 125m de espaçamento das linhas. A partir da observação dessa rede foram verificadas as mesmas deformações também presentes na carta anterior apresentada – as próximas dos arquipélagos atlânticos, e perto de Dakar, e a inclinação junto da linha de costa africana representada mais a Sul, incluindo a parte que foi reposta na posição geográfica original – além das deformações próximas das Ilhas Britânicas no topo da carta e a inclinação do Mediterrâneo.

Com estes parâmetros, os valores indicados foram assim de c. 90m para o erro médio de deslocamento e de c. 63m para o desvio padrão, e ainda uma rotação de 2º ccw no eixo X e de 12º ccw no eixo Y. Não foram identificados pontos discrepantes com a transformação afim de 6 parâmetros, sendo que, ao se usar as transformações robustas de Huber e estimador em V, são identificados os pontos localizados nos Açores, na parte da costa africana desenhada mais a Sul no mapa e transposta para a sua posição retificada, e alguns dos pontos mais a Norte, perto das Ilhas Britânicas.

Verificam-se igualmente valores de erro médio de deslocamento e desvio padrão mais reduzidos.

As isolinhas de escala e rotação foram também estudadas, a partir dos parâmetros de 1000m do raio de influência e de um intervalo de 1:400 para a escala e de 5 para a rotação, tendo sido identificadas isolinhas de escala próximas dos Açores e da faixa costeira mais a Sul na carta. Quanto às isolinhas de rotação foram identificadas perto das ilhas Britânicas, outras seguindo de certa forma os contornos das costas ocidentais europeias, e africanas mais a Norte, e também junto da e na própria zona da faixa costeira colocada agora mais a Sul.

Quando foram apenas estudados os pontos localizados na parte de África, e utilizando-se a transformação afim de 6 parâmetros, obteve-se uma rotação de 11º ccw no eixo Y (1º ccw no eixo X), com um erro médio de deslocamento de c. 40m e desvio padrão de c. 28m. Por seu turno, ao se selecionar apenas os pontos na costa atlântica da Península Ibérica e da costa africana até Cabo Verde, incluindo os dos restantes arquipélagos, obteve-se os valores de c. 33m de erro médio de deslocamento e de c. 23m de desvio padrão, e apenas uma rotação de 1º no sentido dos ponteiros do relógio (cw) para o eixo X. Foram também analisados os pontos na zona do Mediterrâneo, selecionando-se 13 pontos, o que indicou uma rotação de 9º ccw no eixo X e 7º ccw no eixo Y para essa zona, assim como um erro médio de deslocamento de c. 20m e desvio padrão de c. 14m.



Figura 12 - Carta náutica de Pedro Reinel de c. 1492 com a área do Golfo da Guiné recolocada na sua correta posição geográfica



Figura 13 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)



Figura 14 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul



Figura 15 - Rede de distorção para a área selecionada no Atlântico

CARTA NÁUTICA DE PEDRO REINEL DE C. 1504

A carta náutica assinada por Pedro Reinél, e datada de 1504, encontra-se na Bayerisch Staatsbibliothek em Munique, e é considerada a carta mais antiga conhecida que apresenta uma escala de latitudes, colocada a meio do oceano Atlântico. Pelas suas características, é considerada um dos primeiros exemplares cartográficos a conjugar a orientação por distâncias e por altitude, pelo que será dos primeiros a registar as latitudes observadas.

Contém ainda uma outra escala de latitude, posicionada junto da faixa terrestre da Terra Nova, e orientada obliquamente, e com intervalos menores que a escala “principal” traçada a meio da carta. A escala oblíqua apresenta um ângulo de c. 22º 30’ em relação ao Norte, e um valor de duas quartas da rosa dos ventos.

A datação foi atribuída por Cortesão e Mota (1987) mas foi recentemente contestada por Gregory McIntosh (2020), que à luz de novas informações, defende que a carta datará mais provavelmente de 1519. Seria, portanto, resultante das viagens costeiras na Terra Nova dos irmãos Gaspar Corte Real e Miguel Corte Real, de 1501 e 1502; e de João Fernandes ao Labrador, por volta de 1500 e 1502; assim como, da primeira viagem de João Álvares Fagundes à zona Sul da Terra Nova, ao Cabo Breton e à Nova Escócia, por volta de 1518.

Na continuação do texto, e apenas como forma de prevenir ambiguidades, a carta náutica irá continuar a ser mencionada como carta de Pedro Reinél de c. 1504.

A carta reproduz o Atlântico Norte, além da área mediterrânica ocidental e central, englobando desde as Ilhas Britânicas até às ilhas de Cabo Verde, e incluindo a zona da Terra Nova a Noroeste. Está inscrita numa folha de pergaminho de aproximadamente 62 x 89 cm, e uma das inscrições indica, assim, “pedro Reinél a fez”.

Nesta época para o registo da escala de latitudes no meio do Atlântico existiriam referências mais estabelecidas das latitudes de vários locais, como os Açores, locais ao longo da costa Noroeste africana e Cabo Verde. Porém as informações referentes à área de costa da Terra Nova eram mais escassas e recentes, decorrentes de viagens que partiam maioritariamente dos Açores. Uma das

dificuldades associadas era a diferença da declinação magnética existente (que não seria totalmente conhecida e entendida pelos cartógrafos e pilotos), que deveria ser nula nos Açores e ir aumentando com a navegação na direção da Terra Nova onde atingia valores aproximados entre 15° O a 25° O, de acordo com os modelos paleomagnéticos referidos anteriormente. Na navegação por distâncias efetuada nessas viagens incorriam mais erros do que a navegação na costa de África, nesta altura essencialmente por latitudes e numa zona geralmente de pouca declinação magnética. Os dados da latitude astronómica posteriormente recolhidos em terra e os rumos indicados nessa área do Norte Atlântico, não seriam assim supostamente coincidentes com os da escala “principal”, surgindo assim uma necessidade de os “ajustar” à escala geral do mapa, mas mantendo os rumos indicados, que os pilotos das embarcações seguiam de modo a encontrarem a posição pretendida. Um dos pontos mais meridionais na Terra Nova, indicado na carta e existente hoje em dia – o Cabo Raso – apresenta uma altitude correta quando lido na escala oblíqua.

Por outro lado, o tamanho excessivo da Terra Nova, a deformação angular que apresenta e a distância verificada para os Açores, indicam que a área foi traçada na carta através de informações do rumo e da distância, seguindo o modelo das antigas cartas *portulanos* (Gaspar; 2010).

A análise planimétrica da carta foi feita através da identificação de 55 pontos de controlo, e primeiramente através de uma transformação afim de 6 parâmetros foi verificado que o ponto mais discrepante foi o localizado mais a Norte da área da Terra Nova, a rotação do eixo X é de 2° cw, enquanto o erro médio de deslocamento é de c. 98m e o desvio padrão de c. 70m. Observando a rede de distorção, com espaçamento de 150m, é perceptível uma ligeira inclinação na área do Mediterrânico, deturpações na parte das Ilhas Britânicas e o Norte da Europa representado, assim como na zona da Costa Africa junto às Ilhas Canárias e Dakar. Similarmente a zona da Terra Nova apresenta linhas da rede com inclinação para a direita.

A análise com a transformação de Huber apresenta essas mesmas deformações mais pronunciadas, com o erro médio mais reduzido, e com todos os pontos identificados na Terra Nova como pontos discrepantes. Quanto à análise com a

transformação estimador em V , tem um valor de erro médio menor, apresentado as deformações mais pronunciadas e mais pontos como discrepantes, incluindo também os do Norte da Europa e os Açores, sendo que os da zona da Terra Nova são os pontos que mantêm os maiores valores de disparidade em relação aos restantes.

Quando foi criada uma rede de distribuição para a área do Mediterrânico a rotação do eixo X passou para 7° e a do eixo Y passou para 6° , ambas ccw, com um erro médio de c. 24m e desvio padrão de c. 15m. E, ao se selecionar apenas os pontos no Atlântico, excluindo os da Terra Nova, a rotação do eixo Y passou a ser de 2° ccw e a do eixo X passou a ser de 0° , encontrando-se um erro médio de c. 54m e desvio padrão de c. 39m.

Ao se criar uma rede de distorção que englobe os pontos da Terra nova e dos Açores os valores de rotação mudam para 27° cw para o eixo Y e para 2° cw para o eixo X (erro médio de c. 22m e o desvio padrão é de c. 16m), existindo uma coincidência visual com o traçado da escala oblíqua da carta náutica.

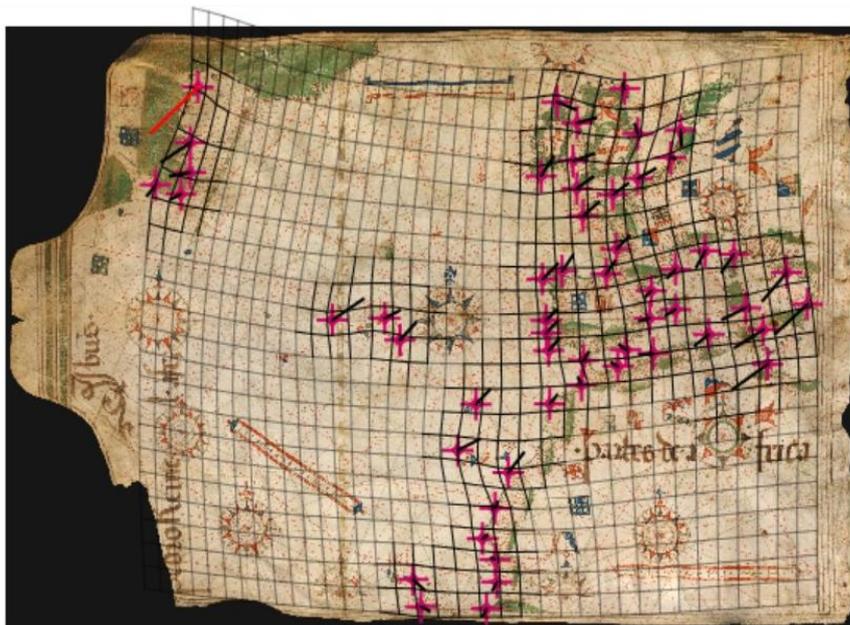


Figura 16 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)

