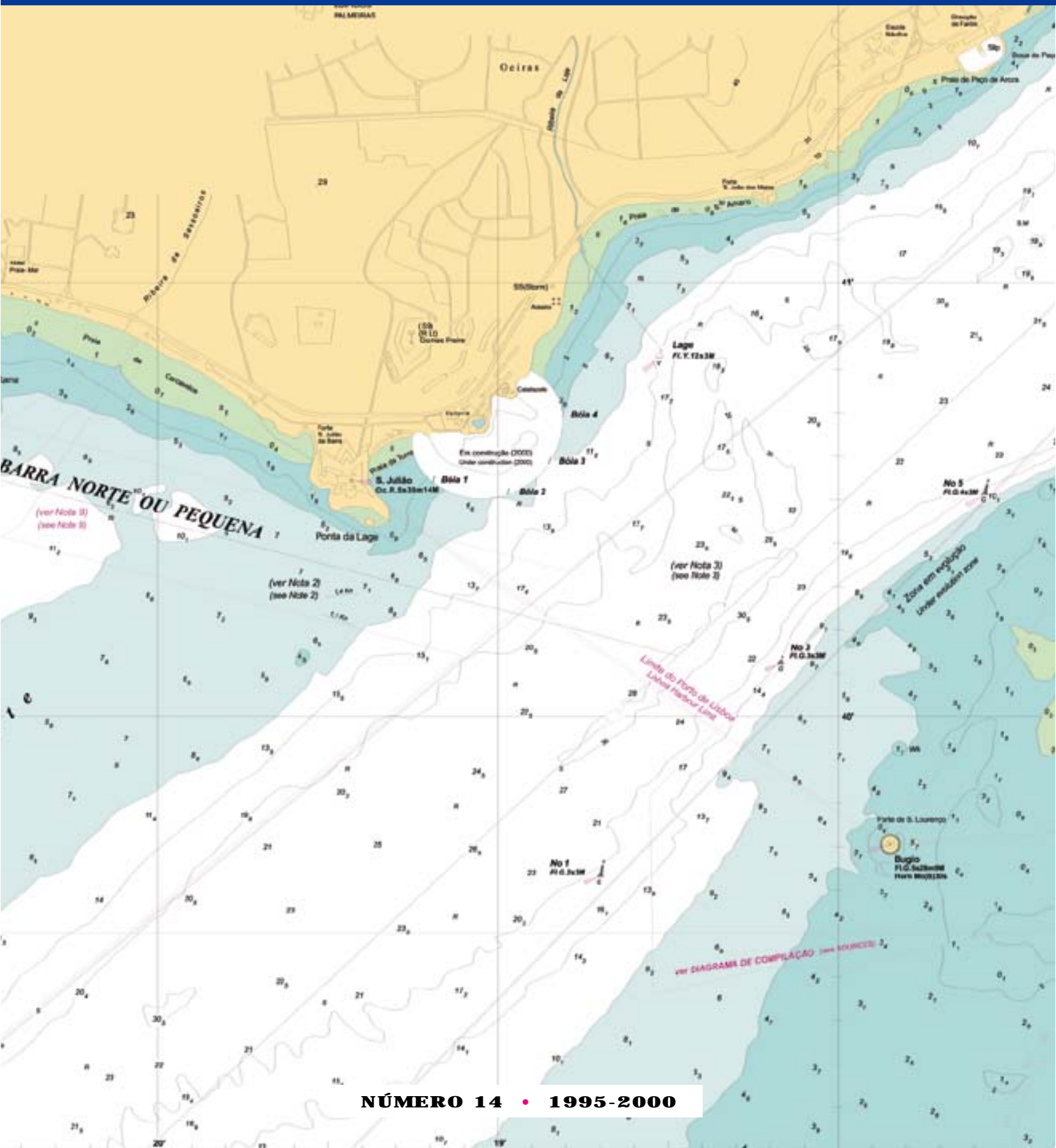




ANAIIS

do Instituto Hidrográfico



ANAIS do Instituto Hidrográfico

N.º 14 • 1995 a 2000



MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL

MARINHA

PORTUGAL

Direcção, Redacção e Administração

Instituto Hidrográfico
Rua das Trinas, 49 – 1296-093 Lisboa
Telef.: 21 391 4000
Fax: 21 391 4199
E-mail: mail@hidrografico.pt
Website: www.hidrografico.pt

Editor

Direcção dos Serviços de Documentação
Serviço de Publicações

Comissão de Redacção

CFR Lopes da Costa
CFR Rocha Carrilho
Dr. José Biscaya
CTEN Antunes Chumbinho
Dr. Manuel Rocha
Eng. Jorge da Silva
Dr.^a Maria Dolores
Dr.^a Rosário Pinheiro
1TEN Brandão Correia

Os artigos assinados são da responsabilidade dos autores

Capa: Reprodução de parte da Carta Náutica Oficial 26303
«Baía de Cascais e Barras do Rio Tejo (Porto de Lisboa)»,
edição de Dezembro de 2000

Contracapa: Reprodução de parte do Plano Hidrográfico
da Barra do Porto de Lisboa, desenhada e gravada em 1857

© COPYRIGHT – Instituto Hidrográfico, 2001

Autorizada a transcrição
quando acompanhada da indicação do autor e origem

ISBN: 972-8486-17-0

Depósito legal: 171895/01

PUB (G)-IH 246-DD

Execução gráfica: Instituto Hidrográfico

ÍNDICE

- 4** **Introdução**
- 5** **Introduction**
- 7** **Desenvolvimento Recentes da Hidrografia em Portugal**
Paulo Marreiros CAPITÃO-TENENTE, ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO
Fernando Artilheiro PRIMEIRO-TENENTE, ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO
- 19** **Aplicação do GPS OTF no levantamento topo-hidrográfico da Lagoa de Óbidos**
Ramalho Marreiros PRIMEIRO-TENENTE, ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO
Moreira Pinto PRIMEIRO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
Alcobia Portugal PRIMEIRO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
Albuquerque e Silva PRIMEIRO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
Duarte Oliveira SEGUNDO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
- 27** **Monitorização de Metais Pesados em Sedimentos na Ria de Aveiro**
Carla Palma ENGENHEIRA QUÍMICA
Manuela Valença ENGENHEIRA QUÍMICA
- 35** **QUASIMEME – Um programa útil na avaliação do desempenho laboratorial na análise de policlorobifenilos em sedimentos**
Ana Cardoso TÉCNICO SUPERIOR DE 1.^A CLASSE, LIC. EM QUÍMICA E TECNOLOGIA
- 41** **Experiências DGPS realizadas em Portugal**
Sardinha Monteiro PRIMEIRO-TENENTE ESPECIALIZADO EM NAVEGAÇÃO
- 51** **Utilização de satélites SAR em hidrografia**
Oliveira Robalo CAPITÃO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
- 61** **Contributos do Instituto Hidrográfico para a optimização dos VTS**
Sardinha Monteiro PRIMEIRO-TENENTE, ESPECIALIZADO EM NAVEGAÇÃO
- 67** **A programação orientada por objectos (O-O) na construção de uma Carta Electrónica de Navegação Oficial, S-57/3**
Varela Pais CAPITÃO-TENENTE, ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO
- 71** **Provas de exactidão do sistema sondador multifeixe SIMRAD EM950/SEAPATH 200 na doca seca da Lisnave**
Fernando Freitas Artilheiro PRIMEIRO-TENENTE, ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO
Maia Pimentel CAPITÃO-TENENTE, ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO

Nota de Abertura

POR ocasião do 40.º aniversário do Instituto Hidrográfico retoma-se a publicação dos Anais, publicação técnico-científica que procura divulgar os estudos e projectos que desenvolvemos no campo das ciências do mar.

A edição dos Anais tem sido irregular. Iniciada em 1964, depois de se terem concluído os trabalhos de instalação dos órgãos da primeira sede, na Ribeira das Naus, viria a ser interrompida logo em 1967. Neste período os Anais foram, sobretudo, um repositório das actividades realizadas em cada ano, embora incluíssem alguns artigos técnicos. As comemorações do 25.º aniversário permitiram que em 1984 se retomasse a edição. Para este grande interregno contribuíram vários factores que absorveram plenamente toda a capacidade de reflexão e de acção dos hidrografos portugueses: o tremendo esforço hidrográfico, oceanográfico e cartográfico realizado pelas Missões Hidrográficas em África; o incêndio nas instalações da sede; e a reorganização no período pós colonial.

Na segunda série dos Anais (1984-1994), e por já estar instituída a edição de Relatórios Anuais de Actividades, o conteúdo passou a ser direccionado para a apresentação de sínteses dos principais relatórios técnicos a que se pretendeu dar divulgação mais alargada; incluiu também artigos de grande actualidade, alguns deles elaborados por especialistas que não pertenciam aos quadros do IH.

Em 1994 verifica-se novo interregno motivado pela conjugação da permanente escassez de pessoal com uma intensa actividade. Embora esta situação se tenha agravado desde então até ao momento presente, o nosso estatuto de Laboratório de Estado, de que decorrem responsabilidades inalienáveis, conjugado com o prestígio, nacional e internacional, que esta instituição soube adquirir ao longo de quatro décadas, impunham o esforço de reeditar os Anais, instrumento indispensável para acolher e difundir os trabalhos de investigação dos nossos cientistas e técnicos.

Este número não traduz os trabalhos realizados nem os conhecimentos adquiridos ao longo dos últimos 6 anos. Embora aborde com qualidade, rigor e valia técnica importantes temas de Hidrografia, Química e Poluição do Meio Marinho e Navegação, não inclui nenhum trabalho de Oceanografia nem do Centro de Dados, áreas onde os progressos foram profundos. No próximo número dos Anais procuraremos corrigir esta lacuna, de forma a proporcionar uma visão equilibrada das competências multi e interdisciplinares do IH no campo das ciências do mar. Desejamos igualmente garantir a continuidade da sua edição anual regular.

Para isso é essencial o esforço complementar realizado pelos autores dos textos e pelos membros da Comissão de Redacção, merecedores do nosso apreço na medida em que contribuem para a divulgação do conhecimento e das actividades do Instituto Hidrográfico e, conseqüentemente, da utilidade pública da Marinha.

O Director-Geral,



José Torres Sobral

Vice-almirante, (EH)

Foreword

By occasion of Instituto Hidrográfico's 40th anniversary it is reissued the *Annals*, a technical-scientific publication that divulgates the studies and projects developed in the field of marine sciences.

The *Annals'* editions have been irregular. First published in 1964, after the organization installation in their first office, at Ribeira das Naus, was suspended in 1967. During this period the *Annals* were mainly a narrative of the activities developed in each year, though some technical papers were included. By occasion of the 25th anniversary, in 1984, a new edition was published. For this long interregnum various factors absorbed plainly all Portuguese hydrographer's reflection and action abilities: the tremendous hydrographic, oceanographic and cartographic effort developed by Missões Hidrográficas in Africa; the fire in the office facilities; and the pos colonial reorganization.

In the second serial of the *Annals* (1984-1994), having been published Annual Activities Reports, the content was refocused to the presentation of summaries of the main technical reports, in order to give them a wider divulgation; it also included articles of great actuality, some elaborated by specialists that did not belong to the Instituto Hidrográfico.

A new interregnum occurred in 1994 due to the conjunction of the permanent shortage of technicians and scientists and an intense activity. Even though this situation has been grieved since then, our State Laboratory status, with the associated responsibilities, conjugated with the national and international prestige that this institution was able to achieve during the four decades of existence, lead to the effort of reissuing the *Annals*, an important instrument for our scientists and technicians research work divulgation.

This issue does not completely cover all the work developed or the knowledge acquired during the last six years. Although addressing with quality, accuracy and technical value important topics of Hydrography, Chemistry and Pollution of the Marine Environment, and Navigation, it does not include any work on Physical Oceanography or Data Centre, where the progress was relevant. In the next issue of *Annals* we will look for correcting this lacuna, in order to give a balanced insight of the multi and interdisciplinary competences of the institute in the field of marine sciences. We also desire to assure continuity to the annual regular edition. For that it is essential the complementary effort developed by authors and the Redaction Commission members, that deserve our appreciation by their contribution to the Instituto Hidrográfico knowledge and activities divulgation, and consequently the public utility of the Portuguese Navy.

The Director General



José Torres Sobral

Vadm., (EH)

Desenvolvimentos recentes da Hidrografia em Portugal

(Também publicado em «Comunicações das Primeiras Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária», delegação portuguesa da AIPCN, Outubro de 1999)

Paulo Marreiros

CAPITÃO-TENENTE ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO

Fernando Artilheiro

PRIMEIRO-TENENTE ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO

Resumo Durante os últimos cinquenta anos, os métodos e os equipamentos usados em hidrografia evoluíram ao ritmo do progresso tecnológico, segundo os requisitos de navegadores, operadores portuários e construtores de obras marítimas. Como consequência desta evolução assistiu-se ao aumento da segurança da navegação, da eficiência da exploração portuária e da qualidade da informação para o planeamento/accompanhamento da execução de obras marítimas.

O avanço tecnológico influenciou as três componentes de um levantamento hidrográfico: posicionamento, medição de profundidades, aquisição e processamento dos dados hidrográficos. O sistema SPG/GPS (Sistema de Posicionamento Global / Global Positioning System) constitui o avanço mais significativo, revolucionando os métodos de posicionamento usados em hidrografia. Na medição de profundidades, os sondadores acústicos multifeixe, permitem medir as profundidades ao longo de uma faixa, aumentando a eficiência e qualidade da sondagem. Os avanços na aquisição e processamento dos dados estão relacionados com a evolução dos sistemas de computadores. Assim, é possível falar em aquisição automática, integração e pré-processamento (em tempo real) de todos os dados provenientes dos diversos sensores hidrográficos.

O Instituto Hidrográfico (IH) tem acompanhado a evolução dos métodos e dos equipamentos usados em hidrografia, cumprindo sempre os requisitos de exactidão definidos pela Organização Hidrográfica Internacional. Actualmente, o IH dispõe de sistemas de posicionamento por GPS que permitem a sua utilização em todas as ordens de levantamentos. O IH dispõe também de um sistema sondador multifeixe cujos dados já foram validados e utilizados em produção cartográfica. Está também a decorrer, paralelamente à aquisição de novos equipamentos, uma renovação dos métodos utilizados para a aquisição e processamento dos dados hidrográficos.

Este artigo descreve os avanços mais recentes da hidrografia, estabelecendo um paralelo com a experiência adquirida pelo IH, na implementação de novas tecnologias.

Abstract *During the last fifty years the methods and equipments used in hydrographic surveying have been improved at the same rate as the technological advances and within the requirements made by navigators, engineers and shipping agencies. This improvement influenced the safety of navigation, the efficiency of shipping and the planning/control of maritime works.*

The technological advances made significant improvements in the three components of an hydrographic survey: positioning, sounding and data collection/processing. Among all the new positioning methods, the Global Positioning System (GPS) is the most important improvement. The GPS revolutionized the positioning methods used in hydrographic surveying. The new multibeam echosounders allow to collect sounding data by «sweeping» the ocean floor along a swath that permits to improve the efficiency of data collection and the quality of final results. The advances made in data acquisition/processing are related with the evolution of computer systems. Presently, it is possible to collect data automatically, to perform an integration of all the sensors onboard, and pre-process the data in real time. The Instituto Hidrográfico in Lisbon (IH) have been following the improvements of methods and equipments used in hydrographic surveying, fulfilling the International Hydrographic Organization Standards for Hydrographic Surveys. The IH has GPS receivers that can be used in hydrographic surveys of any order. The IH has a multibeam echosounder system that is used to collect data for cartographic production in zones where full bottom coverage is required. As well as new equipments are being acquired, the methods used for data collection/processing are being upgraded. This paper describes the latest advances in hydrographic surveying with examples of the experience achieved by the IH in the implementation of new technologies.

1. Introdução

A hidrografia é um ramo das ciências do mar que se dedica ao estudo da natureza, da fisiografia e das características dinâmicas do fundo do mar. A hidrografia aplica técnicas de posicionamento utilizadas em geodesia e navegação, assim como técnicas para a medição de profundidades por meios acústicos.

Os destinatários da informação hidrográfica são os navegantes, oceanógrafos, engenheiros de construções marítimas e portuárias, geólogos, ambientalistas, geofísicos, etc. Na área dos transportes marítimos, a informação hidrográfica é essencial para assegurar a segurança da navegação, o controlo de dragagens e a navegabilidade de canais de navegação interiores. Na gestão da zona costeira e portuária, a informação hidrográfica é essencial para o planeamento, execução e manutenção de obras marítimas, aquacultura, controlo da erosão, delimitação de fronteiras, localização de zonas para depositar os produtos de dragagens, etc. De um modo geral, a informação hidrográfica é necessária para a maioria das aplicações relacionadas com o mar.

Nos últimos anos, os requisitos da informação hidrográfica têm aumentado em termos de qualidade e quantidade. A entrada em vigor da Publicação Especial S-44 («*IHO Standards for Hydrographic Surveys*», 4.^a edição) da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), contempla a utilização de novos métodos e equipamentos na execução de levantamentos hidrográficos. De igual modo, são considerados diversos tipos de utilizadores finais da informação hidrográfica, desde os navegantes profissionais, à navegação de recreio, e à exploração dos recursos marinhos, à gestão de zonas costeiras.

A utilização de novos métodos e equipamentos em hidrografia influenciam os sistemas de posicionamento, os sistemas de sondagem, o processo de aquisição e a apresentação da informação. O aparecimento do Sistema de Posicionamento Global (SPG/GPS) veio revolucionar os sistemas de posicionamento utilizados em hidrografia, nomeadamente o GPS Diferencial (DGPS) e o GPS On-The-Fly (GPS OTF). Os sondadores multifeixe (SMF), um equipamento do final dos anos oitenta – vieram revolucionar os métodos usados na determinação do relevo submarino. O desenvolvimento de computadores mais pequenos e mais potentes proporcionaram o desenvolvimento de programas para aquisição e processamento de dados de uma forma mais rápida e eficaz.

É objectivo deste artigo mostrar, resumidamente, como estes novos métodos e equipamentos funcionam, assim como referir as suas capacidades e limitações, de acordo com a experiência adquirida pelo IH.

2. Informação Hidrográfica

A informação hidrográfica utilizada para representar o relevo do fundo do mar é composta por um conjunto de coordenadas geodésicas, que definem a posição horizontal, e pela profundidade, ou seja, a distância vertical entre um dado ponto no fundo do mar e um nível de referência.

2.1 Posição Horizontal

Em hidrografia são utilizados métodos de posicionamento relativo, em virtude de nenhum método de posicionamento absoluto possuir a exactidão necessária para a execução dos levantamentos hidrográficos. Isto significa que as coordenadas horizontais são determinadas como vectores relativos com início em posições de coordenadas conhecidas. Estes pontos de coordenadas conhecidas, designados por pontos hidrográficos, são utilizados para instalar as estações de referência do sistema de posicionamento da sondagem, ou para instalar estações de verificação da exactidão do referido sistema.

Antes da execução do levantamento hidrográfico propriamente dito, é necessário possuir uma rede de pontos em terra devidamente perenizados e coordenados a partir de uma rede geodésica adequada (fig. 1).

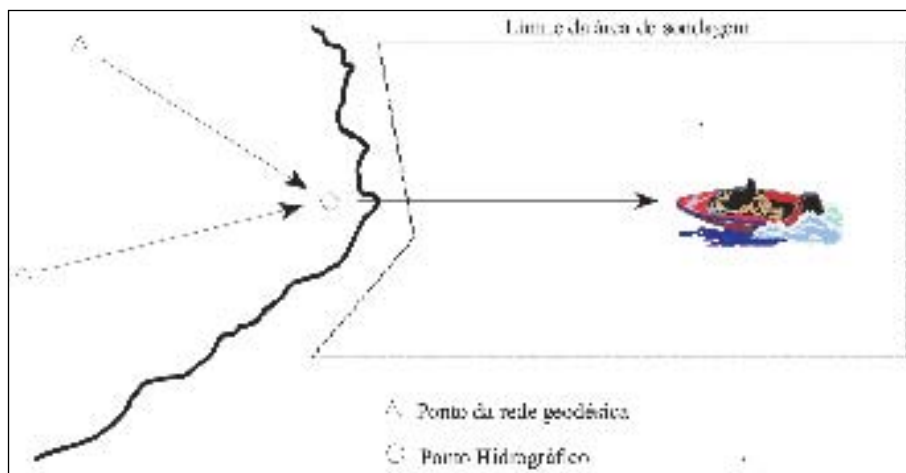


Fig. 1 – Determinação da Posição Horizontal

2.2 Profundidade

O nível de referência para as profundidades é o Zero Hidrográfico (ZH.). O ZH. é um nível estabelecido por convenção com base em observações maregráficas, de tal modo que o nível do mar esteja sempre acima do ZH.. Embora existam diversos critérios em diferentes países, o nível adoptado em Portugal, à data, situa-se abaixo da mais baixa maré astronómica.

Durante a execução de um levantamento hidrográfico, a profundidade medida pelo sondador é designada pela «sonda à hora». A esta profundidade tem que se subtrair a altura da maré, por forma a obter a profundidade referida ao ZH., designada por «sonda reduzida» (fig. 2). Normalmente, a altura de maré é determinada a partir de um marégrafo ou escala de maré instalada nas proximidades da área de sondagem. Quando tal não acontece a altura de maré é lida a partir de uma marca de nivelamento utilizando uma fita especialmente calibrada para o efeito. Em qualquer dos casos, é assumido que a altura de maré lida pelo marégrafo, escala de maré ou fita, é a mesma para toda a área de sondagem.

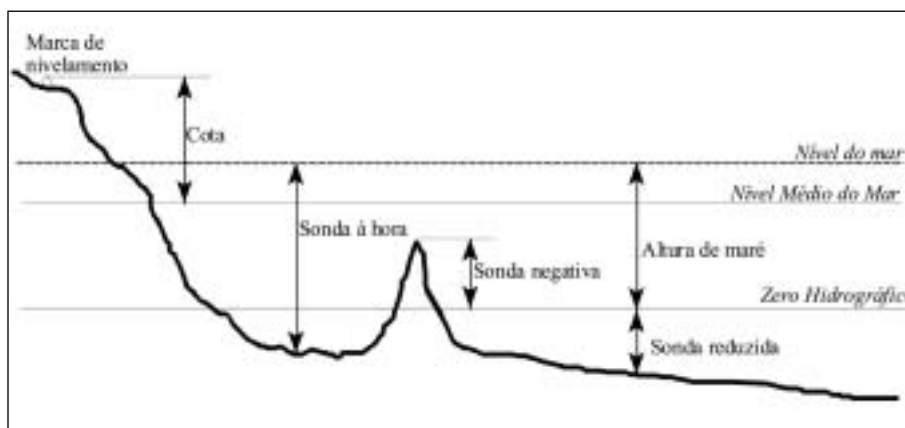


Fig. 2 – Níveis de maré e planos de referência.

2.3 Requisitos de exactidão

As Normas S-44 [OHI, 1998] estabelecem os requisitos mínimos para a execução dos levantamentos hidrográficos em função das características das áreas a que se destinam, nomeadamente quanto à sua utilização típica. Em função das áreas a sondar e dos fins a que se destinam os dados, os levantamentos hidrográficos são classificados em quatro ordens: Especial, 1, 2 e 3. Os requisitos de exactidão foram estabelecidos para um nível de confiança de 95%.

Os levantamentos de Ordem Especial são efectuados em áreas típicas de portos, zonas de atracação, e canais de navegação, onde as margens de segurança são muito pequenas. Um levantamento hidrográfico de Ordem Especial requer uma cobertura total do fundo, quer uti-

lizando sondadores multifeixe – de preferência com a utilização de imagem acústica, quer completando a sondagem de sondadores de feixe simples com a utilização de sonares laterais. Em princípio, os levantamentos de Ordem Especial devem ser realizados em áreas com menos de 40 metros de profundidade.

Os levantamentos hidrográficos de Ordem 1 são efectuados em portos e suas aproximações, caminhos recomendados, águas interiores e águas costeiras de grande densidade de tráfego. Em princípio, estes levantamentos devem ser realizados em áreas com menos de 100 m de profundidade. Embora os requisitos sejam menos exigentes que para a Ordem Especial, em algumas áreas pode ser necessária a cobertura total do fundo (com sondadores multifeixe ou sonares laterais), em virtude das características do fundo e da existência de obstruções que possam constituir risco para a navegação.

Os levantamentos hidrográficos de Ordem 2 são efectuados em áreas com profundidades inferiores a 200 m, não abrangidas pelas ordens anteriores, e onde um conhecimento geral da batimetria é suficiente para assegurar que não existem obstruções que ponham em perigo o tráfego ou os trabalhos marítimos na área. No entanto, pode ser necessária a cobertura total do fundo, em zonas seleccionadas, caso se suspeite que as características do fundo, ou a possível existência de algumas obstruções, possam constituir perigo para a navegação.

Os levantamentos de Ordem 3 são efectuados em áreas com profundidades superiores a 200 m, não abrangidas pelas ordens anteriores.

Os requisitos de exactidão básicos para as diversas ordens de levantamentos hidrográficos estão contidos na tab. 1, onde as exactidões se referem a um nível de confiança de 95%. A exactidão requerida para as profundidades reduzidas é dada pela seguinte equação, onde os parâmetros *a* e *b* são dados na tab. 1, e *d* é o valor da sonda reduzida:

$$Exactidão (95\%) = (a^2 + (b \cdot d)^2)^{1/2}$$

	Ordem Especial	Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3
Exactidão do posicionamento	2 m	5 + 0.05*d	20+0.05*d	150+0.05*d
Exactidão das profundidades	a=0.25 m b=0.0075	a=0.5 m b=0.013	a=1.0 m b=0.023	a=1.0 m b=0.023

Tab. 1 – Requisitos básicos de exactidão dos Levantamentos Hidrográficos (Publicação S-44, 4.ª edição, da OHI)

3. Sistemas de Posicionamento

Para cada levantamento hidrográfico, a selecção dos métodos e equipamentos a serem utilizados deve basear-se na ordem do levantamento, equipamentos disponíveis, profundidade média, características da área de sondagem e condições ambientais esperadas. Na selecção de um sistema de posicionamento para a execução de levantamentos hidrográficos, devem ter-se em conta os seguintes factores:

- Exactidão;
- Cobertura;
- Disponibilidade;
- Intervalo de tempo entre posições consecutivas;
- Número máximo de utilizadores simultâneos;
- Existência de ambiguidades geométricas;
- Posicionamento a duas ou três dimensões;
- Facilidade de operação;
- Custo de aquisição, manutenção e exploração.

A exactidão de um sistema de posicionamento é importante para que se cumpram as normas da OHI. Os sistemas de posicionamento utilizados devem ser periodicamente verificados e/ou calibrados, em geral uma vez por dia ou no início e no fim de cada sessão de sondagem, conforme o período menor. Alguns sistemas de posicionamento permitem verificar a integridade para cada posição de controlo, devido a possuírem redundância de observações.

Cobertura é a área dentro da qual um sistema de posicionamento fornece informação de posição com a exactidão exigida. Depende da geometria, potência do sinal, sensibilidade do receptor, ruído atmosférico, etc.

Disponibilidade é a percentagem do tempo durante o qual um determinado sistema de posicionamento pode ser utilizado. Depende das capacidades do receptor, factores ambientais, etc.

Tendo em conta os factores acima mencionados, o GPS tem vindo a assumir uma posição de destaque para a execução de levantamentos hidrográficos. No IH, para além do GPS, o PolarFix continua a ser utilizado em levantamentos de Ordem Especial ou de Ordem 1.

3.1 O Sistema Global de Posicionamento (GPS)

O GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (EUA) para fins militares. O sistema foi considerado operacional em 1995, fornecendo posicionamento em modo absoluto, a três dimensões, em qualquer local do mundo, 24 horas por dia. O sistema depende de uma componente espacial composta por pelo menos 24 satélites, com um raio

orbital igual a 26000 km, que funcionam como posições de referência a partir das quais se determina a posição de uma antena receptora.

A observável básica do GPS é a pseudo-distância, que resulta da medição do intervalo de tempo que o sinal GPS demora a percorrer o trajecto entre um satélite e um receptor. Cada satélite transmite sinais em duas frequências para serviço de posicionamento: 1575.42 MHz e 1227.60 MHz. Cada portadora contém a informação modulada que permite ao receptor calcular a posição do satélite e determinar a pseudo-distância.

Os primeiros ensaios indicaram que as características do GPS poderiam pôr em causa a política de defesa dos EUA. Assim, os utilizadores não autorizados pelos EUA, os utilizadores civis, apenas têm acesso a parte do serviço fornecido pelo GPS, designado por Standard Positioning Service (SPS). O SPS tem uma exactidão igual a 100m (para um nível de confiança igual a 95%) para o posicionamento horizontal e uma vez e meia pior para o posicionamento a três dimensões.

Pelas suas características, das quais se destacam a cobertura mundial H24, a exactidão e o baixo custo dos receptores, assistiu-se na última década a uma proliferação de receptores GPS para navegação. Esta expansão do GPS deu origem ao cancelamento de sistemas de posicionamento global então existentes, como o TRANSIT e o OMEGA, e ao aparecimento de novas técnicas de posicionamento com aplicações inovadoras em diversas áreas.

O aparecimento do GPS provocou uma revolução nos métodos de posicionamento utilizados em hidrografia. O DGPS e GPS OTF são métodos de posicionamento relativo utilizados em hidrografia e outras aplicações que melhoram significativamente a exactidão e verificação da integridade do posicionamento fornecido pelo GPS em modo absoluto.

3.1.1 GPS Diferencial (DGPS)

O GPS Diferencial (DGPS) necessita de um receptor instalado numa estação de referência cuja antena está colocada num ponto de coordenadas conhecidas. A estação de referência estima os erros para as observáveis GPS de todos os satélites visíveis. Estes erros são transmitidos, como correcções diferenciais, via rádio. A estação móvel, instalada na plataforma de sondagem, recebe as correcções diferenciais, por forma a corrigir as suas observáveis GPS (fig. 3). Em princípio, não existem limitações no número de utilizadores deste sistema de posicionamento.

A exactidão do DGPS depende, entre outros factores, da distância entre a estação de referência e a estação móvel. Para curtas distâncias (até 20 km), a exactidão prevista e comprovada em diversos ensaios descritos na literatura especializada é de 1 m (para um nível de exactidão igual a 95%). Para distâncias da ordem dos 200 km, a exactidão prevista é cerca de 10 m (para um nível de exactidão igual a 95%).

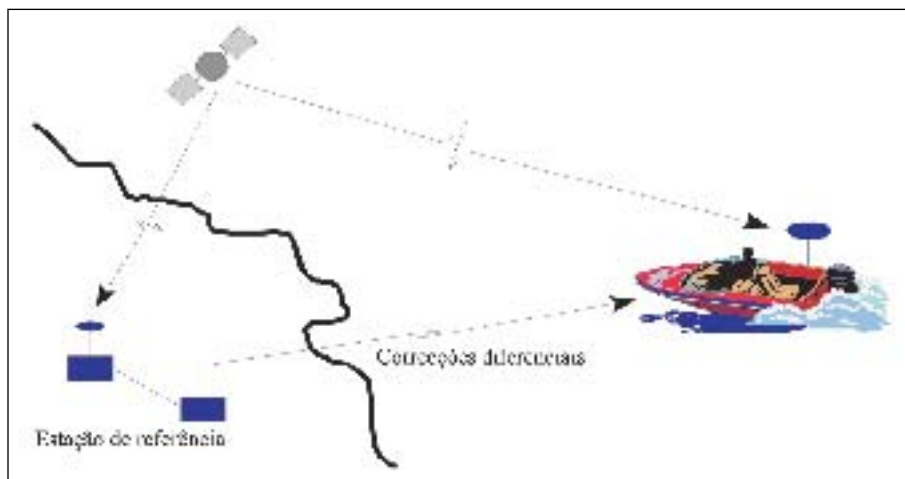


Fig. 3 – GPS Diferencial

Actualmente o IH dispõe de sistemas DGPS que podem ser utilizados para posicionamento horizontal em levantamentos hidrográficos de qualquer ordem. A transmissão das correções diferenciais é efectuada com recurso a rádio/modems, especialmente concebidos para a transmissão de correções diferenciais. Para levantamentos costeiros e portuários, são usados rádio/modems em UHF e VHF. Para áreas mais afastadas da costa são utilizados rádio/modems em HF.

O DGPS tem vantagens relativamente a outros sistemas de posicionamento mais antigos. Por exemplo, o preço de aquisição do Syledis é 30 vezes superior ao de um sistema DGPS completo, com a vantagem de o GPS ser de montagem e transporte fáceis. O DGPS apenas necessita de uma estação de referência, não sendo necessário garantir a inter-visibilidade entre as estações, mas apenas manter um canal de comunicação via rádio.

Como qualquer sistema de posicionamento por satélite, o DGPS, depende da visibilidade das antenas GPS para o céu, assim como da possibilidade de utilização dos satélites, os quais são mantidos e controlados por uma potência estrangeira. Deste modo, o DGPS não pode ser utilizado em zonas de pouca visibilidade para o céu, e depende da integridade da informação fornecida pelos satélites.

3.1.2 GPS On-The-Fly (OTF)

O GPS OTF resulta de um desenvolvimento do final dos anos oitenta, em que a fase da portadora do sinal GPS começou a ser explorada como forma de determinar a posição relativa entre duas antenas. Existem receptores GPS que permitem medir

a fase da portadora do sinal GPS com uma exactidão igual a cerca 1% do comprimento de onda, o que tendo em conta outras fontes de erros potenciais equivale a uma exactidão igual a 5 mm, em distância linear.

A equação de observação da fase da portadora contém um termo que resulta da ambiguidade da portadora, isto é, o número inteiro de ciclos entre o receptor e o satélite desde que o sinal é transmitido até ser recebido (fig. 4). Só é possível resolver este termo em posicionamento

relativo e com observações redundantes, utilizando métodos matemáticos. Assim, para resolver a ambiguidade, são necessários pelo menos cinco satélites visíveis.

A abreviatura GPS OTF resulta da expressão inglesa «On-The-Fly», que significa resolver a ambiguidade enquanto uma antena se move em relação à outra. Os algoritmos desenvolvidos inicialmente para resolver a ambiguidade apenas permitiam a sua utilização em posicionamento estático, para aplicação em geodesia e topografia. Com o desenvolvimento dos receptores GPS e da capacidade de processamento dos computadores, passou a ser possível utilizar a medição da fase do sinal da portadora para posicionamento dinâmico em tempo real. A estação de referência transmite as observações brutas para a estação móvel, onde todas as observações são processadas por um algoritmo apropriado. Normalmente, a comunicação entre as duas estações é estabelecida via rádio/modem em UHF ou VHF. O alcance máximo é cerca de 20 km devido a limitações em resolver a ambiguidade para distâncias maiores. A exactidão do posicionamento a três dimensões é da ordem de

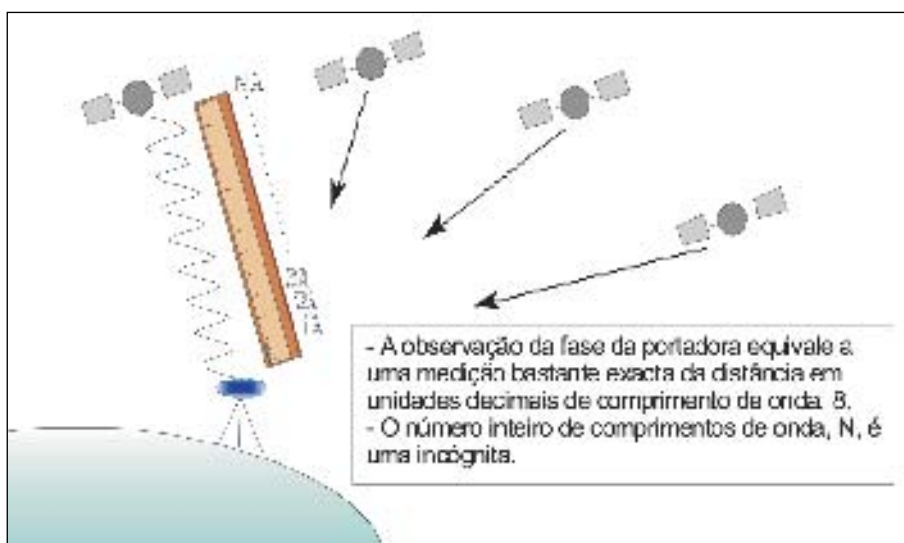


Fig. 4 – A observação da fase da portadora do sinal

alguns centímetros. Ensaios efectuados, no IH, posicionando uma antena móvel num ponto de coordenadas conhecidas indicaram diferenças inferiores a 0.02 m (desvio padrão) sendo a diferença máxima inferior a 0.06 m, conforme representado na fig. 5.

Foram também efectuados ensaios dinâmicos em que a antena da estação móvel foi transportada ao longo de uma trajectória pré-determinada. A trajectória escolhida correspondeu ao «H» de um parque de aterragem de helicópteros. As posições foram recolhidas enquanto um operador transportava a antena num bastão tentando seguir os contornos do «H». As posições foram obtidas em tempo real, utilizando um rádio/modem UHF, tendo sido gravadas a intervalos de um segundo no receptor da estação móvel. O resultado destes ensaios está representado na fig. 6.

