

Fundamentos de Hidrografia

Fernando Manuel Freitas Artilheiro

Abril de 2006

Índice

OBJECTIVOS	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. DEFINIÇÕES	6
3. MEDIÇÃO DE PROFUNDIDADES	9
3.1. - Sondadores Aústicos (feixe simples).....	11
3.2. – Multicanal	12
3.3. - Sondadores Acústicos (águas profundas).....	13
3.4. – Sondadores Multifeixe.....	14
3.5. - Perfiladores de Sísmica	15
3.6. - Sonar Lateral.....	16
3.7. - Sondador Paramétrico	17
4 – POSICIONAMENTO	18
4.1. - NAVSTAR (GPS)	19
4.2. - Segmentos do Sistema GPS.....	21
4.3. - Sinais do Sistema GPS.....	23
4.4. - Observações GPS e Cálculo da Posição.....	26
5 – MARÉS	27
6 - LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS	30
6.1. - Requisitos para a Execução de Levantamentos	30
6.2. - Sondador Multifeixe (SMF).....	33
6.3. - Sensor de Atitude	34
6.4. - Medição da Velocidade de Propagação do Som na Água	35
7 – CORRENTES - CIRCULAÇÃO OCEÂNICA	36
8 – ONDAS	38
8.1 – Tsunamis.....	41
BIBLIOGRAFIA:	45
ANEXO A – EXERCÍCIOS E PRÁTICA	46
A.1 – UTILIZAÇÃO DA CARTA NÁUTICA OFICIAL (CNO)	46
A.2 – TABELA DE MARÉS	48
A.3 – PREVISÃO DA ONDULAÇÃO	49

Objectivos

A Hidrografia é o ramo das ciências que estuda a geomorfologia do fundo submarino, a sua descrição e representação cartográfica. Para esse fim é igualmente necessário o estudo de alguns parâmetros da coluna de água e da superfície do mar.

A informação hidrográfica é um meio essencial para apoio à decisão em diferentes âmbitos e cenários. A Gestão de Situações de Emergência, no mar ou em rios, requer o conhecimento do meio e dos fenómenos que nele ocorrem, por forma a poderem ser tomadas, em tempo, as acções mais adequadas e seguras.

Este módulo de Fundamentos de Hidrografia, no âmbito do Curso de Gestão da Emergência, tem como objectivos proporcionar:

- Conhecimentos gerais sobre os meios utilizados no estudo do relevo submarino, (no posicionamento e na medição de profundidades, e sobre a interpretação da informação constante nas cartas náuticas oficiais);
- Conhecimento dos meios utilizados na busca de obstruções e de destroços em ambiente marinho;
- Noções da dinâmica oceânica, causas e efeitos dos seguintes processos:
 - marés,
 - correntes,
 - agitação marítima,
 - seichas e
 - tsunamis;
- Prática na utilização da carta náutica oficial;
- Interpretação e previsão da agitação marítima.

1. Introdução

A superfície da Terra, coberta por água, representa cerca de 71% da área total do planeta.

Os oceanos são bacias extensas na superfície da Terra que contêm água salgada. É possível distinguir diversas regiões pelas suas características oceanográficas e das suas circulações: Mar Ártico; Oceano Atlântico; Oceano Pacífico; Oceano Índico; Oceano Antártico e Mares adjacentes e interiores (Mar Mediterrâneo, Mar Negro, etc.).

A profundidade média dos oceanos é de aproximadamente 4000 metros. Em relação ao nível médio das águas, os oceanos são em média mais profundos do que as massas continentais mais elevadas. Enquanto somente 11% da superfície terrestre tem elevação superior a 2000 metros, 84% do leito dos oceanos tem profundidade superior a 2000 metros.

Embora a profundidade média de 4000 metros pareça elevada, é na realidade pequena em relação à extensão horizontal dos oceanos. Por exemplo, a proporção profundidade / extensão horizontal do Oceano Pacífico é muito semelhante à de uma folha A4 de papel fino. Esta analogia mostra que os oceanos constituem uma película muito pouco espessa na superfície do planeta. No entanto, existem diferenças muito significativas na estrutura e dinâmica das águas superficiais e profundas.

O fundo do mar estende-se desde a linha de costa até às grandes planícies abissais e o seu relevo apresenta aspectos bastante diversificados, como por exemplo:

- Costa
- Margem Continental
 - Plataforma continental geológica até aos 200 m de profundidade;
 - Talude continental;
 - Elevação continental;
- Grandes fundos oceânicos
 - Planícies Abissais;
 - Montes Submarinos;
 - Cristas Oceânicas;
 - Planaltos e Bancos;
 - Fossas Abissais.

Em certas regiões a Plataforma Continental geológica e o Talude Continental são cortados por vales bem marcados, os canhões submarinos.

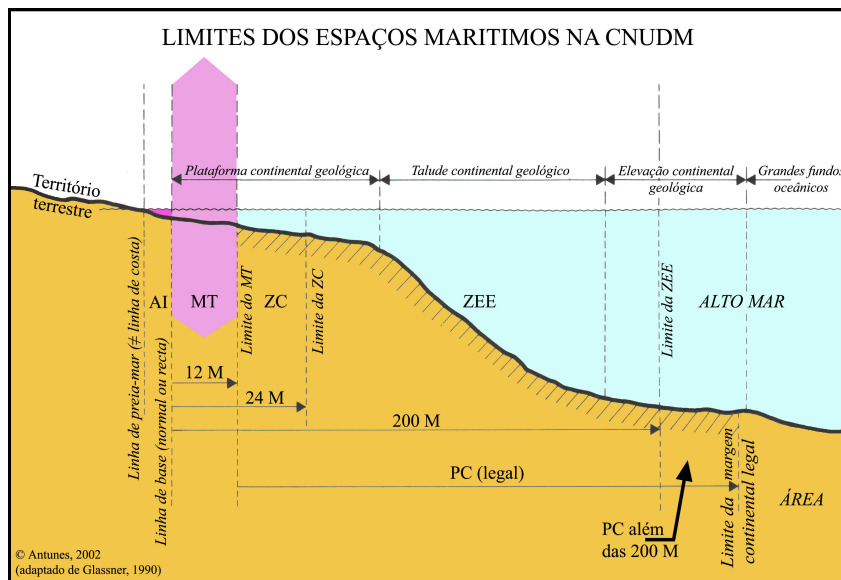


Fig. 1 – Limites dos espaços marítimos Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar in [Antunes, 2002].

A natureza do fundo varia em função da distância à costa. Assim, na plataforma continental geológica o fundo é essencialmente de areia, mas existem algumas rochas e lodo. Na margem continental o material do fundo provém directamente dos continentes. Nas bacias oceânicas o fundo é essencialmente constituído por sedimentos finos, formados no próprio oceano (sedimentos pelágicos). A sua constituição é essencialmente argila e lodo (calcários, silícios e origem orgânica).

Os levantamentos hidrográficos, de elevada exactidão, permitem a aquisição de informação do relevo submarino para a gestão de zonas costeiras, nomeadamente para efeitos de: construção de novos portos e de infra-estruturas portuárias, monitorização de dragagens, monitorização da erosão costeira, estabelecimento e monitorização de áreas de deposição de resíduos, actividades de aquacultura e de extracção de inertes.

Mais de 80% do comércio internacional é efectuado por via marítima. Para a navegação, em águas costeiras e portuárias, são necessárias cartas náuticas actualizadas. Essas cartas náuticas, produzidas com base em levantamentos hidrográficos modernos, são essenciais para a navegação segura dos navios de maiores dimensões.

Um factor essencial para a protecção e preservação do ambiente marinho é a segurança e exactidão proporcionada à navegação. A poluição causada por acidentes, naufrágios e derrames de hidrocarbonetos constituem, na maioria dos casos, desastres ecológicos devastadores.

A comunidade piscatória requer também informação náutica, na forma de cartas detalhadas para: evitar a perda dos aparelhos de pesca e dos respectivos navios em obstruções ou perigos existentes no fundo; identificar os locais de pesca e as áreas de restrição ou de proibição desta actividade.

O estudo do relevo submarino baseia-se em dados de profundidade e respectivo posicionamento, recolhidos em Levantamentos Hidrográficos (LH), que permitem gerar diferentes representações ou modelos do fundo, com o objectivo de servir as necessidades de diferentes utilizadores.

Para o conhecimento do relevo submarino, as primeiras medições eram directas, feitas com o fio-de-prumo. Essas medições apresentavam muitos inconvenientes, por exemplo: morosidade, incerteza no instante correspondente à medição e a catenária do fio.

Com o desenvolvimento da tecnologia sonar as medições directas deram lugar às medições indirectas com os sondadores acústicos.