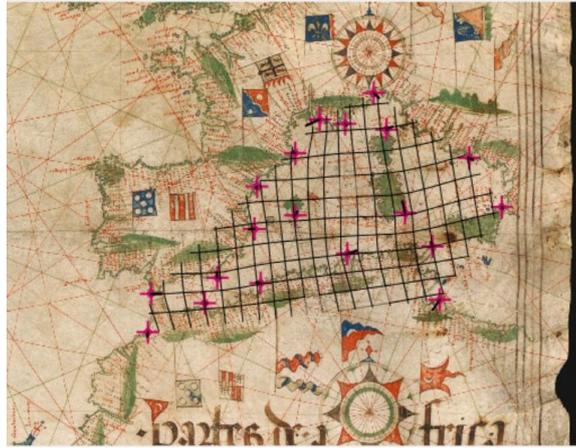


Figura 17 - Rede de distorção para a área do Mediterrâneo (pormenor)

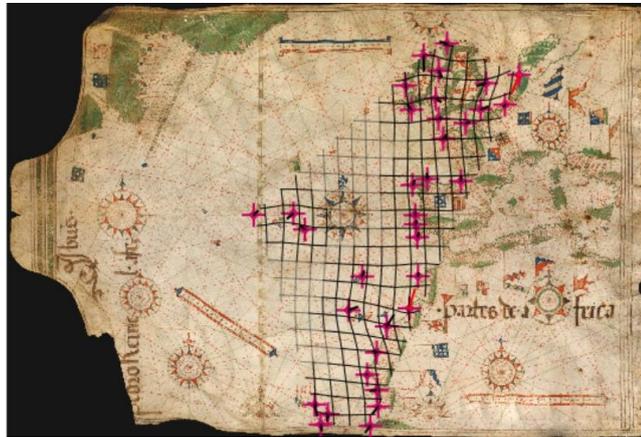


Figura 18 - Rede de distorção para a zona do Atlântico Norte, excetuando a área da Terra Nova

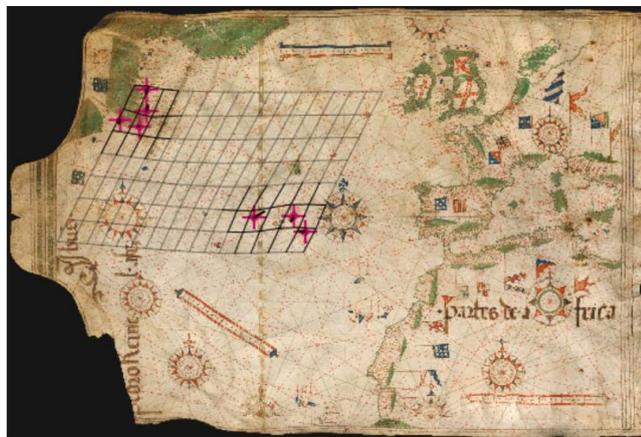


Figura 19 - Rede de distorção para a área da Terra Nova e Açores

CARTA NÁUTICA DE LOPO HOMEM DE 1550

Esta carta anónima, que foi atribuída a Lopo homem e datada de 1550, de acordo com Cortesão e Mota (1987), está ao cuidado da Biblioteca Nacional de Portugal. Lopo Homem foi um proeminente cartógrafo do século XVI, e que apesar de se conhecerem poucos exemplares seus, são entendidos como tendo uma boa qualidade gráfica. O cartógrafo colaborou com os Reineis (Pedro e Jorge) também no chamado atlas “Miller” de 1519, com uma rica decoração e iluminuras, mas com cartas náuticas de cariz menos preciso, e que se pode considerar mais “propagandístico” e para divulgação das novas zonas exploradas (Albuquerque; 1994).

Esta carta encontra-se sobre pergaminho e apresenta uma medida de 59 x 87 cm. A extensão da área cartografada corresponde também ao Atlântico Norte, com a parte do Mediterrâneo ocidental e central, representado as costas atlânticas entre as Ilhas Britânicas até ao Cabo Verde, e incluindo igualmente a área da Terra Nova. Apesar de manter a existência de diversos topónimos ao longo da costa, a representação dessa zona do Atlântico Noroeste tem ligeiras diferenças com a carta de Pedro Reinel de c. 1504, ao apresentar mais contornos costeiros, e ao não incluir a área terrestre mais extensa que se encontrava representada no topo Norte desta zona na carta náutica de c. 1504.

A carta apresenta igualmente duas escalas de latitude, sendo a “principal” a meio do Atlântico, a Oeste dos Açores, e uma outra escala secundária (mas vertical, e não oblíqua) colocada junto da costa da Terra Nova, a qual seria adequada apenas para essa zona, (não sendo coincidente com os graus indicados na “principal”). Aparenta, pois, ter a mesma função da escala auxiliar encontrada na carta anterior, de conciliar os dados de navegação da distância e rumos com a sua latitude verificada nessa área, que seria díspar com o resto da área representada na carta.

Foi feita uma análise no MapAnalyst com 70 pontos de controlo, sendo que, após a transformação afim de 6 parâmetros, a observação da rede de distorção (com

espaçamento de 150m) apresenta globalmente as mesmas deformações verificadas na carta anterior, com um maior ênfase para o canto superior direito, no qual a área do Norte da Europa tem mais superfície representada do que na carta anterior. Foi apurado um erro médio de deslocamento de c. 101m e desvio padrão de c. 72m, sendo a rotação no eixo X de 3º ccw e a rotação no eixo Y de 1º ccw. Os poucos pontos discrepantes são registados nessa zona mais a Nordeste, e que se encontra próximo da extremidade do mapa. Usando o método robusto de Huber os pontos localizados na Terra Nova são quase todos discrepantes e há um na zona Nordeste da carta, sendo que, através do método de estimador em V, todos os pontos na Terra Nova são discrepantes, para além dos que se encontram localizados a Nordeste.

Ao se selecionar os pontos em redor da bacia mediterrânica a rotação dos eixos X e Y passa para 7º ccw e 10º ccw respetivamente, obtendo-se um erro médio de c. 22m e desvio padrão de c. 16m (através da transformação afim de 6 parâmetros). Com os pontos do Atlântico selecionados, mas não os da Terra Nova, a rotação dos eixos transitou para 3º ccw no eixo do X e 2º ccw no eixo do Y (erro médio de c. 52m e desvio padrão de c. 37m). Circunscrevendo a rede de distorção apenas aos pontos da área da Terra Nova, o erro médio é de c. 24m e o desvio padrão é de c. 18m, verificando-se que o eixo X adquire uma rotação de 4º ccw, enquanto o eixo Y adquire uma rotação de 20º cw, semelhante à obtida na carta anterior.

Foram também estudadas as isolinhas de escala e rotação, escolhendo-se os parâmetros de 1000m de raio de influência, um intervalo de 1:750 para as isolinhas de escala e um intervalo de 15 para as isolinhas de rotação. Com o resultado obtido observou-se que as isolinhas de rotação se encontram perto da área da Terra Nova, do arquipélago dos Açores, e das ilhas Britânicas, enquanto que as isolinhas de escala se encontram sensivelmente nas mesmas áreas, embora menos a meio do Atlântico e mais perto das ilhas Britânicas, próximas do Norte da Europa.

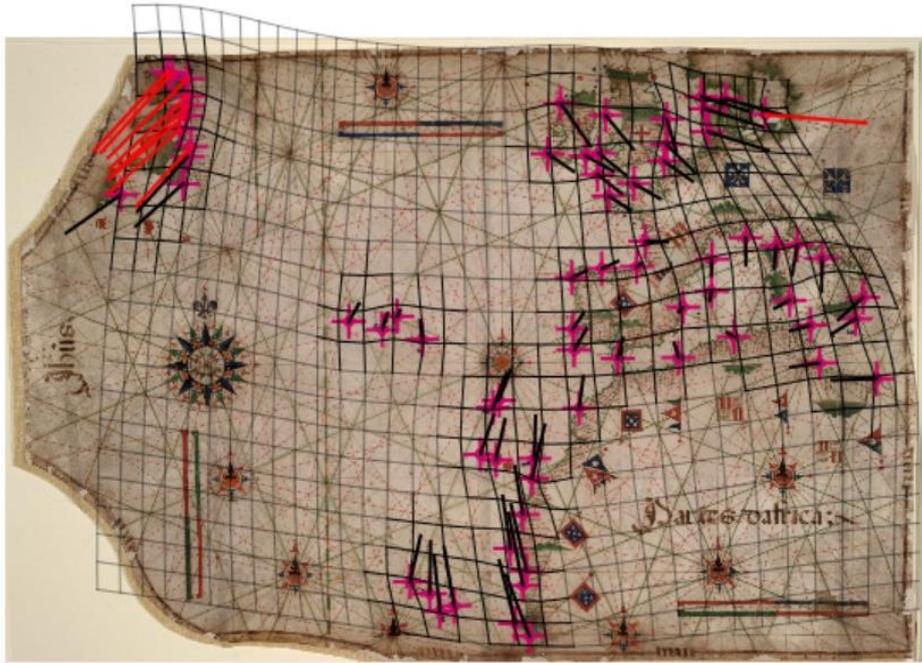


Figura 20 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação robusta de Huber)

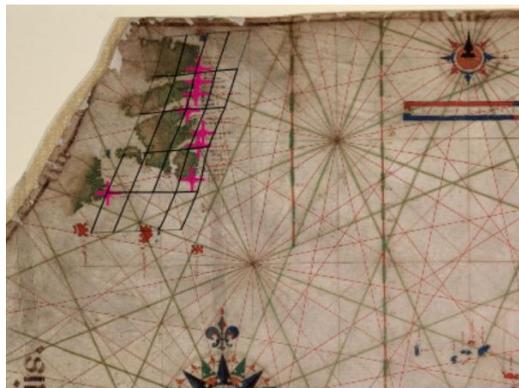


Figura 21 - Pormenor da carta náutica, com as duas escalas de latitude, e a rede de distorção para a zona da Terra Nova