Os ensaios em trajectória definida indicam um bom desempenho do GPS OTF, por análise visual da fig. 6. No parque de aterragem foi coordenado um ponto por GPS

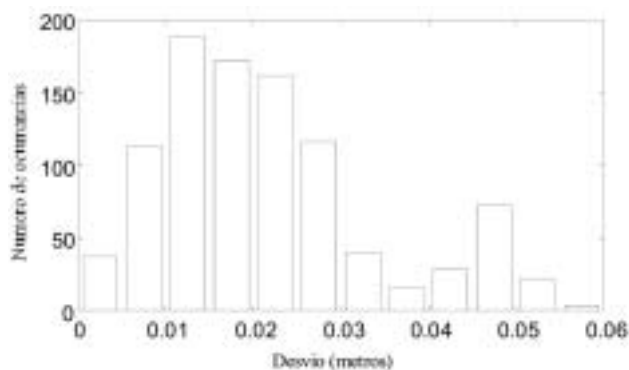


Fig. 5 – Histograma de frequência das diferenças da comparação da posição a três dimensões obtida por GPS OTF em tempo real, com uma posição de coordenadas conhecidas

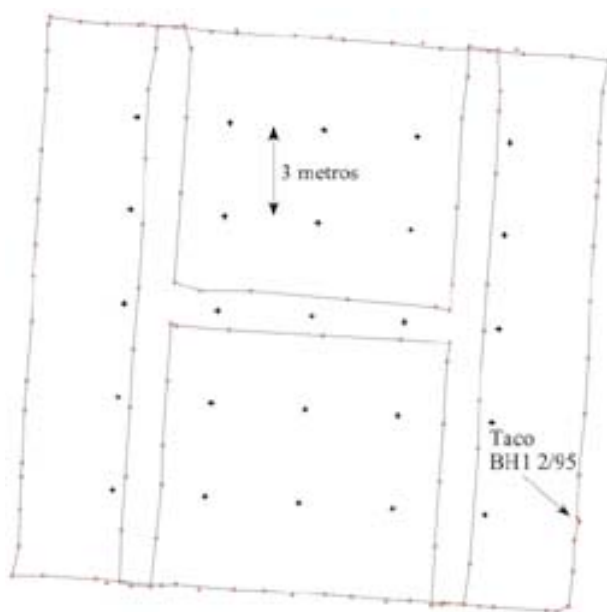


Fig. 6 – Ensaio dinâmico em trajectória definida

(Taco BH1 2/95) em modo estático que serviu para verificar o GPS OTF no início e no final da execução do ensaio. As diferenças obtidas foram inferiores a 0.05 m.

3.1.3 O Impacto do GPS

O desenvolvimento das técnicas de posicionamento por GPS, nomeadamente o DGPS e o GPS OTF tiveram um profundo impacto nas seguintes actividades da hidrografia:

- Coordenação de pontos de apoio hidrográfico;
- Controlo horizontal de levantamentos hidrográficos;
- Controlo vertical de levantamentos hidrográficos;
- Execução de levantamentos topográficos.

Actualmente, receptores especialmente concebidos para fins geodésicos permitem efectuar a coordenação de pontos hidrográficos, através de observações GPS em modo estático. Para o efeito são efectuadas observações simultâneas num ponto de coordenadas conhecidas (por exemplo, da rede geodésica nacional) e noutro ponto que se pretende coordenar. As observações são gravadas em cada um dos receptores sendo processadas posteriormente, em gabinete. Não é necessário que exista inter-visibilidade entre as estações nem condições atmosféricas favoráveis. Apenas com uma hora de observação é possível obter uma exactidão da ordem de centímetros ou melhor.

Quando avaliado segundo os critérios de desempenho mencionados em 3., o DGPS tem o melhor desempenho global e em quase todos os critérios. Relativamente à exactidão, o DGPS, pode ser utilizado para o controlo horizontal de levantamentos de qualquer ordem.

O GPS OTF permite determinar a altura elipsoidal da antena da estação móvel com uma exactidão de alguns centímetros. Esta característica pode ser utilizada para efectuar o controlo vertical de levantamentos hidrográficos, isto é, determinar a sonda reduzida em tempo real (fig. 7). Previamente à execução de um levantamento hidrográfico, é necessário determinar um modelo espacial das alturas do ZH, relativamente ao elipsóide utilizado pelo GPS, o WGS84. Este modelo é determinado com observações de GPS em modo estático, colocando a antena em pontos cotados existentes em redor da área do levantamento. A sonda reduzida é calculada pela seguinte equação:

$$S_r = S_h - (h_{antena} - h_{ZH} - dz)$$

Com este método deixa de ser necessário efectuar leituras de maré, com vantagens em economia de meios e pessoal, ao mesmo tempo que a redução das sondas ao ZH, é efectuada no local, através de um modelo espacial que estabelece as diferenças entre o ZH, e o elipsóide de

referência. Este método ainda se encontra em fase de desenvolvimento, nomeadamente por necessitar de um sensor de movimentos que permita determinar a distância vertical entre a antena e o transdutor, em condições de balanço da plataforma de sondagem.

O GPS OTF tem vindo a ser utilizado pelo IH, na execução de levantamentos topográficos para actualização da informação cartográfica. Quando não é necessário seguir perfis pré-determinados, os dados de campo são gravados para posterior processamento em gabinete. Noutras situações, é necessário seguir perfis bem definidos, sendo garantido posicionamento em tempo real, com indicação do afastamento ao perfil, para guiamento do operador. Previamente ao levantamento topográfico propriamente dito, é necessário efectuar uma calibração do sistema, de modo a calcular os parâmetros de transformação locais entre o sistema de coordenadas WGS 84 e o sistema de coordenadas locais.

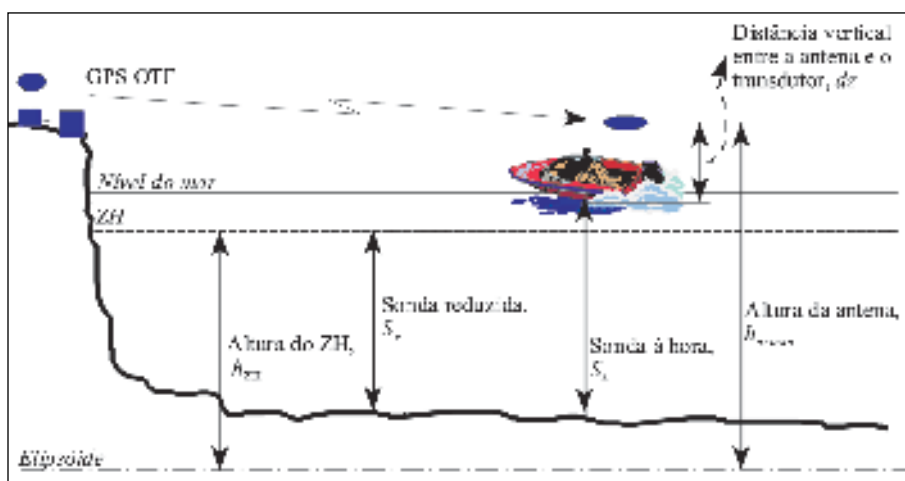


Fig. 7 – Controlo vertical de levantamentos hidrográficos com GPS OTF

4. Sistemas de sondagem

Os métodos e equipamentos a utilizar para a medição de profundidades são função da ordem do levantamento (exactidão e profundidade média) e da obrigatoriedade da cobertura total do fundo. Isto pode ser assegurado através da medição de profundidades correspondentes a áreas insonificadas ou assinaturas acústicas que cobrem a totalidade do fundo, ou através de sistemas de varrimento que garantam que não existem obstruções significativas entre as profundidades medidas. Assim, podem ser definidos quatro tipos de levantamentos em função dos métodos e dos equipamentos utilizados:

- I. Levantamento com medição de profundidades correspondentes a áreas insonificadas que cobrem a totalidade do fundo;

- II. Levantamento com medição contínua de profundidades ao longo de fiadas, complementado com um sistema de varrimento (por exemplo, sonar lateral);
- III. Levantamento com medição contínua de profundidades ao longo de fiadas;
- IV. Levantamento com medição de profundidades em posições discretas.

4.1 Medição de profundidade e de detecção de obstruções

Nesta secção são descritos os sistemas de sondagem, disponíveis no IH para a execução dos diferentes tipos de levantamentos hidrográficos, principais características e princípios de funcionamento.

4.1.1 Sondador acústico de feixe simples

Os sondadores acústicos de feixe simples, são os meios tradicionais utilizados na execução de levantamentos hidrográficos.

Estes sondadores efectuem medição contínua de profundidades – perfis. A superfície coberta por este equipamento é uma função da abertura angular do feixe acústico (normalmente os sondadores acústicos apresentam aberturas de feixe entre 6° e 14°).

O princípio de funcionamento consiste, genericamente, na medição do intervalo de tempo entre a transmissão de um impulso acústico e a sua detecção após reflexão no fundo.

Para o cálculo da profundidade é necessário o conhecimento da velocidade de propagação do som na água. Esta medição pode ser efectuada com recurso a um velocímetro que permite determinar o perfil de velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, ou através de um transdutor de calibração, constituído por um transdutor e um disco reflector separados de uma distância fixa. Conhecendo a velocidade média para uma determinada profundidade ou ajustada a velocidade para uma profundidade média, a profundidade é obtida através de:

$$d = c_m \cdot \frac{\Delta t}{2},$$

onde d é a profundidade, c_m a velocidade média de propagação do som na água e Δt o intervalo de tempo do duplo trajecto do impulso acústico entre o transdutor e o fundo.

O registo da profundidade destes sondadores pode ser digital ou analógico.

Para a correcção do efeito da ondulação, pode ser aplicado um sensor de ondulação, sensor para determinação da proa, e opcionalmente, um sensor para a determinação dos balanços longitudinais e transversais da embarcação.

4.1.2 Sondador Acústico Multifeixe

O sondador acústico multifeixe é o sistema mais recente utilizado no IH para a execução de levantamentos hidrográficos.

Este tipo de sondadores efectua a medição de profundidades ao longo de faixas. A largura da faixa sondada coberta por este equipamento é também função da abertura angular do feixe transmitido no sentido transversal à proa da embarcação. No caso do sistema do IH, a abertura máxima é de 150° , i.e., equivalente a 7.5 vezes a profundidade média. Apesar da elevada cobertura alcançada pelo sistema, a faixa útil a utilizar para levantamentos hidrográficos, não deve ser superior a um total de 120° , ou seja 3.5 vezes a faixa sondada [Artilheiro et al., 1999].

O princípio de funcionamento deste sistema [Artilheiro, 1996] consiste, genericamente, na transmissão de um impulso acústico com grande abertura transversal e pequena abertura longitudinal (ϕ_y), durante a recepção são electronicamente formados feixes com pequena abertura transversal (ϕ_x) e grande abertura longitudinal, 60 feixes (para o sistema em estudo) com um espaçamento angular entre si de 2.5° [Simrad, 1995]. A área insonificada é o resultado da intersecção entre o feixe transmitido e o feixe formado durante a recepção (fig. 8).

A medição do intervalo de tempo entre a transmissão do impulso acústico e a sua detecção após reflexão

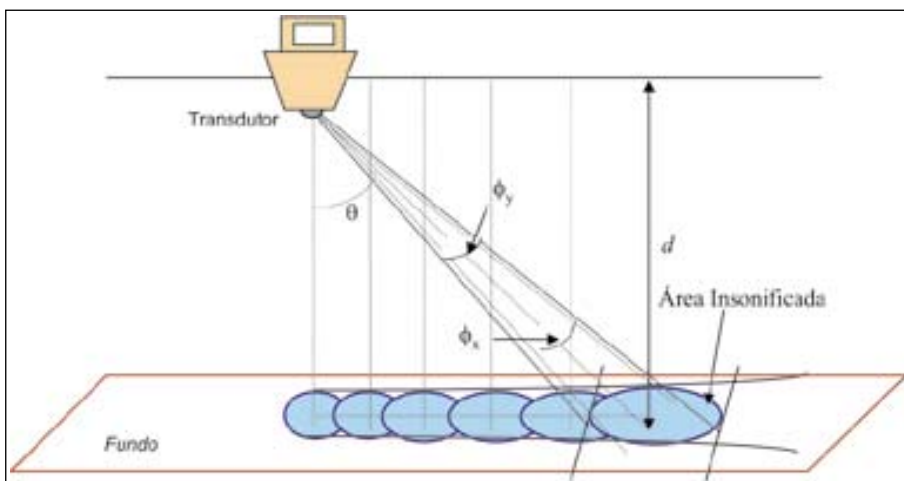


Fig. 8 – Áreas insonificadas correspondentes a um feixe de transmissão e vários feixes formados durante a recepção

no fundo para cada um dos 60 feixes, é efectuada através de algoritmos específicos. Estes algoritmos têm em conta o número de amostras do sinal após conversão do sinal de analógico para digital e a forma do sinal de Moustier, 1988].

Para o cálculo da profundidade, para cada feixe, é necessário o conhecimento da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água. A velocidade média que é suficiente para o cálculo da profundidade do feixe vertical, no caso do sondador de feixe simples, é insuficiente no caso do sondador multifeixe. Para o cálculo da profundidade dos feixes oblíquos é necessário o conhecimento, com elevada exactidão, do perfil de velocidade de propagação do som na água. Esta medição é efectuada com recurso a um velocímetro. Conhecendo a velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água é efectuada o cálculo do trajecto do impulso (*ray tracing*) acústico [Clay e Medwin, 1977] segundo os vários ângulos de incidência (ângulo relativo à vertical do transdutor), como função do ângulo de incidência e do tempo do trajecto do sinal, obtendo como resultados a profundidade e a distância transversal de localização da sonda.

O sistema sondador multifeixe inclui obrigatoriamente um sensor de movimentos de elevada exactidão com determinação da ondulação, dos balanços transversais e longitudinais, com incertezas nas medições inferiores a 10 cm e 0.2° em 95% dos casos. É também obrigatória a existência de um sensor para determinação da proa, com elevada exactidão, sendo recomendável uma exactidão superior a 2° a 95% de nível de confiança. Actualmente o sensor de medição da proa (Seapath 200) baseia-se em duas antenas GPS orientadas longitudinalmente na embarcação de sondagem [Marreiros, 1997], cuja incerteza na medição é de 0.2° a 95% de nível de confiança.

A fig. 9 apresenta a estimativa dos erros de medição da profundidade do sondador multifeixe do IH. Estes erros são apresentados em função da profundidade e do ângulo de incidência do feixe. São igualmente apresentadas as curvas correspondentes à exactidão definida na S-44, para os levantamentos hidrográficos de Ordem Especial e Ordem 1.

O registo da profundidade destes sondadores é unicamente digital.

Concomitantemente à informação de sondagem é possível a aquisição de dados de reflectividade que após adequado processamento permitem gerar uma imagem acústica do fundo. A informação mais relevante desta imagem é a possibilidade de identificação de diferentes tipos de sedimentos e de obstruções.

4.1.3 Sonar Lateral

O sonar lateral é um equipamento utilizado como complemento à informação de sondagem.

Este equipamento efectua um registo de intensidade do sinal acústico, retroreflectividade. Esta imagem apresenta uma elevada resolução, no entanto, o posicionamento da informação da retroreflectividade não se encontra geometricamente corrigido. Ao contrário a imagem sonar com dados adquiridos com o sondador multifeixe, embora de menor resolução é uma imagem geometricamente correcta.

O sonar lateral é utilizado para a detecção de obstruções entre fiadas quando é requerida a cobertura total do fundo, ou seja a busca de obstruções, apenas para a sua localização, sendo a medição de profundidade efectuada por um sondador acústico.

4.2 Comparação dos sondadores Feixe Simples e Multifeixe

No que concerne à cobertura dos dois sondadores, o sondador multifeixe permite efectuar a cobertura total do fundo desde que seja garantida a sobreposição entre faixas adjacentes. Numa sondagem com sondador de feixe simples, não é, do ponto de vista prático, exequível uma sondagem com cobertura total do fundo. Por exemplo, considerando um levantamento numa profundidade média de 20 metros obtêm-se as coberturas apresentadas na fig. 10. Admitindo a abertura do feixe simples de 8°, o feixe simples cobre efectivamente uma faixa com cerca de 3 m de largura. No levantamento com o sondador multifeixe existe grande probabilidade de detecção de sondas mínimas e de obstruções de interesse para a segurança da navegação.

5. Aquisição de Dados

Além do sistema de sondagem, é necessário um sistema de aquisição de dados. Este sistema deve ter as seguintes capacidades: gravação dos dados de sondagem;

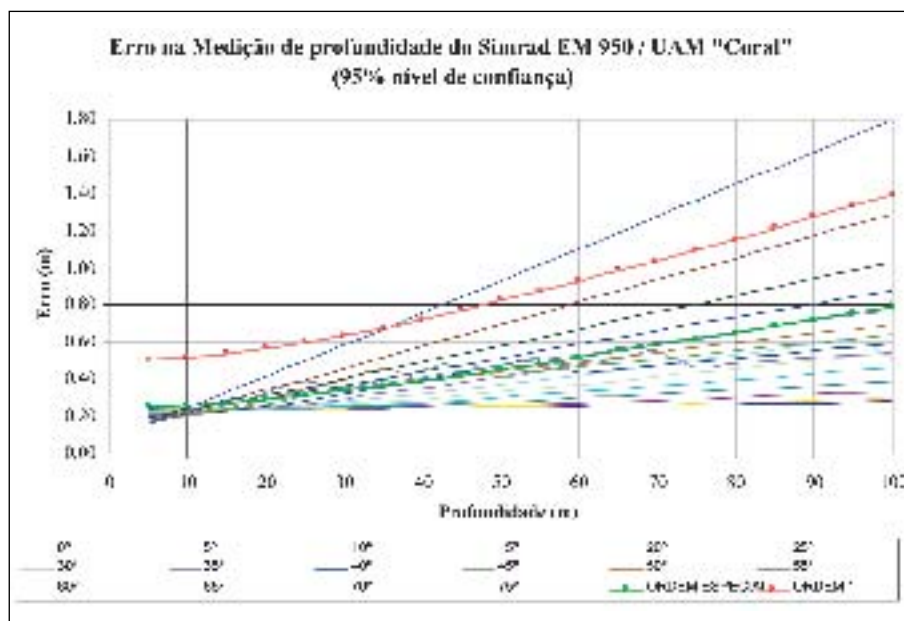


Fig. 9 – Estimativa do erro, 95% de nível de confiança, da profundidade SMF reduzida, função da profundidade e do ângulo de incidência do feixe

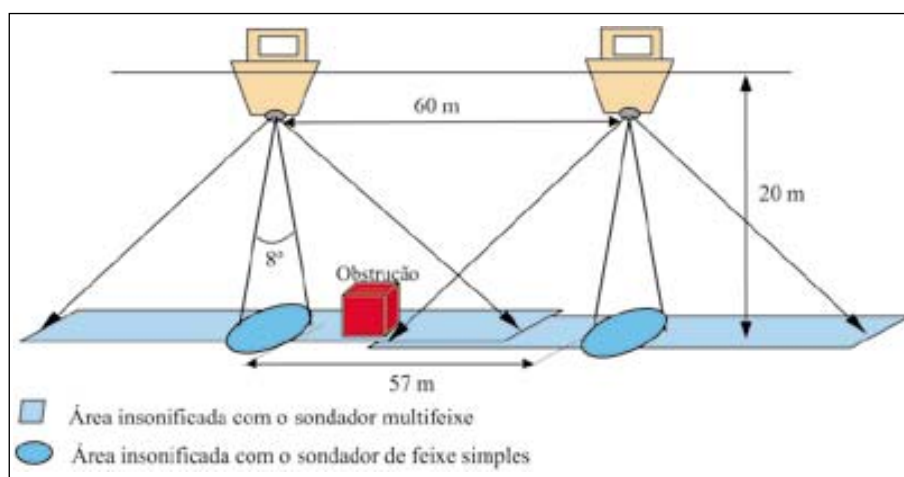


Fig. 10 – Comparação da cobertura com o sondador feixe simples e com o sondador multifeixe

informação do posicionamento da embarcação relativa ao planeamento e informação das profundidades medidas. Para este efeito são utilizadas as seguintes aplicações informáticas:

- HIDROPOS, aplicação desenvolvida no IH, utilizada em levantamentos com sondador de feixe simples, permite efectuar o planeamento das fiadas e fornece informação para condução da embarcação. Esta aplicação efectua apenas gravação dos dados de posicionamento. Os dados de profundidade são registados em papel;
- HYPACK, aplicação desenvolvida pela Coastal Oceanographics [1998], utilizada em levantamentos com sondador de feixe simples, permite

efectuar o planeamento das fiadas, fornece informação para condução da navegação, visualização dos dados adquiridos para controlo da aquisição, interface de comunicação com sensor de atitude e proa. Esta aplicação efectua gravação dos dados de posicionamento, profundidade, atitude e proa.

- MERMAID / MERLIN, aplicações desenvolvidas por Kongsberg Simrad AS, utilizada em levantamentos com sondador multifeixe, fornece informação para condução da navegação, visualização dos dados adquiridos para controlo da aquisição. Estas aplicações efectuem a gravação dos dados de posicionamento, profundidade, atitude, proa e perfil de velocidade de propagação do som na água, enviados pelo sondador multifeixe.

6. Processamento de Dados

Para o processamento de dados hidrográficos, são utilizadas as seguintes aplicações informáticas:

- HIDRO, aplicação desenvolvida no IH, utilizada para o processamento de dados hidrográficos de levantamentos com sondador de feixe simples. Esta aplicação é utilizada quando os dados de profundidade se encontram em registo analógico e os dados de posicionamento foram registados manualmente ou gravados pelo HIDROPOS;
- HYPACK, para além da sua utilização na aquisição de dados, esta aplicação contém um conjunto de módulos para o processamento de dados, permitindo o processamento de dados adquiridos com sondador de feixe simples;
- HIPS, aplicação desenvolvida pela Universal Systems Ltd. [1998], permite o processamento de dados adquiridos com sondador multifeixe e feixe simples. Esta aplicação dispõe de capacidade de limpeza de dados, quer manual, quer automática através de algoritmos de classificação das sondas;
- SIPS, aplicação desenvolvida pela Universal Systems Ltd. [1994], permite o processamento de dados de reflectividade adquiridos com sondador multifeixe. Esta aplicação é utilizada para a produção da imagem acústica.

7. Apresentação da informação hidrográfica

A informação hidrográfica pode ser apresentada em várias formas, por exemplo:

- informação de sondagem com isobatimétricas, constituindo a forma tradicional de apresentação da informação hidrográfica;
- modelos digitais de terreno (MDT): estes modelos podem ser apresentados com iluminação por uma fonte sintética por forma a salientar determinados aspectos do relevo submarino. Os MDT são utilizados para o cálculo de volumes, por exemplo para cálculo do volume de dragados.

Ao nível da produção cartográfica, destaca-se a cartografia em papel, produzida quer pelos métodos tradicionais quer com recurso e assistência de computadores (cartografia assistida por computador). A cartografia assistida por computador utiliza o sistema CARIS da Universal Systems Ltd.

A informação hidrográfica, depois de validada, é importada pelo sistema CARIS onde é tratada com vista à produção da carta náutica oficial (CNO), ver fig. 11. Esta informação é utilizada, posteriormente, para a produção da carta electrónica de navegação oficial.

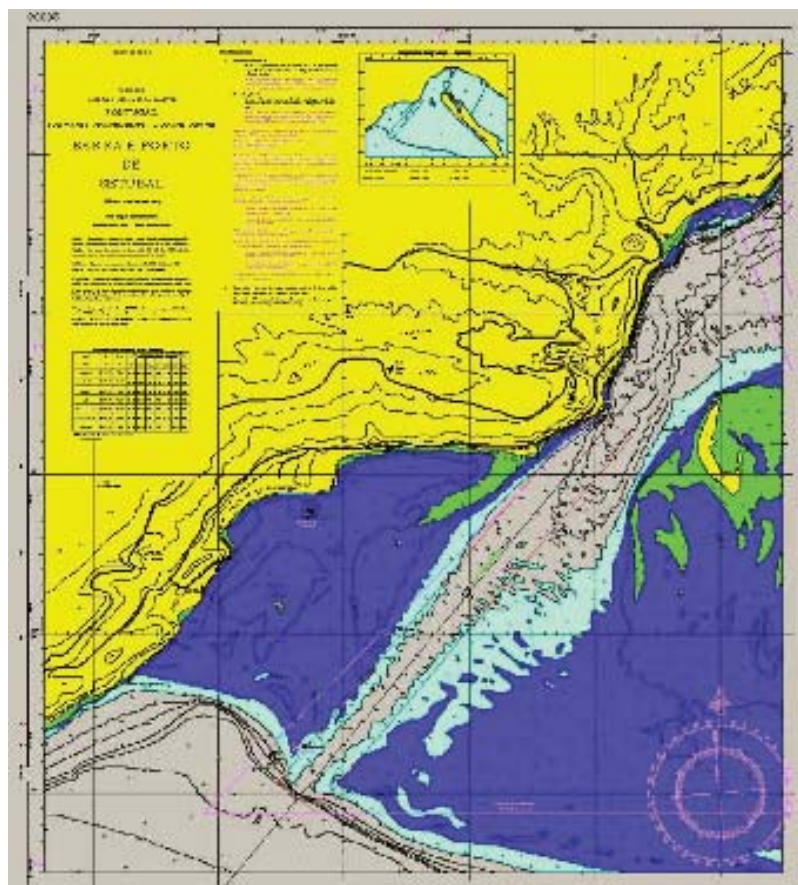


Fig. 11 - Extracto da CNO 26308 (Porto de Setúbal) com sobreposição da informação do levantamento hidrográfico com sondador multifeixe

8. Considerações Finais

O aparecimento do GPS veio revolucionar as técnicas de posicionamento utilizadas em hidrografia, ao mesmo tempo que se desenvolveram novas aplicações. Actualmente, a tarefa de determinar a posição de uma plataforma hidrográfica requer menos esforço em meios humanos e materiais, à custa de equipamentos tecnologicamente avançados e algoritmos cada vez mais complexos.

Não há soluções absolutas. O GPS apresenta uma relação custos/benefícios bastante favorável, mas existem algumas desvantagens que convém sublinhar:

- O seu funcionamento é controlado por uma potência estrangeira,
- Depende da visibilidade para os satélites,
- Requer formação especializada dos utilizadores.

A par destes desenvolvimentos tecnológicos, ainda existe campo de aplicação para os métodos de posicionamento tradicionais. A operacionalidade dos sistemas de posicionamento por satélite pela sua importância estratégica, poderá ser reduzida ou anulada numa situação de crise global. Mesmo em condições normais, poderá ocorrer que as condições de visibilidade não permitam a utilização de sistemas de posicionamento por satélite.

Estão a ser desenvolvidos novos sistemas de posicionamento por satélite equivalentes ao GPS, por exemplo o GNSS (Global Navigation Satellite System), que irão complementar o GPS, aumentando o número de satélites visíveis e reduzir a dependência relativamente aos EUA.

A evolução dos meios para a medição de profundidades deve-se, fundamentalmente, aos desenvolvimentos da informática, do *software* e da tecnologia electrónica. A aplicação dos sondadores multifeixe para fins hidrográficos, é ainda uma novidade para a grande maioria dos serviços hidrográficos.

A reduzida aplicação dos sondadores multifeixe deve-se aos seguintes factores:

- erros na medição da profundidade devido à refração;
- erros de medição da atitude da plataforma de sondagem devido à não imunidade dos sensores inerciais às acelerações horizontais (problema já resolvido com a integração de informação DGPS para referência vertical e de algoritmos que permitem compensar os efeitos das acelerações horizontais);
- erros na medição da ondulação, em situações de ondas de muito longo período.

Pese embora os factores limitativos supramencionados, os dados adquiridos com sondador multifeixe já foram utilizados para actualização das cartas náuticas oficiais e está provado que o sistema do IH pode ser utilizado para levantamentos hidrográficos de Ordem 1. No entanto, devem ser tomados os cuidados necessários durante a aquisição de dados, e seguir-se criteriosamente a metodologia de processamento e as normas para controlo de qualidade.

O sondador multifeixe constitui um avanço notável para a hidrografia, pois permite uma cobertura total do fundo submarino com o consequente aumento de confiança da informação apresentada na carta náutica oficial.

Os desenvolvimentos resumidamente descritos neste artigo têm tido aplicação no IH, como um investimento nas novas tecnologias. Ao mesmo tempo em que se aposta nestes recentes desenvolvimentos, deve-se manter a formação e manutenção dos sistemas de posicionamento e de sondagem clássicos. Este é um aspecto que não pode ser desprezado, pois o IH é responsável pela informação cartográfica náutica nacional, a qual necessita de ser constantemente actualizada.

Bibliografia

- Artalheiro, F. (1996). *Analysis and Procedures of Multibeam Data Cleaning for Bathymetric Charting*. MEng. Report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- Artalheiro, F., P. Sanches e F. Pimentel (1999). «Overview of the Multibeam Hydrographic Surveying Project at the Portuguese Hydrographic Office for Nautical Chart Update.» *Proceedings of FEMME '99*, Forum of Simrad Multibeam Echosounders Users, Oslo.
- Clay, C. e H. Medwin (1977). *Acoustical Oceanography*. John Wiley and Sons, Inc.
- De Moustier C. (1988). «State of the Art in Swath Bathymetry Survey Systems.» *International Hydrographic Review*, LXV(2), p. 25.
- IHO (1998). *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publication n.º 44, 4th Edition, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- Marreiros, J. (1997). *Performance Analysis of GPS Attitude Determination in a Hydrographic Survey Launch*. MEng. Report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
- Simrad Norge AS, (1995). *EM 1000 Operator Manual*. Horten, Norway.
- Universal Systems Ltd. (1994). *CARIS HIPS: Sonar Image Processing System*. Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Universal Systems Ltd. (1998). *CARIS HIPS: Hydrographic Information Processing System*. Fredericton, New Brunswick, Canada.

Aplicação do GPS OTF no levantamento topo-hidrográfico da Lagoa de Óbidos

Ramalho Marreiros CAPITÃO-TENENTE ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO
Moreira Pinto PRIMEIRO-TENENTE ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
Alcobia Portugal PRIMEIRO-TENENTE ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
Albuquerque Oliveira PRIMEIRO-TENENTE ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA
Duarte Oliveira SEGUNDO-TENENTE ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA

Resumo O GPS On-The-Fly (OTF) é um método de posicionamento relativo que permite determinar a posição a três dimensões, de uma antena em movimento, com uma exactidão da ordem de centímetros. As posições obtidas por GPS OTF têm por referência o sistema geodésico do GPS, o World Geodetic System 84 (WGS84).

Nos levantamentos topográficos e hidrográficos as coordenadas são normalmente referenciadas a um datum vertical e a um datum horizontal local. Em geral, nos levantamentos hidrográficos efectuados em Portugal Continental é usado o sistema de coordenadas militares, sendo as sondas ou cotas referidas ao Zero Hidrográfico. Assim, um dos problemas na utilização do GPS OTF consiste em determinar a transformação adequada por forma a que as coordenadas finais tenham uma exactidão compatível com os requisitos do trabalho.

No âmbito de um protocolo celebrado entre o Instituto Hidrográfico (IH) e o Instituto da Água (INAG), a Brigada Hidrográfica (BH) realizou um levantamento topo-hidrográfico na Lagoa de Óbidos. Este levantamento destinou-se à recolha de dados hidrográficos para a monitorização e gestão ambiental da Lagoa tendo em vista a sua salvaguarda para as gerações futuras.

Numa análise preliminar do trabalho a executar constatou-se que em apenas 50% da área de trabalho era possível utilizar uma embarcação de sondagem dado o estado de assoreamento da Lagoa. Assim, grande parte do trabalho foi efectuado em terreno seco ou pantanoso utilizando receptores GPS OTF com gravação de dados para posterior processamento.

Previamente ao trabalho topográfico com GPS OTF foram calculados parâmetros de transformação de coordenadas. Para o efeito foram efectuadas observações com GPS em modo estático numa rede de pontos já existentes em redor da Lagoa cujas coordenadas militares eram conhecidas. A exactidão final dos parâmetros de calibração foi cerca de 10 centímetros.

Com a estação móvel instalada numa mochila às costas de um homem ou numa viatura todo-o-terreno, a aplicação do GPS OTF neste trabalho permitiu aumentar a produtividade, na medida em que os dados foram adquiridos em contínuo. O modelo digital de terreno que incorpora toda a informação de sondagem e de topografia indica uma boa concordância entre os dois métodos independentes de aquisição de dados.

Abstract *The GPS On-The-Fly (OTF) is a method of relative positioning that allows three dimensional positioning of a moving antenna with centimetre level accuracy. The positions obtained directly with GPS OTF are referred to the World Geodetic System 84 (WGS 84). In hydrographic and topographic surveys the positions are usually referred to a local horizontal and vertical data. For surveys in Continental Portugal the Lisboa datum is used as a reference for horizontal coordinates. The soundings are reduced to the chart datum. Therefore, in order to use GPS OTF it is required an appropriate transformation from WGS 84 to local coordinates. This transformation must accomplish the accuracy standards.*

In the ambit of a protocol established between the Instituto Hidrográfico (IH) and Instituto da Água (INAG), the Brigada Hidrográfica (BH) executed an hydrographic and topographic survey of Óbidos lagoon. The goal of this survey was to collect data for environmental study in order to preserve the lagoon for future generations. In a preliminary analysis of the work to execute it was verified that 50% of the lagoon were to shallow and the survey must be made by topographic methods. In order to speed up data collection the topographic survey was executed with GPS OTF in post-processing mode.

The transformation parameteres were calculated previously to the topographic survey. For this calculation GPS static observations were made in a network of geodetic marks around the lagoon whose local coordinates were known. The maximum error in the aplicacion of the transformation parameters was found to be no greater than 10 cm.

This work shows that a GPS OTF receiver carried in a backpack or in a vehicle can increase productivity since the data was collected in continuous mode. The digital terrain model that uses all the information from the hydrographic survey and GPS OTF topographic survey indicates a good agreement among the two independent methods of data collection.

1. Introdução

A capacidade de posicionar uma antena em movimento com uma exactidão de centímetros com GPS On-The-Fly (OTF), abriu novas possibilidades para um vasto conjunto de aplicações. Existe actualmente no mercado um conjunto de equipamentos e programas de processamento acessórios para aplicação em trabalhos de hidrografia e topografia.

As posições obtidas directamente do GPS são referidas a um sistema de coordenadas geocêntricas que têm por base o elipsóide World Geodetic System 84 (WGS 84). Em levantamentos hidrográficos são normalmente usados sistemas de coordenadas horizontais locais e a referência vertical é o Zero Hidrográfico (ZH) ou o Nível Médio Adoptado (NMA). Assim, é necessário encontrar formas de transformar as coordenadas WGS 84 em sistemas de coordenadas locais sem ultrapassar os requisitos de exactidão previamente estabelecidos.

No âmbito de um protocolo celebrado entre o Instituto Hidrográfico (IH) e o Instituto da Água (INAG), a Brigada Hidrográfica (BH) realizou um levantamento topo-hidrográfico na Lagoa de Óbidos. Este levantamento destinou-se à recolha de dados hidrográficos para a monitorização e gestão ambiental da Lagoa tendo em vista a sua salvaguarda para as gerações futuras.

Numa análise preliminar do trabalho a executar constatou-se que em apenas 50% da área de trabalho era possível utilizar uma embarcação de sondagem dado o estado de assoreamento da Lagoa. Dadas as condições do terreno e o escasso apoio geodésico existente, foi decidido utilizar o GPS OTF em modo de pós-processamento para complementar o trabalho de sondagem.

Este artigo descreve a realização do levantamento topográfico de complemento à sondagem, o qual pode ser dividido em três fases distintas:

- Determinação dos parâmetros de transformação de coordenadas.
- Levantamento topográfico.
- Processamento dos dados e transformação para coordenadas locais.

2. Descrição do Trabalho

A Lagoa de Óbidos tal como se apresenta actualmente é o que resta de um sistema de lagoas costeiras que ia de Óbidos à Nazaré e Alcobaça. A diminuição gradual da área líquida ficou-se a dever a um processo de enchimento aluvionar que transformaram o espaço lagunar em campos de cultivo. Outro dos problemas da Lagoa consiste na perda de ligação com o mar o que causa problemas de sobrevivência ao sistema lagunar e favorece o enchimento com depósitos aluviais da Lagoa, acelerando o seu desaparecimento.

Actualmente, a Lagoa de Óbidos tem uma superfície de cerca de 550 hectares, sendo o seu maior comprimento de 6 km e a sua maior largura de 1,5 km. Com o intuito de fixar um canal de acesso para o mar, criando condições para a sua manutenção, foram realizadas, em 1998, um conjunto de obras que incluíram a dragagem do canal, a construção de um dique de guiamento que impede a migração do canal para norte e uma barreira que corta o escoamento por detrás do dique [Teixeira et al., 1999].

Outras intervenções previstas e em curso na Lagoa fazem parte de um plano muito mais vasto de monitorização e gestão ambiental da Lagoa tendo em vista a sua salvaguarda para as gerações futuras.

A BH realizou, durante os meses de Maio e Junho, o levantamento topo-hidrográfico da Lagoa de Óbidos. Os



Fig. 1 – Espaço geográfico envolvente da Lagoa de Óbidos

requisitos básicos para este levantamento foram definidos como sendo de Ordem I(B) – Tipo III, de acordo com o estabelecido na Publicação Especial S-44 da Organização Hidrográfica Internacional [OHI, 1998]. Este trabalho apresentou novos desafios devido à natureza da área de sondagem, com bancos de areia e de lodo, assim como margens mal definidas e de reduzido declive. Durante o reconhecimento constatou-se que o apoio geodésico era insuficiente. Apenas existiam pontos de apoio e marcas de nivelamento junto à Foz do Arelho e no lado norte do esteiro da Barrosa.

3. Determinação dos parâmetros de transformação

Os parâmetros de transformação são necessários para transformar coordenadas geográficas WGS 84 em coordenadas do sistema local. Neste caso o sistema de coordenadas é constituído pelo sistema de coordenadas militares com a altitude referida ao NMA.

Dado que o objectivo do levantamento topográfico era o de complementar a sondagem, a exactidão das cotas deve ser conforme os requisitos estabelecidos para a medição das profundidades. Para levantamentos de Ordem I(B) – Tipo III a exactidão das profundidades a um nível de confiança de 95% deve ser cerca de 0,5m. A exactidão da posição horizontal estabelecida para o mesmo tipo de levantamento é cerca de 5 m (nível de confiança de 95%).

Dado que o GPS OTF permite determinar a posição a três dimensões com uma exactidão da ordem de centímetros, o problema consiste em calcular parâmetros de transformação que garantam a exactidão exigida. Este problema foi resolvido em quatro etapas sequenciais:

- Transformação de datum.
- Projecção cartográfica.
- Transformação no plano horizontal.
- Transformação em altitude.

3.1 Transformação de datum

A transformação de datum destina-se a converter as coordenadas geográficas WGS 84 em coordenadas geográficas referidas ao datum local. Uma vez que se estavam a utilizar coordenadas militares, foram utilizados os parâmetros de transformação de WGS 84 para elipsóide internacional-datum Lisboa. Foram utilizados os parâmetros publicados pelo Instituto Português de Cartografia e Cadastro (IPCC) para a transformação de Bursa-Wolf.