As posições obtidas durante a execução de um LH são referidas a uma Rede Geodésica adequada, devidamente estabelecida e referenciada.

O acesso generalizado e corrente ao sistema de posicionamento por satélite (GPS) conduziu à adopção de um sistema geodésico global, o WGS 84 (*World Geodetic System*, 1984). No entanto, a representação de informação inicialmente recolhida em WGS 84, requer, para representação num sistema geodésico local, uma transformação de coordenadas. Os parâmetros de transformação em vigor, entre os sistemas geodésicos de referência, utilizados no território português, foram determinados pelo Instituto Geográfico Português ([hpt/www.igeo.pt](http://www.igeo.pt)).

As profundidades são medidas em relação ao nível instantâneo da água do mar, o qual está sujeito à variação periódica devido ao efeito da maré. Assim, é necessário remover esse efeito, através da redução da maré, para o mesmo plano de referência vertical. Em Portugal este plano de referência é designado por Zero Hidrográfico (ZH).

Em complemento à informação hidrográfica apresenta-se de elevada relevância o estudo das correntes e da circulação oceânica e os fenómenos de agitação marítima e de variação anormal das águas do mar, como por exemplo as seichas e os tsunamis.

Nestes apontamentos no Capítulo 2 são apresentados conceitos utilizados nos capítulos seguintes, no Capítulo 3 são apresentados os meios utilizados na medição de profundidades, no Capítulo 4 o posicionamento por GPS, no Capítulo 5 as marés, no

Capítulo 6 os levantamentos hidrográficos, no Capítulo 7 as correntes e circulação oceânica, no Capítulo 8 a agitação marítima e os tsunamis.

2. Definições

Hidrografia – é um ramo das ciências aplicadas dedicado à medição e descrição do relevo submarino, nas áreas costeiras e oceânicas, com o principal propósito de segurança da navegação e de todas as outras actividades marítimas, incluindo actividades costeiras, investigação científica, previsão de fenómenos oceânicos (definição adoptada pela Organização Hidrográfica Internacional).

Geóide – É a forma da Terra correspondente a uma superfície equipotencial gravítica. No mar o geóide coincide com o nível médio e nos continentes corresponde ao prolongamento dessa superfície, apresentando, no entanto, uma maior irregularidade devido à presença do relevo topográfico.

Elipsóide – Na prática o geóide afasta-se da forma de uma esfera e apresenta uma forma bastante complexa. O geóide é, regra geral, aproximado por um elipsóide de revolução (cf. Fig. 2.), caracterizado pelos semi-eixos maior (a) e menor (b). Por outro lado, função do seu posicionamento assim se ajustará melhor a determinadas áreas, pelo que o seu posicionamento, ou datum, é fundamental para melhor servir os propósitos de representação cartográfica de algumas regiões.

Assim, a latitude geodésica e a longitude geodésica (Fig. 3), considerando o elipsóide de referência, correspondem aos arcos respectivamente entre a normal ao elipsóide e o plano do equador terrestre e entre a normal ao elipsóide e o plano do meridiano tomado para referência.

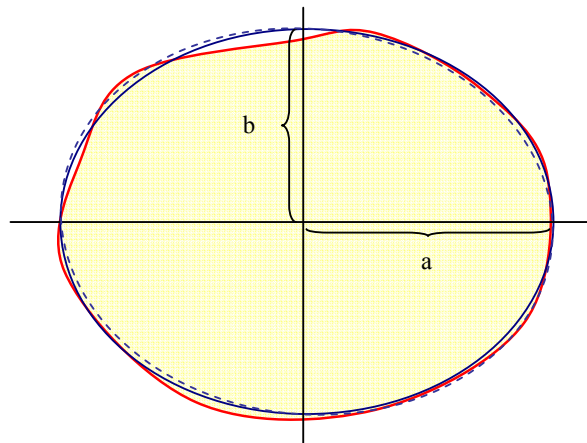


Fig. 2 - Geóide (vermelho) e elipsóide (azul).

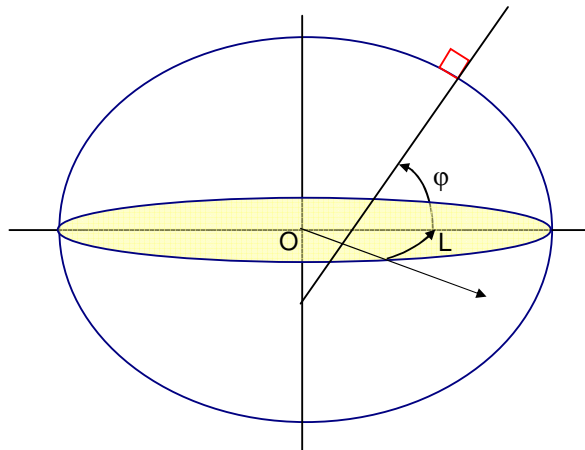


Fig. 3 - Coordenadas geodésicas

Nível Médio Adoptado (NMA) – É do conhecimento geral que, o nível médio do mar não é fixo e que, nas últimas décadas, tem vindo a subir, como consequência natural do aumento global da temperatura. Assim, foi necessário adoptar um nível médio, através de um longo período de observações na estação maregráfica principal de Cascais.

A partir do nível médio adoptado em Cascais, foi efectuado um nivelamento geométrico de precisão para Portugal Continental.

Zero Hidrográfico (ZH) – É o nível de referência, **datum vertical** (*chart datum*), utilizado para a representação de profundidades (Fig. 4). Esse nível situa-se abaixo da mais baixa baixa-mar astronómica, permitindo ao navegador através de uma inspecção rápida do documento de navegação (carta náutica oficial - CNO), saber a altura mínima de água existente em qualquer local, independentemente da maré.

O Zero Hidrográfico, é referido ao nível médio. No caso do Porto de Lisboa, o ZH encontra-se situado 2.08 m abaixo do nível médio adoptado em Cascais. Nos outros portos de Portugal Continental o ZH fica situado 2 metros abaixo do nível médio adoptado. Nos Açores e na Madeira o ZH fica situado 1.0 e 1.4 m, respectivamente.

Sonda – profundidade medida.

Sonda reduzida – profundidade reduzida do efeito da maré.

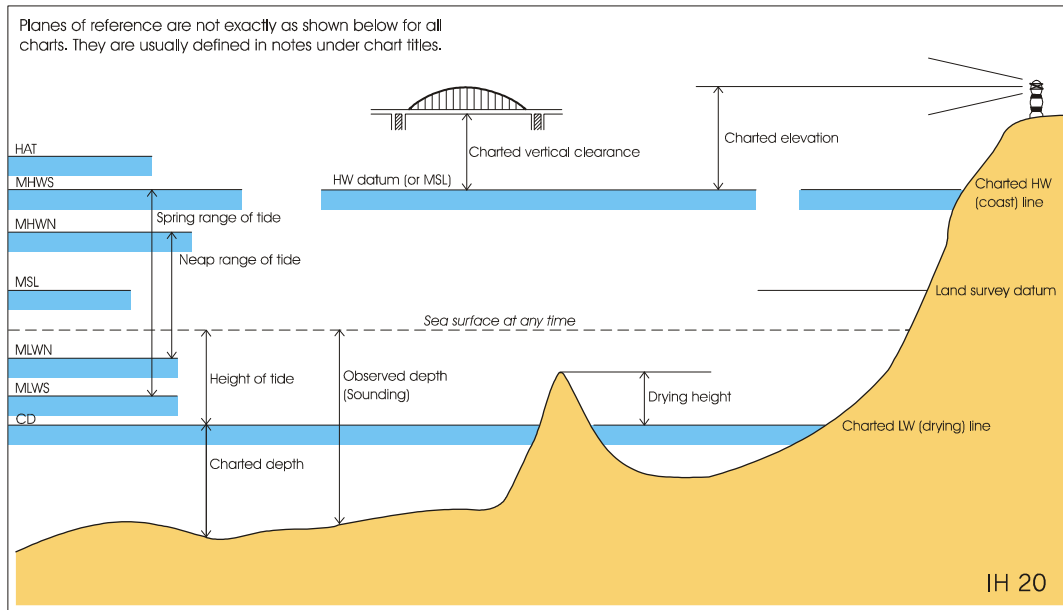


Fig. 4 – Planos de referência vertical (*in* M-4 [OHI, 2005]).

3. Medição de Profundidades

A medição de profundidades é um elemento essencial da Hidrografia. A medição da profundidade pode ser efectuada por métodos directos (fio-de-prumo) ou por métodos indirectos (sondadores acústicos).

A medição directa pode ser efectuada com recurso a fio-de-prumo ou a uma régua graduada. É um método simples, mas pontual.