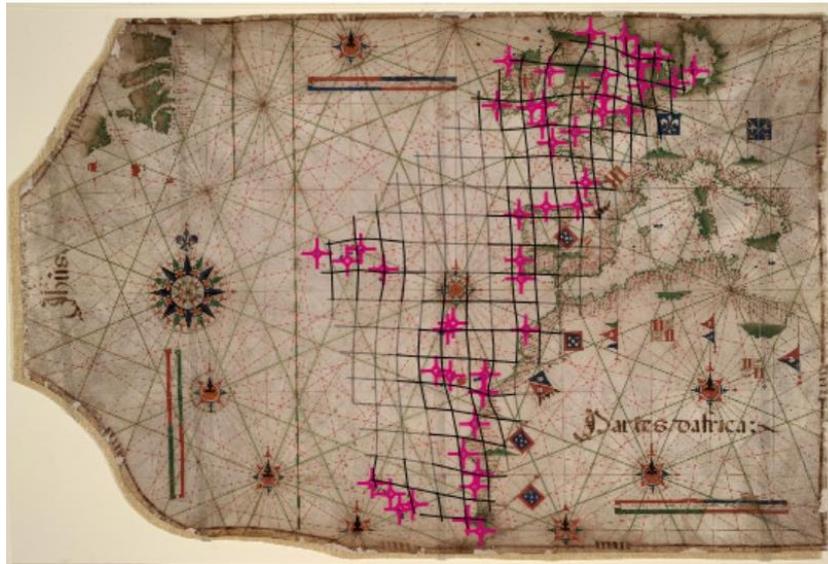


Figura 22 - Rede de distorção para a área do Atlântico Norte, excetuando a zona da Terra Nova



Figura 23 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul, com o mapa de referência utilizado à direita

CARTA NÁUTICA ATRIBUÍDA A JORGE REINEL DE C. 1550

Jorge Reinél, foi filho de Pedro Reinél, trabalhando com ele em vários mapas e atlas, e exercendo igualmente o cargo de *mestre de cartas e agulhas de marear*.

Esta carta encontra-se na Bibliothèque Nationale de France, tendo uma medida de 63 x 88 cm do lado esquerdo e 73 x 88 cm do lado direito.

Segundo a Bibliothèque Nationale de France, a carta náutica pode ser atribuída a Jorge Reinél, e talvez em colaboração com Lopo Homem, com quem era costume trabalhar em conjunto na altura, e com uma datação de c. 1550-60. Porém, Cortesão e Mota (1987) sugerem que o autor possa ser o cartógrafo Bartolomeu Velho.

Representa os contornos costeiros da Europa Ocidental, tal como da África Ocidental, e ainda os contornos Orientais da América do Norte com área da Terra Nova, e as costas da América Central e América do Sul até ao Rio da Prata.

Tem ainda presentes as linhas dos Trópicos e do Equador, que separa as duas escalas de latitude, e figura ainda uma outra escala de latitude oblíqua junto da Terra Nova. Além das 6 rosas dos ventos, apresenta também numerosos brasões e bandeira, maioritariamente portugueses e espanhóis, a assinalar as diferentes possessões dos dois reinos. Fazem ainda parte as vistas de cidades referentes a *São Jorge da Mina* e *Maniconga* em África, e *Quito* e *Cidade de los Reis* na América.

O mapa foi analisado a partir de 108 pontos de controlo identificados, sendo que, ao se usar uma transformação afim de 6 parâmetros, são observadas na rede de distorção elaborada, com espaçamento de 150m, várias deformações, nomeadamente junto dos arquipélagos representados, a inclinação na parte da costa africana mais a Sul sensivelmente a partir de Cabo Verde, ou a inclinação na mesma direção de parte da costa mais a Sul do Brasil e o alargamento do espaçamento das linhas para o interior do continente Sul americano. São também visíveis deformações na costa pacífica do Peru e do Chile oposta à costa do Brasil, na zona das Antilhas e na da península da Flórida, assim como em toda a costa Norte americana com inclinação no

sentido contrário ao das linhas próximas da costa brasileira, e incluindo ainda deformações relacionadas com a área da Terra Nova.

Na globalidade do mapa verifica-se uma rotação de 3º ccw no eixo Y (0º para o eixo X), assim como um erro médio de deslocamento de c. 219m e desvio padrão de c. 155m. Os pontos mais discrepantes são alguns dos localizados na área da Terra Nova e os mais a Sul na costa do Chile e do Uruguai. Enquanto com a transformação robusta de Huber os pontos discrepantes não são muito alterados, com o método estimador em V são identificados mais pontos ao longo das costas da América do Sul, além da totalidade de pontos sobre a área da Terra Nova, e também da parte Sul da costa de África, a partir da zona do Golfo da Guiné. Com a transformação de Helmert de 4 parâmetros apenas poucos pontos na Terra Nova e um ponto no Uruguai são identificados.

Ao serem selecionados apenas os pontos posicionados do lado do Atlântico oriental adquire-se uma rotação de 3º no eixo X e de 8º no eixo Y, ambas ccw, com um erro médio de c. 67m e desvio padrão de c. 47m. Por outro lado, quando se selecionam os pontos do lado Ocidente do Atlântico, os valores são de 3º e 5º respetivamente, e no sentido ccw, notando-se a grande rotação na área Sul do Brasil, e Uruguai, com erro médio de c. 118m e desvio padrão de c. 83m. Com os pontos da costa do lado Oeste da América do Sul selecionados obtêm-se um valor de 16º ccw para o eixo Y, com um erro médio de c. 82m e desvio padrão de c. 58m.

Foram também efetuadas análises dos pontos da América Central (1º cw no eixo X e 5º cw no eixo Y), dos pontos na Europa (1º cw no eixo X e 8º ccw no eixo Y), e da metade mais a Norte representada na carta (2º cw para o eixo X e 9º cw para o eixo Y), que teve um erro médio de c. 194m e desvio padrão de c. 137m, e que revela uma rede de distorção semelhante à que foi verificada nas cartas anteriores. Quando os pontos da área da Terra Nova foram selecionados, os valores foram de 2º no eixo X e 17º no eixo Y, ambas no sentido cw, e um erro médio de c. 24m e desvio padrão de c. 17m.

Na análise das isolinhas usou-se um raio de influência de 3500m, e um intervalo para as isolinhas de escala de 1:200 e um intervalo para as isolinhas de rotação de 2; pelo que se pode observar que as isolinhas de rotação eram visíveis no Atlântico Norte

segundo o contorno da costa da América do Norte, a meio do oceano com uma linha que parte do Brasil e inflete para o Norte de África e outra junto do extremo Sul africano. Quanto às isolinhas de escala encontram-se a aproximadamente na zona da América Central, a meio do Atlântico contornando sensivelmente a costa do Brasil, e também delimitando a zona Norte da carta desde Cabo Verde ou a área central de África.



Figura 24 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta (transformação afim 6 parâmetros)



Figura 25 - Rede de distorção para a parte Ocidental



Figura 26 - Rede de distorção para o Brasil

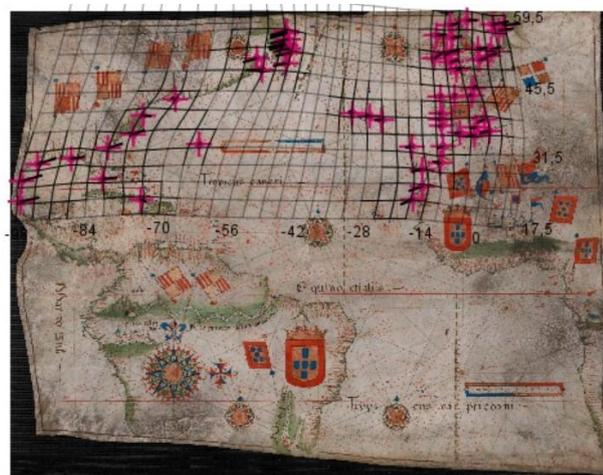


Figura 27 - Rede de distorção para a zona mais a Norte

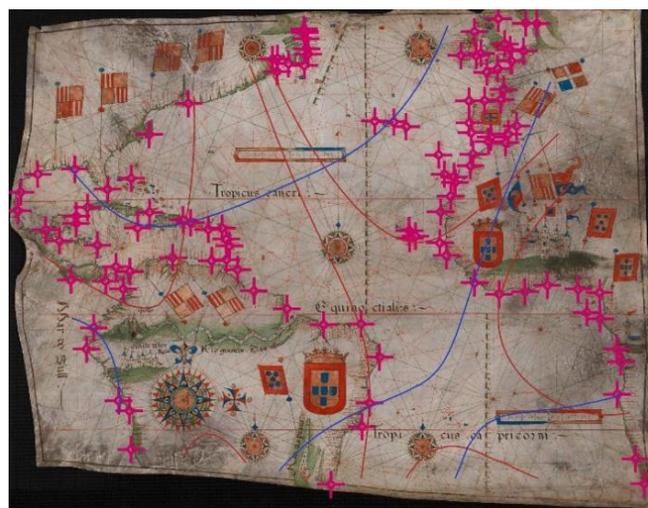


Figura 28 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul

CARTA NÁUTICA DE SEBASTIÃO LOPES DE 1558

Esta é a única carta náutica conhecida assinada, e também datada de 1558, por Sebastião (*Bastiam*) Lopes, um importante cartógrafo deste tempo, e que se tornaria também no principal cartografo e fabricante de instrumentos do Armazém da Guiné e Índia.

Encontra-se arquivada na British Library, tendo sido efetuada em pergaminho, com uma dimensão geral de 101,5 x 83 cm.

É visível muita decoração como as diversas rosas do vento, os brasões e bandeiras, principalmente portuguesas, e as representações de lugares, como Lisboa e S. Jorge da Mina. Dentre as várias decorações, vê-se também uma no Norte de África, em que dois portugueses montados parecem encaminhar um par de cavaleiros mouros, e outra, em que aparece no Brasil um indígena a cortar uma árvore de pau-brasil, que já se tinha tornado uma importante mercadoria de exportação. São ainda figuradas as linhas dos trópicos e do Equador, da qual partem as duas escalas de latitude presentes. Pela existência de toda esta decoração, e pela sua qualidade, parece que a carta foi criada para exposição e não para uma utilização prática.

A análise desta carta foi realizada no MapAnalyst através da identificação de 110 pontos de controlo ao longo das costas representadas, criando-se uma rede de distorção com 150m de espaçamento, e usando, em primeiro lugar, a transformação afim de 6 parâmetros.