3.2 Projecção cartográfica

As coordenadas geográficas referidas ao elipsóide Internacional/datum Lisboa foram convertidas em coordenadas militares através da projecção de Gauss, com ponto central em 39°40'N e 8°07'54,862"W e ponto fictício (em relação ao ponto central) $M = -200000$ e $P = -300000$.

Até esta fase não é necessário efectuar nenhum trabalho adicional senão a mera conversão analítica através de fórmulas e parâmetros conhecidos. A comparação das coordenadas transformadas indicam diferenças de cerca de 2 m relativamente a pontos cujas coordenadas militares tinham sido calculadas a partir de observações terrestres. Esta diferença não satisfaz os critérios exigidos devido ao erro causado pela transformação de datum.

3.3 Transformação no plano horizontal

A transformação no plano horizontal tem por objectivo minimizar a discrepância entre as coordenadas horizontais transformadas e as coordenadas conhecidas de qualquer ponto na zona de trabalho. A transformação no plano é composta por rotação, translação e factor de escala. A determinação dos valores de transformação requer o conhecimento de pelo menos dois pontos, devidamente espaçados em redor da zona de trabalho, cujas posições sejam conhecidas nos dois sistemas de coordenadas, WGS 84 e militares. Estes pontos designam-se por pontos de calibração e é importante que existam mais que dois, por forma a permitir aferir a exactidão da transformação.

3.4 Transformação em altitude

A transformação em altitude tem por objectivo converter a altitude elipsoidal em altitude referida ao nível de referência vertical local, o NMA. Os parâmetros obtidos da transformação em altitude definem um plano inclinado relativamente ao plano do sistema de coordenadas. Para definir esse plano são necessários pelo menos três pontos de calibração.

4. Trabalho de campo

Numa fase preliminar ao trabalho foi efectuado um reconhecimento e a pesquisa de antecedentes. Desde logo se reconheceu que o apoio geodésico era insuficiente e antigo, pelo que houve necessidade de construir e coordenar novos pontos de apoio e também verificar as coordenadas dos pontos coordenados em 1980 [IH, 1980]. Previamente ao levantamento topográfico foi construído todo o apoio geodésico.

4.1 Apoio geodésico

O apoio geodésico consistiu na coordenação por GPS em modo estático de pontos existentes na periferia da área de trabalho. Para o efeito foram efectuadas observações simultâneas em dois marcos do IPCC que serviram de base para a construção da rede de observações.

Foi utilizado o seguinte equipamento:

- 2 receptores Trimble 4000 SSE;
- 1 receptor Trimble 4400 com caderneta electrónica TDC1;
- 3 antenas Trimble Compact L1/L2 com *ground-plane*;

Os dados de pseudo-distância e fase da portadora foram gravados a intervalos de 15 segundos na memória interna dos receptores ou da caderneta electrónica.

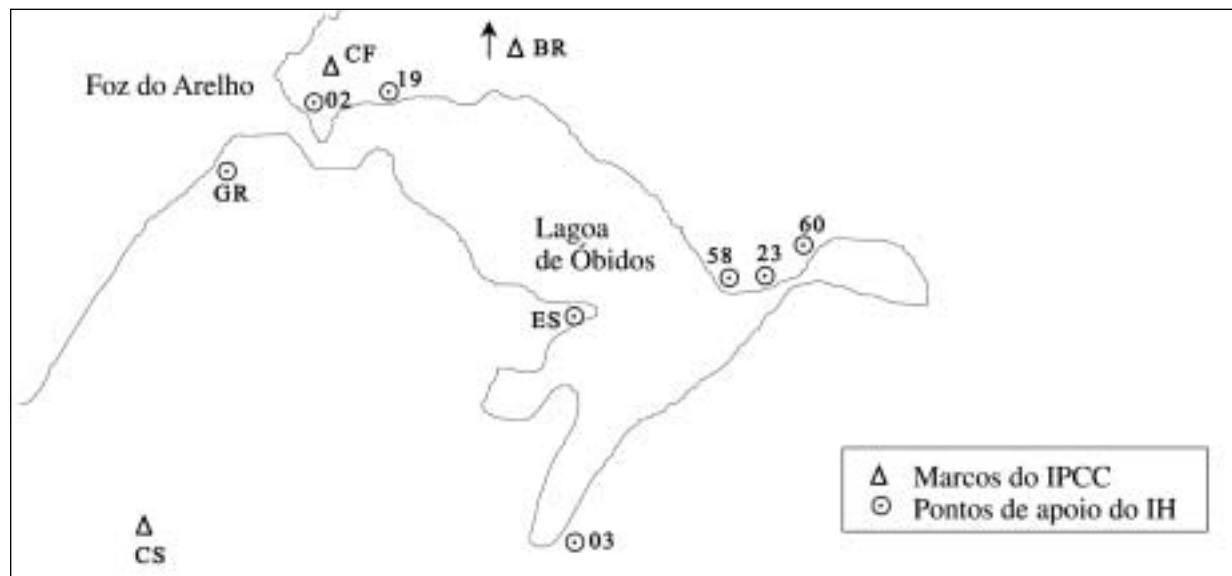


Fig. 2 – Distribuição espacial dos pontos de apoio geodésico

4.2 Levantamento topográfico

O levantamento topográfico foi executado com GPS OTF em modo de pós-processamento. A estação fixa esteve sempre instalada no ponto 02 com um receptor Trimble 4000 SSE e uma antena Trimble Compact L1/L2 com *groundplane*. Os dados foram gravados em intervalos de 5 segundos na memória interna do receptor.

Foram utilizadas duas estações móveis, com as seguintes características:

- Estação móvel 1:
 - Trimble 4000 SSE com caderneta electrónica TDC1;
 - Antena Trimble Compact L1/L2 com caderneta electrónica.
 - Os dados foram gravados na memória interna do receptor, com autonomia para cerca de 12 horas.
- Estação móvel 2:
 - Trimble 4400 com caderneta electrónica TDC1;
 - Antena Trimble Compact L1/L2 com caderneta electrónica.
 - Os dados foram gravados na memória interna da caderneta electrónica, com autonomia para cerca de 2 horas.

Durante o levantamento topográfico foi efectuada a aquisição de dados em modo contínuo e em modo *stop and go* [Trimble, 1995]. A aquisição em modo contínuo foi efectuada com a antena em movimento contínuo. Para o efeito foi utilizada uma mochila onde se colocou todo o equipamento. Esta mochila foi transportada a pé ou numa moto de quatro rodas (fig. 3). A moto de quatro rodas demonstrou ser de grande utilidade em zonas de dunas de areia. Nas zonas de lodo ou de areia molhada só foi possível efectuar o trabalho com a mochila por um elemento a pé.

A principal limitação do GPS OTF está na necessidade de dispor de boa visibilidade para os satélites, de modo a conseguir efectuar o seguimento contínuo de pelo menos quatro satélites após inicialização. Uma vez que se estavam a adquirir dados para posterior processamento considerou-se que o sistema estava inicializado após dois minutos de seguimento contínuo a, pelo menos, seis satélites. As cadernetas electrónicas indicam o número de satélites visíveis em cada instante, permitindo monitorizar a aquisição de dados.

Os trabalhos de topografia decorreram durante nove dias, tendo sido percorridos cerca de 170 km e cotados 30507 pontos. Durante a execução do levantamento topográfico foram coordenados diversos marcos de delimitação do domínio público marítimo.



Fig. 3 – Levantamento topográfico na Foz do Arelho.

A foto a) apresenta uma moto de quatro rodas com uma estação móvel montada. A foto b) apresenta a execução da topografia a pé num baixo, durante a baixa-mar.

5. Resultados finais

O processamento dos dados foi efectuado em três fases distintas, consoante se tratou de construir o apoio geodésico, calcular os parâmetros de transformação ou o tratamento dos dados adquiridos durante o levantamento topográfico.

5.1 Apoio geodésico

Os dados adquiridos por GPS em modo estático foram posteriormente processados em PC com o pacote de programas que fazem parte do GPSurvey versão 2.3, onde está incluído o programa *Weight Ambiguity Vector Estimator*, abreviadamente designado por WAVE. Este programa permitiu determinar as linhas de base entre as posições ocupadas a partir das observações de pseudo-distância e fase da portadora.

As linhas de base foram posteriormente ajustadas a partir das coordenadas fixas dos marcos do IPCC. Este ajustamento foi efectuado com o programa TRIMNET Plus versão 92.11. Como resultado final obtiveram-se coordenadas geográficas WGS 84 em que a estimativa de erro a 95% é inferior a 2 cm.

5.2 Parâmetros de transformação

Os parâmetros de transformação foram calculados com o programa TRIMMAP versão 6.5 seguindo as etapas sequenciais mencionadas em 3. Em anexo apresentam-se os resultados obtidos para a transformação no plano e para a transformação em altitude.

Para a transformação no plano foram utilizados 5 pontos de calibração, ou seja, três pontos a mais que o mínimo necessário. A redundância permitiu avaliar a

exactidão da transformação. Neste caso o erro máximo ocorre no ponto 58, sendo igual a 9,6 cm.

Para a transformação em altitude foram utilizados 4 pontos de calibração previamente nivelados, ou seja, um ponto a mais do que o mínimo necessário. O erro máximo ocorre no ponto CF sendo igual a 3,6 cm.

Foi efectuada a comparação de todos os pontos de coordenadas conhecidas (representados na fig. 2) com as coordenadas transformadas a partir de observações GPS. O resultado dessa comparação está descrito na tab. 2.

Ponto	Calibração		$x_{cal} - x_0$	$y_{cal} - y_0$	$h_{cal} - h_0$
	Plano	altitude			
BR			-0,009	0,086	0,227
CS	X	X	0,001	-0,022	0,036
CF	X		0,001	0,035	-0,133
GR	X		0,028	0,034	-0,169
58	X		-0,092	0,028	0,028
60			-0,494	-0,253	0,082
03	X	X	0,061	-0,018	-0,034
19		X	-0,069	0,014	-0,027
23		X	-0,093	-0,084	0,024

Tab. 2 – Diferenças entre as posições conhecidas e as posições calibradas (unidades em metros). O «X» na coluna da calibração indica se o ponto foi utilizado no cálculo dos parâmetros de transformação no plano ou em altitude

A transformação no plano apresentou diferenças inferiores a 10 cm para todos os pontos excepto para o ponto 60. Este ponto tinha sido coordenado por irradiação, pelo que é possível que o erro esteja associado às coordenadas inicialmente conhecidas.

A transformação em altitude indica diferenças inferiores a 23 cm para todos os pontos. O ponto BR pode ser desprezado por estar afastado cerca de 3,5 km da área de trabalho. Assim, a diferença máxima reduz-se para 17 cm.

5.3 Topografia

Os dados adquiridos por GPS OTF foram posteriormente processados em PC com o pacote de programas que fazem parte do GPSurvey. O programa WAVE, permitiu determinar as linhas de base entre cada uma das que correspondem aos momentos de gravação em modo contínuo. A exactidão das linhas de base é da ordem de 5 centímetros.

Os ficheiros do processamento resultantes do WAVE foram transferidos para o TRIMMAP onde as coordenadas WGS84 foram transformadas em coordenadas locais. Neste programa foram efectuadas as seguintes tarefas:

- Análise preliminar dos dados para detecção de eventuais erros.
- Desenho topográfico de determinadas zonas para delimitação do domínio público marítimo.

Os dados processados pelo TRIMMAP, foram depois transferidos para o pacote de programas de processamento de dados hidrográficos, HYPACK MAX. Com os programas do HYPACK foram criados modelos digitais de terreno e traçadas implantações gráficas.

A comparação dos dados de sondagem com os dados de topografia, nas zonas onde há sobreposição apresentam diferenças inferiores a 10 cm. O modelo digital de terreno criado a partir dos dados de sondagem e dos dados de topografia também indica uma boa concordância entre os dois métodos de aquisição de dados.

6. Conclusões

O GPS OTF em modo de pós-processamento demonstrou um bom desempenho para este género de trabalho. A principal limitação consiste na visibilidade para um número suficiente de satélites, o que não foi problema dadas as características geográficas da Lagoa de Óbidos. O trabalho de campo foi mais produtivo e com um nível de exactidão superior quando comparado com os métodos clássicos que envolvem observações de ângulos e distâncias.

O método de transformação de coordenadas WGS 84 para o sistema de coordenadas militares utilizado neste trabalho permite calcular coordenadas horizontais e cotas com a exactidão de alguns centímetros. Este método é eficiente em zonas onde é possível estabelecer uma rede de pontos de calibração que circunda a área de trabalho.

Referências

- Instituto Hidrográfico (1980) «Levantamento Hidrográfico da Lagoa de Óbidos» Processo 67/80, Brigada Hidrográfica N.º 2, Julho 1980.
- Organização Hidrográfica Internacional (1998) *Accuracy Standards for Hydrographic Surveys – Special Publication 44*. 4.ª edição Abril 1998.
- Teixeira, A.T., J. Costa, J. Vasco (1999) «Fixação da Aberta da Lagoa de Óbidos. Canal e Dique de Guiamento». Comunicação apresentada nas 1.ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Porto, 15 e 16 de Novembro.
- Trimble (1995) *Series 4000 Application Guide*. Revisão A, Fevereiro 1995.

ANEXO

Parâmetros de Transformação

```

GPS adjustment calibration

Plane parameter evaluation

Starting point          Calculated point      Control point

Point: CF              Point: *****
Code:                  Code:
Desc:                  Desc:
Nrth      274564.232   Nrth      274562.235   Nrth      274562.200
East      106159.174   East      106159.671   East      106159.670
Hgt       86.256      Hgt       86.256     Hgt       89.020
3D error : 2.764      2D error : 0.035    1D error : 2.764

Point: CS              Point: *****
Code:                  Code:
Desc:                  Desc:
Nrth      271306.162   Nrth      271304.118   Nrth      271304.140
East      104640.213   East      104640.811   East      104640.810
Hgt       108.459     Hgt       108.459    Hgt       111.100
3D error : 2.641      2D error : 0.022    1D error : 2.641

Point: 03              Point: *****
Code:                  Code:
Desc:                  Desc:
Nrth      269229.016   Nrth      269227.012   Nrth      269227.030
East      105942.028   East      105942.691   East      105942.630
Hgt       1.163       Hgt       1.163     Hgt       3.740
3D error : 2.578      2D error : 0.064    1D error : 2.577

Point: GR              Point: *****
Code:                  Code:
Desc:                  Desc:
Nrth      273592.637   Nrth      273590.594   Nrth      273590.560
East      104665.221   East      104665.748   East      104665.720
Hgt       46.471      Hgt       46.471    Hgt       49.360
3D error : 2.889      2D error : 0.044    1D error : 2.889

Point: 58              Point: *****
Code:                  Code:
Desc:                  Desc:
Nrth      271385.351   Nrth      271383.412   Nrth      271383.440
East      108023.082   East      108023.678   East      108023.770
Hgt       18.238      Hgt       18.238    Hgt       20.645
3D error : 2.409      2D error : 0.096    1D error : 2.407

Plane parameters
Northing coordinate of rotation center: 272015.480
Easting coordinate of rotation center: 105885.944
Rotation about the center point: 359°59'53.5797" +/- 0°00'02.6211"
Translation north: -2.006 +/- 0.029
Translation east: 0.576 +/- 0.029
Scale factor : 1.000000 +/- 0.000013

Residual differences between GPS and known coordinates :

In three dimensions:
Maximum error, (database point Gronho ): 2.889
Root mean square error: 2.661
In two dimensions:
Maximum error, (database point BH 58/79) 0.096
Root mean square error: 0.058
In one dimension:
Maximum error, (database point Gronho ): 2.889
Root mean square error: 2.661
    
```

Height parameter evaluation

Starting point	Calculated point	Control point
Point: 19/79		Point: *****
Code:		Code:
Desc:		Desc:
Nrth 273903.684	Nrth 273903.684	Nrth 273903.670
East 106187.521	East 106187.521	East 106187.590
Hgt -0.536	Hgt 2.080	Hgt 2.107
3D error : 0.075	2D error : 0.071	1D error : 0.027
Point: 23/79		Point: *****
Code:		Code:
Desc:		Desc:
Nrth 271278.566	Nrth 271278.566	Nrth 271278.650
East 108217.427	East 108217.427	East 108217.520
Hgt 1.992	Hgt 4.411	Hgt 4.387
3D error : 0.128	2D error : 0.126	1D error : 0.024
Point: CF		Point: *****
Code:		Code:
Desc:		Desc:
Nrth 271304.118	Nrth 271304.118	Nrth 271304.140
East 104640.811	East 104640.811	East 104640.810
Hgt 108.459	Hgt 111.136	Hgt 111.100
3D error : 0.043	2D error : 0.022	1D error : 0.036
Point: 03		Point: *****
Code:		Code:
Desc:		Desc:
Nrth 269227.012	Nrth 269227.012	Nrth 269227.030
East 105942.691	East 105942.691	East 105942.630
Hgt 1.163	Hgt 3.706	Hgt 3.740
3D error : 0.072	2D error : 0.064	1D error : 0.034

Height parameters

Northing coordinate of origin point:	273903.684
Easting coordinate of origin point:	106187.521
Height separation at origin:	2.616 +/- 5.491
Slope north:	0.000019417 +/- 0.000018419
Slope east:	-0.000072134 +/- 0.000023865

Residual differences between GPS and known coordinates :

In three dimensions:	
Maximum error, (database point 23/79)	0.128
Root mean square error:	0.085
In two dimensions:	
Maximum error, (database point 23/79)	0.126
Root mean square error:	0.080
In one dimension:	
Maximum error, (database point CF)	0.030

Monitorização de metais pesados em sedimentos na Ria de Aveiro

Carla Palma

ENGENHEIRA QUÍMICA

Manuela Valença

ENGENHEIRA QUÍMICA

Resumo Os programas de monitorização do meio marinho permitem obter o historial da poluição num determinado local. Nestes programas são efectuadas avaliações periódicas sob o ponto de vista físico e químico, sendo possível detectar alterações resultantes da descarga de contaminantes através do tempo. Com base no projecto «Monitorização da ria de Aveiro – POLAVEIRO», existente desde 1981 no Instituto Hidrográfico, apresenta-se o estudo efectuado no período 1987-1997, relativamente a metais pesados em sedimentos. São efectuados estudos de normalização com o alumínio e com a matéria orgânica.

Este trabalho foi objecto de uma comunicação oral, apresentada no Encontro Luso-Galego de Química realizado no Centro de Congressos da Exponor, Porto, no período de 11 a 13 de Novembro de 1998.

Abstract *Monitoring programmes of marine environment provides a possibility to assess local pollution. The purposes of these programmes are to assess spatial and temporal distributions of physical and chemical components through repeated sampling. As part of a baseline study «Monitoring ria de Aveiro – POLAVEIRO», since 1981, the concentrations of heavy metals in sediment samples collected during 1987-1997 are present. In order to allow comparisons between metal concentrations in sediments of different type normalisation with aluminum and organic matter were made.*

1. Introdução

OS metais como o ferro, cobre, zinco, cobalto, manganês, molibdénio, selénio, crómio, níquel e vanádio, sendo constituintes naturais da água e dos sedimentos, são inofensivos para a vida marinha desde que as suas concentrações não ultrapassem determinados limites. Quando, como resultado da actividade do homem, há um aumento da sua concentração estes *metais essenciais* podem transformar-se em poluentes tal como os *metais não-essenciais* que incluem prata, alumínio, berílio, cádmio, mercúrio, chumbo, antimónio e titânio. Sendo cumulativos, ao serem assimilados pela cadeia alimentar, ficam armazenados e concentrados nos organismos, podendo ter consequências graves para o homem⁽¹⁾.

A caracterização sob o ponto de vista físico e químico do meio marinho é assim importante na medida em que, com programas de monitorização implantados, são efectuadas verificações periódicas ao ambiente marinho, podendo ser detectadas alterações resultantes da descarga de contaminantes através do tempo.

Os programas de monitorização devem contemplar águas, seres vivos e sedimentos e consistem em séries de medições temporais da concentração de parâmetros pré-estabelecidos, de modo a permitir a detecção de alterações. Por vezes a análise das águas apresenta alguns problemas relacionados com os limites de detecção, dependendo dos contaminantes em estudo. A análise de contaminantes em seres vivos também apresenta alguns problemas, pois nos locais em estudo as espécies representativas dessa mesma área, podem existir em quantidades insuficientes. O estudo dos sedimentos marinhos dá a possibilidade de saber de um modo consistente as alterações no meio marinho, pois permite conhecer, não só a distribuição actual dos contaminantes (heterogeneidade espacial no eixo horizontal – geográfico), como ainda fazer o historial da deposição no local de amostragem (heterogeneidade espacial no eixo vertical – histórico), contribuindo também para conhecimento das condições hidroquímicas e biológicas⁽²⁾.

⁽¹⁾ Vários autores, coordenação de D. Freitas do Amaral, M. Tavares de Almeida, Direito do Ambiente, 1994, INA.

⁽²⁾ Report of the OSPAR/ICES Workshop on the Overall Evaluation and Update of Background/Reference Concentrations for Nutrients and for Contaminants in Sea Water, Biota and Sediment, 1996 ICES, OSPAR. Hamburg.

Com base no projecto «Monitorização da ria de Aveiro – POLAVEIRO», existente desde 1981 no Instituto Hidrográfico, têm sido efectuadas colheitas de amostras de água e sedimento.

Neste trabalho apresentam-se alguns resultados obtidos na monitorização de metais pesados em sedimentos ao longo de 11 anos (1987-1997).

2. Amostragem e métodos

Tendo em conta pontos de descarga na ria, actividades industriais ou urbanas próximas, foram seleccionadas 9 estações para colheita de sedimentos:

- estação 2 – Murtosa Largo do Laranjo;
- estação 4 – Pousada da Torreira;
- estação 6 – Cais dos Bacalhoeiros;
- estação 7 – Cais da Sacor;
- estação 8 – Estaleiro de S. Jacinto;
- estação 9 – Canal da Costa Nova Palmeiras;
- estação 11 – Angeja;
- estação 12 – Vista Alegre;
- estação 15 – Pardilhó Largo do Laranjo.

A amostragem de sedimentos é efectuada uma vez por ano sempre no Verão. A fig. 1 apresenta a distribuição das estações de amostragem.

As amostras de sedimento são colhidas com dragas «Petit Ponard»⁽³⁾, sendo sempre efectuada uma descrição visual e olfactiva do sedimento relativamente a cor, homogeneidade, presença de seres vivos, descrição da textura e cheiro.

Os parâmetros estudados nos sedimentos são a granulometria, matéria orgânica, hidrocarbonetos, compostos organoclorados e metais pesados.

A análise de metais é efectuada na fracção total de sedimento (tamanho de partícula inferior a 2 mm) e na fracção com tamanho de partícula inferior a 63 µm. Após o fraccionamento, as amostras são liofilizadas e armazenadas até à realização da análise.

A análise granulométrica é efectuada através de um método misto de peneiração para as fracções silto-argilosa, seguindo-se a classificação granulométrica proposta por Shepard⁽⁴⁾.

A análise de metais nas amostras liofilizadas é efectuada através de uma digestão com ácidos fortes. A determinação quantitativa dos elementos Cu, Cr, Pb e Zn é efectuada por espectrofotometria de absorção atómica com chama⁽⁵⁾. O mercúrio (Hg) é determinado



Fig. 1 – Estações de amostragem na ria de Aveiro

por espectrofotometria de absorção atómica de vapor frio⁽⁶⁾.

A composição mineralógica e a distribuição do tamanho de grão nos sedimentos afecta a capacidade de adsorção dos metais, pelo que, de modo a que se possam efectuar comparações da concentração de metais em sedimentos de diferente tipo (argila/silte ou areia) é necessário que os resultados de metais sejam normalizados.

A normalização visa compensar a variabilidade natural dos metais ou outros contaminantes nos sedimentos, pelo que a contribuição antropogénica poderá ser detectada e quantificada. Os parâmetros mais utili-

⁽³⁾ A. Mudroch, J. Azcue, *Manual of Aquatic Sediment Sampling*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1995.

⁽⁴⁾ F.P., Shepard, *J. Sediment. Petrol.*, 24 (1954) 151.

⁽⁵⁾ D. H. Loring, *Marine Chemistry*, 29 (1990) 155.

⁽⁶⁾ T. Vinhas, M. Valença, A. Carvalho, *Anais do Instituto Hidrográfico*, 8 (1987) 103. ⁽⁷⁾ S. M. Rowlett and D. R. Lovell, *Marine Pollution Bulletin*, 28 (1994) 324.

⁽⁷⁾ S. M. Rowlett and D. R. Lovell, *Marine Pollution Bulletin*, 28 (1994) 324.

zados na normalização são: alumínio, lítio, ferro, matéria orgânica e tamanho de grão. As correlações com o tamanho de grão são efectuadas determinando o teor em metal nas fracções < 63 µm ou < 20 µm⁽⁷⁾-⁽⁸⁾.

Neste trabalho apresentam-se os teores em cobre, crómio, mercúrio, chumbo e zinco na amostra total (fracção < 2 mm) e na fracção < 63 µm; efectuam-se correlações com os teores de alumínio e matéria orgânica.

A qualidade dos processos de análise é assegurada através da utilização de materiais de referência certificados e da participação do laboratório da Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho em ensaios de intercomparação laboratorial nacionais e internacionais ⁽¹⁰⁾-⁽¹¹⁾.

3. Resultados e discussão

Apresenta-se os resultados referentes aos metais pesados Cu, Cr, Hg, Pb e Zn em sedimentos colhidos no período 1987 a 1997 nas diferentes estações seleccionadas.

Na tab. 1 apresenta-se a classificação granulométrica dos sedimentos nas estações para os diferentes anos estudados. Os sedimentos das estações 4, 7, 9, 11, 12 e 15 quanto à granulometria são areias tendo sofrido poucas alterações entre 1987 e 1997. Na estação 2 no início do programa de monitorização os sedimentos eram areias ou areias siltosas, enquanto que nos últimos anos se verificam características granulométricas de silte argiloso. A estação 6 têm variado as características granulométricas entre silte arenoso e silte argiloso.

Nas figs. 2, 3, 4, 5 e 6, apresentam-se gráficos de barras para os metais Cu, Cr, Hg, Zn e Pb, na fracção total e na fracção menor que 63 µm, para os anos estudados.

Utilizando os resultados referentes ao período considerado é avaliado o poder da matéria orgânica e do alumínio como normalizador. O teor em metal é correlacionado com o teor em matéria orgânica (calculado como a perda por ignição) e com o teor em alumínio e a correlação é avaliada.

Comparando os resultados nas diferentes estações na amostra total e na fracção <63 µm verifica-se que a fracção mais fina apresenta teores em metal mais elevados.

As estações 2, 4, 6, 7, 9, 11 e 12 apresentam teores em cobre da ordem dos 50 mg/kg, enquanto a estação 15 apresenta teores mais elevados quer na amostra total quer na fracção < 63 µm.

O crómio nas diferentes estações analisadas ao longo da ria, apresenta a mesma ordem de grandeza.

O mercúrio apresenta valores significativamente mais elevados na estação 2, do que nas restantes estações.

Os teores em chumbo nas diferentes estações analisadas ao longo de toda a ria são todos da mesma ordem de grandeza.

O zinco e o cobre apresentam valores muito mais elevados na estação 15, relativamente às outras estações.

Est.	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
2	A	AS	A	—	SA	A	A	SC	SC	SC	AS
4	AS	—	—	A	A	A	A	A	A	A	A
6	—	SC	A	SC	SA	SC	SA	A	SC	SC	ASC
7	—	—	A	A	A	AS	A	A	A	AS	A
8	—	—	A	A	AS	SA	AS	A	A	AS	SC
9	ASC	A	A	A	A	Acas	Acas	A	—	A	A
11	—	AcasS	SC		A	Acas	A	A	A	A	A
12	—	AcasS	—	ASC	A	A	Acas	A	A	A	A
15	A	A	AS	A	A	Acas	A	AS	A	A	A

Acas – areia cascalhenta; A – areia; AcasS – areia cascalhenta siltosa; AS – areia siltosa; ASC – areia silte argila; SA – silte arenoso; SC – silte argiloso.

Tab. 1 – Classificação granulométrica dos sedimentos

⁽⁸⁾ F. Ackerman, *Environmental Technology Letters*, 1 (1980) 518.

⁽⁹⁾ W. Salomons and U. Forstner, *Environmental Technology Letters*, 1 (1980) 506.

⁽¹⁰⁾ B. Griepink, H. Muntau, *BCR Information Reference Materials*, 1988.

⁽¹¹⁾ B. Pedersen and W. P. Cofino, *Marine Pollution Bulletin*, 29 (1994) 166.

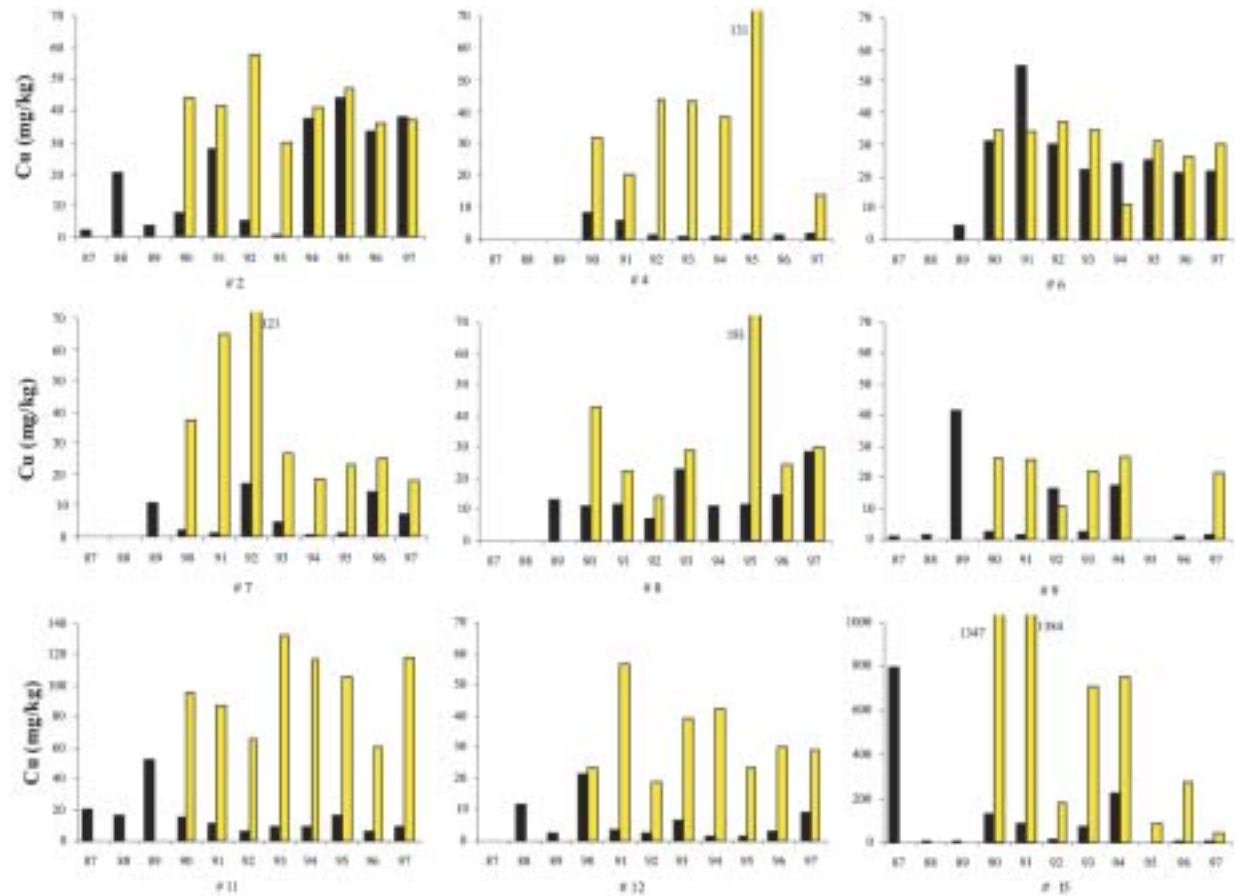


Fig. 2 – Teor em cobre (mg/kg) em sedimentos nas estações de amostragem (#) de 1987 a 1997 (■ a amostra total; ■ amostra <63µm)

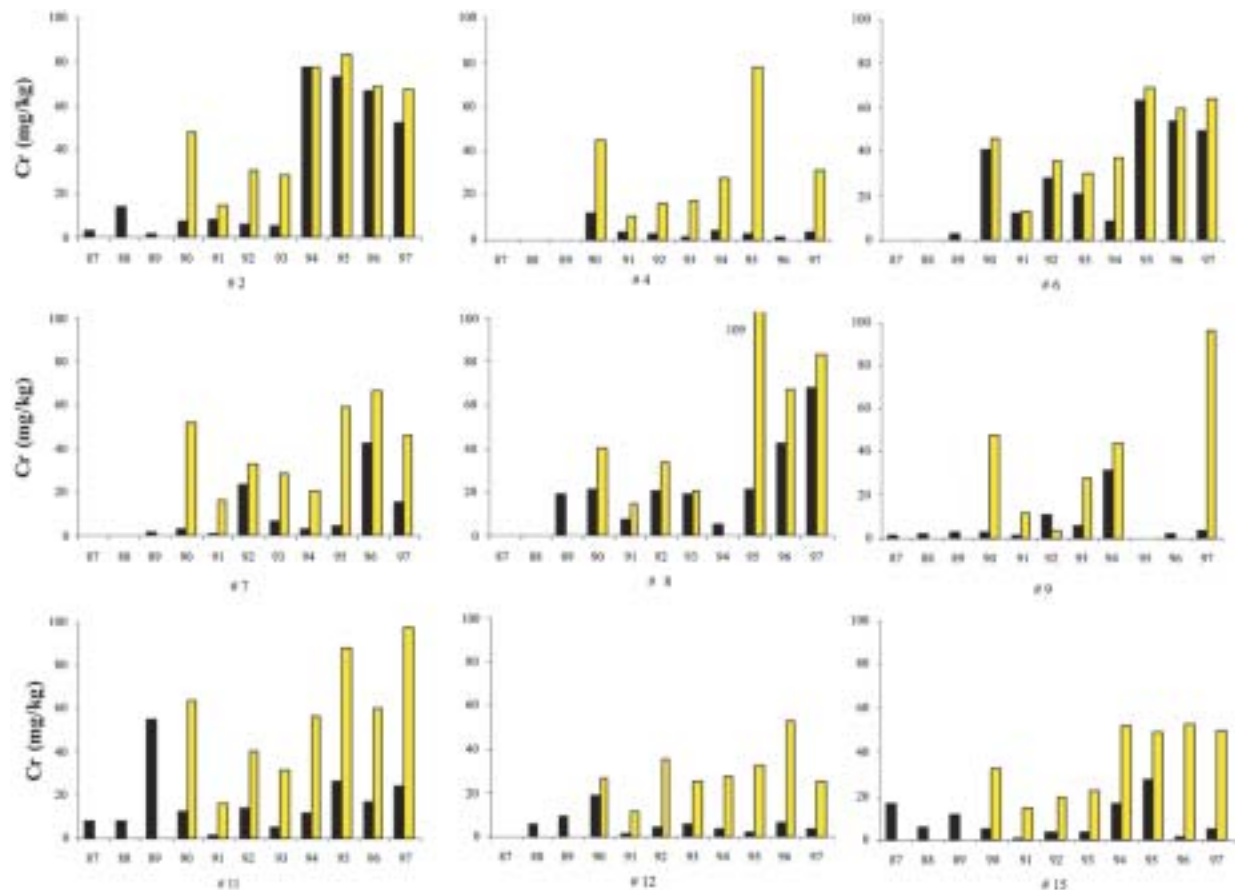


Fig. 3 – Teor em crómio (mg/kg) em sedimentos nas estações de amostragem (#) de 1987 a 1997 (■ a amostra total; ■ amostra <63µm)

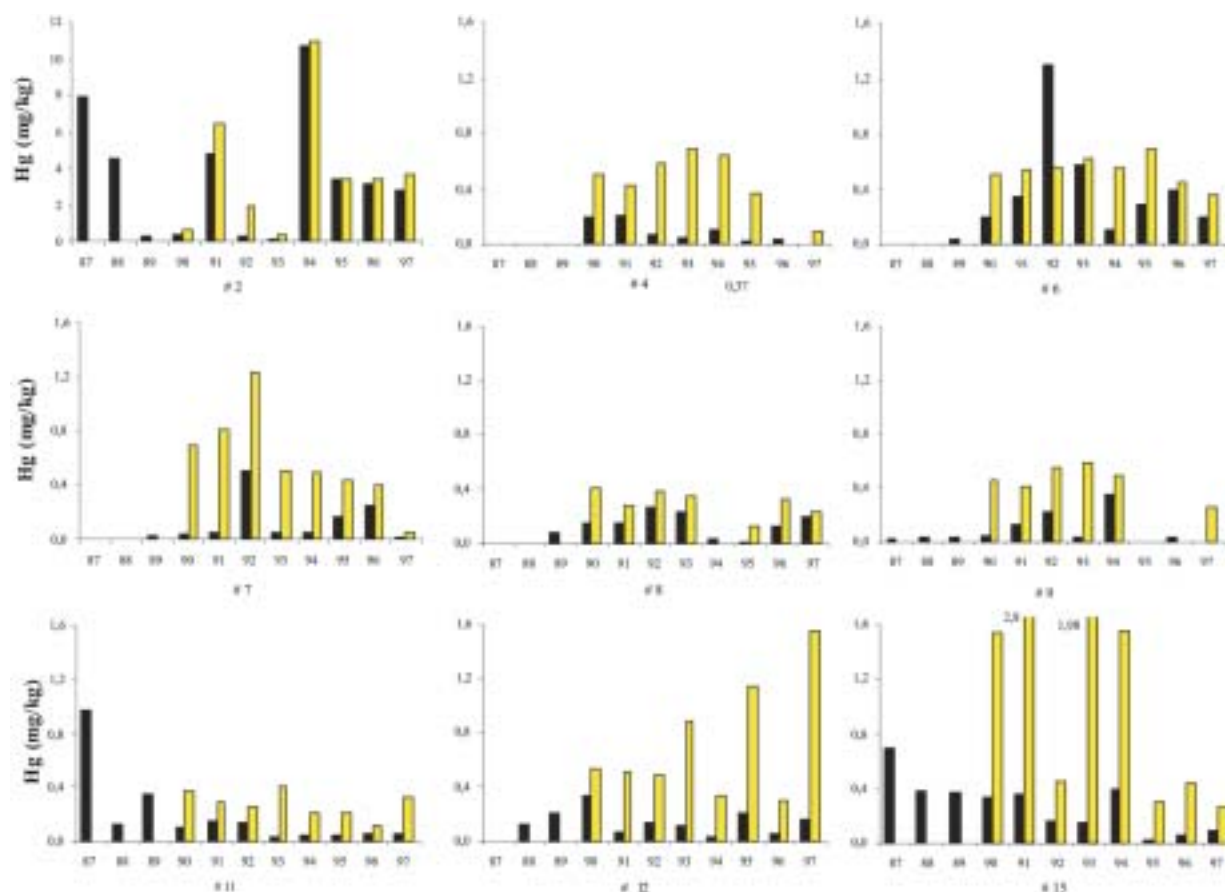


Fig. 4 – Teor em mercúrio (mg/kg) em sedimentos nas estações de amostragem (#) de 1987 a 1997 (■ a amostra total; ■ amostra <63µm)