A medição de profundidade, com sondadores acústicos de feixe simples, tem por base a observação do intervalo de tempo entre a transmissão de um impulso acústico (som) e a sua recepção após reflexão no fundo submarino. Estes equipamentos podem efectuar medições e respectivo registo, de forma continua, ao longo de um trajecto da embarcação.

Os sondadores acústicos multifeixe, são uma tecnologia recente, efectuam medições de profundidade segundo várias direcções relativamente à vertical. Permitem a cobertura de uma faixa do fundo, com uma largura típica de cerca de três vezes a profundidade. Estes sondadores, em profundidades elevadas, apresentam uma grande produtividade e permitem uma cobertura total do fundo.

A sua utilização requer o conhecimento da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, para o cálculo correcto do trajecto oblíquo do impulso acústico entre a superfície e o fundo. É igualmente requerido o conhecimento, com exactidão, dos movimentos da plataforma de sondagem de forma a manter a consistência da informação ao longo da faixa sondada.

Além da utilização dos sondadores acústicos, pode ser requerida a busca de obstruções entre perfis adjacentes, especialmente na medição de profundidades com os sondadores de feixe simples. Essa detecção pode ser assegurada quer por rocega quer por sonar lateral.

Além dos sistemas acústicos, em fundos baixos, podem ser utilizados sistemas aerotransportados, tecnologia laser, muito produtivos (Fig. 5). São um meio ideal em operações de reconhecimento e efectuam simultaneamente a cobertura topográfica e batimétrica de zonas costeiras. Estes sistemas são, no entanto, bastante sensíveis ao material em suspensão (turbidez), são utilizados em profundidades baixas inferiores a 40 metros.

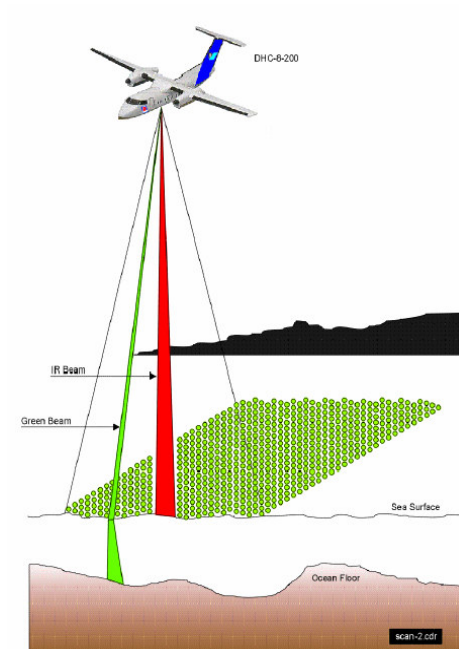


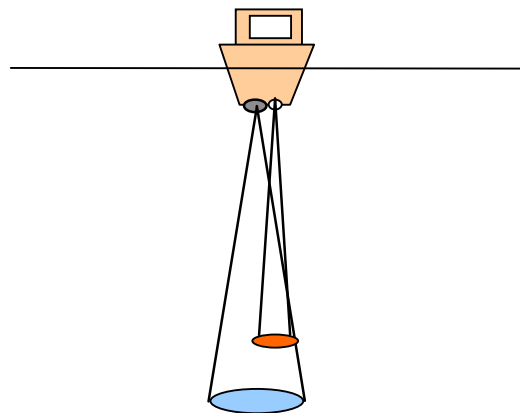
Fig. 5 – Sistema de batimetria laser

3.1. - Sondadores Acústicos (feixe simples)

A frequência acústica determina as características operacionais dos sondadores. Assim, as frequências mais elevadas apresentam alcances mais reduzidos, devido às perdas por absorção ao longo da coluna de água. Enquanto que as frequências mais baixas apresentam uma maior alcance e penetração no fundo.

Os sondadores acústicos mais utilizados em hidrografia apresentam duas frequências de operação (Fig. 6). As características gerais associadas a estas frequências são apresentadas na tabela seguinte:

Frequência (kHz)	24 - 33	180 - 250
Alcance (m)	~1500	~ 100
Abertura do feixe (°)	15 - 25	5 - 15
Potência de transmissão (W)	500	100
Penetração nos sedimentos	Sim	Não



● Área insonificada

Fig. 6 - Sondador de feixe simples

3.2. – Multicanal

O sondador multicanal ou multi-transdutor é um sondador acústico com vários transdutores.

Apresenta as seguintes características:

- mesma frequência em todos os transdutores;
- alta frequência, utilizada unicamente em fundos baixos;
- transdutores dispostos ao longo de uma lança.

Em fundos muito baixos, o sondador multicanal apresenta vantagens em relação ao sondador multifeixe, cobertura de uma faixa com largura constante (Fig. 7).

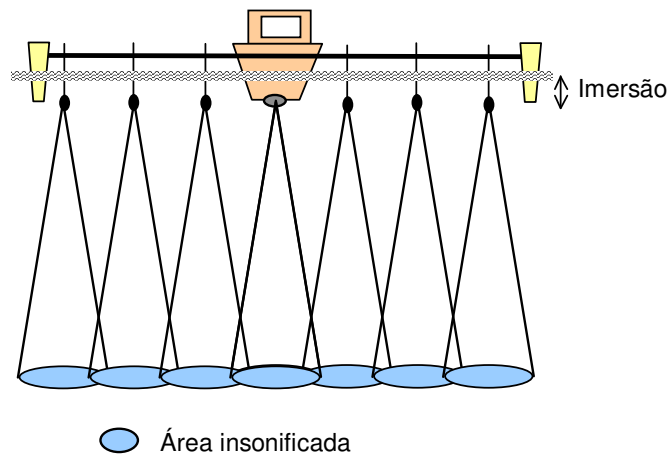


Fig. 7 - Sistema multicanal

3.3. - Sondadores Acústicos (águas profundas)

Os sondadores para águas profundas apresentam:

- uma única frequência (12 - 33 kHz);
- uma unidade de potência;
- feixe estreito e estabilizado.

O feixe estabilizado é obtido através do guiamento electrónico do feixe, isto é, através de um processo electrónico que permite transmitir impulsos na vertical e receber o respectivo eco segundo a vertical do lugar.

3.4. – Sondadores Multifeixe

Os sondadores multifeixe apresentam a capacidade de efectuarem uma cobertura total do fundo submarino (Fig. 8). As suas principais características são:

- frequência de operação 12 - 450 kHz (a frequência é idêntica à dos sondadores de feixe simples);
- largura da faixa sondada 2 a 7 vezes a profundidade média;
- bastante sensível à atitude/movimentos da plataforma;
- bastante sensível à variação temporal e espacial do perfil de velocidade de propagação do som na água;
- bastante sensível à velocidade de propagação do som à face dos transdutores (guiamento dos feixes);
- os sistemas mais modernos, podem ser considerados portáteis (frequências superiores a 180 kHz);
- elevada produção quando requerida a cobertura total do fundo.

À luz da actual norma da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) para Levantamentos Hidrográficos – publicação S-44, 4ª edição de 1998, para a mesma ordem de levantamento hidrográfico o espaçamento médio entre perfis de sondagem com feixe simples e a largura efectiva da faixa sondada com o sondador multifeixe, apresenta valores idênticos. No entanto, na prática, é utilizado um menor espaçamento entre os perfis batimétricos no levantamento com feixe simples, especialmente em profundidades mais elevadas. Nessas condições o levantamento com feixe simples é mais moroso e a qualidade dos dados recolhidos é sempre inferior.



Fig. 8 - Cobertura multifeixe [in Atlas Elektronik web page]

3.5. - Perfiladores de Sísmica

Os perfiladores de sísmica são sistemas acústicos vocacionados para a determinação da espessura de sedimentos (Fig. 9).

As suas principais características são as seguintes:

- utilizam baixas frequências (3.5 kHz);
- o impulso pode penetrar até várias dezenas de metros na camada de sedimentos;
- transdutor rebocado (forma de peixe).