A carta elaborada por Sebastião Lopes apresenta no geral as mesmas deformações que a carta analisada anteriormente, embora mais pronunciadas nas zonas do Norte da Europa que tem nesta carta mais área representada. Verifica-se, assim, um erro médio de deslocamento de c. 209 e um desvio padrão de c. 148m. A rotação no eixo X é de 0º e no eixo Y é de 3º ccw, e os pontos discrepantes também se encontram na Terra Nova e na costa do Chile. Com a transformação de Huber são identificados mais pontos na Terra Nova, na costa oriental da América do Sul e no

Nordeste da Europa, sendo que, com a transformação estimador em V, são adicionados pontos mais próximos da América Central.

Ao serem selecionados os pontos ao largo das costas atlânticas Ocidentais europeias e africanas, a rotação muda para o 1º cw no eixo X e de 6º ccw para o eixo Y, sendo o erro médio de c. 73m e o desvio padrão de c. 51m. Ao se selecionar os pontos da costa Oeste da América do Sul, é visível igualmente a exagerada rotação no eixo Y de 17º ccw, com um grande desfasamento das linhas no interior do continente (erro médio de c. 80m e desvio padrão de c. 57m). Com os pontos selecionados da zona da Terra Nova a rotação será de 3º cw (eixo X) e 20º cw (eixo Y) com erro médio de c. 22m e desvio padrão de c. 16m, sendo que com os pontos selecionados da área da bacia do Mediterrâneo a rotação apresentada foi de 8º ccw no eixo X e de 10º ccw no eixo Y, com erro médio de c. 32m e desvio padrão de c. 22m.

Com a intenção de estudar as isolinhas de escala e rotação, foi determinado um raio de influência de 3500m, um intervalo de 1:700 para as isolinhas de escala e um intervalo de 2.5 para as isolinhas de rotação. As isolinhas de rotação apresentam globalmente a mesma distribuição que a verificada na carta anterior, embora tendencialmente situadas mais a Norte e com mais linhas a limitar a parte Nordeste do mapa e o ponto mais a Sul do continente americano, tal como para as isolinhas de escala, que apresentam uma distribuição muito semelhante ao da carta anterior, mas com mais uma “divisão” na parte da América Central.



Figura 29 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)

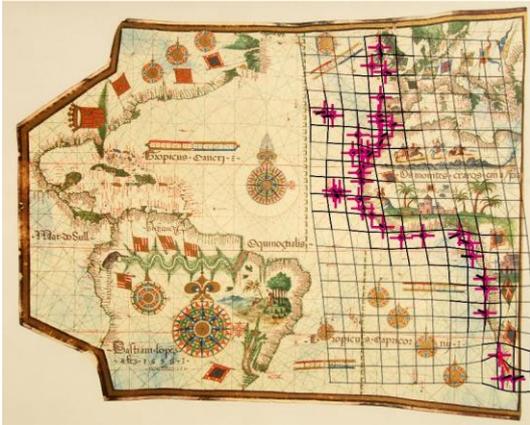


Figura 30 - Rede de distorção para as costas Ocidentais da Europa e de África

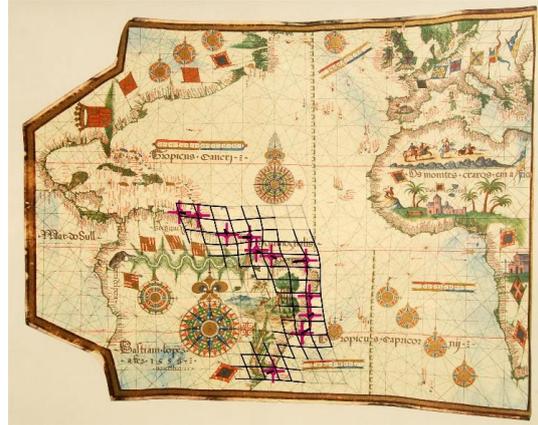


Figura 31 - Rede de distorção para a América do Sul

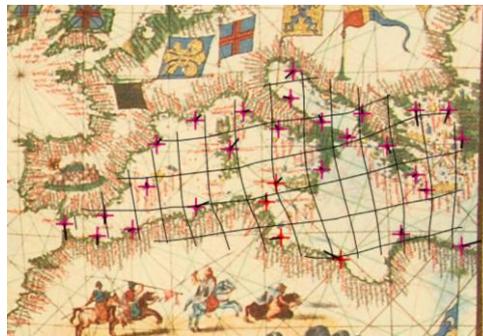


Figura 32 - Rede de distorção para o Mediterrâneo (pormenor)

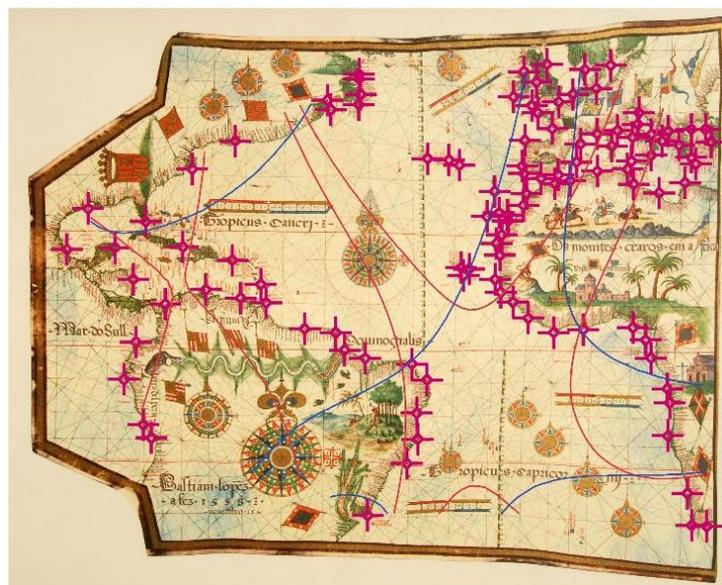


Figura 33 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul

CARTA NÁUTICA DE JOÃO TEIXEIRA ALBERNAZ DE C. 1620 - 1640

João Teixeira Albernaz (I) (último quartel do século XVI - c. 1662) advém de uma importante família de cartógrafos portugueses, que se iniciou com Pero Fernandes e continuou com Domingos Teixeira e Luís Teixeira, o pai de João Teixeira Albernaz (I) e também de Pedro Teixeira Albernaz, fazendo ainda parte João Teixeira Albernaz (II), neto do seu homónimo, e devido ao qual João Teixeira Albernaz (I) é também muitas vezes chamado de “O Velho”. No geral, esta família representa uma oficina e escola cartográfica que atravessou cinco gerações durante praticamente dois séculos.

João Teixeira Albernaz terá aprendido a arte da cartografia do seu pai, Luís Teixeira, (um dos mais importantes representantes desta família, e considerado como fundador de uma nova escola cartográfica na segunda metade do século XVI), levando a que desenvolvesse uma obra entendida como de grande interesse. Este é um dos cartógrafos de que se conhece um maior número de trabalhos produzidos, os quais demonstram amplitude e variedade, seguindo os registos das explorações realizadas por terra e por mar, sendo de destacar os levantamentos topográficos do Brasil. No total, têm lhe sido atribuídos 19 atlas, um conjunto de quatro cartas, duas cartas separadas, além de uma outra incorporada num atlas de origem diferente. Trabalhou também em conjunto com o seu irmão Pedro Teixeira Albernaz, e obteve a Carta de Ofício como mestre de “cartas de marear, astrolábios, agulhas e balestilhas” em 1602, tendo sido nomeado cartógrafo do Armazém da Guiné e Índia em 1605.

Terá influenciado o seu neto, João Teixeira Albernaz (II), que seguiria o seu estilo, embora com diferenças, em grande parte da sua obra; e do qual pouca documentação se conhece, sendo por vezes confundidos os dados referentes aos dois cartógrafos portugueses (Albuquerque; 1994).

Esta carta náutica, pertencente à Torre do Tombo em Lisboa, tem uma datação atribuída de 1620 a 1640, pelo que foi realizada durante a União Ibérica. Constitui uma única folha de pergaminho, e tem uma medida de 76,5 x 94,5 cm, com uma representação do oceano Atlântico, Europa, África e parte da Ásia, com parte do

oceano Índico Ocidental, abrangendo ainda a costa Este da América do Norte, a América Central e do Sul. Esta carta isolada foi obtida por leilão da Agência Christies, dando entrada na Torre do Tombo em 1989, e não se encontra registada na obra *Portugalia Monumenta Chartographica* (1987).

A carta apresenta muitos elementos decorativos e iconográficos, como as imagens de Santo António de Lisboa e de Nossa Senhora da Conceição, Padroeira de Portugal, o que pode ser interpretado como querendo assegurar uma certa primazia portuguesa na época. Encontram-se ainda representadas duas escalas de latitude separadas pela linha do Equador, e também uma outra escala de latitude oblíqua aplicada sobre a área da Terra Nova e de Labrador.

A análise foi efetuada através de 157 pontos de controlo, que enquadrassem a área de representação das cartas anteriores, tendo tido resultados semelhantes para a rede de distorção aos obtidos com essas cartas (através de uma transformação afim de 6 parâmetros, e de um espaçamento na rede de 200m). Ressaltam-se também, assim, as deformações presentes nas costas orientais da América do Sul. O erro médio de deslocamento apresentado é de c. 240m e o desvio padrão é c. 170m, com uma rotação de 1º cw no eixo X e de 2º ccw no eixo Y, para a totalidade da área representada na carta. Os pontos discrepantes localizam-se na Terra Nova, enquanto que, ao se usarem os métodos robustos de Hubert e estimador e V surgem pontos discrepantes adicionais na costa Sudeste africana e da América do Sul, e no Norte da Europa.

Ao serem analisados os pontos das costas atlânticas do lado Oriental, existe um erro médio de c. 95m e um desvio padrão de c. 67m, assim como uma rotação de 9º ccw no eixo Y. No caso de os pontos serem selecionados no lado Ocidental do Atlântico, excetuando os da Terra Nova, os dados encontrados são de c. 169m no erro médio, c. 119 no desvio padrão, e rotações de 1º ccw e de 2º ccw para o eixo X e Y, respetivamente. Ao serem selecionados os pontos apenas da América do Sul verifica-se novamente uma rotação de 15º ccw no eixo Y. Quando são selecionados os pontos da metade Norte da carta, a rede de distorção tem uma aparência semelhante às cartas anteriores que tinham esta extensão de representação (rotação de 1º cw no

eixo X e de 7º cw no eixo Y, além de um erro médio de c. 223m e desvio padrão de c. 158m). Neste caso, quando foram selecionados os pontos da área do Mediterrâneo e Balcãs, a rotação passou para 4º ccw no eixo X e 7º ccw para o eixo Y, e com um erro médio de c. 41m e desvio padrão de c. 29m.