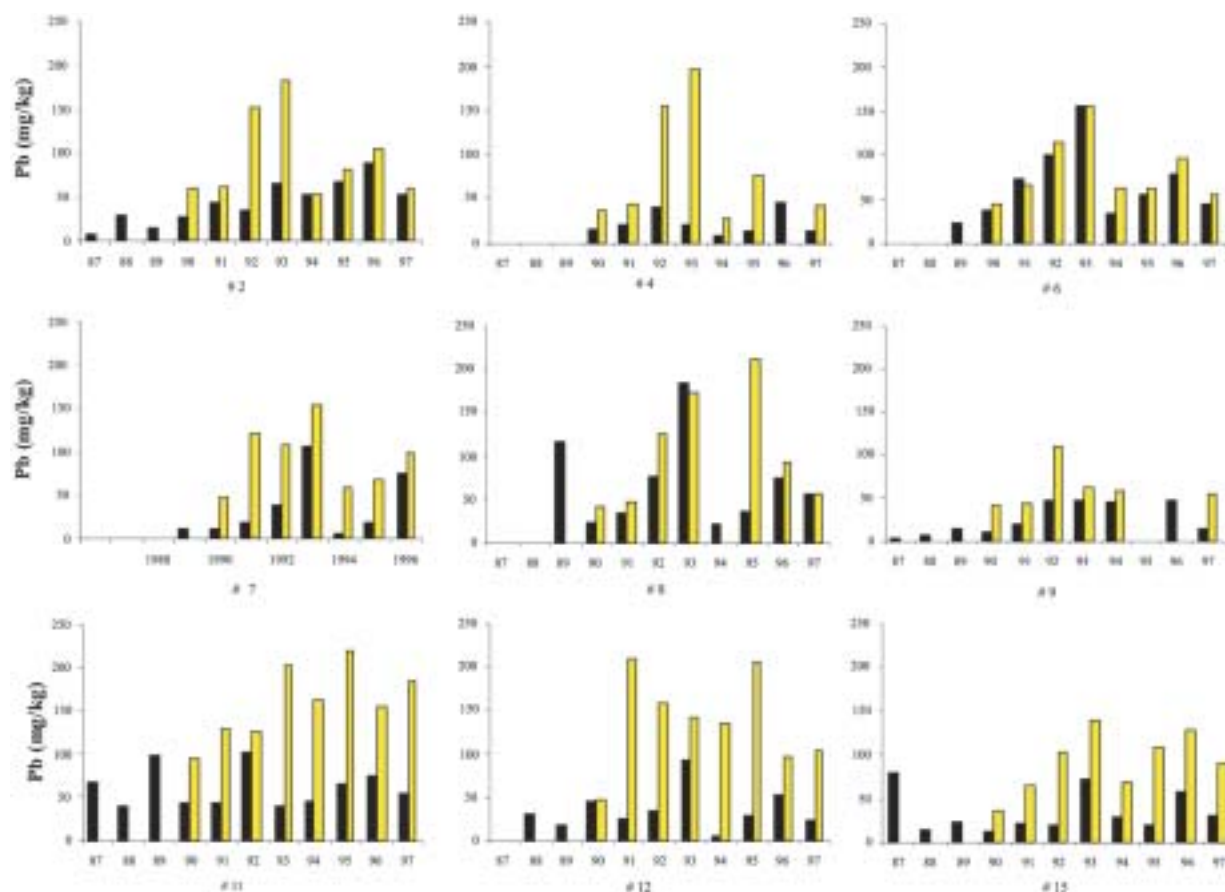


Fig. 5 – Teor em chumbo (mg/kg) em sedimentos nas estações de amostragem (#) de 1987 a 1997 (■ a amostra total; ■ amostra <63µm)

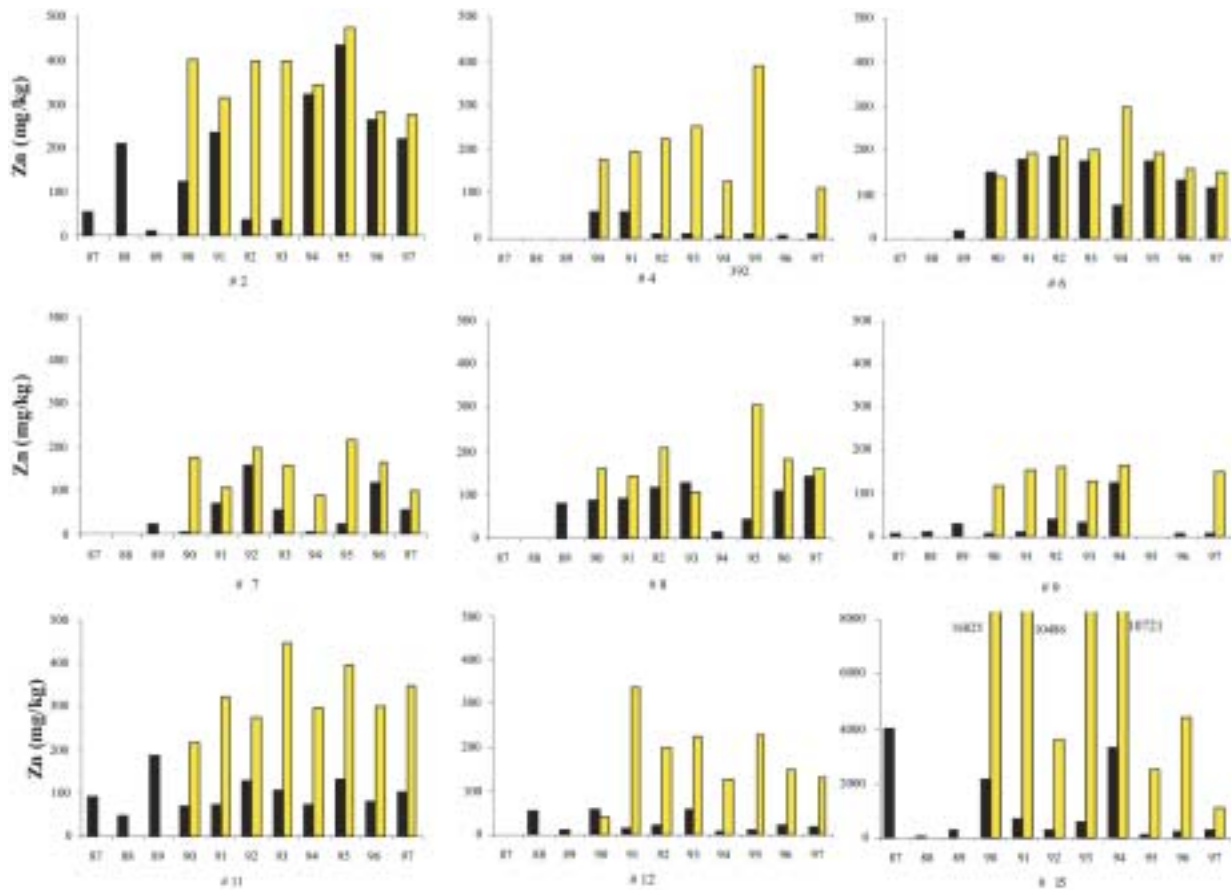


Fig. 6 – Teor em zinco (mg/kg) em sedimentos nas estações de amostragem (#) de 1987 a 1997 (■ a amostra total; ■ amostra <63µm)

Nas figs. 7 a 10 são representadas as normalizações geoquímicas das concentrações de Cu, Zn, Hg e Pb com a matéria orgânica e Al aplicadas à concentração de Hg, Cu e Pb.

Os teores em mercúrio na estação 2 e os teores em cobre e zinco da estação 15 não foram considerados neste estudo de normalização, pois os seus valores são significativamente mais elevados do que os restantes.

Verificam-se correlações significativas entre os diferentes metais analisados e a matéria orgânica ou o alumínio nos sedimentos, com exceção do cobre e zinco na estação 15 e o mercúrio na estação 2, cujos valores são significativamente elevados.

As correlações apresentadas nos gráficos indicam que os sedimentos contêm aproximadamente o mesmo grau de contaminação, com exceção da estação 15 e 2.

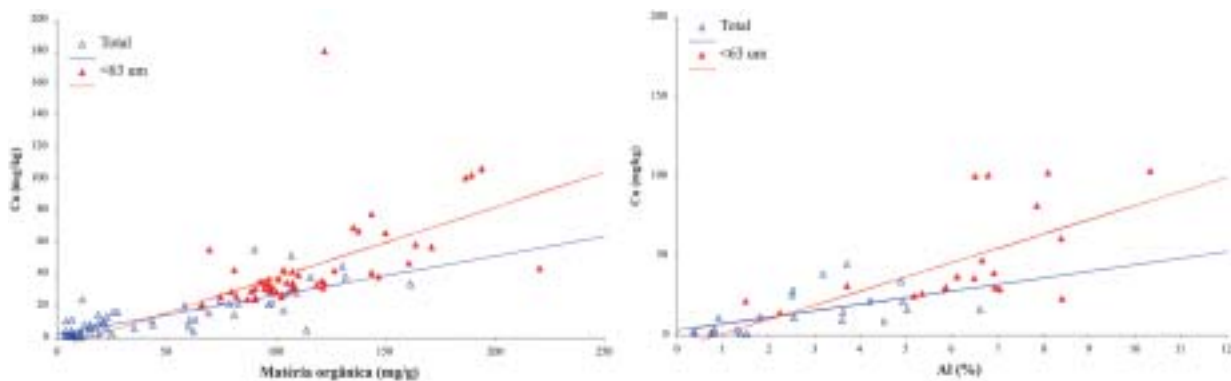


Fig. 7 – Normalização do teor em cobre pelo teor em matéria orgânica e alumínio

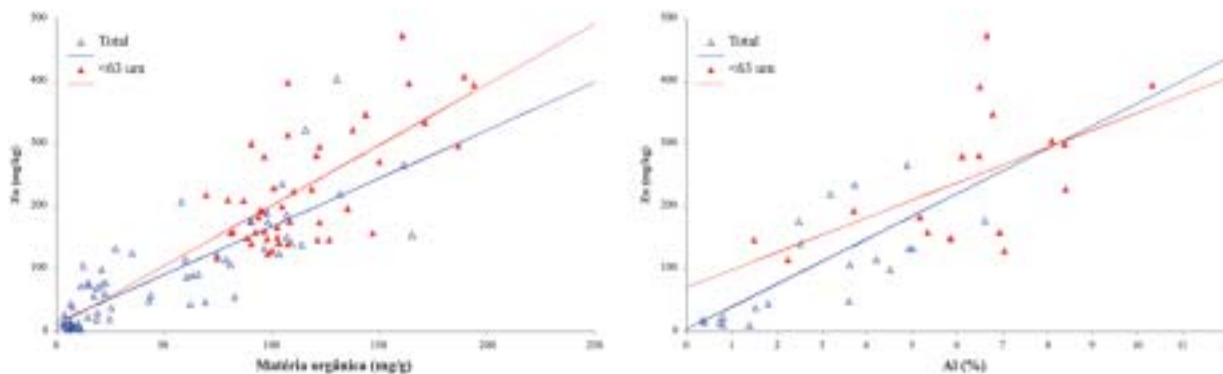


Fig. 8 – Normalização do teor em zinco pelo teor em matéria orgânica e alumínio

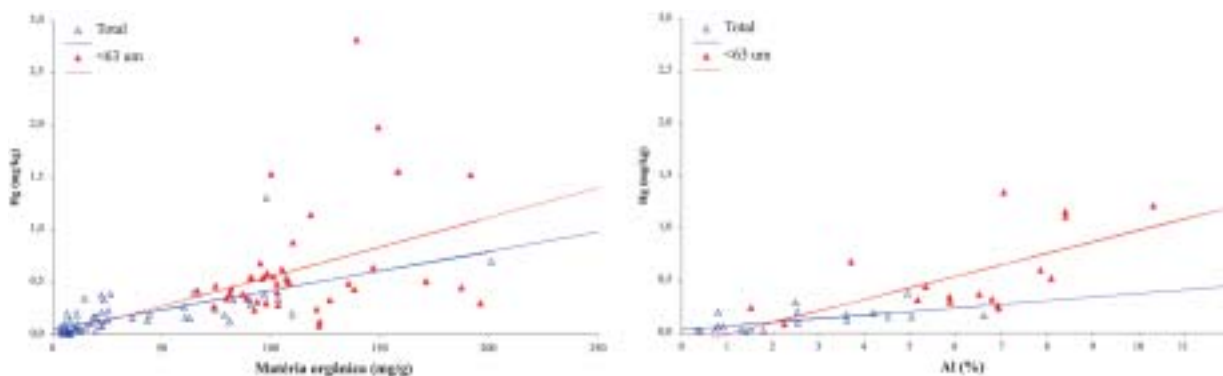


Fig. 9 – Normalização do teor em mercúrio pelo teor em matéria orgânica e alumínio

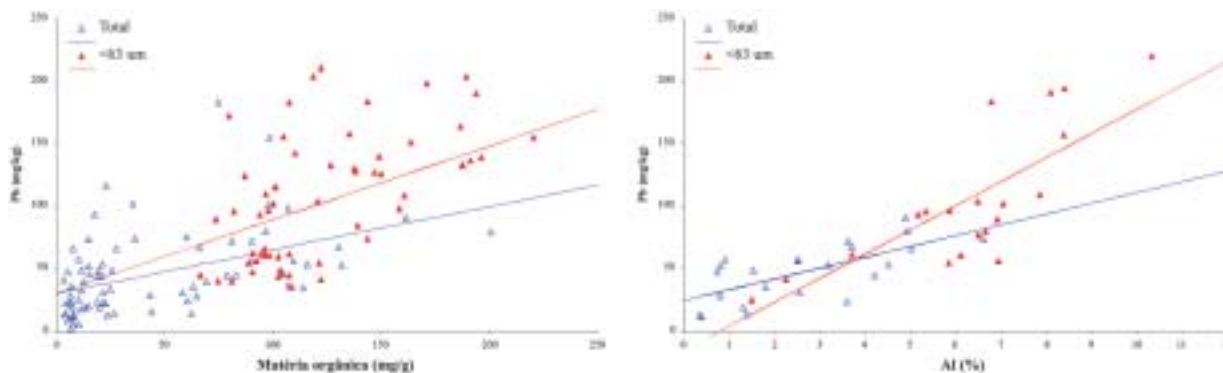


Fig. 10 – Normalização do teor em chumbo pelo teor em matéria orgânica e alumínio

4. Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que a área estudada não está poluída relativamente aos metais analisados; as concentrações mais elevadas encontram-se em zonas afectadas por unidades industriais situadas nas margens e ainda com forte densidade populacional. Assim, verifica-se que a estação 2 apresenta teores em mercúrio 10 vezes superiores e a estação 15 apresenta teores em cobre e zinco 10 vezes superiores, relativamente aos restantes valores encontrados ao longo da ria.

No período estudado não se verificam variações temporais significativas para os diferentes metais.

A existência desta série temporal de dados (1987-1997) de metais em sedimentos, permite construir uma base de referência que servirá para comparação nos estudos posteriores, permitindo avaliar a conveniente localização das estações de colheita de sedimentos existentes e ainda detectar qualquer alteração significativa que possa ocorrer na ria de Aveiro, com descargas industriais ou urbanas.

As autoras expressam o reconhecimento pelo excelente trabalho de laboratório das: TPE Teresa Santos e AT Lurdes Castanheira.

QUASIMEME: Um programa útil na avaliação do desempenho laboratorial na análise de policlorobifenilos em sedimentos

Ana Cardoso

TÉCNICO SUPERIOR 1.ª CLASSE, LIC. EM QUÍMICA E TECNOLOGIA

Resumo O programa «Vigilância da Qualidade do Meio Marinho», iniciado pelo Instituto Hidrográfico (IH) em 1981, envolve projectos centralizados em quatro áreas estuarinas da costa portuguesa, com particular interesse ecológico, económico e social, sendo elas as Rias de Aveiro e Formosa e os estuários dos rios Tejo e Sado. No âmbito da monitorização da qualidade de cada um dos ecossistemas, efectuam-se determinações de parâmetros físicos e químicos, nos quais se inserem a análise de policlorobifenilos (PCBs) em sedimentos. Para avaliar a qualidade dos resultados obtidos, o IH participa no programa de intercalibração europeu QUASIMEME desde a realização dos primeiros estudos. Através do parâmetro estatístico Z, os resultados destes estudos, relativos à análise de PCBs em sedimentos, têm sido esclarecedores não só ao nível do desempenho laboratorial, como também no aconselhamento de eventuais correcções.

Abstract *The program «Monitoring the Quality of the Marine Environment» started by Instituto Hidrográfico (IH) in 1981, involves projects dedicated to four estuarine areas of relevant ecological, economical and social importance in the Portuguese coast. In order to assess the environment quality of each area, considering the existing standards and environment regulations in force, physical and chemical parameters measurements have been carried out. PCBs analysis in sediments is included in this program. In order to assess the quality of data obtained, IH participates in QUASIMEME since first round. Through the z-scores, results of the QUASIMEME scheme for PCBs in sediments have been regarded as a guide to laboratory analytical performance, providing guidance where some correction action is necessary, and also as an indicator of our improvement.*

1. Introdução

A poluição do nosso século reflecte o crescimento populacional e económico e o desenvolvimento tecnológico que estão associados aos actuais padrões de vida de elevado consumo. O estudo sistemático da poluição (causa-efeito), tem permitido a avaliação de características em determinados compostos, fazendo deles grupos de potenciais poluentes.

Compostos organoclorados persistentes como os policlorobifenilos (PCBs) e pesticidas, constituem um grupo de poluentes de elevada perigosidade devido à sua toxicidade e estabilidade, tempo de meia-vida longo e elevada lipossolubilidade, cujas consequências se traduzem em elevados graus de acumulação, quer no ambiente, quer na cadeia alimentar (Hernández *et al*, 2000).

Embora o seu uso tenha tido por base objectivos distintos, as semelhanças químicas, nomeadamente

hidrofobia e resistência à degradação, conduziram ao facto de PCBs e pesticidas organoclorados terem destinos comuns em termos de distribuição geral no ambiente (Hutzinger *et al*, 1974).

A distribuição universal de PCBs sugere o seu transporte na fase de vapor por via atmosférica, havendo posterior redistribuição nos diferentes reservatórios dos ecossistemas marinhos onde em última análise sofrem acumulação.

Dada a elevada persistência destes compostos, a monitorização temporal e espacial é de extrema importância para a caracterização de perfis e tendências. Os sistemas de controlo deverão pois ser continuamente melhorados no sentido da máxima perfeição, quer ao nível da actualização do planeamento de amostragem dos locais em estudo, quer ao nível da exactidão das determinações experimentais, que deverão atingir o nível requerido para a interpretação dos níveis e tendências de ocorrência natural.

2. O Instituto Hidrográfico e o ambiente marinho

Com vista à avaliação dos níveis de poluição marinha, tal como proposto pela Convenção de Oslo e Paris no âmbito do estudo da qualidade das águas por ela definidas, o Instituto Hidrográfico (IH) tem vindo a realizar desde 1981 a monitorização de quatro zonas, que dadas as suas características naturais se apresentam vulneráveis à acção humana: Ria de Aveiro, Ria Formosa, estuário do rio Tejo e estuário do rio Sado. Este programa de monitorização, designado por «Vigilância da Qualidade do Meio Marinho» (VQM) tem por objectivo o conhecimento do estado de poluição de origem telúrica e de origem marítima em zonas de jurisdição da autoridade marítima, através da determinação de diversos parâmetros físico-químicos nas matrizes água e sedimento. Actualmente, o programa pretende ainda a promoção e realização de estudos que permitam aprofundar os conhecimentos da química marinha, do leito e solos marinho, estabelecer valores de referência e avaliar tendências temporais e espaciais.

3. Características de policlorobifenilos

Os PCBs são compostos aromáticos que contêm dois anéis fenilo onde um ou vários átomos de hidrogénio são substituídos por átomos de cloro, em posições específicas (fig. 1) (Hutzinger *et al.*, 1974).

Sendo a sua estrutura química idêntica, apenas diferindo no número e posição dos átomos de cloro em cada um dos anéis, são usualmente designados por congéneres. Teoricamente existem cerca de 209 congéneres diferentes, sendo possível encontrar uma diversidade superior a cem, quer em misturas industriais, quer no ambiente (Ballschmitter, 1992 e Boer, 1991).

Em 1980, Ballschmitter e Zell criaram um sistema de numeração sistemática para todos os PCBs, atribuindo-lhes individualmente números naturais crescentes, de acordo com o grau crescente de cloração. A numeração é deste modo iniciada com os monoclorobifenilos, seguindo-se os dicloro, tricloro e assim sucessivamente. A título exemplificativo, o CB28 corresponde ao 2, 4, 4'-triclorobifenilo e o CB180 ao 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5'-heptaclorobifenilo.

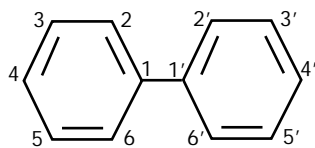


Fig. 1 – Numeração no sistema anelar do bifenilo

Os PCBs apresentam elevada estabilidade química e baixa degradabilidade. As suas características de resistência ao calor, baixa pressão de vapor, elevadas constantes dieléctricas e propriedades plastificantes, levaram à utilização exaustiva (desde os anos trinta) em condensadores e transformadores de alta tensão e lubrificantes (IPCS, 1992).

Sofrem acumulação na cadeia alimentar e em concentrações elevadas afectam o Homem, causando danos no fígado, baço e rins.

No ambiente apresentam elevada capacidade de adsorção em sedimentos e matéria particulada em suspensão, sendo a sua dispersão influenciada pelo rumo das partículas a que se associam directamente, dependente de factores naturais, como o regime hidrodinâmico e sedimentar e de factores físico-químicos (Melnikov, 1971 e Brooks, 1974, Marchand *et al.* 1986).

4. Método analítico

A análise de PCBs em sedimentos envolve uma extracção com solventes orgânicos (acetona e hexano), purificação («clean-up»), fraccionamento ou separação de pesticidas e PCBs (visto a análise ser conjunta) e separação, identificação, e quantificação por cromatografia em fase gasosa com coluna capilar e detector de captura electrónica (ECD) (Boer & Smedes, 1997).

ANÁLISE DE PCBs EM SEDIMENTO

LIOFILIZAÇÃO MOAGEM	EXTRACÇÃO SOXHLET	PURIFICAÇÃO	FRACIONAMENTO (PCBs/Pesticidas)
	n-hexano/acetona (50:50) 16 horas (dessulfurização-cobre)	Al ₂ O ₃ (desactivada, 5% H ₂ O) eluição com n-hexano	SiO ₂ (activada 196 °C) eluição com n-hexano
CROMATOGRAFIA GASOSA (detector ECD)			

Fig. 2 – Procedimentos e metodologias analíticas para determinação de PCBs em sedimento

5. Teores de PCBs em sedimentos da costa portuguesa

A maior parte dos contaminantes descarregados em águas estuarinas e costeiras rapidamente se associa à matéria particulada por processos de adsorção e se incorpora nos sedimentos do fundo. Embora determinados processos químicos que ocorrem no sedimento possam modificar e redistribuir os contaminantes entre as

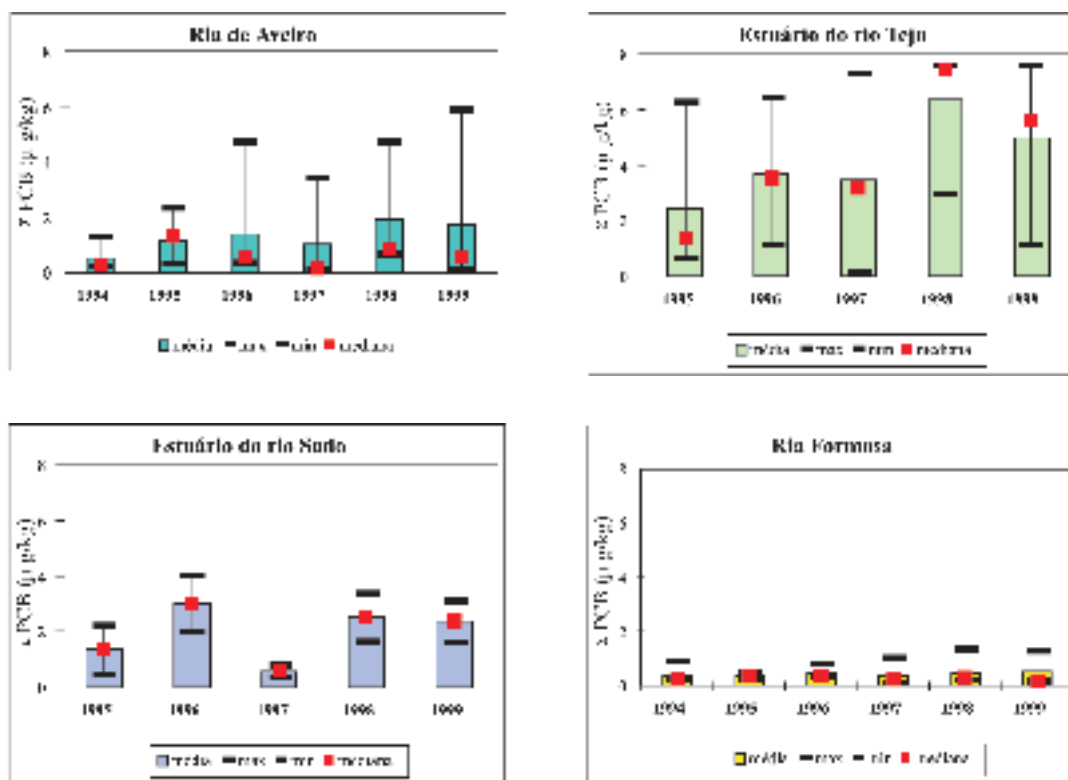
fases sólida e líquida, a imobilização por sedimentação domina para a maioria dos contaminantes. Neste grupo estão também incluídos os PCBs (Hanson *et al*, 1993).

A análise de sedimentos é, portanto, de extrema importância na avaliação da qualidade de um ecossistema aquático em toda a sua complexidade. Os estudos qualitativos e quantitativos de contaminantes em sedimentos reflectem níveis de contaminação de longo prazo que não dependem apenas dos fluxos actuais. A química dos sedimentos de fundo é vulnerável a diversos factores naturais e influências antropogénicas. A heterogeneidade e variação espacial de sedimentos está indiscutivelmente ligada a fenómenos de erosão, transporte e deposição, composição granulométrica e teor em matéria orgânica.

O estudo da avaliação da contaminação de sedimen-

tos por PCBs é do âmbito do programa VQM do IH e tem sido realizado através de amostragens anuais na Ria de Aveiro (cinco estações de amostragem), estuário do rio Tejo (três estações de amostragem), estuário do rio Sado (duas estações de amostragem) e Ria Formosa (seis estações de amostragem).

A caracterização genérica de cada zona é efectuada através de médias anuais do somatório dos teores de PCBs (congêneres: CB28, CB52, CB101, CB118, CB138, CB153 e CB180) no período de 1994 a 1999. Os teores apresentados, resultam da média de valores diferentes, de acordo com as características das estações de amostragem, podendo deste modo a amplitude ser elevada. Na figura 3 (A-D) apresentam-se a média, mediana, máximo e mínimo relativos aos teores anuais de PCBs que caracterizam cada zona.



A - Ria de Aveiro; B - Estuário do rio Tejo; C - Estuário do rio Sado; D - Ria Formosa
 Fig. 3 – Concentrações médias anuais de PCBs em amostras de sedimento (1994-1999)

6. O projecto QUASIMEME

A comunidade científica europeia tem vindo a participar em programas de monitorização da poluição marinha, organizados pelo grupo conjunto de monitorização da Comissão de Oslo e Paris (JMG-OSPARCOM, Joint Monitoring Group of the Oslo and Paris Commission) e pela organização intergovernamental «North Sea Task Force» (NSTF). Através destes programas têm vindo a

obter-se volumes consideráveis de resultados para dar cumprimento a diferentes objectivos.

Desde o início dos estudos de monitorização que o JMG-OSPARCOM e o NSTF expressaram a sua preocupação sobre a comparabilidade de dados produzidos por diferentes laboratórios e métodos analíticos e acordaram que o desenvolvimento de um programa de avaliação da qualidade desses resultados seria imprescindível para assegurar que os dados obtidos iriam satisfazer os objectivos de uma avaliação realista e consistente.

O projecto QUASIMEME (Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe) foi iniciado em 1992 para dar resposta directa às exigências referidas, tendo três objectivos essenciais. Um dos objectivos prende-se com o desenvolvimento de um programa de gestão da avaliação da qualidade, promovendo a criação e uso de Manuais da Qualidade associados a arquivos de documentação e informação mais eficientes. Dar destaque à comunicação através de programas que envolvam reuniões técnicas e «workshops» para divulgação e discussão de informação, é também um dos objectivos do QUASIMEME. O terceiro objectivo foi provavelmente o de implementação prática mais rápida e visa o estabelecimento de um plano contínuo de testes para avaliação da qualidade das determinações de compostos prioritários em termos de perigosidade e outros. Estes testes, também designados por estudos interlaboratoriais, decorrem anualmente com periodicidade semestral, podendo incidir sobre a determinação de diferentes grupos de compostos em matrizes distintas. Cada laboratório tem autonomia para seleccionar o tipo de estudo de maior interesse de acordo com as actividades que desenvolve. Na realização destes estudos são então produzidos resultados que, estatisticamente tratados, permitem avaliar e comparar os diferentes desempenhos, particularmente quando se fala de exactidão.

Numa fase inicial, os resultados dos diferentes laboratórios são analisados como um todo através de uma análise estatística robusta para o cálculo de médias e desvios padrão interlaboratoriais. Estes parâmetros são indicadores do desempenho do grupo como um todo. O desempenho individual de cada laboratório é caracterizada pelo parâmetro Z , indicativo de desvios, relativamente aos valores fixados como «verdadeiros». Estes valores, resultam de médias de valores produzidos por laboratórios de referência que obtiveram um grau de confiança significativo em análises inseridas em exercícios anteriores, realizados para as mesmas matrizes e analitos. Em situações de grande incerteza apenas é reportado um valor indicativo, não sendo o parâmetro Z atribuído (Wells e Cofino, 1997).

O valor Z para cada composto é calculado pela seguinte expressão:

$$Z = \frac{(x_i - \bar{x})}{s_b} \quad (\text{eq. 1})$$

x_i , valor reportado para a concentração do analito

\bar{x} , valor verdadeiro de concentração

s_b , erro total admissível

O erro total admissível é calculado através de,

$$s_b = \frac{\bar{x} - E_T}{100} \quad (\text{eq. 2})$$

com E_T definido por,

$$E_T = E_p \frac{0,5 \times E_C}{\bar{x}} \times 100 \quad (\text{eq. 3})$$

E_p (%), erro proporcional relativo

E_C , erro constante atribuído

\bar{x} , valor verdadeiro de concentração

Os critérios a estabelecer para a avaliação de desempenho deverão basear-se no tipo de análise a efectuar. A avaliação do desempenho total é quantificada pelo erro total admissível (s_b) que compreende dois componentes, o erro proporcional (E_p) e o erro constante (E_C). O E_p contribui maioritariamente para S_b quando a concentração do analito é significativamente superior ao limite de quantificação (LQ). O erro constante é então próximo do limite de quantificação. À medida que a concentração do analito se aproxima do limite de quantificação o erro constante aparece como factor dominante, ou seja, permite-se uma redução de precisão à medida que a concentração se aproxima de LQ.

Quando o erro total relativo atinge 50%, o valor verdadeiro é apenas indicativo, visto a incerteza associada ser significativa para se efectuar uma avaliação consistente.

A interpretação do indicador Z é efectuada do seguinte modo:

$|Z| < 2$, satisfatório

$2 < |Z| < 3$, duvidoso

$|Z| > 3$, não satisfatório

Quando a concentração do analito não está próxima de LQ, o erro total admissível é equivalente a $2s$ (sendo s o desvio padrão), assumindo uma distribuição normal e um intervalo de confiança de 95 % em torno da média. Isto corresponde a $|Z| = 2$. Da mesma forma, quando a concentração do analito se aproxima de LQ, o erro total admissível é equivalente a $3s$ (ou seja, um intervalo de confiança de 99,7 % em torno da média) e corresponde a $|Z| = 3$. Aplicando o raciocínio utilizado nas cartas de controlo da qualidade, $|Z| = 2$ corresponde ao nível de aviso e $|Z| = 3$ corresponde ao nível de acção.

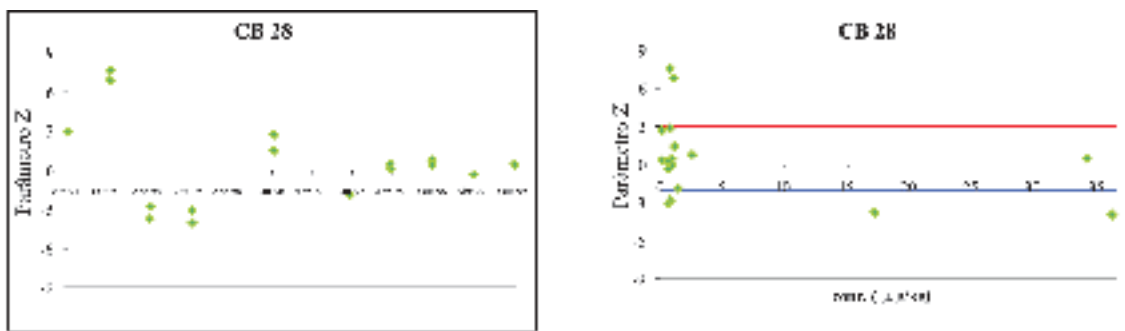
7. Avaliação de desempenho

A participação do IH nos diferentes estudos de determinação de PCBs em sedimentos, no âmbito do QUASIMEME, tem sido avaliada desde o seu início, dela resultando conjuntos de valores do indicador Z correspondentes a cada um dos congéneres analisados. Não se pretendendo com este trabalho uma mostra exaus-

tiva de toda essa avaliação, mas sim exemplificar a sua utilidade, dos nove congêneres usualmente considerados nos estudos, seleccionaram-se apenas três, de acordo com o seu grau de cloração e comportamento cromatográfico. O CB28, CB101 e CB153 são respectivamente, tri, penta e hexa clorobifenilos com tempos de retenção cromatográficos crescentes, sendo o do

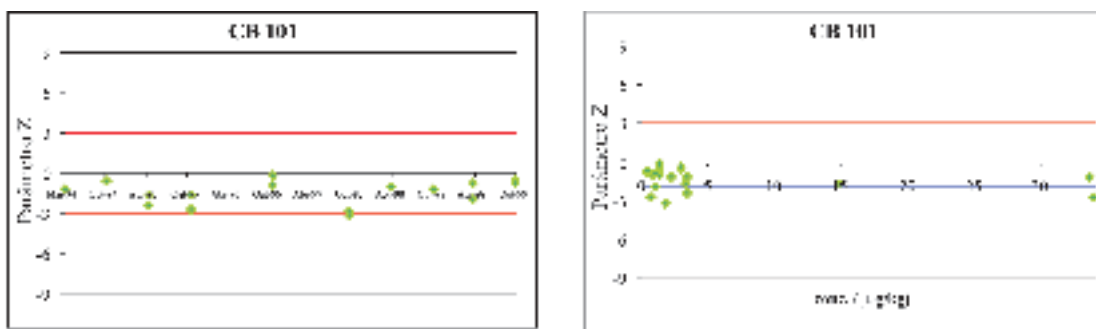
CB153 cerca do dobro do tempo necessário para eluir o CB28.

As figs. 4, 5 e 6 apresentam para cada CB, a dispersão temporal dos valores de Z e a dispersão de Z associada aos níveis de concentração considerados como verdadeiros (note-se que o LQ é da ordem das centésimas de $\mu\text{g}/\text{kg}$).



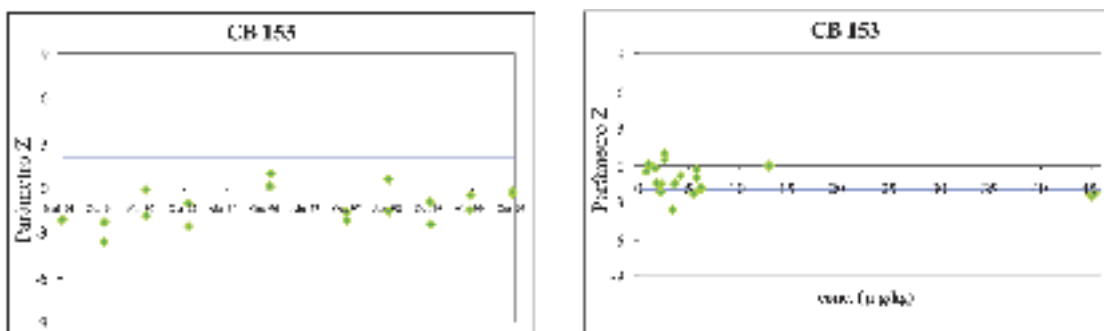
A – Dispersão temporal; B – Dispersão em função das concentrações verdadeiras

Fig. 4 – Parâmetro Z para resultados de determinações de CB28 em sedimentos (1994-1999)



A – Dispersão temporal; B – Dispersão em função das concentrações verdadeiras

Fig. 5 – Parâmetro Z para resultados de determinações de CB101 em sedimentos (1994-1999)



A – Dispersão temporal; B – Dispersão em função das concentrações verdadeiras

Fig. 6 – Parâmetro Z para resultados de determinações de CB153 em sedimentos (1994-1999)

8. Discussão e considerações finais

A monitorização temporal do parâmetro Z evidencia uma distribuição aleatória dos desvios no período considerado, embora se registre uma tendência para valores negativos, que está associada a uma quantificação por defeito. A quantificação por defeito poderá estar associada a uma extracção incompleta dos analitos, facto que alguns autores têm vindo a associar ao procedimento analítico quando este envolve a extracção de amostras de sedimento liofilizadas. O processo de liofilização poderá contribuir para a perda de compostos, nomeadamente os mais voláteis.