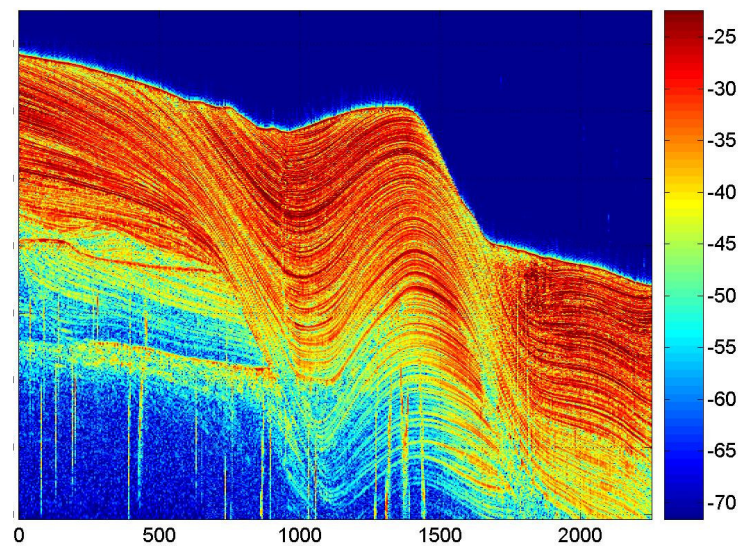


Fig. 9 – Registro de perfilador de sedimentos

3.6. - Sonar Lateral

O sonar lateral é um equipamento vocacionado para a detecção de obstruções, permite gerar imagens sonar, correspondendo cada pixel da imagem à intensidade do eco recebido, i.e. da reflectividade do fundo. Regra geral não efectua a medição de profundidades. Apresenta as seguintes características:

Frequência 100 - 500 kHz;

Transdutores simétricos instalados num peixe;

Ângulo BB-EB $\approx 70^\circ$;

Ângulo proa-popa $\approx 0.5 - 3^\circ$.

A informação da reflectividade é recolhida em função do tempo (distância transversal ao objecto).

Devido à grande directividade proa-popa e à necessidade de garantir uma boa cobertura do fundo é necessário utilizar, durante a aquisição de dados (levantamento com sonar lateral), uma velocidade reduzida da embarcação de sondagem. A cada impulso transmitido corresponde uma linha de varrimento, a imagem acústica é obtida através da adição de sucessivas linhas de varrimento (Fig. 10).

O sonar lateral é um meio utilizado para a detecção de obstruções, quando requerida a busca ou cobertura total do fundo.

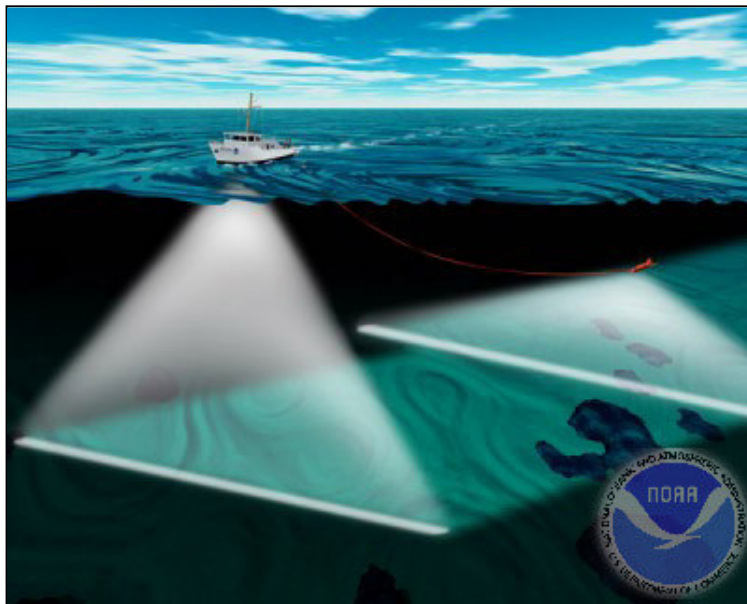


Fig. 10 - Coberturas multifeixe e sonar lateral [in NOAA web page].

3.7. - Sondador Paramétrico

O sondador paramétrico apresenta apenas um transdutor. No entanto, são transmitidos dois sinais acústicos, ou impulsos, em frequências muito próximas (f_1 e f_2 separadas de 5 - 50 kHz).

O sondador paramétrico apresenta as seguintes características:

- alta-frequência acústica (100 - 500 kHz);
- feixe estreito, com transdutor de tamanho moderado;
- a interferência das duas ondas corresponde a duas outras frequências $f_1 + f_2$ e $f_2 - f_1$.

O sinal $f_1 + f_2$ é absorvido rapidamente, tal como f_1 e f_2 . No entanto, o sinal $f_2 - f_1$ tem um coeficiente de absorção baixo.

Aspectos positivos:

- A alta-frequência utilizada, determina a elevada directividade, enquanto que $f_2 - f_1$ determina a capacidade de penetração na camada sedimentar;
- Inexistência de lóbulos laterais;
- Usado como perfilador de sísmica;
- Usado como sondador hidrográfico.

Aspectos negativos:

- Baixa eficiência do transdutor;
- Muito sensível ao ruído;
- Baixa velocidade de sondagem.

4 – Posicionamento

Para a referenciação geográfica das profundidades medidas é necessário utilizar um sistema de posicionamento adequado. O sistema de posicionamento por satélite, GPS, permite actualmente uma exactidão adequada para utilização em diferentes aplicações.

A carta electrónica de navegação oficial (CENO) utiliza já o sistema geodésico WGS 84, utilizando assim directamente as coordenadas dadas pelo receptor GPS. Nas cartas náuticas oficiais (CNO) de Portugal Continental, é utilizado o datum Europeu (ED 50), enquanto que nos arquipélagos da Madeira e dos Açores são utilizados data locais. É imprescindível que o utilizador do sistema de posicionamento satélite GPS e das CNO saiba qual o datum utilizado e empregue a correcção adequada à posição GPS para a poder representar nas cartas náuticas.

Outro aspecto que importa clarificar é o das projecções cartográficas. A forma da Terra é aproximada por um elipsóide de revolução, em torno do eixo polar. No entanto, a representação cartográfica requer a passagem da superfície elipsoidal para uma superfície plana. Isto é conseguido através das projecções cartográficas. Em navegação é utilizada a projecção Mercator.

4.1. - NAVSTAR (GPS)

O NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite Timing And Ranging – Global Positioning System*) é um sistema de rádio-navegação, desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD - *Department of Defense*), principalmente para utilização do Exército Americano. No entanto, devido à elevada exactidão proporcionada pelo sistema e ao alto grau de desenvolvimento da tecnologia dos receptores GPS, uma grande comunidade de utilizadores emergiu nas mais variadas áreas de aplicação civis (navegação, posicionamento geodésico e hidrográfico, etc.).

Os estudos iniciais do GPS datam de 1973. É usualmente afirmado que o início da era GPS foi marcada pelo lançamento do primeiro satélite do Bloco II, em 14 de Fevereiro de 1989. O GPS foi declarado operacional em 27 de Abril de 1995, com 25 satélites em órbita, sendo um satélite do Bloco I e os restantes do Bloco II.

O sistema GPS foi projectado de forma a existirem, pelo menos, quatro satélites acima do horizonte em qualquer instante e para qualquer ponto da Terra (Fig. 11). Esta condição garante os requisitos geométricos mínimos para a navegação em tempo real.

O princípio básico de funcionamento deste sistema consiste na determinação de distâncias entre os satélites, cujas coordenadas são conhecidas, e pontos em Terra, no mar ou no ar, cujas coordenadas se pretende determinar.



Fig. 11 - Constelação GPS

Este sistema apresenta:

- a. uma constelação de 24 satélites;
- b. disponibilidade para utilização civil;
- c. no futuro próximo utilização sem encargos;
- d. exactidão horizontal 20 metros (a 95% de nível de confiança) com a *selective availability* (SA) desligado (16 mm para utilizações militares).

4.2. - Segmentos do Sistema GPS

Para atingir o seu objectivo o sistema GPS foi estruturado em três segmentos: **espacial**, de **controlo** e do **utilizador**.

O **segmento espacial** é constituído por uma constelação de 24 satélites, orbitando a uma altitude aproximada de 20,200 km, distribuídos em seis planos orbitais, cada órbita apresenta uma inclinação de 55° em relação ao plano do Equador e cada satélite tem um período de revolução de 12 horas siderais (correspondente, no mesmo local, a quatro minutos mais cedo diariamente em relação ao tempo solar). A função do segmento espacial é a de gerar e transmitir os sinais GPS (portadoras, códigos e mensagens de navegação).

Os satélites GPS foram construídos em vários blocos, cada um com características particulares, incorporando novas mudanças ou desenvolvimento de equipamentos. O projecto NAVSTAR-GPS na sua concepção original possui quatro blocos de satélites denominados Bloco I, II, IIA (Fig. 12), IIR e IIF.