Para os pontos da localizados na Terra Nova, e usando a transformação afim de 5 parâmetro de forma a que se verifique menos distorção, observou-se uma rotação geral de 22º cw, com um erro médio de c. 52m e desvio padrão de c. 37m; assim como uma coincidência visual com o traçado da escala oblíqua e a verificação de distorções maiores na parte Norte desta área.

Na análise das isolinhas foi usado um raio de influência de 400m, nas isolinhas de escala um intervalo de 1:200 e nas isolinhas de rotação um intervalo de 2.5, registrando-se resultados ligeiramente semelhantes aos das cartas anteriores.



Figura 34 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)



Figura 35 - Rede de distorção para a parte Ocidental atlântica



Figura 36 - Rede de distorção para a parte Norte

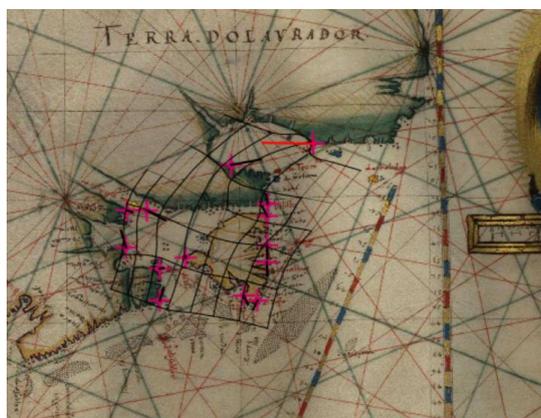


Figura 37 - Pormenor da carta com as duas escalas de latitude (uma oblíqua) e a rede de distorção para a Terra Nova



Figura 38 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul

CARTA NÁUTICA ATRIBUÍDA A JOÃO TEIXEIRA ALBERNAZ DE C. 1640

Esta carta náutica encontra-se ainda como anónima, mas tem sido normalmente atribuída a João Teixeira Albernaz (I) e com uma datação de c. 1640.

Está à guarda da Bibliothèque Nationale de France, e faz parte de um grupo de quatro cartas náuticas que representam os oceanos Atlântico, Índico e Pacífico. A superfície representada é, assim, o oceano Atlântico com a costa ocidental da Europa, a bacia do Mediterrâneo, costa ocidental africana, as costas do Brasil e a área da Terra Nova. O seu material de suporte é pergaminho com uma medida de 46,5 x 65 cm.

Contém igualmente as linhas do Trópico de Câncer e do Trópico de Capricórnio, bem como do Equador, de onde partem as duas linhas de escala. Exibe ainda muita decoração, nomeadamente as rosas de vento (6 no total), e existem também vários brasões de armas, além da representação da cidade de Mina em África com um forte e quatro palmeiras.

Esta carta atlântica teria ligação com as outras três cartas deste conjunto, tendo diretamente continuidade, por exemplo, com a carta da área a Ocidente da representada, com as restantes linhas de costa americanas.

Foi feita uma análise com 72 pontos de controlo, sendo que a partir da transformação afim de 6 parâmetros foi verificado, na rede de distorção com 150m de espaçamento, que apresentava deformações semelhantes às cartas anteriores, particularmente visíveis na zona da costa brasileira, na área do Mediterrâneo e na zona junto da Terra Nova. A rotação é de 3º cw no eixo X e de 2º ccw no eixo Y, e o erro médio de deslocamento é de c. 147m e o desvio padrão é de c. 104m. Existe um ponto discrepante na Terra Nova e um no território brasileiro, ao passo que, com os métodos robustos de Hubert e estimador e V, surgem pontos discrepantes adicionais na costa Sudeste africana e no Norte da Europa.

Ao se selecionar os pontos da metade Oriental da carta obteve-se uma rotação de 6º ccw no eixo Y, um erro médio de c. 61m e um desvio padrão de c. 43m. Com os pontos da América do Sul selecionados verificou-se, assim, uma rotação de 1º cw no

eixo X e uma rotação de 18° ccw no eixo Y, com um erro médio de c. 35m e desvio padrão de c. 25m. Quando os pontos na Terra Nova são escolhidos foi apontada similarmente uma rotação de c. 12° cw no eixo X e uma rotação de c. 23° no eixo Y, tal como um erro médio de c. 33m e desvio padrão de c. 24m.

Optando por se selecionar os pontos localizados na parte Norte da costa de África, aos quais se juntam os arquipélagos atlânticos, obtém-se apenas uma rotação de 1° cw no eixo X e uma rotação de 1° ccw no eixo Y, além de um erro médio de c. 38m e desvio padrão de c. 27m.

Selecionando-se os pontos da bacia do Mediterrâneo não foi obtida nenhuma rotação, verificando-se um erro médio de c. 29m e um desvio padrão de c. 20m, o que demonstra que a inclinação dessa área encontrada nas cartas anteriores foi corrigida para a sua posição correta.

Para as isolinhas foi escolhido um raio de influência de 2500m, além de um intervalo de 1:450 para as isolinhas de escala, e um intervalo de 5 para as isolinhas de rotação, verificando-se resultados com algum paralelo com os anteriores.



Figura 39 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)

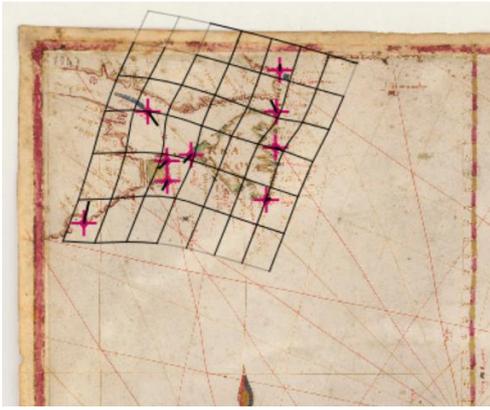


Figura 40 - Rede de distorção para a Terra Nova

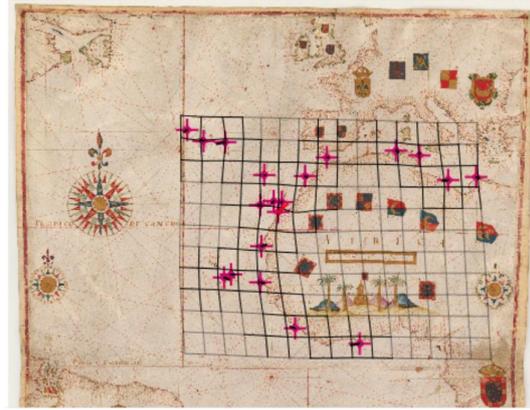


Figura 41 - Rede de distorção para a parte Norte de África

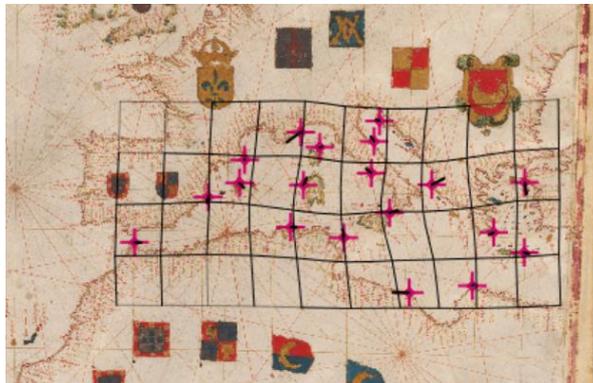


Figura 42 - Rede de distorção para o Mediterrâneo

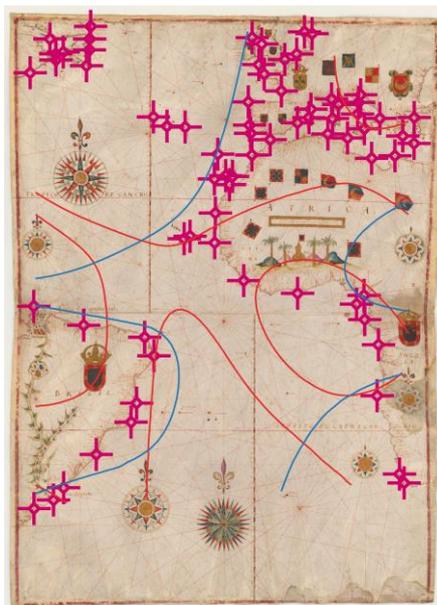


Figura 43 - Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise das cartas náuticas realizada no MapAnalyst permitiu fazer um estudo das suas características cartométricas, e estabelecer também alguns paralelos entre elas.

Os valores verificados de erro médio de deslocamento e do desvio padrão variam de forma crescente quanto maior é a superfície representada, à exceção da carta náutica de Sebastião Lopes de 1558, que embora represente a mesma área que a carta atribuída a Jorge Reinel de 1550, tem valores ligeiramente inferiores aos dessa carta.

No geral todas as cartas apresentam as redes de distorção com linhas perpendiculares e espaçamentos sensivelmente regulares, embora com deformação nalgumas regiões, que alteram o rigor planimétrico na generalidade da área da carta.