Observando os gráficos de Z em função da concentração real do analito verifica-se novamente uma dispersão dos valores. Neste caso, embora a gama de concentrações explorada se situe em níveis baixos, por vezes próximos de LQ, a dispersão dos desvios ocorre também para concentrações superiores, o que indica que as causas dos desvios serão independentes dos níveis de concentração existentes. No entanto, é importante referir que desvios significativos na gama de baixas concentrações ou próximas do limite de quantificação são de maior gravidade quando comparados com os desvios para a gama mais alta de concentrações. A expressão de cálculo de Z considera, à partida, um aumento do erro total admissível quando os teores a determinar se aproximam do limite de quantificação. Assim, um valor de Z satisfatório ($|Z| < 2$) significa que o grau de exactidão da determinação é razoável, embora na gama de baixas concentrações o erro (ou desvio) implícito permitido seja superior.

Os estudos QUASIMEME permitem efectuar uma avaliação global de metodologias que envolvem várias etapas vulneráveis a diversas fontes de erro, que se traduzem num menor grau de exactidão e precisão. Podendo a abordagem do estudo ser efectuada de modo mais específico, centrada nas etapas de maior complexidade e sujeição a erros, a avaliação global é de extrema importância quando se exige que os resultados das determinações analíticas devam atingir o grau de exactidão necessário para a correcta interpretação dos níveis de contaminação e tendências de ocorrência de contaminantes em sedimentos costeiros.

As fontes de erro analítico na determinação de PCBs em sedimentos são portanto a principal preocupação quando se pretende exactidão e precisão, mas poderão ser ultrapassadas se se optimizarem determinados aspectos analíticos como a eficiência das técnicas de extracção e técnicas cromatográficas (no sentido da melhor resolução). A não subestimação de determinadas fontes de erro, nomeadamente a contaminação atmosférica

do laboratório, a contaminação persistente do material de vidro e falta de manutenção técnica adequada de equipamentos poderá ser crucial na obtenção de resultados de validade científica.

Bibliografia

- Ballschmitter, K., Bacher, R., Mennel, A. (1992). The Determination of Chlorinated Biphenyls, Chlorinated Dibenzodioxins and Chlorinated Dibenzofurans by GC-MS. *Journal of High Resolution Chromatography*. vol: 15. 260-270.
- Boer, J., Dao, Q. (1991). Analysis of Seven Chlorobiphenyl Congeners by Multidimensional Gas Chromatography. *Journal of High Resolution Chromatography*. vol: 14. 593-596.
- Boer, J., Wells, D. (1997). Chlorobiphenyls and Organochlorine Pesticides in Fish and Sediments – Three years of QUASIMEME Laboratory Performance Studies. *Marine Pollution Bulletin. Special Issue* pp. 52-63.
- Brooks, T. (1974). Chlorinated Insecticides. vol: 1. CRC Press, Inc.USA. 249 pp.
- Hanson, P. J., Evans, D. W., Colby, D. R., Zdanowicz, V. S. (1993). Assessment of Elemental Contamination in Estuarine and Coastal Environments Based on Geochemical and Statistical Modeling of Sediments. *Marine Environment Research*. 36. pp. 237-266.
- Hernández, F., Serrano, R., Roig-Navarro, A. F., Martínez-Bravo, Y. and López, F. J. (2000). Persistent Organochlorines and Organophosphorus Compounds and Heavy Elements in Common Whale (*Balaenoptera physalus*) from the Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. vol. 40 (5). pp. 426-433.
- Hutzinger, O., Safe, S., Zitko, V. (1974). The Chemistry of PCB's. CRC Press, Inc.USA. 269 pp.
- Lino, C., Silveira, M. (1996). Interferências e Contaminação na Análise de Resíduos de Pesticidas. *Sociedade Portuguesa de Química*. n.º 62. pp. 19-25.
- Marchand, M., Caprais, J., Tronczynski, J., Marty, J., Scribe, P., Saliot, A. (1986). Processus de Transport et Flux des Hydrocarbures et Hydrocarbures Halogénés dans l'Estuaire de la Loire. Rapp. P. V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. N.º. 186. 361-374.
- Melnikov, N. (1971). Chemistry of Pesticides. *Residue Reviews*. vol: 36. Springer-Verlag. USA. 480 pp.
- Smedes, F., Boer, J. (1997). Determination of chlorobiphenyls in sediments-analytical methods. *Trends in analytical chemistry*. vol. 16(9). 503-517.
- Wells, D., Cofino, W. (1997). The Assessment of the QUASIMEME Laboratory Performance Studies Data: Techniques and Approach. *Marine Pollution Bulletin. Special Issue*. pp. 18-27.

Experiências DGPS realizadas em Portugal

Sardinha Monteiro

PRIMEIRO-TENENTE ESPECIALIZADO EM NAVEGAÇÃO

Resumo A maior parte dos Estados europeus com costa atlântica já estão a providenciar um serviço de difusão de correcções DGPS em LF/MF, normalmente a partir de radiofaróis. O baixo custo dos receptores DGPS tem contribuído para o sucesso desses equipamentos, que se podem encontrar já em grande número de navios. Assim, torna-se bastante importante que um país como Portugal, com uma linha de costa de 400 milhas e com uma grande dependência relativamente ao comércio marítimo, adira a este serviço.

A opção pelo DGPS é, de momento, a mais acertada, pois permite garantir uma exactidão no posicionamento bastante boa ao longo de toda a faixa costeira nacional, ao mesmo tempo que garante uma boa integridade ao GPS: enquanto o sistema GPS não possui qualquer forma de avisar, em tempo real, os utilizadores de avarias nos satélites ou outras falhas no sistema, a utilização de estações DGPS – que monitorizam, 24 horas por dia, a qualidade dos sinais GPS – permite notificar os utilizadores, na mesma área, de qualquer falha em menos de 5 segundos.

Por forma a estudar a implantação de Estações DGPS em Portugal, o Instituto Hidrográfico instalou, em 1998, duas estações DGPS experimentais: uma no Cabo Espichel e outra no Cabo Carvoeiro. Durante o ano de 1999 foram realizados extensos testes de cobertura e de exactidão, apresentando-se neste artigo os seus resultados.

Abstract *Most of the European countries with Atlantic coastlines are already providing a DGPS service, using radio beacons. Being of low cost and high accuracy, DGPS receivers are becoming more and more widespread and can already be found in many ships. Therefore, it is almost mandatory, for a state with a 400 miles coastline and highly dependent on maritime trade, to adhere to this service.*

The option to embrace DGPS is, at the moment, the wisest because it provides all ships that cross Portuguese waters a radionavigation system with good accuracy and the integrity that GPS cannot grant: while GPS does not provide instantaneous integrity, the use of DGPS stations – which monitor permanently the signals of the visible satellites – enables the timely warning of any malfunction or failure in less than 5 seconds.

In order to study the best architecture for the Portuguese DGPS stations, two trial Broadcast Stations were installed, by the Instituto Hidrográfico, in Portugal, during 1998: one at Cape Espichel and the other at Cape Carvoeiro. Those stations enabled to carry out several coverage and accuracy tests, whose results are discussed and analysed in this paper.

1. Instalação de duas estações DGPS experimentais em Portugal

POR forma a realizar em Portugal alguns testes e experiências que permitissem recolher informação que habilitasse uma decisão fundamentada e sustentada sobre a arquitectura das futuras Estações DGPS a instalar em Portugal, foram montadas durante o ano de 1998 duas estações DGPS experimentais na costa Portuguesa.

A primeira estação experimental foi montada no farol do Cabo Espichel, tendo-se usado para o efeito equipamento da marca TRIMBLE cedido a título de

empréstimo pela firma «Pedro Santos, Representações e Serviços Lda». Essa estação foi instalada em 18 de Junho de 1998, tendo-se desligado nessa data a transmissão do radiofarol do Cabo Espichel. Foi, assim, possível usar a antena do radiofarol para a difusão do sinal DGPS. Refira-se que essa antena é uma antena tipo *whip*, que apresenta um rendimento bastante baixo. A transmissão das correcções DGPS a partir do Cabo Espichel obedecia aos seguintes parâmetros:

- Frequência: 306,0 kHz,
- Potência do transmissor: 100 Watt,
- Velocidade de transmissão: 100 bits por segundo (bps).



Fig. 1 – Imagem das antenas da estação DGPS experimental instalada no Cabo Espichel. À direita, montada na chaminé do edifício, vê-se a antena GPS, enquanto à esquerda se pode ver a antena transmissora do radiofarol, neste caso convertida para a transmissão das correcções DGPS.

Além disso, a transmissão das correcções DGPS a partir desta estação estava identificada da seguinte forma:

- Identificação da estação: 351,
- Identificação da transmissão (conteúdo da mensagem RTCM tipo 16): Espichel test.

A segunda estação DGPS experimental foi instalada no farol do Cabo Carvoeiro, tendo a sua montagem ficado concluída em 29 de Agosto de 1998. Nesta estação foi utilizado equipamento da marca LEICA cedido a título de empréstimo pela firma «SICOM – Sistemas de Comunicações Lda.». À semelhança do ocorrido com a outra estação, também nesta se utilizou a antena do radiofarol para transmitir o sinal DGPS. Refira-se que esta antena é, também, uma antena de tipo *whip*, com rendimento bastante baixo. A transmissão das correcções DGPS a partir do Cabo Carvoeiro obedecia aos seguintes parâmetros:

- Frequência: 301,0 kHz,
- Potência do transmissor: 100 Watt,
- Velocidade de transmissão: 100 bps.

Além disso, a transmissão das correcções DGPS a partir desta estação estava identificada da seguinte forma:

- Identificação da estação: 62,
- Identificação da transmissão (conteúdo da mensagem RTCM tipo 16): Carvoeiro teste.

Após efectuados os testes, que adiante se descreverão, ambas as estações experimentais foram desmontadas. Enquanto estiveram a funcionar, elas possuíam uma configuração mínima, sendo constituídas apenas por uma Estação de Referência, ligada a uma antena GPS, e um transmissor, que estava ligado à antena anteriormente usada pelo radiofarol. Nenhuma destas esta-



Fig. 2 – Imagem das antenas da estação DGPS experimental instalada no Cabo Carvoeiro. Em primeiro plano está a antena transmissora, vendo-se também a antena GPS, montada junto à cúpula do farol e da qual se mostra um grande plano (à direita).

ções possuía um Monitor de Integridade, que é a unidade habitualmente usada nas Estações DGPS definitivas para verificar o correcto funcionamento da(s) Estação(ões) de Referência. Dessa forma o sinal transmitido era um sinal cuja qualidade não estava a ser monitorizada.

Depois de instaladas estas estações experimentais foram realizados dois tipos de testes:

- Testes de cobertura e
- Testes de exactidão.

Antes de analisar os resultados obtidos nesses testes, cabe aqui referir que as duas firmas acima mencionadas cederam ao Instituto Hidrográfico (IH) receptores DGPS, para que se pudessem realizar os testes de cobertura a bordo dos navios. Assim, a firma «Pedro Santos, Representações e Serviços Lda» cedeu um receptor TRIMBLE NT300D, enquanto a firma «SICOM – Sistemas de Comunicações Lda» cedeu um receptor LEICA MX412 Professional.

2. Testes de cobertura efectuados a bordo de navios da Marinha Portuguesa

2.1. Introdução

Os testes de cobertura foram realizados por navios da Marinha Portuguesa, aos quais o IH emprestou os receptores DGPS acima referidos, aproveitando a estadia no mar desses navios no cumprimento de missões atribuídas.

No final de cada uma destas missões foi solicitado aos navios que enviassem um relatório descrevendo os

resultados obtidos e fazendo os comentários julgados convenientes. Os parágrafos seguintes contêm as passagens mais significativas extraídas desses relatórios.

2.2. Missão do NRP «Auriga»

(2-3 Julho 1998)

Est. Espichel «No dia 2 de Julho, pelas 0710 [hora de largada da Base Naval de Lisboa (BNL)], iniciou-se o trânsito [para Sul], junto a costa. (...) O sinal manteve-se sempre consistente (...) até (...) uma posição cerca de 2 milhas a sul da Ilha de Faro, em que o sinal passou a intermitente. (...) Acabou por se perder o sinal por completo (...) às 12 milhas a sul do Cabo de Sta Maria. (...) Iniciado o trânsito de regresso à BNL, a cerca de 12 milhas de costa (...) voltou-se a ter sinal intermitente (...) numa posição cerca de 15 milhas a Sul de Vale de Lobos, passando a ter sinal consistente (...) cerca de 13 milhas a sul do farol de Alfanzina. No restante percurso de regresso o sinal manteve-se sempre consistente sem quaisquer perdas até à BNL.»

Período	Navio	Missão	Rx DGPS usado
2-3 JUL 1998	NRP «Auriga»	Testes DGPS	TRIMBLE NT 300D
13-15 JUL 1998	NRP «Andrómeda»	Projecto CLIMA	TRIMBLE NT 300D
16 JUL - 3 AGO 1998	NRP «Pereira d'Eça»	Missão SAR	TRIMBLE NT 300D
13-25 AGO 1998	NRP «Pereira d'Eça»	Missão SAR	TRIMBLE NT 300D
10-18 SET 1998	NRP «João Belo»	Missão SAR	TRIMBLE NT 300D
19 OUT- 4 NOV 1998	NRP «Geba»	Missão ZONMARNORTE	LEICA MX412
4-25 JAN 1999	NRP «H. Capelo»	Treino próprio	TRIMBLE NT 300D
26-28 JAN 1999	NRP «Geba»	Trânsito BNL-Funchal	LEICA MX412
1-4 FEV 1999	NRP «Andrómeda»	Testes DGPS	TRIMBLE NT 300D
11 FEV + 24 FEV + 2 MAR + 8-17 MAR + 23 MAR + 5-10 ABR + 15 ABR 1999	NRP «Andrómeda»	Missões diversas	TRIMBLE NT 300D
15-17 MAR 1999	NRP «Save»	Trânsito Funchal-BNL	LEICA MX412

Tab. 1 – Missões desempenhadas por navios da Marinha Portuguesa em que foram simultaneamente realizados testes à cobertura das Estações DGPS experimentais.

2.3. Missão do NRP «Andrómeda»

(13-15 Julho 1998)

«No decurso de toda a missão obteve-se sempre posicionamento DGPS excepto quando se transmitia em VHF, situação em que o receptor GPS perdia o sinal proveniente dos satélites, deixando-se assim de obter posicionamento GPS e, por conseguinte, posicionamento DGPS (a antena GPS foi montada num plano superior e a 2,0 metros de distância da de VHF).»

NOTA: Esta situação é perfeitamente normal pois um dos maiores problemas do GPS consiste nas interferências, sendo particularmente significativas as provocadas pelos equipamentos de VHF marítimos.

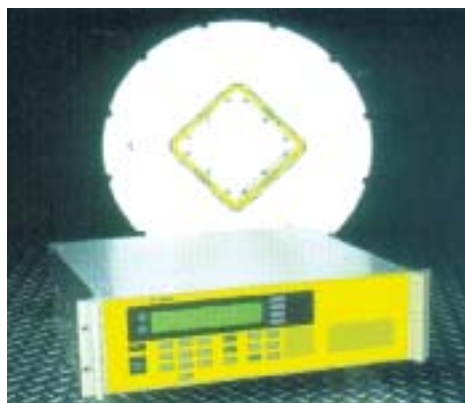


Fig. 3 – Estação de Referência TRIMBLE 4000 MSK e antena GPS TRIMBLE, iguais às instaladas na estação do Cabo Espichel.

2.4. Missão do NRP «Pereira d'Eça»

(16 Julho-3 Agosto 1998)

Est. Espichel «A cobertura foi efectiva durante quase toda a missão, talvez devido ao facto de o navio ter permanecido a maior parte do SAR em áreas contíguas à estação emissora. (...) No (...) trânsito de Lisboa para Portimão a recepção passou a intermitente (...) [ao] dobrar o Cabo de S. Vicente. (...) O navio escalou 4 portos durante o referido período. Por ordem cronológica Portimão, Setúbal, Sines e Lisboa. O nível de recepção do equipamento [DGPS] foi bom quer nas entradas quer nas saídas das barras, excepto na saída de Portimão.»

2.5. Missão do NRP «Pereira d'Eça»

(13-25 Agosto 1998)

Est. Espichel «Após a largada o navio navegou para Oeste (...) [e] o DGPS ficou intermitente (...) [a] 62 mi WSW da bóia de espera (...) e bloqueou (...) [a] 75 mi WSW da bóia de espera. (...) No dia 23 foi atribuída uma missão (...) a oeste de Lisboa. O DGPS ficou intermitente (...) [a] 100 mi W da bóia de espera. (...)»

2.6. Missão do NRP «João Belo»

(10-18 Setembro 1998)

Est. Espichel «A recepção das correcções da estação do Espichel (...) [ocorre] desde o Cabo Carvoeiro até ao Cabo de São Vicente. Em navegação em águas restritas, testou-se o receptor diferencial na barra do Porto de Lisboa, na barra do porto de Setúbal e no fundeadouro de Sesimbra tendo [sido recebido o sinal diferencial].»

2.7. Missão do NRP «Geba»

(19 Outubro-4 Novembro 1998)

Est. Espichel «A recepção das correcções da estação do Espichel apresenta grandes limitações nos portos do Norte de Portugal Continental, ie, não é suficiente para garantir o posicionamento diferencial. (...) A recepção das correcções da estação do Espichel (...) [ocorre] até à latitude do porto de Aveiro.»

Est. Carvoeiro «A recepção do sinal da estação do Carvoeiro garante uma boa cobertura no porto da Nazaré que diminui à medida que nos deslocamos para os portos mais a Norte [Figueira da Foz, Aveiro, Leixões e Viana do Castelo], mas garantindo sempre posicionamento diferencial nesses portos. (...) A recepção das correcções diferenciais da estação do Carvoeiro [ocorreu] em toda a zona marítima do Norte onde o navio navegou.»

«Durante o período de transmissão das comunicações em HF constatou-se a existência de interferências na recepção das correcções diferenciais.»

2.8. Missão do NRP «Hermenegildo Capelo»

(4-25 Janeiro 1999)

Est. Espichel «O navio praticou os portos de Lisboa e Setúbal verificando que o sinal de ambas as estações em experimentação era de boa qualidade, sendo naturalmente o da estação instalada no Cabo Espichel o mais forte.»

Est. Carvoeiro «Não se detectaram quaisquer zonas de sombra, nem mesmo em relação à estação do Cabo Carvoeiro encontrando-se o navio (...) [no] fundeadoiro de Sesimbra. Há apenas a assinalar a perda do sinal da estação do Cabo Carvoeiro sempre que no estuário do Sado o navio saía do enfiamento Doca Pesca-Azeda para prosseguir para o P.A.N. em tróia.»

2.9. Missão do NRP «Geba»

(26-28 Janeiro 1999)

«Durante o trânsito para o porto de Portimão o receptor do sistema GPS diferencial seleccionou, em modo automático, a estação do Espichel, sempre com uma boa qualidade de recepção do seu sinal. No entanto, se seleccionada a estação do Carvoeiro, no modo manual, também foram obtidos bons resultados na recepção do sinal, mas com uma relação sinal ruído menor.»

«No trânsito para o porto do Funchal, a recepção do sinal (...) variou entre a estação (...) do Espichel e a estação do Carvoeiro (...). Poder-se-á considerar que até distâncias de cerca de 350 milhas da estação diferencial do Carvoeiro e até cerca de 300 milhas de distância da estação diferencial do Espichel, verificaram-se recepções dos sinais das estações diferenciais com uma boa qualidade.»

2.10. Missão do NRP «Andrómeda»

(1-4 Fevereiro 1999)

Est. Espichel «A recepção do sinal diferencial proveniente da estação do Cabo Espichel fez-se em boas condições, salvo nas situações abaixo discriminadas, sendo a STATION HEALTH boa e o valor médio do AGE do sinal de seis segundos. As falhas ou degradações do sinal diferencial da estação do Cabo Espichel ocorreram nas seguintes áreas:

- Trânsito (...) [na] área costeira situada entre Vila do Conde e Apúlia;
 - Trânsito (...) [na] área costeira entre o Porto da Baleeira e o Cabo de S. Vicente;
 - Porto de Leixões;
 - Cais comercial de Faro e respectiva bacia de manobra.
- (...) Saliente-se também que não foi identificada nenhuma zona de sombra a norte do Cabo da Roca».

Est. Carvoeiro «A recepção do sinal diferencial proveniente da estação do Cabo Carvoeiro fez-se em boas condições, salvo nas situações abaixo discriminadas, sendo a STATION HEALTH «not monitorized» e o valor médio do AGE do sinal de oito segundos. As falhas ou degradações do sinal diferencial da estação do Cabo Carvoeiro ocorreram nas seguintes áreas:

- Trânsito (...) [na] área costeira situada a sul das Ilhas de Tavira e Armona;
- Trânsito (...) [na] área costeira entre o Porto da Baleeira e o Cabo de S. Vicente;
- Cais comercial de Faro e respectiva bacia de manobra.

«O sinal proveniente da estação do Cabo Espichel mostrou-se geralmente mais fiável do que o do Cabo Carvoeiro, à excepção da área costeira entre Vila do Conde e Apúlia. Aliás, o valor médio do AGE do sinal do Espichel foi inferior ao do Carvoeiro.»

«Considerando simultaneamente as duas estações, a única área em que nunca se obteve sinal diferencial foi a correspondente à zona do Canal de Faro a montante das bóias 13/14, que engloba o Cais Comercial. Porém, saliente que no Porto de Leixões só esporadicamente se obtinha recepção de sinal [diferencial] (...)».

Fig. 4 – Imagem da estação DGPS instalada no Cabo Carvoeiro, vendo-se à esquerda a Estação de Referência LEICA 9400R e a Unidade de Controlo Local (PC) e à direita o transmissor AMPLIDAN.



2.11. Missão do NRP «Save»

(15-17 Março 1999)

«Durante o trânsito [desde o Funchal até ao] (...) porto de Lisboa, o início da recepção dos sinais das estações diferenciais de forma intermitente verificou-se a cerca de 245 e 200 milhas de distância das estações, para a estação de Espichel e Carvoeiro, respectivamente. A cerca de 190 milhas os sinais recebidos já apresentavam uma qualidade aceitável.»

«Obtiveram-se sinais da estação diferencial de Finis-terra, (...) a partir das 570 milhas de distância da estação.»

2.12. Considerações finais sobre os testes de cobertura

Analisando os resultados relatados pelos vários navios envolvidos nestes testes pode-se concluir que cada uma das estações, individualmente, cobre quase toda a faixa costeira de Portugal Continental, excluindo a costa sul onde a recepção é intermitente. Conforme observado pelo NRP «Auriga» (Parágrafo 2.2.), pelo NRP «Pereira d'Eça» (Parágrafo 2.4.) e pelo NRP «João Belo» (Parágrafo 2.6.), ao dobrar o Cabo de S. Vicente começa-se a perder o sinal diferencial, tanto de uma estação como da outra, o que é perfeitamente compreensível visto a propagação sobre terra ser muito mais atenuada do que sobre o mar. De qualquer maneira, e mesmo sabendo que a costa sul está na sombra de um conjunto de serras (serra do Espinhaço do Cão, serra de Monchique e serra do Caldeirão), consegue-se receber, ocasionalmente, o sinal DGPS, conforme relatado pelo NRP «Geba» (Parágrafo 2.9.) e pelo NRP «Andrómeda» (Parágrafo 2.10.).

Desta forma conclui-se, como era de esperar, que para garantir uma cobertura efectiva da costa sul de Portugal Continental ter-se-á que instalar uma Estação DGPS na zona do Cabo de S. Vicente / Cabo de Sagres.

Relativamente à costa ocidental, pode-se dizer que, exceptuando algumas falhas pontuais, ela era quase integralmente coberta por cada uma das estações diferenciais. Isto é tão mais importante quanto os transmissores das estações experimentais estavam a transmitir 100 Watt e as antenas usadas possuíam uma eficiência muitíssimo baixa – na ordem de 0,5% a 1%. Isso significa que a potência radiada em cada estação DGPS experimental andaria na ordem de 0,5 – 1 Watt.

Se uma estação experimental com uma potência radiada na ordem de 0,5-1 Watt consegue cobrir, apenas com algumas falhas, a costa ocidental então é natural esperar que uma Estação DGPS definitiva, que deverá ter uma potência radiada na ordem dos 10 Watt, garanta a cobertura sem falhas de toda essa faixa costeira.

Importa aqui fazer uma referência à cobertura conseguida no interior dos portos nacionais, já que o DGPS

é um sistema especialmente útil em águas restritas e interiores. E neste aspecto pode-se dizer que os resultados foram bastante positivos pois, na globalidade, todos os navios receberam bem as correcções DGPS transmitidas por cada uma das estações em cada um dos portos praticados. Mesmo no porto de Setúbal e no fundeadoiro de Sesimbra, que ficam por detrás de uma cadeia montanhosa, se conseguiram receber quase sempre bem – exceptuando num pequeno troço junto a Tróia – as correcções diferenciais transmitidas a partir do Cabo Carvoeiro, conforme relatado pelo NRP «Hermenegildo Capelo» (Parágrafo 2.8.). Relativamente aos outros portos da costa ocidental onde foi testada a recepção do sinal DGPS, nomeadamente Sines, Lisboa, Nazaré, Figueira da Foz, Aveiro, Leixões e Viana do Castelo, os resultados foram normalmente bons, conforme observado pelo NRP «Geba» (Parágrafos 2.7. e 2.9.).

Outro resultado interessante destes testes está incluído no relatório do NRP «Geba» (Parágrafo 2.9.) que, ao afastar de costa, conseguiu receber as correcções DGPS até uma distância na ordem das 300 a 350 milhas das respectivas estações transmissoras. Esses valores não devem, no entanto, ser dados como certos, pois em outras ocasiões, com condições de propagação necessariamente diferentes, conseguiram-se alcances menores, como aconteceu com o NRP «Pereira d'Eça» que, ao afastar de costa, perdeu o sinal diferencial a menos de 100 milhas a Oeste da bóia de espera do porto de Lisboa (Parágrafo 2.5.) e com o NRP «Save» que, ao aproximar de costa, começou a receber DGPS a 245 / 200 milhas das estações transmissoras (Parágrafo 2.11.).

3. Testes de exactidão efectuados na orla costeira Portuguesa

3.1. Introdução

Os testes de exactidão das estações DGPS experimentais Portuguesas foram realizados entre 22 e 26 de Fevereiro de 1999, período durante o qual se percorreu a orla costeira desde Vila Praia de Âncora até à costa Algarvia, comparando as posições DGPS com a posição de marcos geodésicos e pontos de referência, cujas coordenadas eram conhecidas com grande precisão. Estes testes foram realizados em 7 marcos geodésicos (Cobertorinho, Boa Nova, Gafanha da Boa Hora, Duna III, Caracola, Cabeça Gorda, Monteiros e Ponta da Atalaia) e também em dois pontos de referência, que tinham sido previamente coordenados em WGS-84, situados no Cabo Raso e no edifício sede do IH.

Em cada local de observação foram gravados dados correspondentes a períodos que variaram entre uma e duas horas.

3.2. Equipamento usado

Para efectuar a monitorização da qualidade das posições DGPS foram utilizados dois receptores TRIMBLE DSM212H. Trata-se de receptores de 12 canais com as seguintes características principais:

- Selecção manual ou automática das estações DGPS;
- Antena receptora combinada (recepção dos sinais GPS e das correcções diferenciais numa mesma antena);
- Intervalo de tempo até calcular a primeira posição DGPS: < 30 segundos (tipicamente);
- Exactidão das posições diferenciais: melhor do que 1m (1 σ) – com pelo menos 5 satélites à vista e PDOP inferior a 4;
- Parametrização e controlo do estado de funcionamento através de um PC equipado com o software *TSIP-talker*.

As antenas dos dois receptores foram montadas lado a lado numa chapa metálica construída para o efeito sendo conhecida, com grande exactidão, a distância dos centros de fase das antenas em relação ao centro da chapa. Na fig. 5 é possível ver as duas antenas receptoras, montadas lado a lado sobre essa chapa metálica, cada uma das quais recebendo as correcções diferenciais de uma das estações DGPS experimentais.

Este tipo de montagem permitiu observar e gravar em simultâneo as posições calculadas pelos dois receptores.

Os receptores foram usados sempre em aquisição e seguimento manual do sinal das estações DGPS, por forma a possibilitar a identificação dos dados recebidos de cada uma das estações e, assim, permitir avaliar a sua qualidade.

Para garantir que as correcções usadas estavam a chegar de forma sistemática programaram-se os receptores DGPS para não utilizarem correcções com uma idade superior a 30 segundos. Como a idade média das

correcções diferenciais, das estações experimentais Portuguesas, era na ordem dos 6 a 8 segundos, caso os receptores DGPS perdessem mais do que 3 blocos de correcções passavam para o regime autónomo (GPS natural).

Para garantir melhor exactidão, foi usada uma máscara de elevação de 10°, isto é, só foram usados satélites que possuíam uma elevação acima do horizonte superior a 10°. O sinal de satélites com baixa elevação atravessa uma maior camada da troposfera e da ionosfera, o que provoca atrasos na propagação do sinal e redução da sua qualidade.

3.3. Recepção dos sinais diferenciais

De uma forma geral não houve falhas na recepção do sinal diferencial, mesmo em marcos geodésicos localizados a distâncias superiores a 300 km (160 milhas) das estações DGPS experimentais, o que é um bom resultado, pois frequentemente o trajecto das estações até aos marcos geodésicos efectuava-se integralmente sobre terra (situação em que a atenuação é muito maior do que sobre o mar). Face a esses bons alcances obtidos sobre terra, será legítimo esperar que sobre o mar se obtenham alcances bem superiores¹.

Relativamente à recepção do sinal diferencial na costa sul, nomeadamente no marco geodésico da Ponta da Atalaia, confirmou-se o que já se concluíra após os testes de cobertura, ou seja, o sinal diferencial chega à quase totalidade deste troço de costa, mas não se apresenta em condições de garantir recepção permanente.

Nas observações efectuadas próximo do pôr-do-sol, sobretudo a grandes distâncias das estações transmissoras, verificou-se alguma instabilidade do sinal não deixando, no entanto, de ser possível receber as correcções diferenciais. Este facto é perfeitamente normal pois, neste tipo de radiodifusão, são de esperar reduções da qualidade do sinal devido a interferências ocorridas nos períodos próximos dos crepúsculos.

3.4. Aquisição dos dados

Na aquisição dos dados foram usados dois PC, onde se encontravam instalados dois pacotes de software: *TSIP-talker* e *GPS Monitor Utility*.

Dado que os receptores TRIMBLE DSM 212H são do tipo «caixa negra», a única forma de os configurar e de visualizar o seu estado de funcionamento é através do uso de um PC, equipado com este software.

O software *TSIP-talker* serve para estabelecer comunicações entre o PC e o receptor DGPS. O pro-



Fig. 5 – Gravando dados no ponto de referência do Cabo Raso

¹ Esta expectativa foi confirmada pelo relato do NRP «Geba» (Parágrafo 2.9.) que conseguiu receber as correcções diferenciais a 300/350 milhas das estações transmissoras.

grama usa um protocolo próprio da marca, denominado TSIP², para enviar comandos do PC para o receptor DGPS e para receber informação enviada do receptor ao PC. Este software permite, entre outras coisas, apresentar graficamente a densidade espectral de energia captada pelo receptor DGPS, permitindo analisar a intensidade e qualidade dos vários sinais recebidos.

O software *GPS Monitor Utility* permite a análise estatística dos dados em tempo real e a sua gravação para posterior análise mais cuidada. Com este software é possível analisar em tempo real, entre outras coisas, as condições de recepção do sinal diferencial, a distribuição espacial dos satélites que estão a ser seguidos e a dispersão das posições calculadas, podendo a visualização ser numérica e/ou gráfica.

3.5. Tratamento dos dados

A análise e pós-processamento dos dados fez-se também através do software *GPS Monitor Utility*, que permite trabalhar estatisticamente as posições calculadas pelo receptor DGPS. Para isso é necessário introduzir a posição do centro de fase das antenas receptoras, em WGS-84³. A partir desse valor o software apresenta variada informação estatística sobre a conformidade das posições DGPS calculadas pelo receptor em relação à posição da antena introduzida.



Fig. 6 – Gravando dados no marco geodésico de Sagres

O primeiro passo, nesta fase de tratamento dos dados, consistia, pois, em determinar a posição do centro de fase de cada uma das antenas, em WGS-84. Como já foi referido, as antenas receptoras não foram colocadas exactamente sobre o vértice dos marcos geodésicos,

² TRIMBLE Standard Interface Protocol.

³ O WGS-84 é o datum utilizado pelo GPS, razão pela qual ao comparar as posições diferenciais calculadas pelo receptor DGPS com as posições «verdadeiras» das suas antenas, se tornava necessário introduzir as coordenadas destas em WGS-84.

assentando antes sobre uma placa metálica que servia de suporte às duas antenas e a qual, por sua vez, assentava no vértice dos marcos geodésicos (ver fig. 6). Assim, cada uma das antenas tinha um ligeiro *off-set* relativamente à posição do vértice do marco geodésico, a qual era conhecida com grande exactidão. Este problema poderia ser resolvido efectuando uma translação de todas as posições DGPS geradas pelos dois receptores até ao centro da peça metálica. No entanto, este procedimento seria demasiado moroso e não acrescentaria nada à qualidade dos resultados. Assim, optou-se por um procedimento mais simples: calcular a partir da posição do vértice do marco geodésico (conhecida com grande exactidão) a posição do centro de fase de cada uma das antenas.

As coordenadas dos vértices dos marcos geodésicos estavam referenciadas ao datum Lisboa, tendo sido necessário transformá-las para o sistema WGS-84. Essa transformação de coordenadas de datum Lisboa para WGS-84 foi feita através de um modelo matemático de 7 parâmetros (modelo de Bursa-Wolf⁴), que apresenta um erro inferior a 2 m para o território nacional⁵. O erro dessa transformação deve-se sobretudo ao facto de esta transformação usar parâmetros médios para o território nacional. A hipótese alternativa acarretava custos não justificados para o efeito que se pretendia, uma vez que obrigaria à observação, por sistema GPS geodésico⁶, de todos os pontos usados e ainda dos pontos necessários para se efectuar a ligação à rede geodésica existente. Este tipo de trabalho além de ser relativamente moroso, seria dispendioso.

No caso dos pontos de referência do Raso e do IH, não foi necessário efectuar essa transformação pois já haviam sido coordenados previamente com GPS geodésico, sendo conhecidas com grande precisão as suas coordenadas em WGS-84.

Uma vez determinada a posição do centro de fase de cada antena, em WGS-84, o seu valor foi introduzido no programa *GPS Monitor Utility*, que foi usado para processar e analisar estatisticamente as posições DGPS calculadas por cada um dos receptores. Esse trabalho foi feito usando, sobretudo, duas das *windows* disponíveis no software: «Position Info» e «Scatter Plot».

A *window* «Position Info» apresenta informação

⁴ A transformação de Bursa-Wolf é relativamente complexa. Efectua a translação entre os dois sistemas e elipsóides envolvidos, considerando também as rotações necessárias em torno desses mesmos eixos e ainda um factor de escala entre os dois sistemas/elipsóides.

⁵ «Manual do Programa Transcoord – Programa de transformação de coordenadas, versão 1.0» – Instituto Português de Cartografia e Cadastro – DSGE (1999) – Parágrafo 3.4.

⁶ O GPS geodésico garante uma exactidão de 10mm + 1 ppm, usando receptores de uma frequência, ou 5mm + 1 ppm, usando receptores de duas frequências. Usando apenas L1, o alcance desta técnica é inferior a 20 km, mas com duas frequências pode-se chegar aos 50 km.



Fig. 7 – Mapa mostrando a localização das duas estações DGPS experimentais, bem como os vários locais onde foram efectuados os testes de exactidão.

sobre a média das posições DGPS calculadas pelo receptor ao longo do tempo, nomeadamente:

- «2D Distance» (ou Distância Horizontal), que é a média das distâncias horizontais entre a posição conhecida da antena e as posições geradas pelo receptor DGPS;
- «Sigma 2D» (ou Desvio Padrão: σ), que é o desvio padrão das distâncias horizontais – 68% das posições estão dentro de uma circunferência de raio igual ao desvio padrão e centrada na posição média.

O «Scatter Plot» apresenta graficamente as posições geradas pelo receptor DGPS, fornecendo informação importante sobre a sua distribuição. O gráfico é centrado na posição da antena introduzida, sendo mostradas em torno dela as posições DGPS, bem como os anéis correspondentes à distribuição normal dessas posições: 1σ , 2σ e 3σ . 68% das posições DGPS encontram-se dentro do anel 1σ , 95% dentro do anel 2σ e 99% dentro do anel 3σ .

Além disso, foi efectuada uma inspecção visual ao conteúdo dos ficheiros gravados, por forma a tentar identificar as causas de alguns erros, nomeadamente os casos em que:

- a distância horizontal da média das posições diferenciais relativamente às coordenadas, em WGS-84, do centro de fase da antena, apresentava valores elevados ou;
- havia uma grande dispersão das posições diferenciais em relação à média dessas mesmas posições.