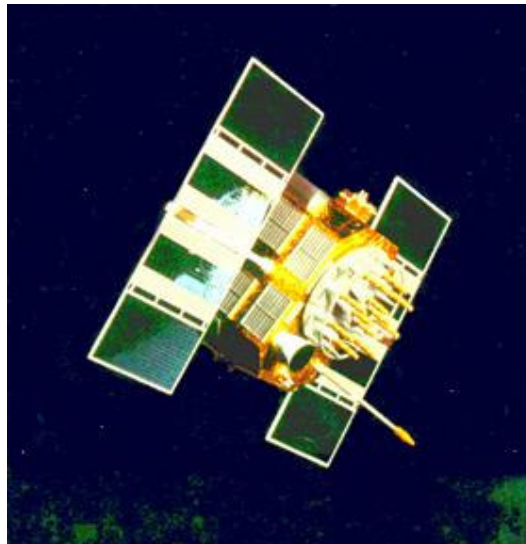


Fig. 12 - Satélite GPS (Bloco II / IIA)

O **segmento de controlo** é responsável pela operação do sistema GPS. As suas principais funções são:

- Verificar o funcionamento dos satélites;
- Calcular as órbitas dos satélites para uma dada época;
- Sincronizar os relógios dos satélites com o tempo GPS;
- Determinar parâmetros ionosféricos;

- Controlar as manobras de substituição e de correcção das órbitas;
- Actualizar a mensagem de navegação.

Este segmento é constituído por estações de monitorização distribuídas estrategicamente pela superfície do globo (*Ascension, Colorado Springs, Diego Garcia, Kwajalein e Hawaii*) que rastreiam continuamente todos os satélites visíveis (Fig. 13).

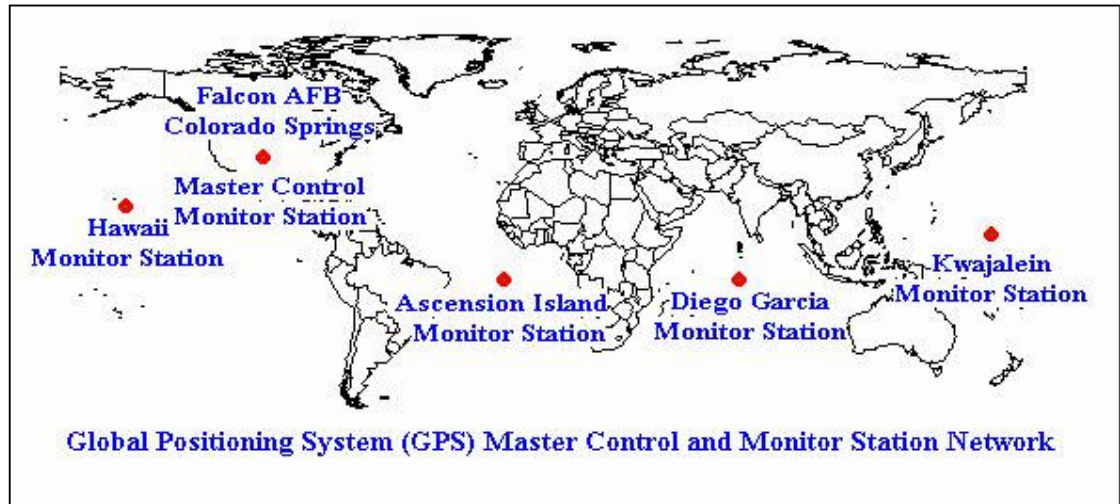


Fig. 13 - Localização das estações de monitorização *in* P. Dana [1992]

Os dados do rastreio efectuado pelas Estações de Monitorização (MS) são enviados para a Estação de Controlo Principal (MCS) em Colorado Springs nos Estados Unidos da América (EUA), para serem processados. A mensagem de navegação actualizada é transmitida para os satélites por antenas terrestres, quando os satélites se encontram no seu campo de visão. Devido à localização geográfica destas antenas, a mensagem de navegação de cada satélite é actualizada 3 vezes por dia.

O **segmento do utilizador** corresponde a tudo o que diga respeito à comunidade diferenciada de utilizadores. São os receptores, algoritmos, programas, metodologias e técnicas de levantamentos, etc.

4.3. - Sinais do Sistema GPS

Para o relacionamento entre os satélites e as posições na Terra torna-se necessário definir dois sistemas de coordenadas, um fixo no espaço (Sistema Inercial/*Conventional Inertial System* – SI/CIS) e outro fixo na Terra (Sistema Terrestre/*Conventional Terrestrial System* – ST/CTS). O sistema de referência terrestre adoptado foi o *World Geodetic System* de 1984 (WGS 84), sistema global geocêntrico.

O tempo é uma grandeza fundamental no GPS, quer pela referência para o relacionamento dos dois sistemas de coordenadas (já que o sistema de coordenadas terrestre acompanha o movimento de rotação da Terra, enquanto que o sistema de coordenadas inercial permanece imóvel), quer pela referência e escala temporal dos sinais transmitidos, base de todas as medições GPS. O GPST constitui uma escala estável e foi sincronizado com o Tempo Universal Coordenado (UTC) em 6 de Janeiro de 1980, às zero horas de Domingo (o tempo GPST anda actualmente adiantado cerca de 14 segundos em relação ao tempo UTC). Esta semana corresponde ao início das semanas GPS que vai até 1024, altura em que se reinicia a contagem.

Os sinais GPS são gerados por osciladores atómicos de elevada estabilidade (10^{-13}) e derivados da frequência fundamental $f_0 = 10.23$ MHz, a partir da qual se derivam todas as outras frequências utilizadas neste sistema, através de multiplicadores com a seguinte constituição,

Ondas portadoras:

$$L1 = 154 \times f_0 = 1575.42 \text{ MHz} \quad \text{comprimento de onda} \approx 19.043 \text{ cm};$$

$$L2 = 120 \times f_0 = 1227.60 \text{ MHz} \quad \text{comprimento de onda} \approx 24.438 \text{ cm}.$$

Os códigos transmitidos (*Pseudo Random Noise Codes* – Códigos PRN) são modulados em fase nas portadoras e consistem em sequências (Fig. 14) de 1 e 0.

Códigos:

$$C/A \quad (\text{Coarse Acquisition Code}) \quad f_0/10 = 1.023 \text{ MHz};$$

$$P \quad (\text{Precise Code}) \quad f_0/1 = 10.23 \text{ MHz}$$

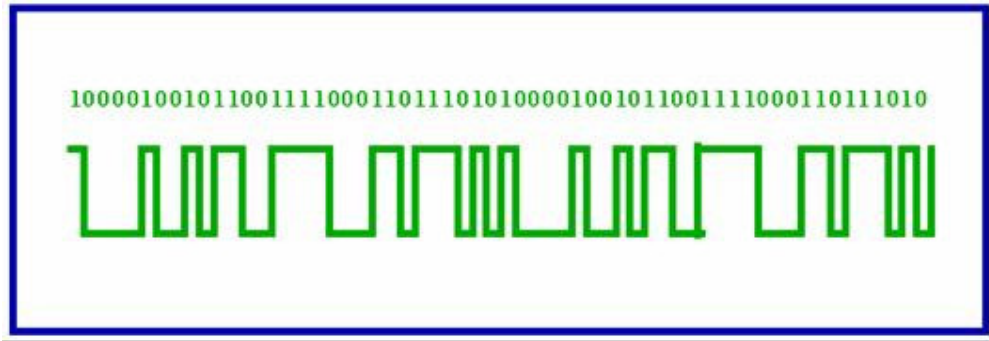


Fig. 14 - Código pseudoaleatório in P. Dana [1992].

O código C/A, também designado por Serviço de Posicionamento Padrão (SPS) consiste numa modulação de 1023 bits sobre a portadora $L1$, com uma repetição de 1 ms. O código C/A pode ser degradado pela técnica de *Selective Availability* (SA). Com a SA desligada o erro da posição, em tempo real, é da ordem dos 20 a 30 metros.

A SA foi implementada em Março de 1990, parcialmente desactivada em Setembro de 1990, durante a Guerra do Golfo e totalmente reactivada em 1 de Julho de 1991. A 1 de Maio de 2000 o Presidente dos EUA, Bill Clinton, determinou definitivamente a desactivação da SA.

O código P , também designado por Serviço de Posicionamento Preciso (PPS) consiste numa modulação sobre as portadoras $L1$ e $L2$ de uma sequência de 10^{14} bits, com uma repetição de 38 semanas (266 dias). Uma fracção deste código, 1 semana, é atribuída a cada satélite que serve para identificá-lo.

A modulação é efectuada sobre as portadoras $L1$ e $L2$, sendo que a $L1$ é modulada com os códigos P e A/C , enquanto que a $L2$ é modulada unicamente pelo código P . A mensagem de navegação é transportada pelas duas portadoras (Fig. 15).