Os valores de todas as cartas náuticas analisadas podem ser observados no gráfico a seguir:

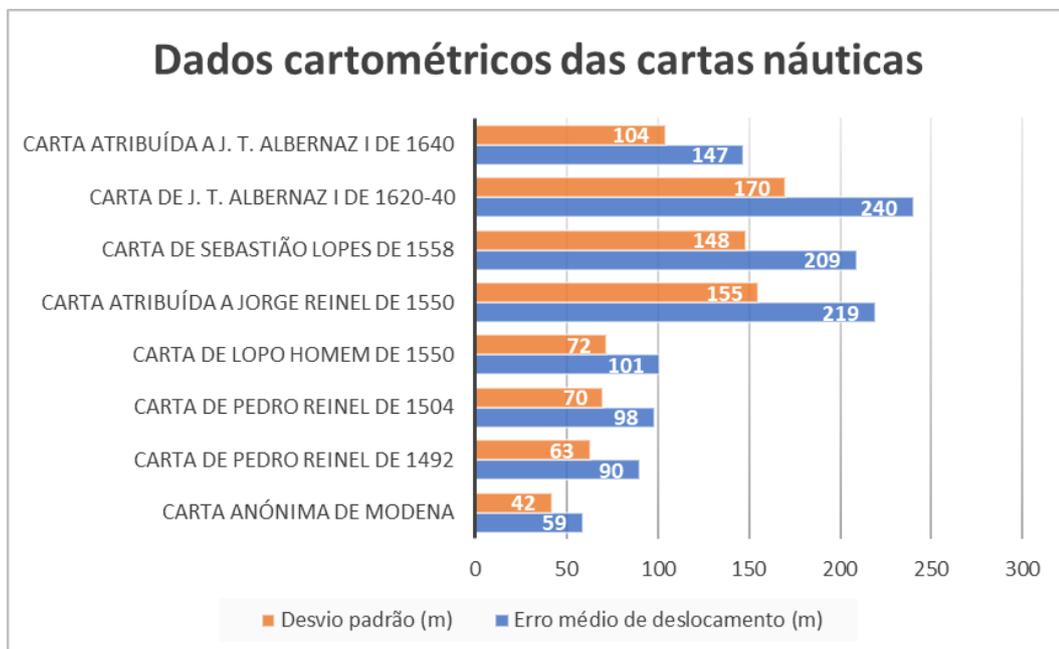


Gráfico com o desvio padrão e o erro médio de deslocamento das cartas náuticas analisadas

No geral a análise das cartas náuticas efetuada no MapAnalyst apresentam resultados semelhantes aos que tinham sido obtidos em investigações recentes do mesmo âmbito (Gaspar *et al.*; 2018). Verificam-se, nomeadamente, as deformações encontradas junto das áreas geográficas dos arquipélagos atlânticos, o que se deverá ao facto de as ilhas serem representadas nas cartas da época de forma exagerada e com espaçamentos incorretos entre elas, não coincidindo perfeitamente com a sua localização geográfica correta. Essa deformação é mais visível nas primeiras cartas analisadas, o que pode querer indicar evolução na representação cartográfica dessas regiões.

Por outro lado, as deformações da Terra Nova, representada numa direção latitudinal diferente da geometricamente correta, parece coincidir com a declinação magnética que se verificaria na época, de acordo com os métodos paleomagnéticos, e que alteraria a forma de representação da região. A forma de representar com recurso à escala de latitudes oblíqua parece que se manteve, apesar de não figurar sempre nos mapas. Em relação à forma de representação da costa na Terra Nova, a verificação da sua inclinação e a existência da escala de latitudes oblíqua, poderá indicar que a área foi traçada na carta com uma inclinação muito exagerada, em desacordo com o resto da área total representada; o que faz com que a parte mais Sul dessa zona, e que se encontra mais vezes reproduzida, ficasse com uma costa oeste orientada praticamente numa linha reta vertical, e que a parte diretamente a Norte ficasse representada quase numa linha horizontal perpendicular a esta, seguindo-se o restante contorno dessa costa para Norte, com uma inclinação exagerada também quase vertical em algumas zonas, e com um traçado muito fictício e que não parece se basear em registos.

Era também aparente a distorção na costa Atlântica Sul de África, com uma inclinação ccw, que parece resultar igualmente do efeito da declinação magnética da época em que foi traçada, e que se manteria na cartografia posterior.

É importante também referir que é perceptível a inclinação na região europeia mediterrânica, que é igualmente verificada nos *portulanos* com representações dessa região mais antigos, e que parece ter persistido nas cartas náuticas de origem portuguesa, tendo sido só gradualmente e mais tardiamente corrigida nas representações cartográficas, como parece ser o caso da carta náutica atribuída a João

Teixeira Albernaz de c. 1640. Similarmente, esta inclinação aparenta refletir a declinação magnética da época, deste caso, dos séculos XIII e XIV.

Igualmente, a parte Norte do continente europeu também apresenta muitas distorções e irregularidades, parecendo ter sido estabelecida a partir de um modelo de mapa com uma escala maior e mais antigo, e que não terá sido efetuado ou usado nenhum levantamento dessa zona para a realização da cartografia desta época.

Da mesma forma é bastante perceptível, nos mapas em que é figurado, os exagerados contornos na costa da América do Sul, e em particular da costa do Brasil, que estendem em demasia o continente de forma longitudinal. Poderão resultar da declinação magnética ou então mesmo de intensões cartográficas propositadas, que se terão mantido e propagado, inclusive em alguma cartografia estrangeira sua contemporânea.

De facto, os mapas terão tido sempre uma vertente de divulgação propagandística, em que se queriam assegurar certos interesses e difundir assim uma determinada “visão do mundo”, principalmente aqueles criados para serem expostos e não de utilização eminentemente prática.

É assim visível que os desenhos das costas foram-se aprimorando, revelando uma maior exploração e conhecimento das áreas traçadas, muitas vezes através do uso das latitudes observadas, e maioritariamente nas áreas em que navegavam mais vezes e nas quais tinham maior interesse, das quais existiriam mais levantamentos e representações. Isso poderá ser evidenciado, nesta cartográfica analisada (principalmente nas cartas mais tardias), na parte mais a Sul da costa atlântica de África, que é figurada ligeiramente inclinada e com incorreções no traçado das linhas costeiras, ao contrário da costa africana Norte atlântica. Nessa região são visíveis contornos mais definidos e rigorosos (essencialmente até Cabo Verde, mas também com contornos mais definidos até ao Golfo da Guiné). Além do maior interesse estratégico nesta área, poderá ter-se igualmente em conta o facto de apenas navegarem na parte mais Sul da costa na viagem em direção à Índia (daí a maior importância do cabo da Boa Esperança, que é figurado nas cartas), enquanto a viagem de volta era feita “ao largo” seguindo as correntes marítimas dessa zona.

Parece também indicar que a integração das latitudes observadas nesta cartografia foi feita de forma gradual (a área do Nordeste de África será um exemplo disso) e em concordância com a cartografia realizada através da orientação por rumos (e afetada pela declinação magnética), o que teria sido facilitado numa primeira fase pela pouca declinação magnética verificada em partes do Atlântico e ao longo da costa africana nesta época.

Estes métodos para a conceção de cartografia, e que são referidos em fontes da época, vêm assim contrariar a ideia da utilização de uma projeção cartográfica “pré-idealizada” para a carta náutica, nomeadamente a da “carta quadrada”. Para tal é indicativo a curvatura das redes de distorção nas representações de áreas em latitudes mais a Norte e Sul, que poderá corresponder à convergência dos meridianos para os polos, resultante de se terem estabelecido as posições geográficas de acordo com os valores registados pela orientação por rumos ou alturas, e não tendo em conta a forma esférica da Terra.

Fica perceptível também, pela análise das redes de distorção e isolinhas de escala e rotação, que as cartas náuticas não foram compiladas de um único “protótipo” de mapa, mas sim de vários diferentes “protótipos” de mapas com representações das diferentes partes da área total, que se viriam a conjugar para criar, como num mosaico, a totalidade da área representada da carta náutica. Para a área representada nas cartas náuticas (com mais extensão de superfície traçada) existiriam, assim, a zona do Mediterrânico, a da Europa do Norte, da África Nordeste e da África mais a Sul, da América do Sul e da Central, e também Norte, mais a da Terra Nova e ainda os arquipélagos, como o dos Açores, que seria normalmente traçado a partir de Lisboa. Esta conjugação de diferentes “protótipos” levaria a inconsistências e “erros” nas cartas como os verificados nas análises cartométricas.

Desta forma, os resultados cartométricos observados parecem também estar de acordo com fontes da época relativas a diferentes levantamentos de altitudes e topográficos de diversas regiões, coincidindo assim com os métodos cartográficos descritos anteriormente, em que as cartas náuticas estariam integradas num sistema, com o propósito de apoiar a navegação. Tivessem estas cartas uma utilização mais prática, como algumas indicam, até pelas marcas de compassos nas rosas do vento

(nomeadamente na carta anónima de Modena), ou mais expositiva, como é indicado por outras (como a de Lopo Homem ou de Sebastião Lopes), a forma de representação da superfície terrestre viria a figurar e influenciar a subsequente cartografia e visões dessas diferentes regiões do mundo.

CONCLUSÃO

A análise das características cartométricas deste conjunto de cartas náuticas, que permitiu retirar determinadas conclusões acerca da sua elaboração e evolução das técnicas cartográficas, demonstra as capacidades do software usado para o desenvolvimento de estudos cartométricos em cartografia antiga.

Contudo, terá de ser entendido com cuidado, sendo necessário usar discernimento no seu uso e na exploração das suas capacidades, sendo necessária uma boa compreensão do seu método e das opções de transformação disponíveis. Por exemplo, os dados cartométricos estatísticos obtidos provaram ser menos úteis e fidedignos que as visualizações das distorções, e devem, portanto, ser interpretados e usados com cuidado, principalmente em relação a esta tipologia cartográfica.

Por outro lado, as análises efetuadas parecem indicar demasiados pontos discrepantes junto da zona exterior representada, o que aparenta ser também efeito das transformações efetuados no processo utilizado pelo MapAnalyst.

É assim necessário compreender que neste caso das cartas náuticas desta época, que foram estabelecidas com base em dados recolhidos no terreno, (ou mesmo sendo baseadas em informações mais antigas, não tendo em conta a esfericidade da Terra), os dados cartométricos obtidos devem ser sempre associados a um determinado grau de dubiedade, e ser também vistos como indicações e como possibilidades de direções para investigações futuras.

Há também que ter em conta que esta colocação dos pontos é de muito difícil precisão, especialmente nas zonas em que as costas não representam concretamente a realidade geográfica, e nem sempre se encontram na sua posição mais exata, sendo que estas análises terão sempre, portanto, um nível elevado de imprecisão vinculada e a necessidade de serem incorporadas com outros elementos que permitam um estudo e leitura mais afinados.