Essa inspecção permitiu concluir que as situações de maiores desvios e de maiores dispersões ocorreram quando:

- a idade das correcções apresentava maiores valores e,
- as posições diferenciais eram obtidas com quatro, ou menos, satélites.

As tabelas seguintes apresentam um resumo dos resultados obtidos com cada uma das estações DGPS experimentais.

Ponto	Dist. ER-Ponto [km]	Dist. Horiz. [m]	σ (68%) [m]	2σ (95%) [m]	3σ (99%) [m]	Dist. Hor.+ σ [m]	Dist. Hor.+ 2σ [m]	Dist. Hor.+ 3σ [m]
COBERTORINHO	278	3,608	0,691	1,382	2,704	4,299	4,99	5,682
BOA NOVA	213	1.457	0.636	1.272	1.909	2.093	2.729	3.366
GAF. DA BOA HORA	147	0.855	0.613	1.226	1.84	1.468	2.081	2.695
DUNA III	112	2.377	1.309	2.618	3.926	3.686	4.995	6.303
RASO	72	1.148	0.559	1.118	1.678	1.707	2.266	2.826
CARACOLA	157	1.866	0.706	1.412	2.118	2.572	3.278	3.984
CABEÇA GORDA 1º	212	2.833	0.587	1.174	1.76	3.42	4.007	4.593
MONTEIROS	251	0.92	0.501	1.002	1.094	1.421	1.922	2.014
PONTA DA ATALAIA	265	1.577	0.501	1.002	1.504	2.078	2.579	3.081
MÉDIAS	189.6	1.849	0.6781	1.3562	1.9892	2.5271	3.2052	3.8382

Tab. 2 – Testes de exactidão com a estação experimental do Cabo Carvoeiro

Ponto	Dist. ER-Ponto [km]	Dist. Horiz. [m]	σ (68%) [m]	2σ (95%) [m]	3σ (99%) [m]	Dist. Hor.+ σ [m]	Dist. Hor.+ 2σ [m]	Dist. Hor.+ 3σ [m]
COBERTORINHO	380	4.879	0.441	0.882	1.322	5.32	5.761	6.201
BOA NOVA	312	2.249	1.022	2.044	3.066	3.271	4.293	5.315
GAF. DA BOA HORA	244	1.947	0.647	1.294	1.94	2.594	3.241	3.887
DUNA III	208	2.018	1.234	2.468	3.701	3.252	4.486	5.719
RASO	40	0.783	0.651	1.302	1.853	1.434	2.085	2.636
IH-DGPS	33	0.534	0.634	1.268	1.902	1.168	1.802	2.436
CARACOLA	55	1.442	0.327	0.654	0.981	1.769	2.096	2.423
CABEÇA GORDA 1º	107	1.705	0.386	0.772	1.157	2.091	2.477	2.862
MONTEIROS	144	1.596	1.504	3.008	4.512	3.1	4.604	6.108
PONTA DA ATALAIA	158	1.093	0.349	0.698	1.048	1.442	1.791	2.141
MÉDIAS	168.1	1.8246	0.7195	1.439	2.1482	2.5441	3.2636	3.9728

Tab. 3 – Testes de exactidão com a estação experimental do Cabo Espichel

Verificou-se, também, que as situações de menor dispersão correspondiam a períodos em que a posição diferencial era obtida com correcções a pelo menos seis satélites, chegando algumas vezes aos oito satélites.

A fim de obter mais dados, e possibilitar uma aná-

lise comparativa, foram também feitas observações ao sinal da estação Espanhola de Finisterre em dois dos locais de observação: Raso e Ponta da Atalaia. Os resultados obtidos com essa estação estão resumidos na tabela seguinte.

Ponto	Dist. ER-Ponto [km]	Dist. Horiz. [m]	σ (68%) [m]	2σ (95%) [m]	3σ (99%) [m]	Dist. Hor.+ σ [m]	Dist. Hor.+ 2σ [m]	Dist. Hor.+ 3σ [m]
RASO	463	0.66	0.457	0.914	1.372	1.117	1.574	2.032
PONTA DA ATALAIA	653	1.555	0.857	1.714	2.572	2.412	3.269	4.127
MÉDIAS	558	1.1075	0.657	1.314	1.972	1.7645	2.4215	3.0795

Tab. 4 – Testes de exactidão com a estação DGPS do Cabo Finisterre.

3.6. Considerações finais sobre os testes de exactidão

Da observação dos dados pode concluir-se que as duas estações DGPS experimentais instaladas em Portugal apresentaram erros muito semelhantes. A exactidão média das posições DGPS, obtidas quer a partir de uma estação quer da outra, foi na ordem dos 3,2 m, em 95% das observações, e melhor do que 4m em 99% das observações efectuadas. Refira-se que o erro a 95% é o que garante, normalmente, um rigor suficiente em navegação, pelo que se pode dizer que a média dos erros das posições diferenciais observadas foi de 3,2 m (95%). É mais importante do que isso foi o facto de o erro, a 95%, ter sido sempre inferior a 6m, quer para uma estação quer para a outra, mesmo em locais afastados da estação transmissora mais de 300 km.

Como foi referido acima, a obtenção das coordenadas dos marcos geodésicos foi feita através da transformação de 7 parâmetros de Bursa-Wolf, o que não garante a mesma exactidão que seria conseguida se esses marcos geodésicos tivessem sido coordenados com GPS

geodésico. A razão principal reside no facto de esses parâmetros serem parâmetros médios para o território nacional, pelo que o erro na transformação não é constante. Nos casos em que o desvio entre a média das posições diferenciais e a posição do centro de fase da antena receptora (obtida após translação das coordenadas) foi um pouco acima do esperado (sobretudo, nos casos de Cobertorinho e Duna III), isso poderá dever-se ao facto dos parâmetros de transformação serem menos correctos nesses locais.

A estação DGPS Espanhola, situada no Cabo Finisterre, apresenta, nos casos observados, resultados muito bons, sobretudo tendo em atenção que as observações foram feitas a grande distância da estação transmissora. Isso é facilmente explicável por se tratar de uma estação definitiva, que possui duas Estações de Referência, além de um Monitor de Integridade, que monitoriza em permanência a qualidade das correcções geradas. Se os parâmetros de funcionamento da Estação de Referência activa saírem fora dos limites de funcionamento pré-definidos, então o Monitor de Integridade comuta imediatamente para a outra Estação de Referência.

Ao inspeccionar os ficheiros resultantes da recepção de correcções da estação de Finisterre verificou-se que a idade média das correcções era de 13 segundos. Foi possível saber que a idade média das correcções diferenciais transmitidas por esta estação era de 6,5 segundos. Isso significa que, nesses locais, só foi possível receber metade das correcções transmitidas. Ou seja, um em cada dois blocos de correcções diferenciais perdeu-se. Mesmo assim os resultados de exactidão, conseguidos com a estação de Finisterre, foram excelentes: a exactidão média das posições DGPS foi na ordem dos 2,4 m, em 95% das observações, e na ordem de 4m em 99% das observações efectuadas.

Considerando apenas esses dois locais (Raso e Ponta da Atalaia), a estação do Cabo Carvoeiro apresentou um erro médio de 2,4 m (95%) e a estação do Cabo Espichel apresentou 1,9 m (95%) de erro. Esses erros são inferiores ou iguais aos da estação Espanhola, mas não se pode esquecer que as estações Portuguesas estavam muito mais perto desses pontos de referência.

De qualquer forma considera-se que os resultados obtidos com as estações nacionais são, atendendo às limitações inerentes a uma montagem experimental, de boa qualidade. Numa estação DGPS definitiva haverá a

considerar dois factores que contribuirão para aumentar a exactidão do posicionamento diferencial:

- existência de, pelo menos, um Monitor de Integridade que efectuará em permanência a monitorização da qualidade do sinal e,
- coordenação do centro de fase das antenas receptoras usando o sistema GPS geodésico que garantirá melhor exactidão às correcções diferenciais.

Além disso, a velocidade de transmissão das correcções diferenciais, adoptada nas duas estações experimentais, foi de 100 bps. Numa estação DGPS definitiva poder-se-á optar por transmitir as mensagens DGPS a 200 bps, permitindo, assim, melhores resultados.

Agradecimentos

Agradece-se a colaboração do Cap.-ten. Abílio Matias e do Ten. Lavajo Brigas na realização dos testes de exactidão na orla costeira portuguesa.

Utilização de satélites SAR em hidrografia

Oliveira Robalo

CAPITÃO-TENENTE ESPECIALIZADO EM HIDROGRAFIA

Resumo A evolução das técnicas de detecção remota a partir de satélites permite hoje em dia, através do uso do Radar de Abertura Sintética, obter imagens do relevo submarino em águas pouco profundas. No entanto as dificuldades associadas à quantificação destas imagens em termos de profundidades têm impedido o seu uso eficaz em aplicações de batimetria. Este artigo mostra como as imagens ERS-SAR e um número limitado de sondas podem ser usados para, com o «Bathymetry Assessment System», desenvolvido pela ARGOSS*, produzir mapas batimétricos de águas pouco profundas. É especialmente focado o cálculo da batimetria de uma área do estuário do Tejo.

Abstract Nowadays the use of remote sensing techniques, namely Earth observation from space, is becoming ever more common. The potential of Synthetic Aperture Radar to image the sea-bottom topography in shallow-waters is now well known. Nevertheless, the difficulties associated with its quantification in terms of depths determination prevented the effective use of SAR images for bathymetry mapping. This article illustrates an approach to combine ERS-SAR and limited hydrographic survey data with the use of the «Bathymetry Assessment System», developed by ARGOSS*, for sea-bottom mapping in shallow-water areas. It is focused on the extraction of bathymetry information in the Tejo estuary.

1. Introdução

É cada vez mais frequente a utilização de técnicas de detecção remota na monitorização de fenómenos e estudo global da Terra. Existem actualmente inúmeras aplicações operacionais baseadas em dados fornecidos por sistemas de satélites, proporcionando os meios para um conhecimento cada vez mais alargado e multidisciplinar da superfície terrestre, tanto em terra como no mar.

As técnicas de detecção remota a partir do espaço têm vindo a evoluir desde o final da 2.^a Guerra Mundial, altura em que foram pela primeira vez utilizadas câmaras fotográficas montadas em foguetões. Seguiu-se o uso da fotografia multi-espectral, que permitiu a obtenção de imagens não só na banda da radiação visível mas também em infra-vermelho. O satélite Seasat, lançado em 1978, foi pioneiro na utilização da tecnologia radar montada numa plataforma espacial. Paralelamente com estes avanços tecnológicos, foram progressivamente estabelecidas as bases para uma cobertura sistemática e repetitiva do globo terrestre.

Na Europa, a «European Space Agency» (ESA) controla actualmente a série de satélites «European Remote Sensing Satellites» (ERS), que transportam diferentes tipos de equipamentos entre os quais um Radar de Abertura Sintética ou SAR, acrónimo de *Synthetic Aperture Radar*. Sabe-se actualmente que as imagens fornecidas pelos sistemas SAR podem, em condições hidrodinâmicas e meteorológicas favoráveis, revelar os padrões da topografia submarina. No caso do ERS-SAR estas imagens estão disponíveis na forma de *frames*, com uma resolução espacial de cerca de 25 m, cobrindo cada uma a área aproximada de 100×100 km.

A informação disponível nas imagens SAR é apenas qualitativa, apresentando a forma de padrões com diferentes tonalidades de cinzento. Do ponto de vista hidrográfico, esta informação só se torna verdadeiramente útil depois de ser quantificada em termos de profundidade. As dificuldades inerentes a esta quantificação constituíram durante muito tempo um obstáculo na utilização das imagens SAR em aplicações hidrográficas. Recentemente a firma ARGOSS BV, na Holanda, desenvolveu modelos numéricos para este fim, que incorpo-

* ARGOSS, Vollenhove, Holanda (<http://www.argoss.nl>).

rou numa aplicação informática denominada «Bathymetry Assessment System» (BAS).

Ao abrigo do acordo de cooperação existente entre Portugal e a ESA, foi possível concretizar um projecto, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através do Programa PRAXIS XXI, visando a demonstração do potencial do sistema ERS-SAR na área da hidrografia de águas pouco profundas e a avaliação preliminar da viabilidade de produção de mapas batimétricos do estuário do Tejo.

2. Princípios do radar de abertura sintética

Basicamente o princípio da detecção remota por radar consiste na transmissão de radiação electromagnética em direcção à superfície da Terra, na forma de impulsos de curta duração, e na medição da intensidade da energia reflectida e do atraso entre a emissão e a recepção dos impulsos.

Relativamente aos sensores ópticos, os sistemas radar possuem as seguintes vantagens:

- dependem muito pouco das condições atmosféricas;
- possuem uma fonte de iluminação própria e controlável, ou seja, não dependem da radiação solar, permitindo obter imagens a qualquer hora do dia ou da noite;
- possibilitam o acesso a parâmetros descritivos das propriedades dos alvos diferentes daqueles que podem ser obtidos por sensores ópticos;
- permitem, em condições favoráveis, obter informação sobre objectos ou fenómenos localizados abaixo da superfície terrestre.

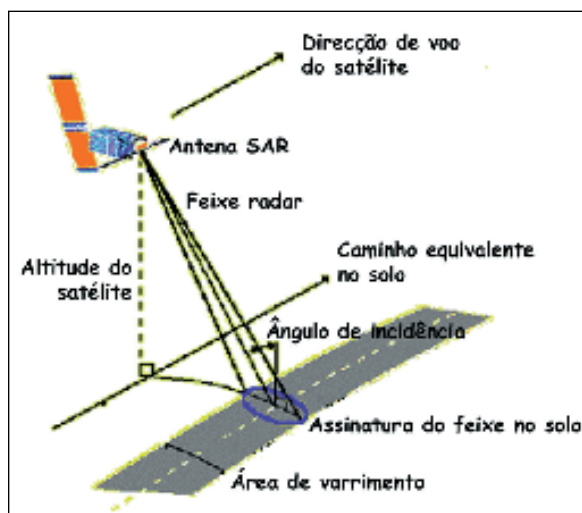


Fig. 1 – Geometria do radar de abertura sintética

Os sistemas de detecção remota por radar podem ser divididos em duas grandes categorias: *Real Aperture Radar* (RAR) e *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Ambos efectuam um varrimento lateral em relação ao sentido do movimento, conforme pode ser visto na fig. 1. A resolução espacial destes sistemas tem duas componentes: distância e azimute. Estes parâmetros descrevem as características do radar no que se refere à sua capacidade de distinguir dois objectos vizinhos, alinhados no solo segundo uma direcção perpendicular ou paralela relativamente ao sentido de deslocamento da plataforma que transporta o sensor. As especificações técnicas que determinam a resolução de um sistema radar são o comprimento dos impulsos transmitidos (resolução em distância) e a abertura da antena (resolução em azimute).

Nos sistemas RAR a resolução em azimute é dada pela seguinte expressão:

$$R_a = R \cdot \beta$$

onde R representa a distância inclinada (*slant range*) entre a antena e o alvo e β a abertura da antena. Esta por sua vez é directamente proporcional ao comprimento de onda (λ) e inversamente proporcional ao comprimento da antena (L), de acordo com a expressão

$$\beta = \frac{\lambda}{L}$$

Nos sistemas RAR a resolução em azimute degrada-se pois com a distância ao alvo. Este parâmetro pode ser controlado através do aumento do comprimento da antena, o que implica na maioria das vezes o uso de antenas de comprimento inviável, ou através da utilização de frequências com menor comprimento de onda, que possuem o inconveniente de serem mais sensíveis à atenuação e dispersão na atmosfera.

Os sistemas SAR não enfermam das limitações mencionadas. Possuem antenas relativamente pequenas mas apresentam no entanto uma boa resolução em azimute. Este tipo de sistemas utiliza o movimento orbital do satélite que transporta o radar para, recorrendo a técnicas de processamento de dados, sintetizar o efeito de uma antena muito longa. É possível, por exemplo, sintetizar uma antena com 600 m de comprimento a partir de uma antena com apenas 2 m.

As imagens obtidas pelos sistemas SAR são compostas por elementos discretos, ou *pixels*, representando a intensidade do sinal radar reflectido pelas zonas correspondentes na área iluminada. Os *pixels* são quantificados em um número finito de tonalidades de cinzento, correspondendo o preto a uma área com baixa reflectividade e o branco a objectos com boas qualidades reflectivas.

A antena do ERS-SAR está alinhada paralelamente à direcção de voo do satélite, efectuando um varrimento lateral para a direita do caminho percorrido. A direcção do voo pode ser ascendente ou descendente, consoante o

cruzamento do Equador se faça em direcção ao Norte ou ao Sul, respectivamente. Uma determinada área pode pois ser iluminada com ondas electromagnéticas provenientes da esquerda se a passagem for ascendente ou da direita se for descendente. O conhecimento do tipo de passagem é relevante para a interpretação da imagem obtida.

A área de varrimento tem uma largura de cerca de 100 km, com um deslocamento de 244.5 km para a direita do caminho do satélite. O ângulo de incidência é de 23° a contar da vertical, no centro desta área.

No sistema ERS-SAR a resolução é de 26 m em distância e entre 6 a 30 m em azimute. Vários produtos podem ser gerados a partir dos dados adquiridos. O produto mais utilizado em aplicações de detecção remota é a *SAR Precision Image (PRI)*, que possui a resolução espacial de 25 m tanto em distância como em azimute e é composta por *pixels* de 12.5 m.

As imagens radar possuem características que as tornam substancialmente diferentes das obtidas por sensores ópticos. Dado que o radar «vê» uma determinada zona de maneira muito diferente da vista humana ou de um sensor óptico, a interpretação destas imagens requer alguma experiência bem como um bom conhecimento das técnicas subjacentes à sua obtenção.

3. Princípios da detecção do relevo submarino pelo SAR

As imagens SAR do satélite Seasat foram as primeiras a revelar padrões que puderam ser inequivocamente correlacionados com o relevo submarino. O Seasat-SAR funcionava na banda L, com um comprimento de onda de 23.5 cm, cuja capacidade de penetração na água é apenas da ordem de 1 cm. Verificou-se no entanto que as características do fundo eram visíveis até cerca de 50 m de profundidade. Os padrões observados não podiam pois constituir a imagem do fundo obtida directamente.

A realização de diversos estudos permitiu formular uma teoria capaz de explicar a visualização do relevo submarino nas imagens radar. Esta teoria foi bem acolhida pela comunidade científica e considera que o mecanismo responsável por este fenómeno é constituído pelo seguinte conjunto de processos:

- 1) A interacção entre a topografia submarina e a corrente de maré causa variações na velocidade da corrente de superfície;
- 2) As variações na velocidade da corrente de superfície causam modulações (em amplitude e período) no espectro das pequenas ondas devidas ao vento, responsáveis pela rugosidade da superfície do mar;
- 3) As alterações na rugosidade da superfície do mar manifestam-se como variações de intensidade nas imagens de radar.

A fig. 2 representa os processos físicos envolvidos no mecanismo referido. Quando a corrente de maré se aproxima de uma crista submarina a sua velocidade aumenta.

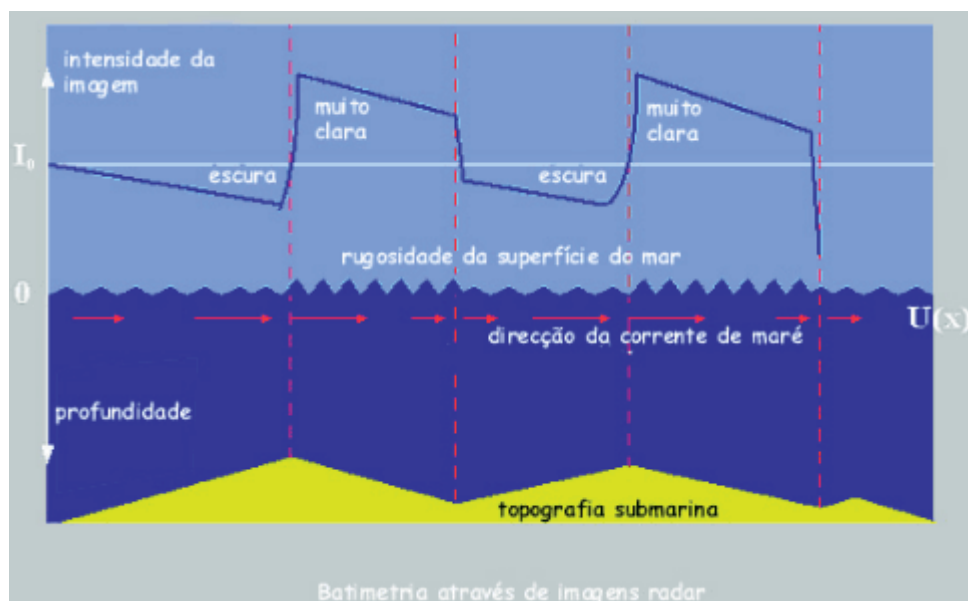


Fig. 2 – Processos envolvidos na visualização da batimetria em imagens SAR

À medida que as ondas devidas ao vento se propagam nesta região, o seu comprimento de onda aumenta e a amplitude diminui. Nestas áreas ocorre pois uma diminuição da rugosidade da superfície do mar, o que tem como consequência uma redução da reflectividade, traduzida nas imagens radar por *pixels* de tonalidade mais escura. Por outro lado, ao ultrapassar a crista a velocidade da corrente de maré volta a diminuir. Logo, o período das ondas de superfície diminui, enquanto que a sua amplitude aumenta. Há pois um aumento de rugosidade, o que origina zonas mais claras na imagem radar.

O vento e as correntes de maré desempenham assim um papel fundamental no mecanismo atrás descrito. O relevo submarino em águas pouco profundas só se torna visível em imagens radar quando estiverem reunidas as seguintes condições ambientais:

- 1) Velocidade do vento entre 3 e 10 ms⁻¹;
- 2) Corrente de maré da ordem dos 0.5 ms⁻¹.

4. O «Bathymetry Assessment System»

O objectivo do BAS consiste na geração de um mapa batimétrico de uma determinada área a partir de imagens radar e de um número limitado de sondas. A estrutura deste sistema é apresentada na fig. 3. Basicamente o BAS utiliza um método iterativo que pode ser descrito do seguinte modo:

- 1) É gerado um modelo batimétrico inicial, a partir das sondas existentes;
- 2) Utilizando o modelo batimétrico, informação hidro-meteorológica (altura e fase de maré, velocidade e direcção do vento) e uma série de modelos matemáticos (de corrente, ondulação e reflectividade radar), é gerada uma simulação de imagem radar;
- 3) É efectuada a minimização de uma função de erro, que avalia a diferença entre as imagens radar real e simulada e entre o modelo batimétrico e um conjunto de sondas de calibração;
- 4) O modelo de batimetria é ajustado, como resultado da minimização da função de erro, e o processo termina caso a diferença entre dois modelos sucessivos seja inferior a um determinado valor, ou volta ao passo 2 no caso contrário.

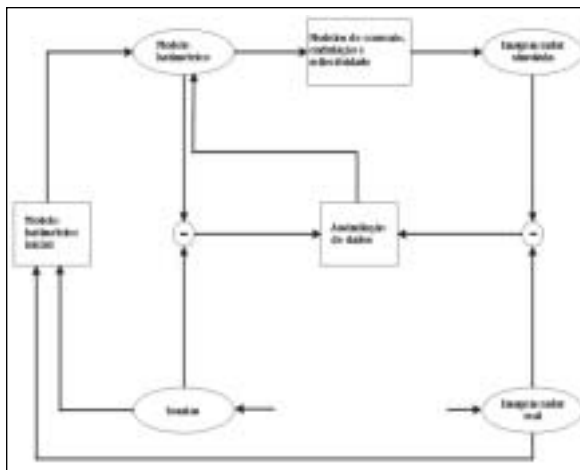


Fig. 3 – Estrutura do «Bathymetry Assessment System»

O BAS utiliza pois toda a informação disponível (imagens radar e sondas) sobre a morfologia do fundo. A cada tipo de dados é atribuído um peso proporcional à sua precisão. As sondas de calibração devem ser fiáveis, dado que as diferenças entre elas e o modelo batimétrico são avaliadas pela função de erro com um peso muito elevado.

Pode-se encarar o BAS como um interpolador inteligente: efectua a interpolação do fundo entre as fiadas de sondagem, guiado pela informação de batimetria patente nas imagens de radar.

A precisão dos mapas batimétricos gerados pelo BAS depende do número de sondas utilizado, da qualidade das imagens radar e da complexidade da área em análise. A resolução destes mapas é normalmente de 25 m, limite imposto pela resolução espacial do ERS-SAR.

5. Aplicação do BAS no estuário do Tejo

A informação presente nas Cartas Náuticas Oficiais (CNO), editadas pelo Instituto Hidrográfico (IHPT), provém de diferentes fontes discriminadas no respectivo diagrama de compilação. Este fornece informação relativamente à data em que foram adquiridas, em cada área, as sondas utilizadas no desenho da carta. Pode pois afirmar-se que o diagrama de compilação permite estimar o nível de confiança das sondas representadas na CNO, que será em princípio tanto mais elevado quanto mais recente for a data em que foram adquiridas.

A possibilidade de ter acesso a um mapa batimétrico actualizado de uma área muito vasta iria facultar os meios para a confirmação da informação existente nas CNO e para um planeamento mais adequado dos levantamentos hidrográficos.

Nesta perspectiva, foi apresentada à ESA uma proposta de projecto consistindo na investigação da viabilidade da utilização conjunta dos dados ERS-SAR e do BAS em hidrografia de águas pouco profundas. Foi considerada para estudo e análise a área do estuário do Tejo.

5.1 Área do projecto

A área em estudo corresponde à zona do estuário do Tejo representada na CNO 26306. Os limites desta área são apresentados na tab. 1. As coordenadas correspondem à projecção UTM, elipsóide Internacional, Datum Europeu (1950), zona 29.

Cantos	X (m)	Y (m)
SW	487535	4283567
SE	504058	4283559
NW	487553	4294664
NE	504052	4294655

Tab. 1– Limites da área do projecto

5.2 Dados

O cálculo da batimetria através das imagens ERS-SAR implica a utilização de vários tipos de dados, que

têm de ser fornecidos ao BAS. Esta informação pode ser agrupada da seguinte maneira:

- a) Imagens ERS-SAR;
- b) Sondas;
- c) Dados de maré;
- d) Meteorologia;
- e) Dados de geo-referenciação.

5.2.1 Imagens ERS-SAR

As imagens ERS-SAR PRI foram fornecidas pela ESA. Apesar das restrições hidro-meteorológicas serem bem conhecidas, não foi possível obter os dados de campo necessários num período de tempo razoável. Para além disso as pesquisas efectuadas nas bases de dados *online* da ESA e do «German Aerospace Research Establishment» (DLR) revelaram que das muitas imagens adquiridas sobre a área de Lisboa poucas *quicklooks* estavam disponíveis e nenhuma delas apresentava padrões atribuíveis ao relevo submarino.

Foi pois impossível tanto definir os períodos de tempo mais favoráveis como encontrar *quicklooks* adequadas nas bases de dados. Por fim recorreu-se a uma colecção de *quicklooks* existente na *ERS Data Utilization Section*, no estabelecimento ESRIN da ESA, em Itália. Algumas destas imagens revelaram padrões no estuário do Tejo que apresentavam uma boa correlação com o tipo de fundo representado nas CNO. A lista de imagens seleccionadas é apresentada na tab. 2.

Plataforma	Órbita	Frame	Data	Hora (UTC)
ERS-2	16474	0765	14 Junho 1998	22:51
ERS-2	17476	0765	23 Agosto 1998	22:51

Tab. 2 – Lista de imagens ERS-SAR PRI seleccionadas

5.2.2 Sondas

As sondas utilizadas neste projecto foram digitalizadas a partir da CNO 26306. Procedeu-se à digitalização de todas as linhas batimétricas, que foram agrupadas em dois conjuntos. Um deles serviu de base para a definição do modelo batimétrico inicial enquanto que o outro foi utilizado para efeitos de calibração. A decisão sobre quais as sondas a incluir em cada conjunto foi puramente arbitrária, uma vez que se considerou que todas tinham a mesma precisão.

5.2.3 Dados de maré

A previsão de maré para os dias 14 de Junho e 23 de Agosto de 1998 foi fornecida pelo IHPT. Existem dados para dois locais, estando a respectiva informação sintetizada na tab. 3. As alturas de maré são referidas ao Zero

Hidrográfico, situado 2.20 m abaixo do Nível Médio do Mar (NMM) em Lisboa e 2.08 m abaixo do NMM em Cascais.

Local	Posição	Data	Hora (UTC)	Altura de maré (m)	Fase da maré
Lisboa	38 42.5 N 09 07.9 W	14Jun1998	22:51	0.93	PM+4h42
		23Ago1998	22:51	0.81	PM-5h29
Cascais	38 41.7 N 09 25.0 W	14Jun1998	22:51	1.05	PM+5h20
		23Ago1998	22:51	1.07	PM-4h41

Tab. 3 – Informação de maré

5.2.4 Meteorologia

Os dados relativos ao vento foram fornecidos pelo Instituto de Meteorologia. Esta informação foi registada no aeroporto de Lisboa e é apresentada na tab. 4.

Local	Data	Hora (UTC)	Velocidade (m/s)	Direcção
Aeroporto de Lisboa	14Jun1998	23:00	5	Norte
	23Ago1998	23:00	4	Norte

Tab. 4 – Dados de vento

5.2.5 Dados de geo-referenciação

A precisão das imagens ERS-SAR PRI é, de acordo com as especificações deste produto, 100 m em distância e 200 m em azimute. Esta precisão é claramente insuficiente para os objectivos deste projecto, pelo que se tornou necessário proceder à correcção geométrica das imagens SAR utilizando pontos de controlo no terreno (*Ground Control Points* – GCP). O critério para a selecção dos GCP foi de que deveriam corresponder a pontos conspícuos na CNO. As coordenadas UTM-ED50 dos GCP utilizados foram obtidas por consulta à base de dados de pontos coordenados do IHPT.

5.3 Metodologia

5.3.1 Pré-processamento das imagens SAR

As imagens ERS-SAR são disponibilizadas na forma de *frames*, com uma área de cobertura de 100×100 km cada. A zona considerada para este projecto é muito inferior àquela coberta por uma única *frame*. Assim, foi necessário criar um *subset* das imagens originais, utilizando a aplicação informática «ERDAS Imagine». O uso de *subsets* tem a vantagem adicional de o volume de informação a manusear sofrer uma redução substancial, o que se traduz por uma melhor resposta por parte do sistema de processamento. Não foram utilizadas quaisquer técnicas de filtragem ou de melhoramento de contraste das imagens.

5.3.2 Geo-referenciação das imagens SAR

A geo-referenciação das imagens SAR foi um processo faseado. A primeira fase consistiu na conversão dos ficheiros em formato TIFF das CNO do estuário do Tejo (26303, 26304, 26305 e 26306) para o formato «ERDAS Imagine» (*.img). Seguidamente estes ficheiros *img* foram geo-referenciados em UTM, datum ED50. Esta operação passou pela transformação das coordenadas dos cantos respectivos para UTM e pela utilização de GCP adicionais. A fase seguinte foi a construção de um mosaico constituído por todos os ficheiros geo-referenciados envolvidos, de modo a obter uma cobertura total do estuário do Tejo. Todas estas operações foram executadas recorrendo ao «ERDAS Imagine».

É bastante difícil geo-referenciar uma imagem SAR utilizando uma CNO como referência, dado que o nível de ruído (*speckle*) normalmente presente na imagem radar dificulta a localização de pontos conspícuos. Optou-se pois por outra solução, que passou pela obtenção da 1.^a componente principal (PC1) de cinco imagens ERS-SAR da área de Lisboa. A imagem resultante constitui a imagem média, onde o nível de ruído é substancialmente reduzido. A solução encontrada

para o problema da geo-referenciação das imagens SAR foi assim a seguinte:

- 1) Geo-referenciação da imagem representando a mencionada PC1, usando como referência o mosaico das CNO geo-referenciadas;
- 2) Geo-referenciação das imagens SAR usadas neste projecto, usando como referência a imagem PC1 geo-referenciada.

Na tab. 5 pode ver-se a informação relativa aos GCP utilizados, bem como a respectiva precisão conseguida. As figs. 4 e 5 mostram as imagens SAR geo-referenciadas utilizadas neste projecto.

Dados a geo-referenciar	N.º de GCP	Erro total dos GCP (m)	Dados de referência
CNO 26303	8	2.3	Base de dados de pontos do coordenados IHPT
CNO 26304	9	2.4	
CNO 26305	7	1.2	
CNO 26306	7	2.0	
PC1	9	25.4	CNO
ERS-2, 14Jun1998	17	0.4	PC1
ERS-2, 23Ago1998	19	0.4	

Tab. 5 – Informação sobre os GCP

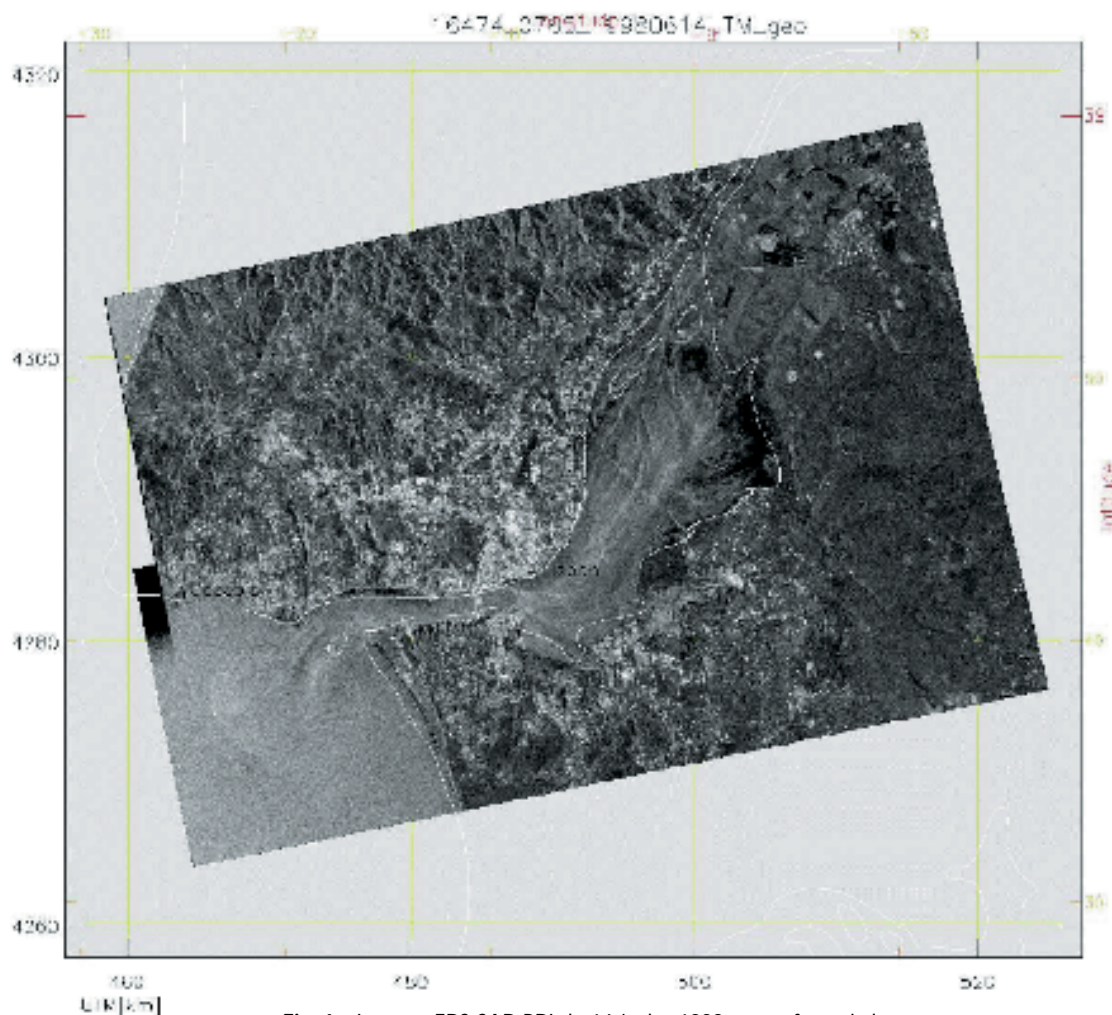


Fig. 4 – Imagem ERS-SAR PRI de 14 Junho 1998, geo-referenciada

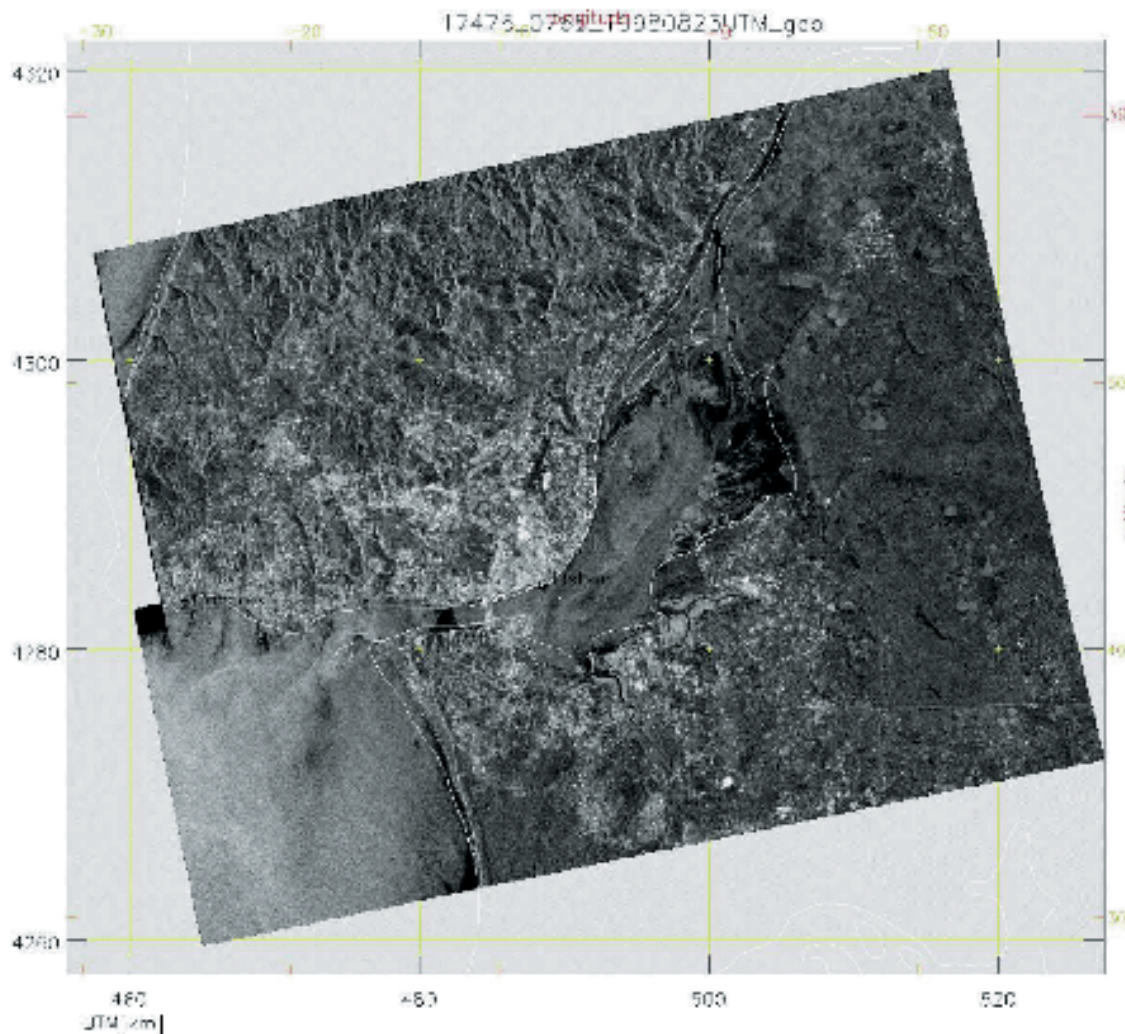


Fig. 5 – Imagem ERS-SAR PRI de 23 Agosto 1998, geo-referenciada

5.3.3 Geração de mapas batimétricos

Utilizando os dados disponíveis, foram gerados pelo BAS dois mapas batimétricos, um para cada imagem ERS-SAR, com a resolução de 50 m. A máxima resolução utilizável está limitada pela resolução espacial das imagens radar, pelo que no caso do ERS-SAR seria possível chegar aos 25 m. O curto período de tempo durante o qual o BAS esteve disponível, associado ao intervalo de tempo necessário para gerar um mapa a 25 m (cerca de 1 dia) e a problemas de software que entretanto ocorreram, obrigaram a adoptar um valor para a resolução superior ao desejável.