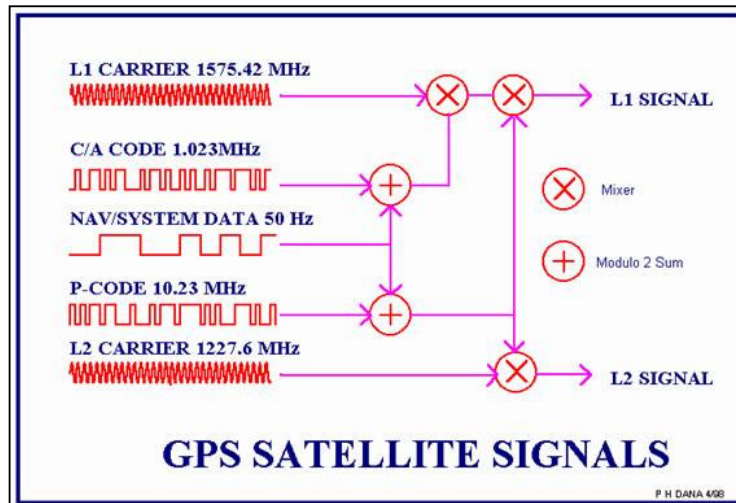


Fig. 15 - Modulação in P. Dana [1996]

O código P pode ser afectado por uma técnica conhecida por *Anti-Spoofing* (AS), onde o código P é cifrado e transformado em código Y , impedindo o seu acesso aos utilizadores não autorizados e que os utilizadores autorizados sejam enganados por sinais falsos. O AS foi implementado em 1 de Janeiro de 1994, desde então o código P cifrado (ou Y) só está disponível para utilizadores com acesso à chave criptográfica.

Na modulação por fase são mantidas tanto a amplitude como a frequência da portadora. No entanto, esta sofrerá uma mudança de fase sempre que o valor binário se alterar de zero (0) para um (1) e vice-versa. A modulação por fase para a transmissão de dados GPS é designada por **PHASE SHIFT KEYING** (PSK), onde sempre que se alterar o sinal a modular de zero (0) para um (1) e vice-versa, será introduzido um desfasamento de 180° no sinal modulado (o equivalente ao inverso do sinal) entre cada alteração do código binário.

4.4. - Observações GPS e Cálculo da Posição

Após atravessarem a atmosfera, chegam simultaneamente ao receptor GPS dois sinais de cada satélite visível. Para realizar as medições o receptor tem de decompor os sinais nos seus constituintes, isto é, no código C/A, na mensagem de navegação, no código P e na onda portadora.

Cada receptor, após receber a informação do almanaque da constelação de satélites, gera uma réplica do código C/A ou P (se autorizado), por cada satélite visível, e efectua a correlação ou “alinhamento” de cada réplica com o sinal respectivo de cada satélite. O intervalo de tempo necessário para manter esse alinhamento multiplicado pela velocidade da luz corresponde a uma distância a menos de um erro devido ao não sincronismo da geração do sinal (no satélite) e da réplica (no receptor), daí a designação de pseudo-distância.

Após retirar do sinal recebido os códigos C/A e P, o receptor constrói a onda portadora e pode, eventualmente, medir a fase da portadora. Esta observação apresenta uma resolução superior à da pseudo-distância.

Cada satélite constitui uma posição de referência a partir da qual é determinado o conjunto dos pontos do espaço que se encontram à mesma pseudo-distância, sendo necessário, no mínimo, 4 satélites para o cálculo da posição (x, y, z).

Para Hidrografia o posicionamento obedece às normas da OHI (1998) para a execução de levantamentos hidrográficos. Assim, para satisfazer os requisitos e garantir a exactidão do posicionamento, tão elevada quanto possível, é utilizada uma estação de referência (ou diferencial) que calcula, tendo em conta as coordenadas conhecidas dessa estação, os erros da pseudo-distância observada para cada satélite. Esses valores são transmitidos, via rádio, como correcções a aplicar às pseudo-distâncias. Este sistema é conhecido por GPS diferencial, ou simplesmente DGPS. Estas correcções refinam e garantem a melhoria da qualidade do posicionamento.

A exactidão do DGPS depende essencialmente da distância entre a estação de referência e a estação móvel. Assim, para distâncias inferiores a 20 km, segundo a literatura especializada, a exactidão prevista do DGPS é de 1 m a 95% de nível de confiança. Para distâncias da ordem dos 200 km a exactidão prevista é de 2-4 m, para o mesmo nível de confiança.

5 – Marés

Maré é o movimento periódico das águas do mar, pelo qual elas se elevam ou baixam em relação a um nível de referência, fixo no solo. É o fenómeno causado pelas atracções simultâneas do Sol e Lua sobre a superfície dos oceanos. A Lua é o corpo celeste que exerce maior influência.

A atracção gravitacional da Lua faz com que a água dos oceanos avance sobre a parte da Terra que se encontra mais próxima da Lua e também sobre a parte diametralmente oposta.

O movimento de translação da Lua, também conhecido como dia lunar, tem a duração aproximada de 24 horas e 50 minutos, dividindo-se este tempo em 2 períodos, teremos dois turnos de aproximadamente 12 horas e 25 minutos, que é a duração de um ciclo de maré entre duas preia-mares ou baixa-mares consecutivas (maré semi-diurna).

Nas fases de Lua Cheia ou Lua Nova, onde a Terra, o Sol e a Lua estão em oposição ou conjunção, ocorre o somatório de forças desses astros, e a amplitude das marés atinge seu ponto extremo (tanto nas preia-mares como nas baixa-mares), fazendo assim com que ocorram as marés de águas vivas (marés de elevada amplitude). As correntes, devido ao efeito de maré, também apresentam velocidades elevadas.

Nas fases de Quarto Crescente e Quarto Minguante, ocorre o inverso, que são as marés mortas ou de quadratura. As correntes de maré apresentam velocidades reduzidas.

As alterações do nível do mar também podem ocorrer devido a efeitos meteorológicos, que levam à diferença entre a maré observada (real) e aquela prevista nas Tabelas de Marés. As causas desse fenómeno são, principalmente, as variações da pressão atmosférica e a acção dos ventos sobre a água, causando assim duração e níveis mais baixos ou mais altos que os previstos.

As previsões de hora e altura das marés são divulgadas nas Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico.

A leitura da maré ou observação pode ser feita através de leitura relativamente a uma marca de nivelamento cuja cota ou altura, acima do nível médio adoptado ou do zero hidrográfico, é conhecida. Normalmente a medição é efectuada com uma fita de contacto eléctrico, ou através de uma escala de maré, régua graduada que se fixe verticalmente num cais, de modo a permitir a leitura da altura da maré.

Existem porém equipamentos que permitem a medição e o registo da altura da maré em função do tempo. Estes equipamentos são designados de marégrafos, e podem ser identificados de acordo com o princípio utilizado na medição:

Marégrafo de Poço – regista as oscilações do nível do mar, de longo período, com base na flutuabilidade de uma bóia, são os mais antigos (Fig. 16), e fazem parte da rede nacional maregráfica.

Marégrafo de Escape de gás – regista as oscilações do nível do mar, com base no princípio da pressão hidrostática. Usados como marégrafos de campanha de longa duração.

A Tabela de Marés (Volume I) é uma publicação náutica produzida pelo Instituto Hidrográfico. Tem como finalidade indicar as previsões de maré (hora e altura das preia-mares e baixa-mares) dos principais portos nacionais (continente e ilhas).

Em adição, o volume II cobre os principais portos dos PALOP. Os valores indicados como previsões foram calculados com base nas observações efectuadas através da rede maregráfica nacional.

São também indicados os valores de concordância para os portos secundários. O sistema das concordâncias assenta na aplicação das diferenças horárias das marés e nas diferenças de altura ou relações de amplitude.

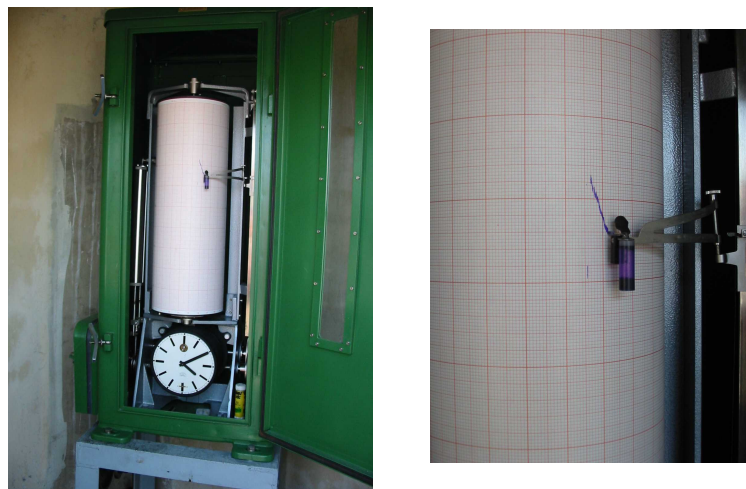


Fig. 16 - Marégrafo e respectivo registo

Terminologia:

Preia-mar: Nível máximo da maré.