Não existem muitos softwares para a análise cartométrica específica de mapas antigos, disponíveis livremente, e que permitam estabelecer dados estatísticos

cartométricos variados e isolinhas de escala e rotação, o que permite também uma comparação entre mapas. É possível usar os softwares de SIG, como o Qgis (open-source) ou o ArcMap da ESRI (pago, mas muitas vezes disponível através de universidades ou outras instituições), e alcançar alguns componentes da análise, mas não seria um processo tão facilitado (principalmente para quem não tiver tantos conhecimentos de SIG), nem tão simples de se atingirem as diferentes formas de análises e visualizações de resultados proporcionadas pela aplicação usada. Considerando este aspeto, o Mapanalyst continua assim a permitir que investigadores de áreas dispare e sem experiência na área das TIG possam desenvolver estudos que envolvam em certa medida estas análises de mapas. Os mapas analisados poderiam ainda, como exemplos, ser integrados, de forma georreferenciada, num ambiente de SIG, sendo possível, por exemplo, realizar a comparação das localizações indicadas, estudar os topónimos registados, agregar os dados com outras informações (por exemplo a partir de bases de dados online ou outras), ou até realizar certos tipos de análises espaciais.

Posteriormente, estes poderão igualmente ser, assim, sobrepostos num modelo digital terrestre atual, de modo a se visualizar a forma como as suas representações se adequam (mesmo com deformações) à realidade, podendo esta ser também outra maneira de expor os dados obtidos.

Como forma de explorar mais as capacidades do software e de enriquecer este trabalho, além das hipóteses de diferentes formas de análise e abordagens ao estudo destas cartas, poder-se-ia enquadrá-las com mais dados (cartométricos de outros mapas ou a partir de fontes históricas), além da possibilidade de difundir os resultados incorporados numa narrativa que permita os contextualizar e explicar, que poderá ser efetuada através da aplicação-web gratuita StoryMap (ArcGIS online – storymaps.arcgis.com), a ficar disponível online.

BIBLIOGRAFIA

Albuquerque, Luís de (1982). *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, Separata CL. Coimbra: Junta de Investigações do Ultramar.

Albuquerque, Luís de (1991). *Dúvidas e Certezas na História dos Descobrimientos*, Vol. I. Lisboa: Veja.

Albuquerque, Luís de (1994). *Dicionário de História dos Descobrimientos Portugueses* (dir.), 2 vols., Lisboa: Círculo dos Leitores.

Alegria, M. F. (1998). Arcaísmos e progressos na evolução do conhecimento cartográfico do mundo (séculos xv a xviii). *Revista da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas*, 12, 267–29.

Andrews D.F. (1974). *A robust method for multiple linear regression*. *Technometrics*, Vol. 16.

Alegria, M., Daveau, S., Garcia, J., Relaño, F. (2012). *História da Cartografia Portuguesa*, Porto: Fio da Palavra.

Bayer T; Potuckova M; Cabelka M. (2009). *Cartometric analysis of old maps on example of Vogt's map*. In: Proceedings of the ICA symposium on cartography for Central and Eastern Europe. Viena.

Barbosa, António (1938). *Origens e evolução da cartografia náutica portuguesa, na época dos descobrimentos*. Ocidente. Vol. III. No. 8, p. 177-197.

Blakemore M.J; Harley J.B. (1980). *Concepts in the history of cartography. A review and perspective*. Cartographica, Vol. 17.

Boutoura C; Livieratos E. (1986). *Strain analysis for geometric comparisons of maps*. The Cartographic Journal, Vol. 23.

Cortesão, Armando (1935). *Cartografia e Cartógrafos Portugueses dos séculos XV e XVI*, Lisboa: Seara Nova.

Cortesão, Armando; Mota, Avelino Teixeira da (1987). *Portugaliae Monumenta Cartográfica*. 6 volumes, Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda.

Cortesão, Jaime (1932). *Influência dos Descobrimientos Portugueses na História da Civilização, da História de Portugal* (Damião Peres dir.), vol. IV: Portucalense Editora

Dias, Maria Helena; Botelho, Henrique Ferreira (1998). *Quatro Séculos de Imagens da Cartografia Portuguesa, Lisboa, Centro de Estudos Geográficos*. Instituto Geográfico do Exército e Comissão Nacional de Geografia.

Dalché, Patrick Gautier (2001). *Cartes marines, representations du 81odelli et perception de l'espace au Moyen Âge. Un état de la question*. Castrum 7, Vol. 9-32.

Gaspar, J. A. (2007). *The myth of the square chart*. E-Perimtron, 2-2, p. 66-79.

Gaspar, Joaquim Alves (2008). *Dead reckoning and magnetic declination: unveiling the mystery of portolan charts*. E- Perimetron, Vol. 3, No. 4, p. 191-203.

Gaspar, Joaquim Alves (2010). *From the Portolan chart of the Mediterranean to the latitude chart of the Atlantic-cartometric analysis and 82odelling*. Lisboa: Universidade de Lisboa.

Gaspar, J. A. (2013). A Matemática da Navegação e da Cartografia no Tempo das Descobertas. *Matemática do Planeta Terra*, p. 29-58.

Gaspar, Joaquim Alves; Leitão, Henrique (2018). *What is a nautical chart, really? Uncovering the geometry of early modern nautical charts*, Journal of Cultural Heritage, Vol. 29, p. 130-136.

Gaspar, Joaquim Alves; Leitão, Henrique (2019). *Early Modern Nautical Charts and Maps: Working Through Different Cartographic Paradigms*. Journal of Early Modern History, Vol. 23, p. 1-28.

Hardy, R.L. (1971). *Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces*. Journal of Geophysical Research, Vol. 76.

Harley, J.; Woodward, D. (1987). *The History of Cartography*, vols. I-IV. Chicago: The Chicago University Press.

Korte, M.; Genevey, A. et. Al. (2005) – *Continuous geomagnetic field models for the past 7 millennia: 1. A new global data compilation*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Volume 6, Number 2. AGU and the Geochemical Society.

Jenny, B. (2006). *MapAnalyst – A digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps*. E-Perimetron, Vol. 1.

Jenny, B.; Weber, A.; Hurni, L. (2007). *Visualizing the planimetric accuracy of historical maps with MapAnalyst*. Cartographica. Vol. 42.

Jenny, B. (2010). *New Features in MapAnalyst*. E-Perimetron, Vol. 5, n. 3.

Jenny, B. e Hurni, L. (2011). *Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions*. Computers & Graphics. Vol. 35, n. 2.

Livieratos E. (2006). *On the study of the geometric properties of historical cartographic representations*. Cartographica, Vol, 41.

Locke W.W., Wyckoff W.K. (1993). *A method for assessing the planimetric accuracy of historical maps: the case of the Colorado–Green River system*. The Professional Geographer, Vol, 45.

Loomer, Scott A. A. (1987). *Cartometric Analysis of Portolan Charts: a Search for Methodology*. Madison: University of Wisconsin.

McIntosh, Gregory (2020). *Conventional Wisdom and the Date of the Kunsmann I Chart*. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, Vol. 55, p. 85-98.

Metcalf, Alida C. (2020). *Mapping an Atlantic World, circa 1500*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

Mota, Avelino Teixeira da (1973). *Reflexos do Tratado de Tordesilhas na cartografia náutica do século XVI*. Centro de Estudos de Cartografia Antiga, Separata LXXX. Coimbra: Junta de Investigações do Ultramar.

Nunes, Pedro (2002) – Obras, Vol. I: *Tratado da Sphera*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. [primeira edição: Lisboa, 1537]

Pacheco, Luís M.C.P.B. (2017). *A carta-portulano*. Lisboa: Universidade de Lisboa.

Pujades I Bataller, Ramon J. (2007). *Les cartes portolanes: la representació medieval d'una mar solcada*. Tradução de Richard Rees. Barcelona: Lunwerg Editores.

Raymond D. (2007). *Software review: MapAnalyst 1.2.1*. Cartographica, Vol. 42.

Snyder, John (1997). *Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections*. Chicago & London: The University of Chicago Press.

Szeliski, Richard (2010). *Computer Vision: Algorithms and Applications*: Springer

Tobler W. R. (1966). *Medieval distortions: the projections of ancient maps*. Annals of the Association of American Geographers: 56.

Tobler W. R. (1994). *Bidimensional regression*. Geographical Analysis. Vol. 26.

Weiss, T. A. (2013). *MapAnalyst and Geographic Information Systems: Keys to Unlocking New Paths of Research in the History of Cartography*. The Portolan. Vol. 86.