Os mapas batimétricos obtidos a partir das imagens ERS-SAR de 14 Junho 1998 e de 23 Agosto 1998 são apresentados nas figs. 6 e 7, respectivamente. Nestes mapas são visíveis em preto as linhas batimétricas dos 0, 2, 5, 10, 15 e 20 m tal como foram geradas pelo BAS. Podem ainda ver-se, em vermelho, as linhas batimétricas digitalizadas a partir da CNO 26306.

5.4 Análise e resultados

5.4.1 Comparação das imagens ERS-SAR

A combinação de condições hidrodinâmicas e meteorológicas era provavelmente mais favorável na altura da recolha da imagem datada de 14 Junho. Existem menos áreas de vento fraco (escuras) e a corrente de maré parece ter maior velocidade. Esta hipótese é sustentada pela constatação da existência de uma área branca ao longo da ponte «Vasco da Gama». Este efeito é possivelmente devido ao resultado da interacção entre a corrente de maré associada à vazante e os pilares da ponte, originando uma zona onde a agitação de superfície é maior que na área envolvente. Estas condições propiciam uma maior reflectividade dos impulsos radar. Na imagem de 23 Agosto este efeito não é visível, o que parece indicar que a velocidade da corrente associada às condições de circulação prevalentes naquela altura (enchente) era inferior.

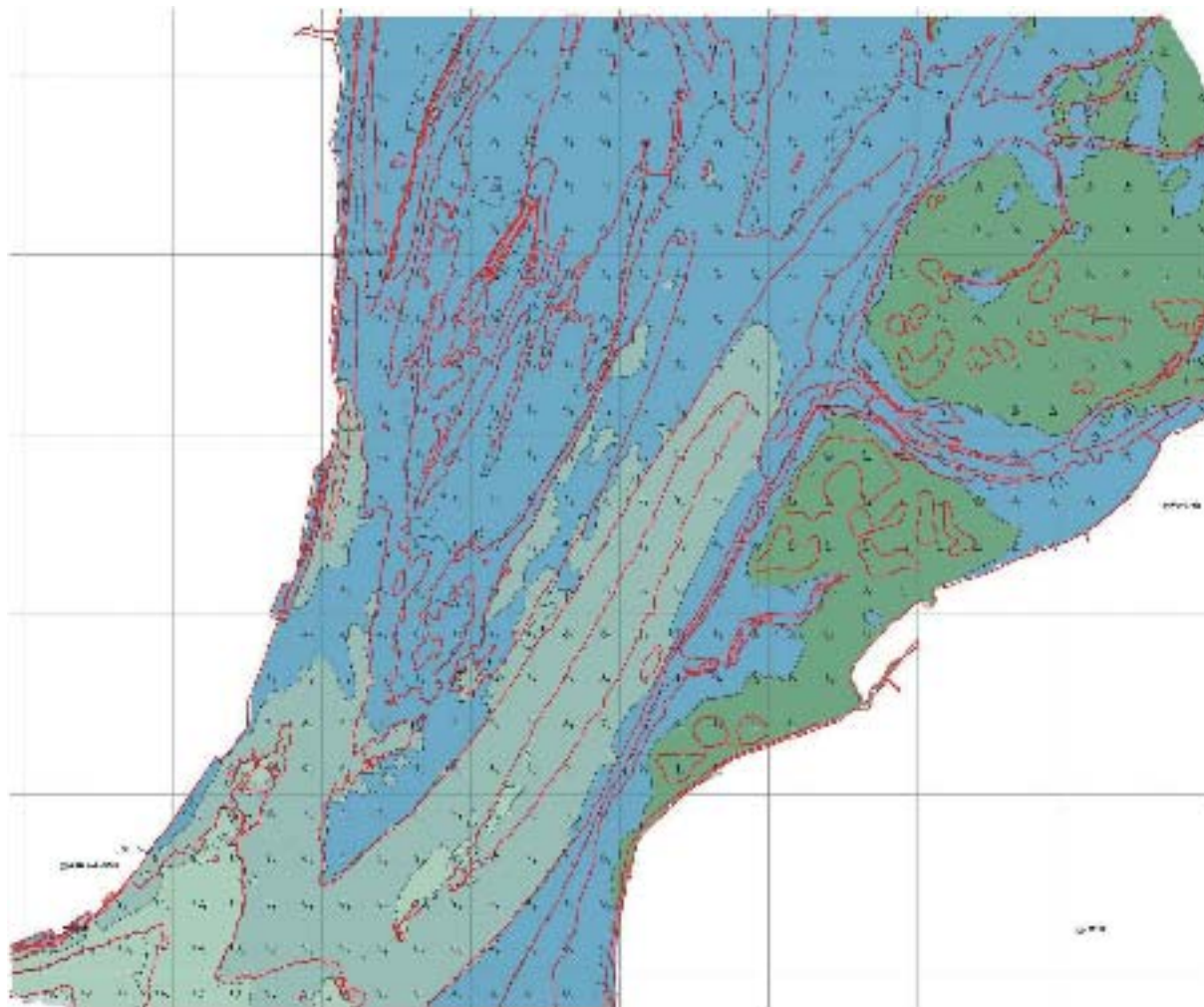


Fig. 6 – Mapa batimétrico gerado pelo BAS a partir da imagem ERS-SAR de 14 Junho 1998

Considerando as condições ambientais observadas na altura da aquisição de cada imagem, era pois previsível que a imagem de 14 Junho pudesse originar um mapa batimétrico com mais detalhe e precisão do que aquele produzido a partir da imagem de 23 Agosto.

5.4.2 *Comparação dos mapas gerados pelo BAS*

Os mapas gerados pelo BAS são bastante semelhantes, tendo as linhas batimétricas o mesmo aspecto geral e localização. O mapa obtido a partir da imagem de 14 Junho apresenta no entanto mais detalhes, devido às condições ambientais mais propícias na altura da aquisição da imagem.

5.4.3 *Comparação dos mapas BAS com as CNO*

Para esta análise foi considerado unicamente o mapa gerado a partir da imagem de 14 Junho. Existe

uma razoável concordância entre este mapa e a CNO 26306. Ocorre no entanto um fenómeno de estima por defeito das sondas ao longo dos canais, ou seja, nestas áreas as profundidades calculadas pelo BAS são inferiores às representadas na CNO.

É previsível que as áreas muito pouco profundas não sejam visíveis de modo correcto nas imagens SAR. Como se sabe, o mecanismo responsável pela formação da imagem baseia-se na interacção entre a circulação da água e a topografia submarina. Se o nível de água for muito baixo, as condições de circulação podem ser inadequadas para a formação da imagem do relevo submarino.

Provavelmente como consequência deste facto, o BAS não consegue calcular de modo correcto a batimetria da zona a leste da «Cala das Barcas» bem como de outras zonas a leste, onde a profundidade é muito baixa.

Foi realizado um estudo estatístico comparando as sondas do mapa gerado pelo BAS com as da CNO, que demonstrou ser possível obter uma precisão de 85 cm com um nível de confiança de 95%.

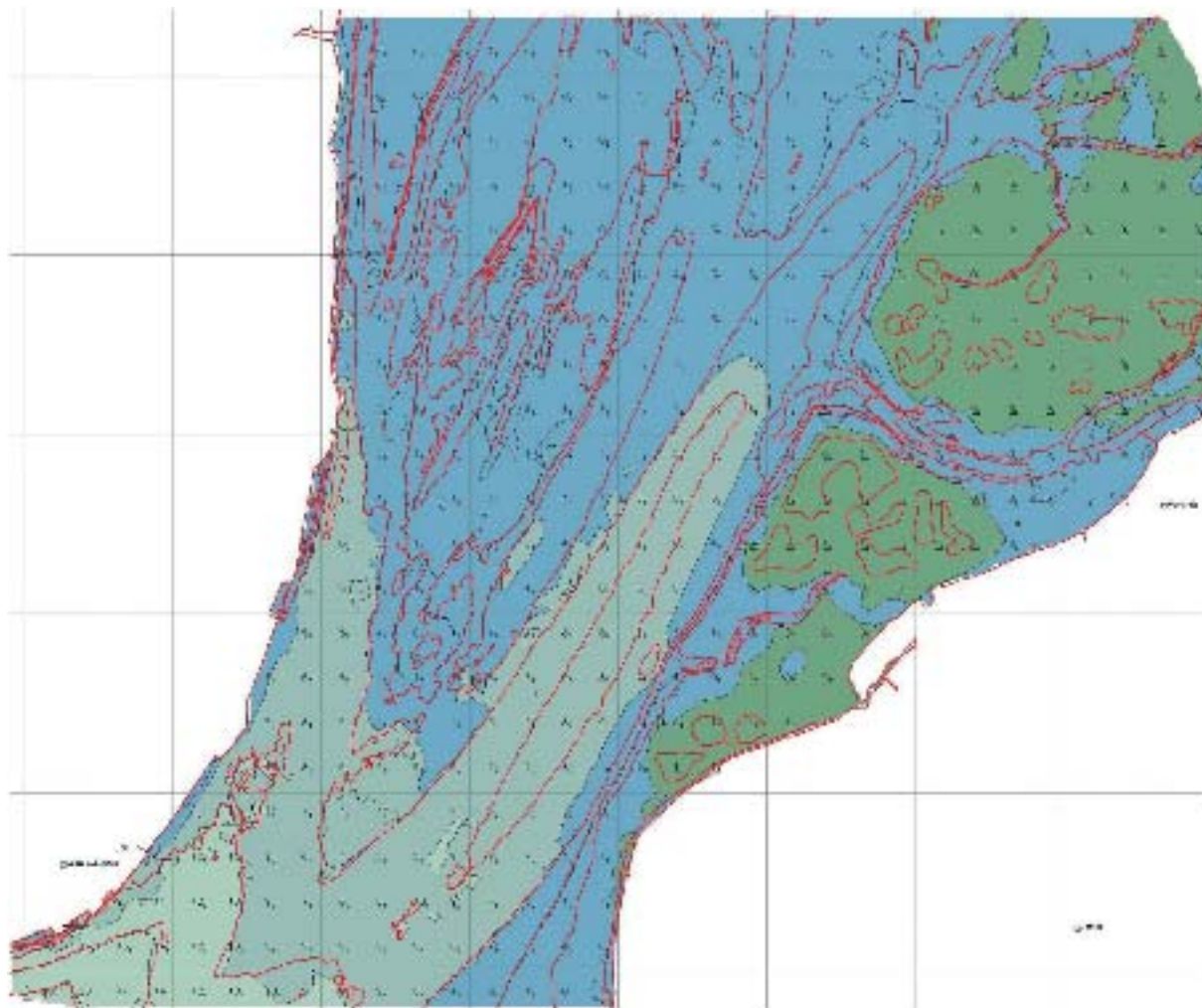


Fig. 7 – Mapa batimétrico gerado pelo BAS a partir da imagem ERS-SAR de 23 Agosto 1998

6. Conclusões

Os resultados obtidos através da utilização conjunta de imagens ERS-SAR e de um número limitado de sondas, aliados à capacidade de processamento proporcionada pelo «Bathymetry Assessment System», são bastante encorajadores. A versão do BAS utilizada foi concebida especificamente para este projecto, de modo a poder ser operada por um não-perito. Possuía pois algumas limitações, nomeadamente no que se refere à capacidade de ajustamento dos modelos matemáticos. Desde então o BAS evoluiu bastante, tendo entretanto estes modelos sido melhorados no sentido de tornar possível o seu ajuste de modo automático.

Atendendo às limitações apontadas, seria pois previsível que não fosse possível estimar com precisão toda a área em estudo. Mesmo assim o resultado global foi bastante positivo, podendo considerar-se que o BAS estima razoavelmente o relevo submarino em águas pouco profundas.

O fenómeno da estima por defeito em algumas áreas pode ser atribuído a vários factores. Aqueles que terão

tido maior peso foram provavelmente a baixa resolução utilizada (50 m) e o facto de o BAS ter sido optimizado para a utilização de sondas de calibração provenientes de fiadas de sondagem. As linhas batimétricas utilizadas possuem propriedades muito diferentes. Neste caso as sondas utilizadas estão limitadas a um pequeno conjunto de valores, dentro dos quais não se regista qualquer variação.

A qualidade das imagens ERS-SAR a utilizar é um factor que afecta sobremaneira a precisão dos mapas gerados pelo BAS. As principais questões a considerar são:

- 1) Identificação das condições hidro-meteorológicas mais favoráveis;
- 2) Análise e classificação dos padrões visíveis nas imagens, distinguindo aqueles que não têm origem no relevo submarino e que poderão eventualmente, pela sua extensão, tornar impeditiva a utilização da imagem SAR.

Os mapas batimétricos produzidos pelo BAS proporcionam uma visão praticamente instantânea de uma

área muito vasta, que pode ser utilizada com os seguintes objectivos:

- a) Confirmação da informação representada nas CNO;
- b) Detecção de áreas em evolução, onde se torna necessário efectuar novos levantamentos hidrográficos;
- c) Primeira aproximação da batimetria de zonas pouco conhecidas.

Bibliografia

- Alpers W. e Hennings I., «A Theory of the Imaging of Underwater Bottom Topography by Real and Synthetic Aperture Radar», *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No C6, pp. 10529-10546, 1984.
- Calkoen C.J., Hesselms G.H.F.M., Wensink G.J. e Vogelzang J., *The Bathymetry Assessment System: Efficient depth mapping in shallow seas using radar images*, ARGOSS, 1999.
- Hesselms G.H.F.M, Wensink G.J., Vernemmen C. e van Cauwenberghe C., *Bathymetry Assessment Demonstration off the Belgian Coast (BABEL)*, ARGOSS, Fevereiro 1999.
- Hesselms G.H.F.M, *Mapping of seabed topography: Theoretical background information*, ARGOSS, 1999.
- Hesselms G.H.F.M. e Robalo J., *Application of the Bathymetry Assessment System in the Tejo estuary using ERS-SAR*, ARGOSS, Junho 1999.
- Lillesand T.M. e Kiefer R.W., *Remote Sensing and Image Interpretation, Third Edition*, J. Wiley and Sons, 1994.
- Robalo J., *Application of ERS-SAR data in shallow-water hydrography*, ESA-ESRIN, Setembro 1999.
- Robalo J., *The imaging of bridges using ERS-SAR – Tejo estuary as a case study*, ESA-ESRIN, Setembro 1999.
- Shuchman R.A., Lyzenga D.R. e Meadows G.A., «Synthetic aperture radar imaging of ocean-bottom topography via tidal-current interactions: theory and observations», *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6, No. 7, pp. 1179-1200, 1985.

Contributos do Instituto Hidrográfico para a optimização dos VTS

Comunicação proferida nas Jornadas Técnicas «VTS, por uma navegação mais segura» (8 e 9 de Novembro de 2000)

Sardinha Monteiro

PRIMEIRO-TENENTE ESPECIALIZADO EM NAVEGAÇÃO

Resumo A preocupação com a segurança marítima e a segurança da navegação têm aumentado muito nos últimos anos. A opinião pública está cada vez mais sensível e atenta aos acidentes marítimos e aos seus efeitos sobre o meio ambiente.

Com vista a melhorar a segurança da navegação nas águas Portuguesas, contribuindo para a redução do número de acidentes marítimos, estão a ser implementados em Portugal *Vessel Traffic Services* (VTS). A sua finalidade, tal como consta da Resolução A.857(20) da Organização Marítima Internacional, é melhorar a segurança e a eficiência da navegação, salvar vidas humanas no mar e proteger o ambiente marítimo e/ou as áreas costeiras dos possíveis efeitos adversos decorrentes do tráfego marítimo.

Esta Resolução, que é a base legal primordial de todos os VTS, não especifica quais os equipamentos e/ou sistemas que devem compor um VTS¹, embora todos tenham por base um conjunto de radares e sistemas de comunicações, geralmente em VHF.

No entanto, o eficaz funcionamento dos VTS requer também a existência de um sistema de posicionamento muito exacto, que impeça as autoridades VTS e os navios utilizadores, de usarem posições erradas que podem comprometer a segurança da navegação e levar a acidentes marítimos.

Além disso, a optimização dos VTS requer a visualização do tráfego em combinação com a geografia da área portuária. Só assim o VTS poderá executar os serviços que lhe competem, nomeadamente providenciar assistência na navegação e organizar o tráfego. As Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais são a base geográfica ideal, sobre a qual devem funcionar os VTS.

Assim, o Instituto Hidrográfico (IH) tem-se empenhado em dois projectos bastante importantes que muito poderão contribuir para a optimização dos VTS nacionais:

- a instalação de estações *Differential GPS* (DGPS) em Portugal, destinadas a fornecer um serviço público de radionavegação extremamente preciso nas nossas águas costeiras e portuárias e;
- a produção de Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, que poderão constituir a base de dados geográfica dos VTS.

Abstract *Concern about maritime safety and safety of navigation has increased significantly in the last years. Public opinion is increasingly preoccupied with marine accidents and their effect on the environment.*

In order to improve the safety of navigation in Portuguese waters and contribute to reduce maritime accidents, Portugal is implementing Vessel Traffic Services (VTS). Their purpose, as stated in Resolution A.857(20) of the International Maritime Organisation, is to improve the safety and efficiency of vessel traffic and to protect the environment.

This Resolution, which is the primary legal base of all VTS's, does not specify the equipment and/or systems that should integrate a VTS², but generally they are composed of a radar network and a communications network, usually in VHF.

However, the efficient operation of VTS's requires also a very accurate positioning system, in order to keep VTS authorities and user ships from using wrong positions, which may compromise safety of navigation and lead to accidents.

Optimising VTS's requires also visualization of traffic in combination with the geography of the harbour and coastal areas. Only with such a geographic reference, VTS's will be able to perform their tasks, namely navigational assistance and traffic organization services. Electronic Navigational Charts are the ideal geographic base of VTS's.

The Portuguese Hydrographic Office has been working on two projects, which may contribute to optimise Portuguese VTS:

- *installation of Differential GPS (DGPS) stations in Portugal, designed to provide a public radionavigation service of high accuracy in coastal and pilotage waters;*
- *production of Electronic Navigational Charts, which may constitute the geographic data base of VTS's.*

¹ A Resolução A.857(20) estabelece apenas que: «a VTS organization requires adequate staff, housing, instrumentation and procedures governing operations and interactions between the various elements» (Parágrafo 2.5.1).

² Resolution A.857(20) states only that: «a VTS organization requires adequate staff, housing, instrumentation and procedures governing operations and interactions between the various elements» (Paragraph 2.5.1).

1. A importância de um posicionamento muito exacto

O objectivo principal dos VTS é o de melhorar a segurança da navegação, evitando acidentes marítimos, penalizadores não só para o meio ambiente como também para os cofres do Estado. No entanto, para que esse objectivo seja plenamente conseguido é necessário que os VTS beneficiem de um sistema de posicionamento muito rigoroso, que permita aos navios e às autoridades VTS saber sempre a posição exacta dos navios. O posicionamento incorrecto é a principal causa de inúmeros acidentes.

Recorde-se o acidente do *Exxon Valdez*, em 1989, que provocou danos irreversíveis e prejuízos na ordem dos 480 milhões de contos. Este acidente, que terá sido o mais grave da história, provocou um derrame de aproximadamente 42 milhões de litros de crude, sendo responsável pela morte de cerca de 250 mil aves, 5300 mamíferos e um número desconhecido de peixes. Este, tal como muitos outros acidentes, resultou de um erro de posicionamento, já que o navio após sair da sua rota para evitar icebergues acabou por colidir nos rochedos de Bligh (estreito do Alaska).

Em águas Portuguesas nunca aconteceu um acidente destas dimensões mas sucedem-se, ano após ano, acidentes e incidentes de gravidade variável. A Direcção Geral de Marinha possui registos, desde 1971, dos acidentes e incidentes geradores de poluição ocorridos nos espaços marítimos sob jurisdição nacional. Os valores totais são de certa forma preocupantes, tendo-se atingido um máximo de 132 acidentes/incidentes de poluição em 1990. Muitos deles deveram-se a erros de navegação e falhas no posicionamento.

Os serviços cometidos aos VTS, nomeadamente o serviço de informação (que inclui relatos da posição e identificação de outros navios), o serviço de assistência na navegação e o serviço de organização do tráfego, só poderão ser optimizados se se souber com grande exactidão a posição de todos os navios na área VTS. Essa posição, derivada preferencialmente do sistema DGPS, é depois transmitida pelos *transponders* denominados AIS (*Automatic Identification Systems*), os quais vão passar a ser obrigatórios a partir de 2002. Mas se a posição do navio estiver errada então a posição que está a aparecer, automaticamente, no sistema VTS e no display dos outros navios também está incorrecta. E trabalhando com base em informação incorrecta será sempre difícil obter, no fim, bons resultados.

2. Conceito do DGPS

O conceito do DGPS é bastante simples e semelhante ao que era usado no OMEGA diferencial. Coloca-se uma estação de referência num local de coordenadas

perfeitamente conhecidas e comparando essa posição com a posição obtida pelo sistema GPS podem-se gerar correcções. Essas correcções são radiodifundidas para os utilizadores nas proximidades por forma a que eles possam melhorar a exactidão das suas soluções de posicionamento.

O DGPS permite melhorar a exactidão do GPS de um valor teórico de poucas dezenas de metros, para valores inferiores a 3 metros. Na prática, têm-se obtido resultados muito bons com o DGPS: o *Federal Radionavigation Plan – 1996* refere que «operações no terreno estão a atingir exactidões na ordem de 1 m» e o *Proposed Baseline European Radionavigation Plan* afirma que «testes [com DGPS] mostraram exactidões de 1 m».

Em Portugal foram feitos testes a partir de duas estações experimentais, montadas pelo IH (com material cedido a título de empréstimo por firmas do sector), no Cabo Espichel e no Cabo Carvoeiro e que já foram desmontadas. Nos testes e experiências realizados com essas duas estações, durante o ano de 1999, a média dos erros das posições diferenciais observadas foi de 3,2 m (95%), o que é um bom resultado, sobretudo por se tratar de estações experimentais. Em termos de cobertura, conseguiram-se alcances na ordem das 300 a 350 milhas.

Para os navegantes marítimos os benefícios do DGPS não se esgotam na melhoria de exactidão. Outra das vantagens mais significativas do DGPS reside no facto de garantir uma boa integridade aos utilizadores. Abro aqui um parêntesis para definir integridade, que é a qualidade que indica a confiança que se pode ter na informação fornecida por um sistema de radionavegação. A integridade, que é uma qualidade essencial em navegação, inclui a capacidade do sistema de providenciar avisos atempados aos utilizadores quando o sistema não dever ser usado para navegação.

O sistema GPS não possui qualquer forma de avisar, em tempo real, os utilizadores de avarias nos satélites ou outras falhas no sistema, as quais poderão consistir na degradação da performance do GPS, implementada deliberada e inopinadamente pelas autoridades Norte-americanas, em caso de escalada de tensão, conflito ou outra situação em que tal seja julgado necessário. O Departamento de Defesa dos EUA reserva-se ao direito de, em caso de crise ou conflito, degradar a exactidão do GPS, ou mesmo desligar o Serviço de Posicionamento Padrão, sem qualquer aviso prévio. Em tempo de paz qualquer interrupção do Serviço será divulgada com uma antecedência de apenas 48 horas.

A utilização de estações DGPS – que monitorizam, 24 horas por dia, a qualidade dos sinais GPS – permite notificar os utilizadores, na mesma área, de qualquer falha em menos de 5 segundos. As estações DGPS poderão, inclusive, corrigir o erro de posicionamento decorrente dessa avaria ou falha. Este aspecto é essencial para

qualquer navio que esteja a navegar em águas críticas (como o são todas as áreas onde estão instalados VTS) e que não pode estar sujeito a que a posição GPS dada pelo seu receptor esteja incorrecta, sem o saber.

3. Projecto de instalação de estações DGPS em Portugal

O IH elaborou um projecto de instalação de estações destinadas a transmitir correcções DGPS na frequência dos radiofaróis marítimos, ou seja em LF/MF. Esse projecto de instalação de estações DGPS em Portugal prevê:

- a instalação de uma estação de controlo em Lisboa;
- a instalação de duas estações DGPS em Portugal Continental, uma no Cabo de Sagres e outra no Cabo Carvoeiro;
- a instalação de uma Estação DGPS no Arquipélago dos Açores (Horta);
- a instalação de uma Estação DGPS no Arquipélago da Madeira (Porto Santo).

A fig. 1 mostra a previsão de cobertura para o Continente, considerando duas estações DGPS instaladas nos Cabos Carvoeiro e Sagres. Esta arquitectura conse-

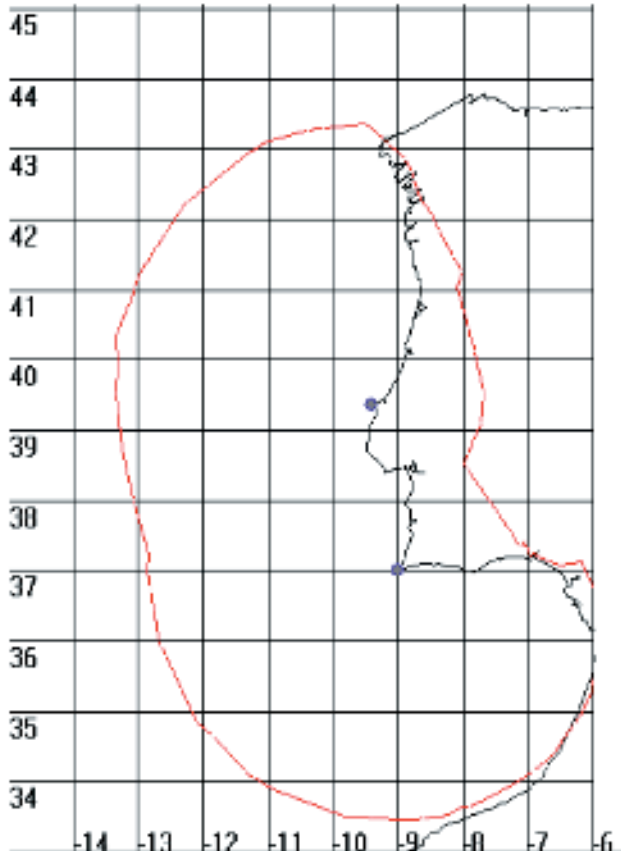


Fig. 1 – Diagrama de cobertura previsto para Portugal Continental

guirá cobrir não só toda a área costeira até uma distância de 200 milhas de costa, como também todos os principais portos nacionais, onde vão ser instalados VTS portuários. Desta forma, tanto o VTS costeiro como os VTS portuários poderão beneficiar deste sistema de posicionamento extremamente exacto e de grande confiança.

Actualmente, Portugal é o único país Europeu com costa Atlântica que ainda não possui estações DGPS, transmitindo em LF/MF, na banda dos radiofaróis marítimos.

A instalação de estações DGPS em Portugal tornou-se ainda mais premente a partir do momento em que foram desligados os radiofaróis marítimos Portugueses. Recorde-se que os radiofaróis caíram totalmente em desuso e deixaram de ser usados pelos navegantes, pelo que foram desligados, em Portugal, tal como em quase todo o Mundo, em 31 de Dezembro de 2000, passando as suas frequências a ficar atribuídas à radiodifusão de correcções DGPS. Assim, Portugal deixou de possuir qualquer sistema de radionavegação de base terrestre utilizável nas suas águas, aumentando a necessidade de instalar estações DGPS.

Alguns VTS portuários, instalados na Europa dispõem de transmissores de DGPS em VHF. No entanto, estes sistemas, em VHF, possuem curto alcance (entre 40 a 50 milhas) e não substituem a transmissão de correcções DGPS na banda dos radiofaróis marítimos, tal como acontece por essa Europa fora.

Além do seu curto alcance, a transmissão de correcções DGPS em VHF tem ainda a desvantagem de não corresponder ao método padrão de difusão de correcções diferenciais.

A transmissão das correcções diferenciais em LF/MF, na banda dos radiofaróis, tornou-se, desde que os Estados Unidos instalaram, em 1992, as primeiras estações DGPS nessa banda de frequências, o sistema padrão a nível mundial, reconhecido como tal pela *International Telecommunications Union*³ (ITU) e pela *International Association of Lighthouse Authorities*⁴ (IALA). Actualmente, mais de 30 países já possuem estações DGPS, transmitindo em LF/MF, na frequência dos radiofaróis marítimos, conforme se pode ver na fig. 2. Assim, é este tipo de receptores que está a ser instalado na maior parte dos navios, incluindo aqueles que cruzam as nossas águas. Dessa forma, a opção mais adequada consistirá em aderir a um serviço reconhecido mundialmente como o padrão para a navegação marítima e já implementado em praticamente todos os países desenvolvidos.

³ Recomendação ITU-R M.823-1 – «*Technical characteristics of differential transmissions for Global Navigation Satellite Systems from maritime radio beacons in the frequency band 283.5-315 KHz in region 1 and 285-325 KHz in regions 2 and 3*» (1996).

⁴ «*IALA Guidelines for the performance and monitoring of a DGNSS service in the band 283.5-325 KHz*» – Março 1999.



Fig. 2 – Estações DGPS declaradas operacionais em Maio de 1999

Assim, se a instalação de estações DGPS em VHF nos VTS portuários ainda se poderá aceitar, embora não corresponda, na minha opinião, à melhor solução, pois os navios não estão normalmente equipados com receptores para o efeito, já a instalação dessas estações no âmbito de um VTS costeiro é completamente desaconselhada dado o seu curto alcance, incompatível com as necessidades de um VTS costeiro.

4. Desenvolvimento das cartas electrónicas

Além do empenhamento neste projecto de instalação de estações DGPS em Portugal, o IH está também a acompanhar a revolução em curso com a introdução na navegação marítima de cartas electrónicas, que podem ser lidas num *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS), constituindo uma mais valia extraordinária para os navegantes.

As cartas electrónicas em formato vector são construídas em camadas de informação sobrepostas. Isso permite ao operador seleccionar e usar apenas a informação julgada necessária. As cartas em formato vector possuem, assim, o que se pode designar por inteligência «embebida» pois permitem imputar variados atributos a cada entidade, definida espacialmente pelas suas coordenadas geográficas. As cartas electrónicas em formato vector constituem, assim, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que abre a porta a toda uma nova gama de aplicações, como por exemplo a utilização a bordo de

navios, em substituição das cartas de papel, e a utilização em VTS, como base para a apresentação e tratamento de toda a informação que aí circula.

Relativamente ao emprego a bordo, a Organização Marítima Internacional estabeleceu que, quando lidas e apresentadas num ECDIS, as Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais «podem ser aceites como sendo equivalentes às cartas náuticas actualizadas requeridas pela Regra V/20 da Convenção SOLAS de 1974»⁵. Mas importa referir que para que tal aconteça, essas cartas têm que ser Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, o que implica estarem no formato S-57 – 3.ª edição e serem publicadas por, ou sob autorização de, uma organização hidrográfica governamental. Ou seja, para as águas Portuguesas só as cartas electrónicas produzidas pelo IH são reconhecidas pela Organização Marítima Internacional, que é também a entidade que supervisiona os VTS.

Além disso, a Organização Marítima Internacional obriga a que o equipamento de visualização dessas cartas, ou seja o ECDIS, cumpra um conjunto de requisitos, definidos pela Comissão Electrotécnica Internacional⁶.

Relativamente aos ECDIS para utilização nos VTS, ainda não existe um standard rígido, embora o projecto COMFORTABLE da União Europeia tenha vindo a

⁵ Resolução A.817 – «Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems» (23 de Novembro de 1995) – Anexo, Parágrafo 1.2.

⁶ Resolução CEI 61174 – «ECDIS – Operational and performance standards, methods of testing and required test results» – 1998.

desenvolver as funcionalidades requeridas aos ECDIS para utilização nos VTS.

De qualquer maneira, independentemente das funcionalidades específicas dos ECDIS para VTS, eles deverão funcionar preferencialmente com Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, pois só essas são permanentemente actualizadas e corrigidas através de Avisos à Navegação e Avisos aos Navegantes, difundidos pelo IH, que é o membro nacional do *World Wide Navigational Warning Service*. Não se crê que qualquer fabricante privado de cartas electrónicas consiga garantir a sua actualização com a celeridade necessária à salvaguarda da segurança da navegação numa área VTS.

A utilização das Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, como referência geográfica primária, permite otimizar a performance do VTS, tirando partido de todas as potencialidades de um produto oficialmente reconhecido pela Organização Marítima Internacional e pela Organização Hidrográfica Internacional.

O formato vectorizado dessas cartas, em que os dados são apresentados por camadas, permite adicionar ou remover informação conforme as necessidades do operador VTS, o qual poderá, também, sobrepor à imagem da carta electrónica a imagem dos radares que compõem o sistema VTS. Esta sobreposição possibilita uma verificação da exactidão da posição do navio (através da comparação da posição de pontos conspícuos na carta com a posição dos seus ecos radar/ARPA) e facilita a realização das tarefas de organização do tráfego e anti-colisão.

A informação geográfica das cartas electrónicas pode ser também aplicada para outros fins, relacionados com a gestão portuária, gestão de espaços, planeamento de novas infra-estruturas, etc.

Além disso, as Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, devido à sua natureza digital, podem ser integradas com variados sistemas/equipamentos, nomeadamente com todos aqueles que constituam um VTS (radares costeiros, AIS instalados nos navios utilizadores do VTS, receptores DGPS desses navios, etc).

A utilização do mesmo *background* geográfico, designadamente Cartas Electrónica de Navegação Oficiais, tanto no VTS como nos navios utilizadores permitirá melhorar significativamente a capacidade do VTS proporcionar os serviços para os quais está destinado, nomeadamente os serviços de assistência na navegação e de organização de tráfego.

Em 1996, a *European Harbour Masters Association*, que congrega as autoridades portuárias Europeias, assumiu uma posição muito favorável à utilização de cartas electrónicas e ECDIS em áreas portuárias e, nomeadamente, naquelas já servidas por VTS, defendendo o uso, nos sistemas VTS, de equipamentos tipo-ECDIS juntamente com Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, que contenham a mesma informação do porto e das aproximações portuárias que é mostrada nos

navios equipados com ECDIS navegando na área VTS.

Sendo o ECDIS um equipamento projectado para utilização a bordo, o que a *European Harbour Masters Association* defende é a utilização de um equipamento semelhante nos VTS, que use as mesmíssimas Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais que são utilizadas a bordo, e que são produzidas, em Portugal, no IH.

O IH está empenhado desde há alguns anos na produção de Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, tendo já produzido diversas células do porto de Lisboa e da área costeira de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores.

5. Conclusão

Como conclusão, pretendo realçar que estes projectos, de instalação de estações DGPS costeiras em Portugal e de implementação das Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais, poderão contribuir definitivamente para otimizar a performance dos VTS, contribuindo para uma melhor consecução dos objectivos propostos.

Esses objectivos incluem o controlo de actividades ilícitas e a supervisão das actividades de pesca nas nossas águas. Para cumprir estes dois objectivos é necessário possuir uma rede de radares, como aquela que está prevista para o VTS costeiro, pois os navios infractores não cooperam, por regra, com as autoridades e não se poderá esperar deles que usem transponders AIS, como aqueles que vão passar a ser obrigatórios em todo o Mundo a partir de 2002.

No entanto, o VTS Português tem ainda outros objectivos, como melhorar a segurança da navegação, reduzir a possibilidade de ocorrência de acidentes marítimos e melhorar a busca e salvamento na nossa costa. Para otimizar a performance nestes aspectos, é importante proporcionar aos navios que cruzam as nossas águas um serviço de radioposicionamento muito preciso. Até porque a maior parte do tráfego marítimo que navega nas águas Portuguesas é constituída por navios legais, os quais passarão a usar obrigatoriamente um transponder AIS que transmitirá, entre outras coisas a sua posição. Quanto mais exacta for essa posição melhores serão os resultados do VTS, pois ao darmos aos navios a possibilidade de eles obterem a sua posição com grande exactidão, estaremos a reduzir significativamente os riscos de esses navios poderem, por erro de navegação próprio, encalhar ou sofrer outro acidente, que possa danificar irreversivelmente o meio ambiente marinho. Além disso, se esse navios tiverem uma emergência, o DGPS permitir-lhes-á transmitir a posição em que se encontram com um rigor de 1 metro, facilitando assim as operações de busca e salvamento.