Baixa-mar: Nível mínimo da maré.

Estofó: Ocorre entre marés, curto período em que não há alteração na altura do nível da água.

Amplitude da Maré: Variação do nível da água, entre uma preia-mar e uma baixa-mar.

Quadratura: O Sol e a Lua formam um ângulo de 90° graus em relação à Terra.

Maré de Quadratura: Maré de pequena amplitude, maré correspondente ao quarto crescente ou minguante.

Maré astronómica ou maré (*Tide*) – oscilação periódica do nível das águas por acção das forças de atracção da Lua e do Sol.

6 - Levantamentos Hidrográficos

Nos nossos dias, é possível assegurar uma insonificação total do fundo com recurso aos sondadores de faixa (sondadores multifeixe – SMF). Esta cobertura corresponde a um salto tecnológico de grande valia, comparável à transição da sondagem discreta, com fio-de-prumo, para a sondagem contínua, ao longo de perfis, com sondador acústico de feixe simples (Fig. 17).

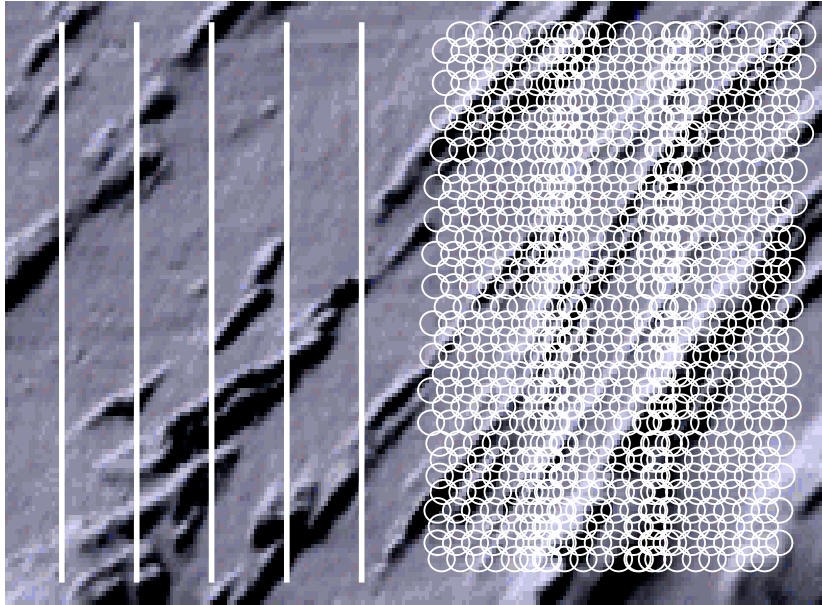


Fig. 17 – Ilustração de uma cobertura do fundo com sondador feixe simples (à esquerda) e de uma cobertura total do fundo com sondador multifeixe (à direita).

6.1. - Requisitos para a Execução de Levantamentos

A Publicação Especial S-44 (“IHO Standards for Hydrographic Surveys”, 4ª edição) da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), OHI (1998), estabelece os requisitos mínimos para a execução dos levantamentos hidrográficos 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, no posicionamento e na profundidade reduzida, foram estabelecidos para um nível de confiança de 95%.

Os levantamentos hidrográficos de Ordem Especial são efectuados nas seguintes áreas tipo: portos, zonas de atracação e canais de navegação, onde as margens de segurança são muito pequenas. Um levantamento de Ordem Especial requer uma cobertura total do fundo, quer utilizando sondadores multifeixe, de preferência com a utilização de imagem acústica, quer utilizando sondadores de feixe simples e sonares laterais. Regra

geral, estes levantamentos devem ser realizados em áreas com profundidades inferiores a 40 metros.

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. Regra geral, estes levantamentos devem ser realizados em áreas com profundidades inferiores a 100 m. Embora os requisitos sejam menos exigentes que para a Ordem Especial, em algumas áreas pode ser necessária uma cobertura total do fundo (1A), 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, 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 uma cobertura total do fundo (2A), em zonas seleccionadas, caso se suspeite que as características do fundo, ou a possível existência de algumas obstruções, possam constituir risco 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 para as diversas ordens de levantamentos hidrográficos são apresentados na Tabela 1, onde a exactidão se refere a um nível de confiança de 95%. A exactidão requerida para as profundidades reduzidas, ϵ , é dada pela equação (1), onde os parâmetros a e b são dados na tabela 1, e d é o valor da profundidade (ver Fig. 18):

$$\epsilon(d) = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2}$$

ORDEM	Exemplos de Áreas Típicas	Exactidão do posicionamento (m)	Exactidão da profundidade (m)	Máximo Espaçamento entre Fiadas de Sondagem
ESPECIAL	Portos, zonas de atracação e canais de navegação, onde as margens de segurança são muito pequenas	2m	$a = 0.25m$ $b = 0.0075$	O necessário para garantir 15% de sobreposição de faixas, mas não superior a 2 vezes o fundo
1	A Portos e suas aproximações, caminhos recomendados, águas interiores e costeiras de grande densidade de tráfego, requerem a cobertura total do fundo	$5m + 0.05 * d$	$a = 0.5m$ $b = 0.013$	O necessário para garantir 10% de sobreposição de faixas, mas não superior a 3 vezes o fundo
	B Mesmas áreas que em 1A mas não requer a cobertura total do fundo	$5m + 0.05 * d$	$a = 0.5m$ $b = 0.013$	3 vezes a profundidade média ou 25 m, cf. o maior valor
2	A Áreas com profundidades inferiores a 200m, não abrangidas pelas ordens anteriores, requerem a cobertura total do fundo	$20m + 0.05 * d$	$a = 1.0m$ $b = 0.023$	O necessário para garantir 5% de sobreposição de faixas, mas não superior a 4 vezes o fundo.
	B Mesmas áreas que em 2A mas não requer a cobertura total do fundo	$20m + 0.05 * d$	$a = 1.0m$ $b = 0.023$	3 a 4 vezes a profundidade média ou 200 m, cf. o maior valor
3	Áreas com profundidades superiores a 200m, não abrangidas pelas ordens anteriores	$150m + 0.05 * d$	$a = 1.0m$ $b = 0.023$	Inferior a 4 vezes a profundidade média

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

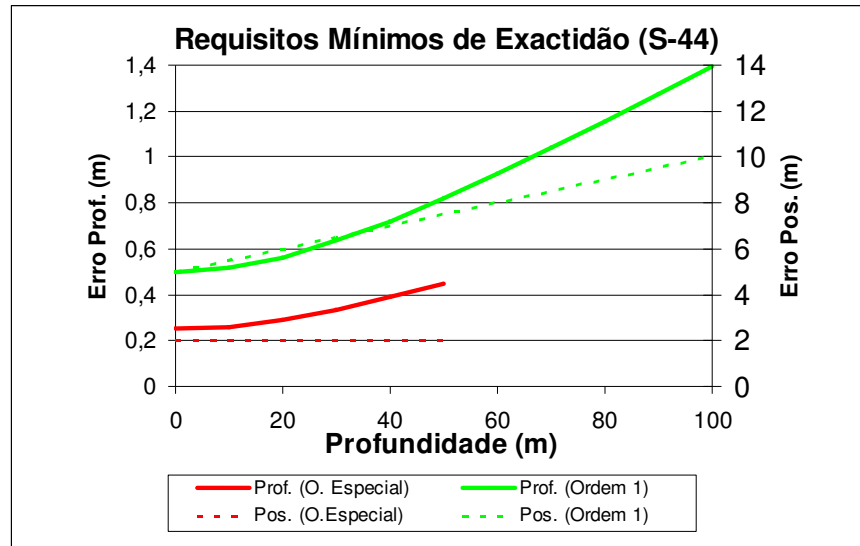


Fig. 18 – Requisitos mínimos de exactidão no posicionamento e na profundidade reduzida para os levantamentos hidrográficos (ordem 1 e ordem especial).

6.2. - Sondador Multifeixe (SMF)

Os sondadores multifeixe efectuam a medição de profundidades ao longo de uma faixa. A largura da faixa sondada, coberta por este equipamento, é função da abertura angular do feixe transmitido no sentido transversal à proa da embarcação. Apesar da elevada cobertura alcançada por estes sondadores, a faixa útil utilizada usualmente em Hidrografia, não deve corresponder a uma cobertura angular superior a 120° , ou seja 3.5 vezes a faixa sondada.