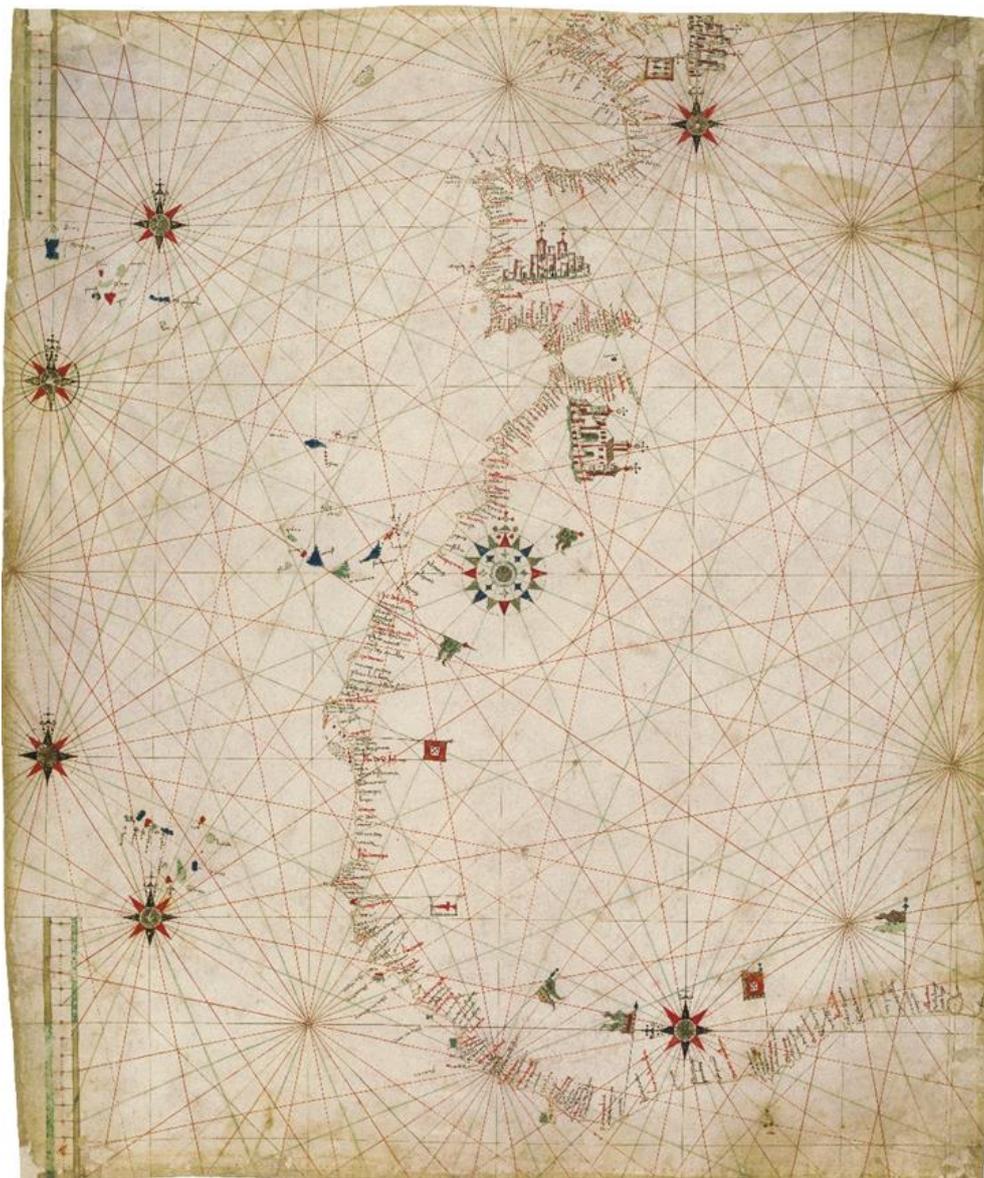
LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Carta náutica de Jorge de Aguiar de 1492 (Beinecke Rare Book and Manuscript Library, University of Yale)</i>	10
<i>Figura 2 – Ponto de fantasia (à esquerda) e ponto de esquadria (à direita) (ϕ é a latitude), retirado de Gaspar;2010</i>	15
<i>Figura 3 – Distribuição espacial da declinação magnética, em graus, para o Oceano Atlântico em 1400 e 1500 segundo o modelo paleomagnéticos de Korte e Constable (2005)</i>	16
<i>Figura 4 – Sequência de transformação do MapAnalyst para elaborar visualizações de precisão no mapa antigo, em que cada caixa representa um sistema de coordenadas e cada seta uma transformação, retirado de Jenny e Hurni (2011)</i>	29
<i>Figura 5 – Série básica de transformações planas 2D, retirado de Szeliski (2010)</i>	31
<i>Figura 6 – Hierarquia de transformações de coordenadas em 2D, retirado de Szeliski (2010)</i>	31
<i>Figura 7 – Exemplo em que seis pontos dentro do círculo determinam a escala e a rotação para a célula central, retirado de Jenny et al. (2007)</i>	36
<i>Figura 8 – Interface do MapAnalyst com OpenStreetMap integrado e com pontos de controlo assinalados</i>	37
<i>Figura 9 – Exemplo de interface do MapAnalyst com rede de distorção e vetores de deslocamento assinalados no mapa antigo</i>	38
<i>Figura 10 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)</i>	45
<i>Figura 11 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e de rotação marcadas a azul</i>	45
<i>Figura 12 – Carta náutica de Pedro Reinol de c. 1492 com a área do Golfo da Guiné recolocada na sua correta posição geográfica</i>	48
<i>Figura 13 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)</i>	49
<i>Figura 14 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul</i>	55
<i>Figura 15 – Rede de distorção para a área selecionada no Atlântico</i>	49
<i>Figura 16 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)</i>	52
<i>Figura 17 – Rede de distorção para a área do Mediterrâneo (pormenor)</i>	53
<i>Figura 18 – Rede de distorção para a zona do Atlântico Norte, excetuando a área da Terra Nova</i>	53

<i>Figura 19 – Rede de distorção para a área da Terra Nova e Açores</i>	53
<i>Figura 20 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação robusta de Huber)</i>	56
<i>Figura 21 – Pormenor da carta náutica, com as duas escalas de latitude, e a rede de distorção para a zona da Terra Nova</i>	56
<i>Figura 22 – Rede de distorção para a área do Atlântico Norte, excetuando a zona da Terra Nova</i>	57
<i>Figura 23 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul, com o mapa de referência utilizado à direita</i>	57
<i>Figura 24 - Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta (transformação afim 6 parâmetros)</i>	60
<i>Figura 25 – Rede de distorção para a parte Ocidental</i>	60
<i>Figura 26 – Rede de distorção para o Brasil</i>	61
<i>Figura 27 – Rede de distorção para a zona mais a Norte</i>	61
<i>Figura 28 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul</i>	61
<i>Figura 29 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)</i>	63
<i>Figura 30 – Rede de distorção para as costas Ocidentais da Europa e de África</i>	70
<i>Figura 31 – Rede de distorção para a América do Sul</i>	64
<i>Figura 32 – Rede distorção para o Mediterrâneo (pormenor)</i>	64
<i>Figura 33 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul</i>	64
<i>Figura 34 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)</i>	67
<i>Figura 35 – Rede de distorção para a parte Ocidental atlântica</i>	68
<i>Figura 36 – Rede de distorção para a parte Norte</i>	68
<i>Figura 37 – Pormenor da carta com as duas escalas de latitude (uma oblíqua) e a rede de distorção para a Terra Nova</i>	68
<i>Figura 38 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul</i>	69
<i>Figura 39 – Rede de distorção e vetores de deslocamento aplicados sobre a carta náutica (transformação afim de 6 parâmetros)</i>	71
<i>Figura 40 – Rede de distorção para a Terra Nova</i>	78
<i>Figura 41 – Rede de distorção para a parte Norte de África</i>	72
<i>Figura 42 – Rede de distorção para o Mediterrâneo</i>	72
<i>Figura 43 – Isolinhas de escala marcadas a vermelho e isolinhas de rotação marcadas a azul</i>	72

ANEXO I

IMAGENS DAS CARTAS NAÚTICAS ANALISADAS



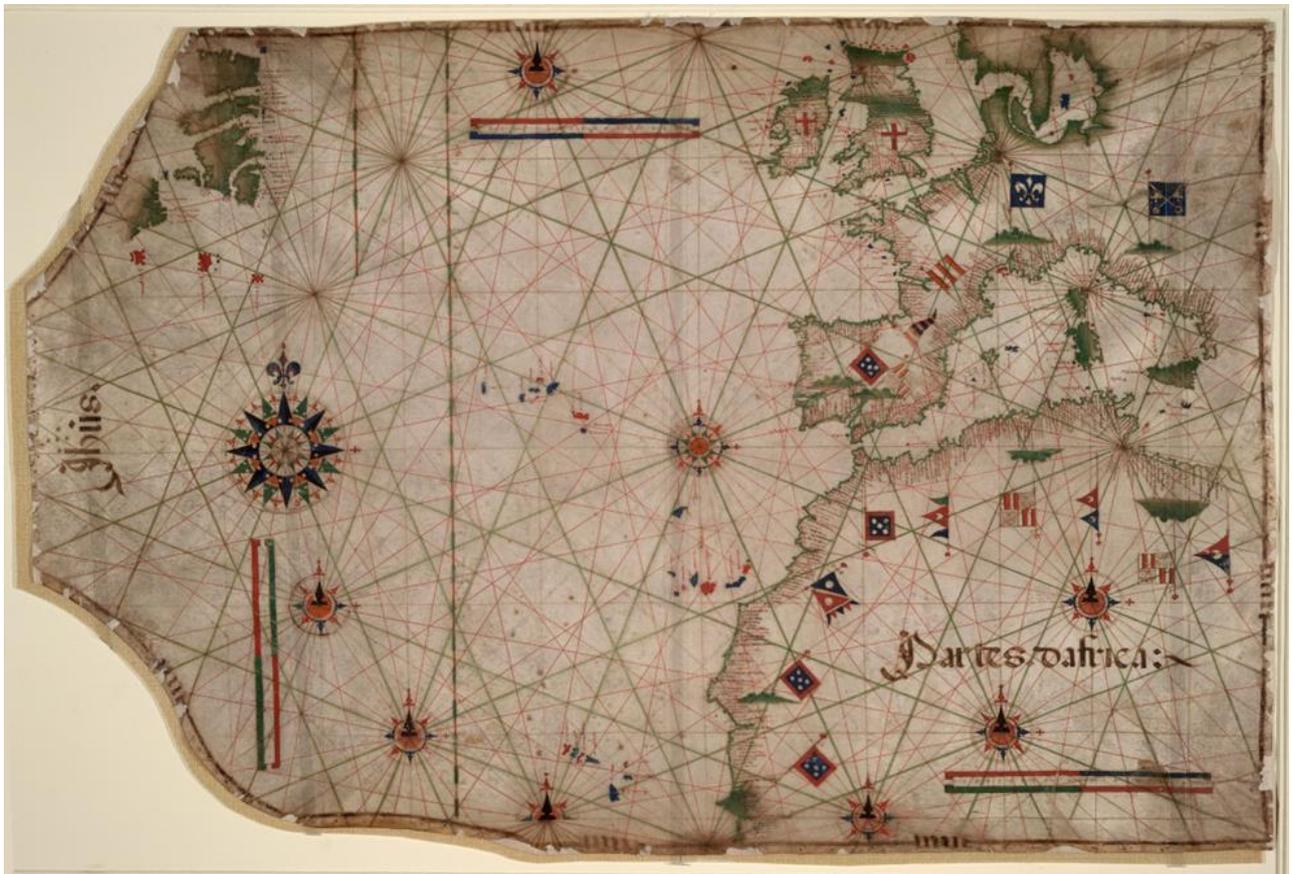
Carta náutica anónima de Modena de c. 1471 (Biblioteca Estense
Universitaria, Modena)



Carta náutica de Pedro Reinel de c. 1492 (Archives départementales de la Gironde)



Carta náutica de Pedro Reinel de c. 1504 (Bayerisch Staatsbibliothek, Munique)



Carta náutica de Lopo Homem de 1550 (Biblioteca Nacional de Portugal)



Carta náutica atribuída a Jorge Reinel de 1550 (Bibliothèque Nationale de France)



Carta náutica de Sebastião Lopes de 1558 (British Library)



Carta náutica de João Teixeira Albernaz de c. 1620 – 1640 (Torre do Tombo, Lisboa)



Carta náutica atribuída a João Teixeira Albernaz de c. 1640 (Bibliothèque Nationale de France)