A navegação marítima tem mudado muito, com um crescente número de navios, navegando a velocidades

cada vez maiores. Foi para fazer face a esses desafios que foram desenvolvidos os VTS, a partir dos anos 50. Nessa altura, o radar era a grande inovação e foi com base nele que os VTS começaram a operar. Agora, quase 50 anos volvidos sobre os primeiros VTS, novas tecnologias inovadoras estão a revolucionar a forma de encarar a navegação marítima, nomeadamente aquelas a que aqui mais me referi: DGPS, transponders AIS e Cartas Electrónicas de Navegação Oficiais.

Parecer-me-ia, pois, desadequado que o VTS Português, a par de uma boa rede de radares e de um bom sistema de comunicações, não apostasse nessas novas tecnologias. Penso mesmo que a não integração de estações DGPS no nosso VTS e a não adopção de CENO, seriam oportunidades perdidas para nos colocarmos lado a lado com os restantes países Europeus em termos de eficácia do controlo de tráfego, redução dos acidentes marítimos e protecção do meio ambiente marinho.

A Programação Orientada por Objectos (O-O) na Construção de uma Carta Electrónica de Navegação Oficial, S-57/3

Varela Pais

CAPITÃO-TENENTE ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO

Resumo A Carta Electrónica de Navegação Oficial (CENO) S-57/3 é um novo produto digital para navegação náutica, em produção no Instituto Hidrográfico, cuja estrutura de dados obedece às normas internacionais para transferência de dados hidrográficos. As regras de modelação e codificação da informação existente nas cartas náuticas encontram-se contidas na publicação da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) «Special Publication number 57, edition 3» com a designação: *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*.

As normas S-57/3, publicadas em 1996 pela OHI [IHO, 1996], são o resultado final de cerca de 9 anos de debate e evolução na área dos Sistemas de Informação Marítima e contém as Normas de Transferência, um Modelo de Dados, um Catálogo de Objectos e a Especificação para Produção de CENO. Este documento, desenhado com base numa estrutura Orientada por Objectos (O-O), apresenta como uma das vantagens em relação aos métodos tradicionais de codificação, uma facilidade intrínseca na correcção e manutenção dos dados.

Abstract *The Electronic Navigational Chart (ENC) S-57/3 is a digital product for the maritime navigation, currently being produced by the Hydrographic Institute, whose data structure is in accordance with the international standard for the hydrographic data transfer. The encoding and modeling rules of the hydrographic information within the nautical charts are published in the document of the International Hydrographic Organization (IHO), "IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data", Special Publication Number 57, edition 3.*

The S-57/3 standard was published in 1996 by the IHO [IHO, 1996] and it is the result of more than 9 years of debate and discussion in the field of Maritime Information Systems. The standard contains a Transfer Standard, a Data Model, Catalogue of Objects and an ENC Product Specification. This document was structured based in the Object-Oriented technology (O-O), which means a real advantage on the maintenance and updating of the data.

1. Introdução

O conceito de programação Orientada por Objectos encontra-se em desenvolvimento e aplicação no mundo das linguagens de programação nos últimos dez anos. Este conceito permite que os utilizadores melhor possam descrever os objectos do mundo real e a sua relação entre os mesmos dentro dos constrangimentos das linguagens de programação. Existe uma concordância geral de que as bases de dados relacionais poderão ser inadequadas para se modelar a complexa informação espacial num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Uma das soluções para este problema é a expansão das capacidades de uma base de dados relacional, sendo a segunda a utilização do conceito O-O.

Num Sistema de Gestão de Base de Dados Relacionais (SGBDR ou RDBMS) é possível efectuar com

sucesso a manutenção dos atributos dos dados, mas os dados geométricos estão organizados e são manipulados usando arquitecturas de ficheiros de uma forma convencional.

Estas Bases de Dados convencionais foram desenvolvidas com a finalidade de suportar grandes volumes de dados bem estruturados e curtas funções sobre os mesmos, pelo que em diversas ocasiões podem ter insucesso quando aplicadas a informação com estruturas mais complexas, como as desenhadas para aplicações de conteúdo espacial.

Apesar da maioria das vantagens relacionadas com a tecnologia baseada em O-O ser relevante no desenvolvimento de sistemas, o utilizador beneficia na prática da existência de sistemas mais poderosos.

A modelação do mundo real com O-O na hidrografia permite uma integração simples de informação

Vector-Raster uma vez que um objecto pode encerrar geometria múltipla [Hardy, 1996].

Um exemplo deste benefício na construção da CENO S-57/3, é o facto de que o objecto náutico pode ser codificado como área ou linha, e a sua representação geométrica assumir, dependendo da escala de visualização, a geometria mais correcta para o utilizador.

2. Interface e Implementação

A função de uma linguagem de programação é o de facilitar o processo de criação de programas. A linguagem deve concretizar as ideias em instruções pela codificação das abstracções, revelando o funcionamento do mundo real. Tal como o mecanismo do relógio se encontra escondido do utilizador, também todas as linguagens de programação oferecem um certo grau de abstracção no agrupamento dos detalhes da implementação, cobrindo e escondendo estes sob um interface comum.

Em engenharia, a modelação exige que o conjunto de Dados, Estrutura e Algoritmo, estejam juntos na proporção e relações correctas. A diferença entre a tecnologia relacional e O-O é o facto de que enquanto a primeira suporta um modelo com Dados e Estrutura, deixando o Algoritmo no exterior ao nível da aplicação, a O-O incorpora o Algoritmo no modelo agrupando-os como um objecto [Woodsford, 1996].

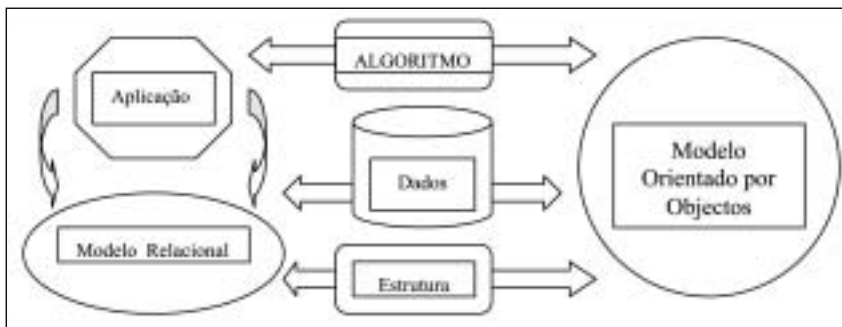


Fig. 1 — A arquitectura do modelo relacional e O-O

3. O modelo de Objectos

Na teoria da Modelação por Objectos, um objecto é um grupo de funções que se relacionam e uma estrutura de dados usada por essas funções. As funções são os *métodos* de um objecto sendo os *atributos* os campos da sua estrutura de dados.

A computação é efectuada por uma acção solicitada a um objecto específico, uma mensagem, exibindo o objecto o seu comportamento ou operação, invocando

um método em resposta a uma mensagem. Assim sendo, um programa consiste numa rede de objectos ligados entre si que comunicam por mensagens para a resolução de um problema.

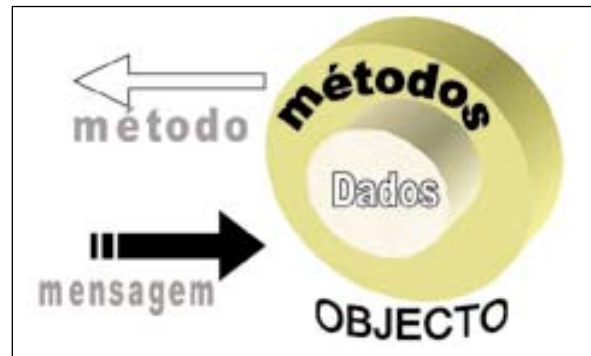


Fig. 2 — Objectos são um conjunto de Dados e Métodos

4. O Significado de O-O em SIG

A recolha de informação hidrográfica representa um custo muito elevado, exige grande esforço em meios humanos, e a alternativa de conversão de dados entre dois sistemas nem sempre representa uma solução de fácil concretização. A necessidade premente de troca de dados entre os produtores oficiais de informação náutica foi o ponto de partida para a junção de esforços entre a

Organização Hidrográfica Internacional (OHI) a Organização Marítima Internacional (OMI) e as empresas de *software* tendo como objectivo compilar e editar as normas para a existência de um formato único para a transferência de dados. Após nove anos de debates e evolução em torno de um documento final, foram finalmente publicadas em 1996 as normas da OHI para «Transferência de Dados Digitais para a Informação Hidrográfica», ou simplesmente S-57/3 (edição 3). Estas normas, a

que o Instituto Hidrográfico e os seus congéneres da OHI, os produtores da informação cartográfica oficial, obedecem, são estruturadas na complexa tecnologia O-O, o que envolve um grande esforço na formação de recursos humanos altamente qualificados, especialmente no que diz respeito ao extenso e completo controlo da qualidade dos dados. Um *Electronic Chart Display and Information System* (ECDIS), é um sistema de navegação baseado em computador e derivado da tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica. O ECDIS compreende um conjunto de equipamentos *Hardware e Software* cujas operações oferecidas ao navegador são efectuada sobre uma base de dados hidrográficos, com a informação tipicamente de SIG, disposta em camadas, no formato normalizado S-57/3.

A arquitectura de S-57/3, e da publicação oficial da OHI que contém uma livreria de símbolos e cores associadas aos objectos (S-52), baseia-se no conceito O-O, não só pelas vantagens apresentadas pela modelação que aproxima os objectos no mundo real da codificação em computador, mas principalmente pela facilidade de integração de dados *Raster-Vector*, uma vez que um objecto pode assumir geometrias múltiplas e diferentes. De facto, neste conceito, não existe distinção entre a geometria e outros atributos tradicionais dos dados em SIG. A modelação é centrada no objecto e não na geometria.

Um exemplo dos benefícios do conceito O-O na construção de uma Carta Electrónica é o facto de que para uma mesma mensagem – *visualizar* – diferentes geometrias poderem ser apresentadas para o mesmo objecto.

No exemplo da figura 3 um objecto «RIO» pode ser visualizado com diferentes geometrias, linha ou área, dependendo da escala seleccionada pelo utilizador.

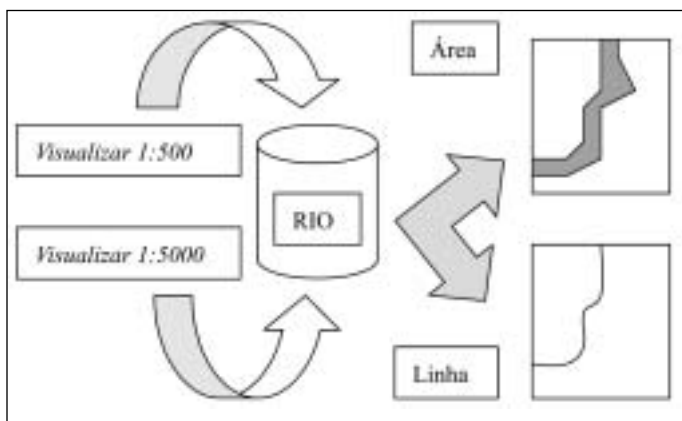


Fig. 3 – Em O-O, o mesmo método, dependendo da escala, permite que um objecto possa ser visualizado com diferentes geometrias

5. A aplicação de O-O no modelo S-57/3

Na alínea anterior foi apresentado o conceito O-O. Um exemplo de uma aplicação O-O é a norma S-57/3. Esta norma define quais os objectos que devem ser usados (biblioteca hidrográfica), bem como os objectos específicos, as relações e constrangimentos, num Produto Específico ou *ENC Product Specification*, a especificação para a produção de CENO.

Um objecto em S-57/3 é a representação de uma entidade do mundo real tal como uma bóia, um cais ou a linha de costa. Os objectos também podem descrever meta informação sobre outros objectos ou simplesmente representar uma colecção de múltiplos objectos que partilham uma mesma relação entre si.

O modelo S-57/3 codifica os objectos, de acordo com o seu significado no mundo real, como instâncias

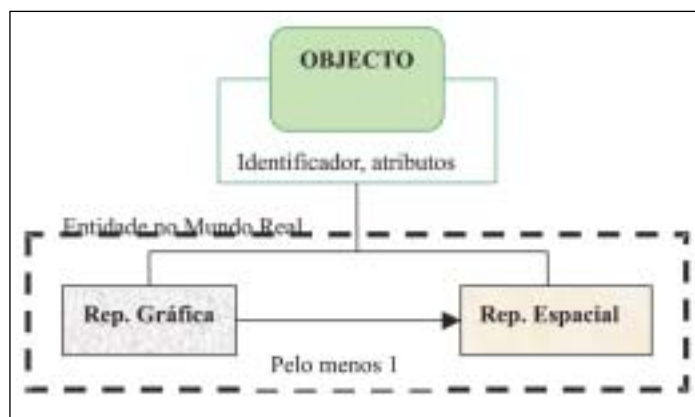


Fig. 4 – O modelo de dados em S-57/3

de classes de objectos. Por exemplo, o acrónimo ACHARE define uma área de fundeadouro da classe de objectos «Área de Fundeadouro» enquanto BOYCAR é a designação do objecto para uma bóia pertencendo à classe de objectos «Bóia, Cardinal». Para facilitar a descrição das características não espaciais dos objectos



Fig. 5 – CENO PT324202 «Aveiro a Peniche»

(Representação Gráfica) o modelo define quatro segmentos diferenciados de objectos:

- 1 – Meta objectos que contém informação relativa a outros objectos, incluindo a qualidade dos dados e a escala de compilação da carta;
- 2 – Cartográficos, que contém informação relativa à representação cartográfica;
- 3 – Geo objectos que descrevem as características do mundo real;
- 4 – Colecção de objectos, que descrevem relações entre objectos.

A Representação Espacial dos objectos contém a geometria usada pela sua Representação Gráfica, sendo obrigatoriamente do tipo vector. Os objectos espaciais expressos em vector podem ter zero, uma ou duas dimensões, implementados como nodos, linhas ou faces enquanto que a terceira dimensão é representada sob a forma de um atributo do objecto (exemplo, a sonda). As relações topológicas são implementadas sob o conceito de *Chain Node* em que a geometria coincidente é proibida para efeitos de optimização visual no ECDIS.

6. Conclusões

A CENO S-57/3 produzida pelo Instituto Hidrográfico, é já considerada segundo as normas internacionais como o equivalente da Carta Náutica Oficial de Papel (CNO). As funcionalidades intrínsecas derivadas da tecnologia dos SIG associada a uma arquitectura Orientada por Objectos oferece ao navegador as ferramentas de visualização e apoio à decisão na manobra do navio e no

planeamento de acções preventivas e de controlo do tráfego (exemplo do VTS – *Vessel Traffic System*).

A arquitectura O-O garante as funcionalidades necessárias a um produto com esta especificidade, nomeadamente a multi-visualização geométrica de um mesmo objecto e a facilidade na actualização dos dados.

Bibliografia

- Edwards, J. (1993). «Computer Utilization of Digitized Nautical Chart Data». *Proceedings of the Second Annual Conference and Exposition for Electronic Chart Display and Information Systems ECDIS 93*, Março 8-9, Baltimore, Maryland, USA, pp. 33-42.
- Evangelatos, T. (1995). «Developing Hydrographic Applications Using Relational Technology and Multi-Dimensional Codes». *Proceedings of the Seventh International Conference on Geomatics*, Ottawa, Canada, pp. 1-9.
- Hardy, P. (1996). «Map Generalisation – The Laser Scan Way». Laser-Scan, <http://www.lsl.co.uk/papers/ooforgis.htm>, 19 de Dezembro.
- IHO (1996) . *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*. Edition 3.0, Março 1996, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- Joseph, V., Satish, M., Thompson, C. and David Wells (1991) . «Object-Oriented Databases: Design and Implementation». *Proceedings of the IEEE*, 79, pp. 42-64.
- Woodsford, P. (1996). «The Significance of Object-Oriented for GIS». Laser-Scan, <http://www.lsl.co.uk/papers/ooforgis.htm>, 19 de Dezembro.

Provas de exactidão do sistema sondador multifeixe SIMRAD EM950/SEAPATH 200 na doca seca da Lisnave

Fernando Artilheiro

PRIMEIRO-TENENTE ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO

Maia Pimentel

CAPITÃO-TENENTE ENGENHEIRO HIDRÓGRAFO

Resumo As provas referidas no presente artigo têm como objectivo determinar a exactidão do sistema sondador multifeixe SIMRAD EM 950 / SEATEX SEAPATH 200 instalado na embarcação UAM «Coral». A realização destas provas surgiu da necessidade de determinar a exactidão absoluta da medição da profundidade.

O sistema multifeixe tem sido alvo de provas de repetibilidade e de reprodutibilidade. As primeiras provas foram efectuadas com o objectivo de comparar as medições de profundidade dos feixes menos exactos (feixes exteriores), com as medições dos feixes centrais. As segundas provas foram efectuadas com o objectivo de comparar os resultados da repetibilidade ao longo do tempo e em diferentes ambientes de operação.

As presentes provas consistiram num levantamento com sondador multifeixe no interior da doca seca n.º 13 da Lisnave, tendo sido efectuada a comparação deste levantamento com a topografia do fundo da doca. Os resultados, revelaram uma diferença de 16 cm (95% de nível de confiança) para a cobertura correspondente a uma faixa útil de 3 a 3,5 vezes a profundidade.

Abstract *The main goal of the experiments presented in this paper is the determination of the accuracy of the multi-beam system, SIMRAD EM 950 / SEATEX SEAPATH 200 installed in the launch UAM «Coral».*

The multibeam system has been submitted to precision and reproductibility checks. The first experiments consist of comparing the measurements from the less accurate beams (outer beams), with the inner beams. The second experiments had the aim of comparing the precision at different epochs and environmental conditions.

The current experiments consist of one multibeam survey inside Lisnave dry dock n.º 13 and in its comparison with the dry dock topography. The results, revealed a depth measurement accuracy of 16 cm (at 95% confidence level) for a swath width of 3 to 3,5 times the water depth.

1. Introdução

Os sondadores multifeixe (SMF) são a geração mais recente de sondadores acústicos. Estes sondadores têm como característica principal a cobertura de uma faixa do fundo, tornando exequível a cobertura total do fundo submarino, obrigatória em alguns levantamentos, nomeadamente nos levantamentos de Ordem Especial e em alguns levantamentos de Ordem 1, conforme definido nas especificações para a realização de levantamentos hidrográficos da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), publicação S-44, 4.ª edição, 1998.

Os serviços hidrográficos com capacidade SMF têm efectuado, como recomendação da S-44, a avaliação dos seus sistemas para a execução de levantamentos hidro-

gráficos, bem como a análise do balanço teórico de erros desses sistemas.

O sistema SMF utilizado pelo Instituto Hidrográfico (IH) tem sido objecto de avaliação de balanços de erros [Hare, 1995] e de provas de desempenho para avaliação da repetibilidade do sistema.

Apesar dos resultados satisfatórios da integridade das medições de profundidade, e da boa sobreposição obtida na comparação de levantamentos com sondador de feixe simples com os respectivos modelos digitais de terreno resultantes de sondagens SMF (em fundos aproximadamente planos), tornava-se necessária a determinação da exactidão do SMF em condições reais de navegação, para contabilização de forma absoluta dos seus erros.

Para determinação da exactidão do SMF, foi efectuada uma sondagem, em condições de fundo conhecido

(*ground truth*), na doca seca número 13 da Lisnave. Estas provas vêm permitir obter informação sobre as capacidades reais do SMF em levantamentos hidrográficos.

A doca seca n.º 13 dos Estaleiros Navais de Lisboa, é uma das maiores docas secas da Europa. As suas dimensões, 520 metros de comprimento por 90 metros de largura, permitem, quando alagada, condições reais de navegação para a lancha UAM «Coral» (fig. 1). A topografia da doca é também conhecida, permitindo a comparação dos dados de sondagem com esta superfície.

Este artigo descreve de forma circunstanciada as provas efectuadas na doca seca, apresentando os resultados obtidos na referida avaliação.



Fig. 1 – Embarcação de sondagem UAM «Coral»

2. Antecedentes

O IH procedeu a diferentes análises do SMF para a execução de levantamentos hidrográficos.

A análise teórica do balanço de erros do SMF, com a actual configuração existente na embarcação de sondagem UAM «Coral» [Artalheiro, et al., 1999] revelou erros estimados aceitáveis para levantamentos hidrográficos de ordem 1 (até aos 120° de cobertura angular). Para levantamentos hidrográficos de Ordem Especial, os resultados revelaram cumprir as especificações da S-44, apenas para uma faixa de cerca de 60°.

Numa segunda fase foram efectuadas provas de repetibilidade, consistindo na comparação de uma faixa sondada com o SMF, com utilização apenas dos feixes centrais. Destas provas concluiu-se que o sistema multifeixe apresenta bons resultados, cumprindo os requisitos de exactidão para Ordem 1 numa faixa sondada com a largura de 3 vezes a profundidade média, i.e., para uma cobertura angular de aproximadamente 120-130°.

Numa terceira fase, procedeu-se à comparação de uma sondagem SMF com uma sondagem com sondador de feixe simples. Embora se reconheça que estas duas sondagens, em fundos irregulares ou de declive pronun-

ciado, não são directamente comparáveis, em fundos regulares e aproximadamente planos os resultados devem ser semelhantes. Assim, foi efectuada, numa zona de fundos regulares, a comparação entre sondagens com SMF e com sondador de feixe simples, tendo-se verificado uma boa repetibilidade, com uma diferença média de 10-15 centímetros.

Na sequência destas provas, tornava-se importante determinar, de forma absoluta, os erros residuais existentes na medição de profundidades com o SMF, como forma objectiva de determinação da exactidão do sistema.

2.1. Balanço de erros do sistema sondador multifeixe

O presente sistema apresenta a seguinte configuração:

- sondador multifeixe – Simrad EM 950;
- sensor de atitude, direcção de proa e posicionamento (DGPS) – Seapath 200;
- velocímetro – SVP 16.

O balanço de erros deste sistema foi efectuada, tendo em consideração a exactidão e localização dos diferentes sensores do sistema, recorrendo ao balanço de erros definido por Hare [1995], é apresentado na fig. 2. Nesta figura são igualmente apresentados os erros máximos admissíveis na profundidade reduzida para Ordem Especial e Ordem 1, conforme definidos na S-44, 4.ª edição [OHI, 1998].

Para além da análise teórica referida na secção anterior, foram efectuadas provas de desempenho, para análise da repetibilidade do sistema SMF [Artalheiro et al., 1999]. Nestas provas concluiu-se que os resultados cumprem o especificado na S-44 para um sector de 120-130°.

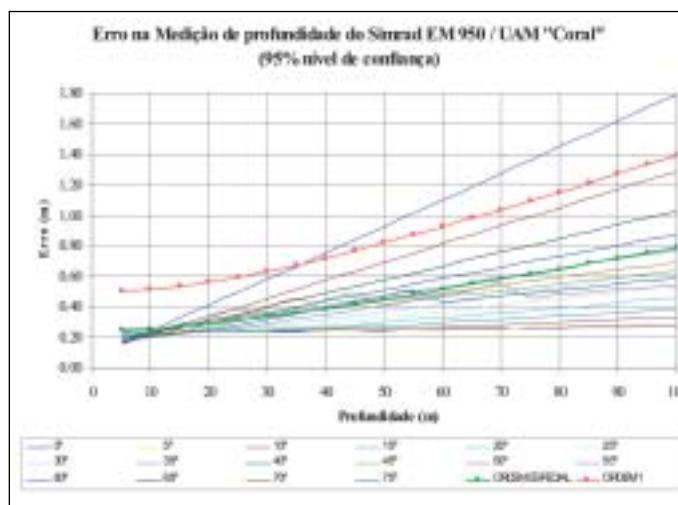


Fig. 2 – Estimativa do erro da profundidade SMF reduzida (a 95% de nível de confiança), função da profundidade e do ângulo de incidência do feixe

3. Metodologia

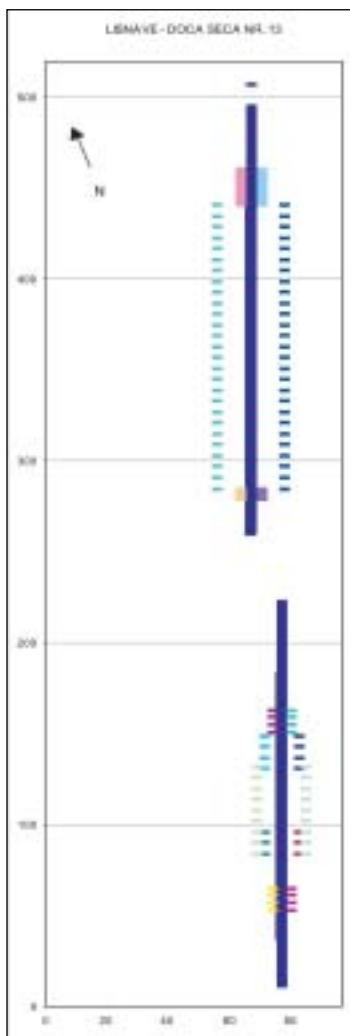
As presentes provas de determinação da exactidão foram efectuadas na doca seca número 13 dos estaleiros navais da LISNAVE. Esta doca apresenta a vista da fig. 3 e a configuração da fig. 4.

Face às suas dimensões, apresenta-se como o local ideal para a realização de provas de exactidão, pois permite a execução de fiadas longitudinais em condições reais de navegação.

A análise de exactidão foi efectuada através da comparação das profundidades medidas com a topografia do fundo da doca.



Fig. 3 – Vista da doca seca n.º 13 da Lisnave



Para além da informação topográfica do fundo da doca, a LISNAVE disponibilizou a localização dos picadeiros existentes no fundo da doca para assentamento dos navios durante o período de docagem.

Aproveitando as condições existentes na doca, à data das provas, procedeu-se a dois tipos de tratamento de dados: o primeiro para avaliar a exactidão na medição da profundidade e o segundo para avaliar a capacidade de detecção de obstruções, i.e., dos picadeiros existentes no fundo da doca.

Fig. 4 – Esquema da doca seca n.º 13 com a representação dos picadeiros existentes no fundo da doca para assentamento de dois navios durante a docagem

4. Resultados

4.1. Avaliação da Exactidão

A comparação entre as medições de profundidade e a topografia do fundo, só foi efectuada para um sector de cobertura de 130°. Os resultados são apresentados nas figs. 5 e 6.

A exactidão requerida na medição da profundidade, para uma profundidade média de 10 m, é de aproximadamente 50 centímetros para levantamentos de Ordem 1 e de 25 centímetros para levantamentos de Ordem Especial.

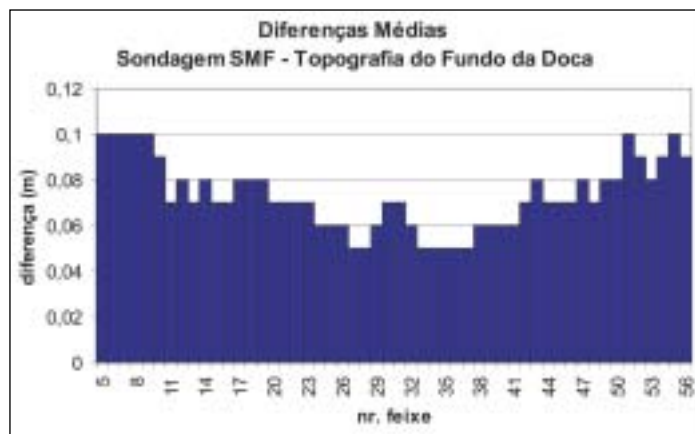


Fig. 5 – Resultado da comparação da sondagem com sondador multifeixe com a topografia da doca seca (profundidade média = 10 m).



Fig. 6 – Desvios padrão da comparação dos dados de sondagem com o fundo plano da doca (apresentada na fig. 5)

4.2. Detecção de obstruções

As obstruções existentes no fundo da doca, picadeiros, apresentam a forma e as dimensões apresentadas na fig. 7.

À luz da S-44 em vigor, recorda-se que a dimensão das estruturas cúbicas a detectar, são de 1 metro de aresta nos levantamentos de Ordem Especial (detecção obrigatória) e de 2 metros de aresta nos levantamentos de Ordem 1 (detecção obrigatória, quando requerida a cobertura total do fundo).

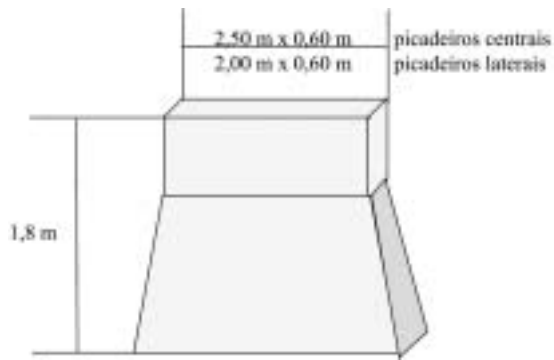


Fig. 7 – Características dos picadeiros existentes no fundo da doca

Uma vez que as provas realizadas não utilizaram estruturas com as dimensões acima referidas, os resultados são apenas um indicador de capacidade da detecção de obstruções.

Com a devida ressalva das dimensões das obstruções, é possível constatar que as obstruções foram, regra geral, detectadas (figs. 8 e 9). No entanto, nos blocos isolados não é detectada a profundidade mínima.

É visível, na vizinhança de alguns blocos a existência de profundidades superiores ao fundo da doca. Este efeito foi identificado como resultado de trajectos múltiplos nos picadeiros e no fundo da doca, conforme diagrama apresentado na fig. 10.

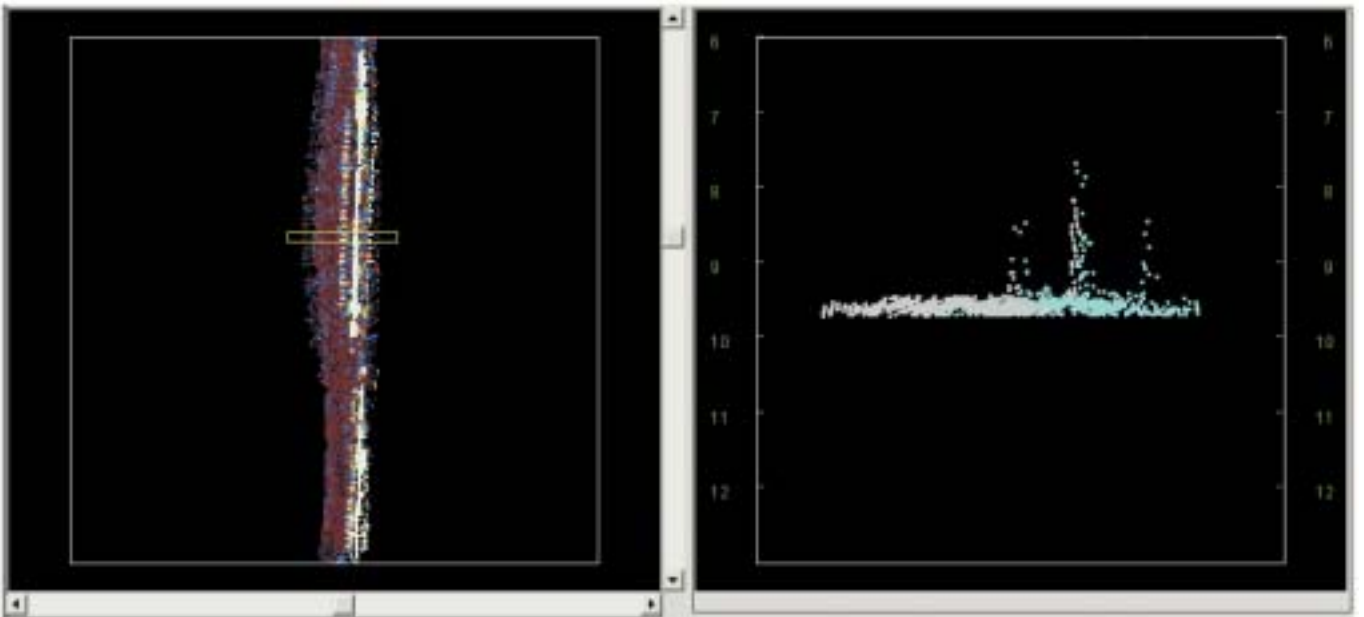


Fig. 8 – No lado esquerdo da figura é apresentada a superfície dos desvios padrão. As cores mais claras representam desvios padrão mais elevados (relacionados com a maior dispersão vertical das sondas – zonas dos picadeiros). No lado direito da figura é apresentado um perfil correspondente à área seleccionada no lado esquerdo da figura

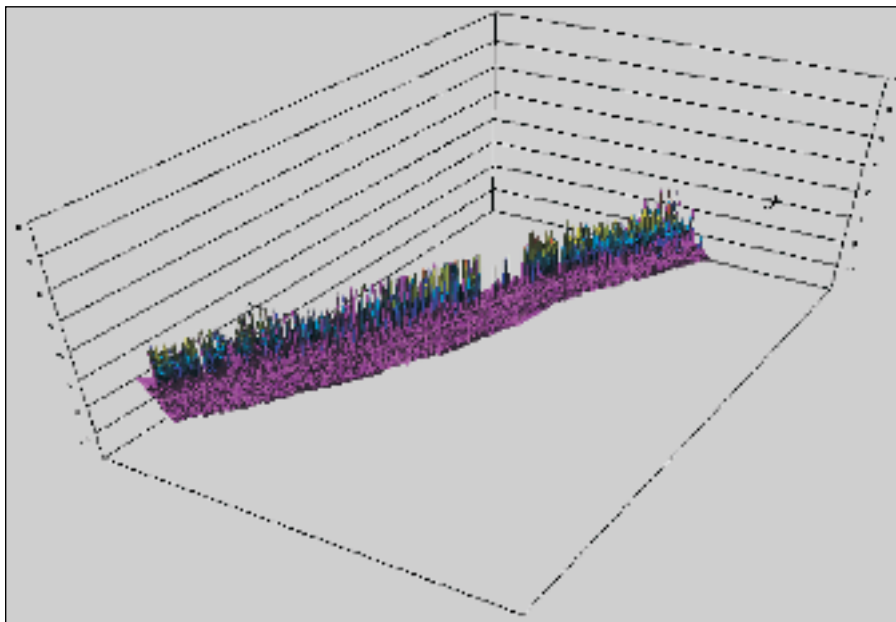


Fig. 9 – Modelo digital de terreno do fundo da doca na zona correspondente aos picadeiros

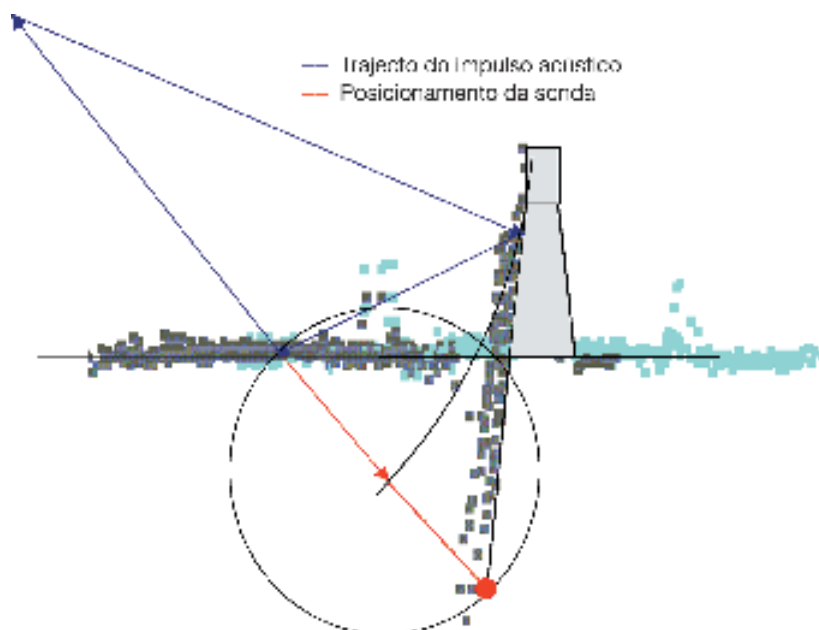


Fig. 10 – Anomalia na medição da profundidade devido a multi-trajecto do impulso acústico – reflexão no picadeiro seguida de reflexão no fundo

5. Conclusões

Das presentes provas de exactidão é possível concluir que o sistema sondador multifeixe cumpre os requisitos de exactidão para levantamentos de Ordem 1 e para a Ordem Especial, revelando um desempenho melhor que o estimado nos balanços de erro e nas provas de repetibilidade já efectuadas. A exactidão (ponderada para o conjunto de feixes utilizado) para um sector angular de $130.^\circ$ é de 0,16 metros (a 95% de nível de confiança). É, no entanto, de salientar o facto de se admitir que não houve variação do perfil de velocidade de propagação do som na água. O mesmo não foi possível garantir nas provas anteriormente realizadas.

A avaliação do sistema para a detecção de obstruções produziu resultados satisfatórios. Porém, deve-se ressaltar o facto de as obstruções utilizadas na experiência apresentarem dimensões consideravelmente mais reduzidas do que as definidas na S-44.

Conclui-se, nas condições de realização destas provas, da existência de profundidades anómalas (superiores à profundidade de fundo) as quais foram causadas pela existência de trajectos múltiplos.

Bibliografia

- Artalheiro, F., P. Sanches e F. Pimentel (1999). «Overview of the Multibeam Hydrographic Surveying Project at the Portuguese Hydrographic Office for Nautical Chart Update.» *Proceedings of FEMME '99, Forum of Simrad Multibeam Echosounders Users*, Oslo.
- Hare, R. (1995). Depth and Position Error Budgets for multibeam Echosounders, *International Hydrographic Review (LXXII)*, Mónaco, pp 39-75.
- IHO (1998). *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special Publication N.º 44, 4th Edition, International Hydrographic Bureau, Monaco.