O princípio de funcionamento deste sistema, 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, com espaçamento equiangular ou equidistante. A área insonificada, correspondente à profundidade medida, é o resultado da intersecção entre o feixe transmitido e o feixe formado durante a recepção (Fig. 19).

A medição do intervalo de tempo entre a transmissão do impulso acústico e a sua detecção, após reflexão no fundo, é efectuada para cada feixe através de algoritmos específicos.

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 de um feixe vertical, como 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. Conhecendo a velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, é efectuado o cálculo do trajecto do impulso acústico através do desenvolvimento da lei de Snell, segundo os vários ângulos de incidência (ângulo relativo à vertical do transdutor, θ) 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.

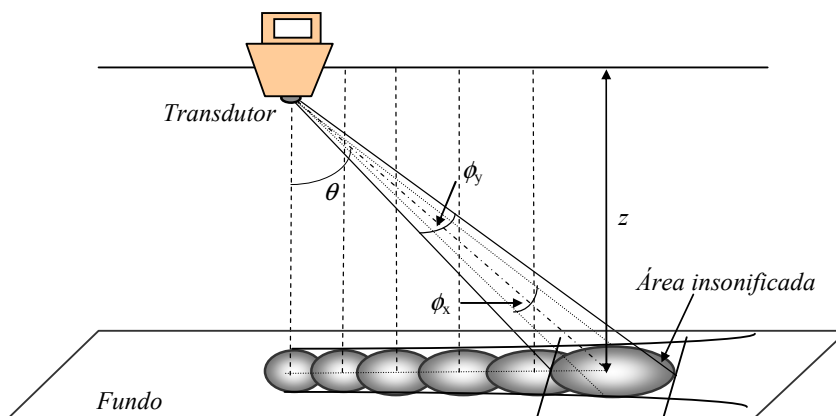


Fig. 19 – Áreas insonificadas correspondentes à intersecção entre o feixe transmitido e vários feixes formados durante a recepção.

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 fundo e de eventuais objectos ou estruturas salientes em relação ao fundo.

6.3. - Sensor de Atitude

Os navios ou embarcações utilizadas nas sondagens estão sujeitas a movimentos vários, cabeceio/*pitch*, balanço/*roll* e arfagem/*heave*. Estes movimentos são usualmente determinados com sensores inerciais. Uma vez determinados esses valores é possível corrigir os dados de profundidade e de posicionamento para cada feixe.

Estes sensores são constituídos por três acelerómetros e três giroscópios dispostos num referencial tri-ortogonal para a medição de acelerações lineares e angulares. Após dupla integração dessas acelerações é possível determinar a arfagem e os ângulos transversais e longitudinais (balanço e cabeceio).

Num passado muito recente estes sensores eram utilizados isoladamente para determinação da atitude. No entanto, na presença de acelerações horizontais de longo período, estes sensores apresentam desvios, não aceitáveis em hidrografia. O que

acontece, de forma regular, durante rotações da embarcação e durante a alteração de velocidade.

Actualmente, os sensores de atitude utilizados com o SMF integram também informação DGPS que permite, com recurso a algoritmos apropriados, filtrar essas acelerações. O resultado é um sensor de atitude pouco sensível às acelerações horizontais, fundamental em sondagens portuárias.

6.4. - Medição da Velocidade de Propagação do Som na Água

Os SMF requerem o conhecimento e actualização do perfil de velocidade de propagação do som na água, tão frequente quanto possível, nos cálculos de posicionamento e de profundidade dos feixes oblíquos, para uma exactidão aceitável.

Os velocímetros utilizados, para este efeito, realizam medições da velocidade de propagação do som com elevada exactidão. No entanto, a variação temporal e espacial do perfil é a principal causa de erros no SMF.

7 – Correntes - circulação oceânica

As principais forças a considerar no estudo dos movimentos no Oceano são:

Forças directas, que causam o movimento:

- Atracção gravitacional (Sol e Lua);
- Tensão do vento (pode ser tangencial - atrito, ou normal - pressão);
- Força devido ao gradiente horizontal de pressão;
- Pressão atmosférica (1 mb faz variar a superfície do oceano em cerca de 1 cm);
- Sísmicas (resultantes do movimento do fundo marinho).

Forças indirectas, que resultam do movimento:

- Força de Coriolis (surge devido à rotação da Terra);
- Forças de atrito (opõem-se ao movimento e fazem dissipar energia mecânica, convertendo-a em energia térmica).

O movimento da atmosfera, causado pelas variações de calor à superfície da Terra, exerce uma força de arrastamento na superfície do mar. Esta força leva ao movimento da água entre regiões climáticas, na Fig. 15 é apresentada a circulação geral dos oceanos.

Correntes devidas ao vento (local): afectam a camada superficial;

- balanço da tensão tangencial do vento;
- força de Coriolis e força gravítica (gradiente da superfície livre);
- variação da direcção com a profundidade (espiral de Ekman).

Podem-se considerar, no entanto, outros tipos de correntes:

Correntes marítimas: associadas à circulação oceânica (ordem de x-xx cm/s);

- forçadas pela circulação atmosférica;
- força de Coriolis.

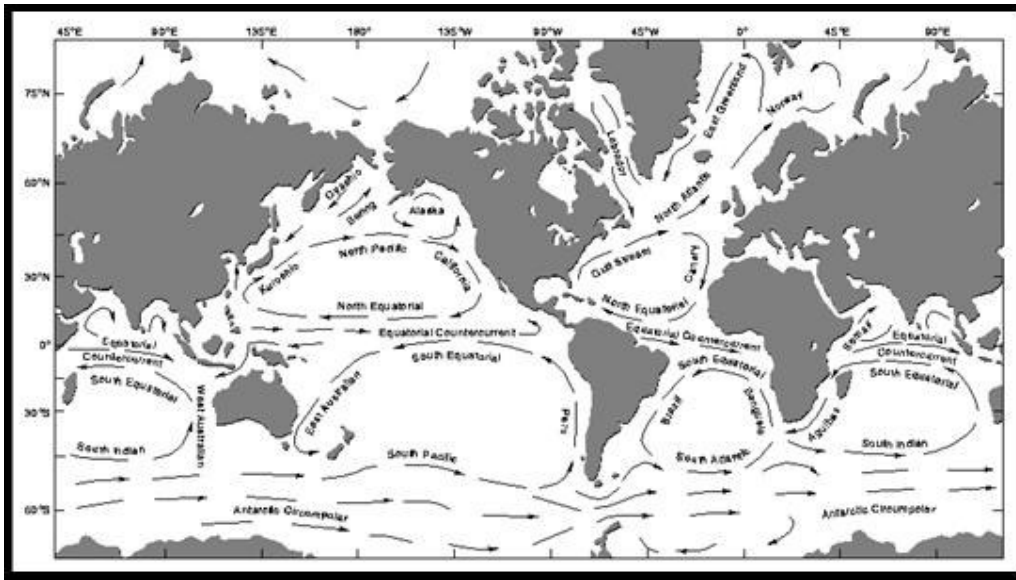


Fig. 20 - Circulação superficial dos oceanos

Correntes de densidade: resultam de gradientes de densidade;

- devido a variações de temperatura, concentrações de sólidos em suspensão e/ou salinidade.

Correntes de maré: apresentam magnitude variável, função da localização;

- cíclicas (efeito da maré) magnitude mais elevada em estuários (0.1-2.0 m/s).

Correntes litorais: responsáveis pelo transporte de sedimentos ao longo da costa.

- Longitudinais: correntes paralelas à costa, provocadas, pela transferência de energia pela rebentação de ondas, ou em zonas de acentuada difracção das mesmas;
- Transversais: correntes perpendiculares à costa.

8 – Ondas

As **ondas superficiais gravíticas** representam um fenómeno de interacção entre o oceano e a atmosfera e são geradas directamente pelo vento.

A propagação de ondas na superfície do mar corresponde a uma sucessão de cristas (pontos mais elevados da superfície) e de cavas (as depressões da superfície).

Consideram-se dois tipos de ondas superficiais gravíticas:

Vagas (“*wind waves*”) - ondas geradas por ventos locais, não apresentam ordenação e têm pequena amplitude.

Ondulação (“*swell*”) - ondas geradas a grandes distâncias (da ordem de centenas de quilómetros), apresentam ordenação e forma mais regular, maior amplitude.

O movimento das partículas de água numa onda: (a) movimento em ondas de pequena amplitude em águas profundas, mostrando decréscimo exponencial do diâmetro dos percursos orbitais com a profundidade; (b) movimento em ondas de grande amplitude em águas profundas, mostrando a deriva das ondas; (c) movimento em ondas de águas pouco profundas, mostrando o achatamento das órbitas próximo do fundo (Fig. 21).

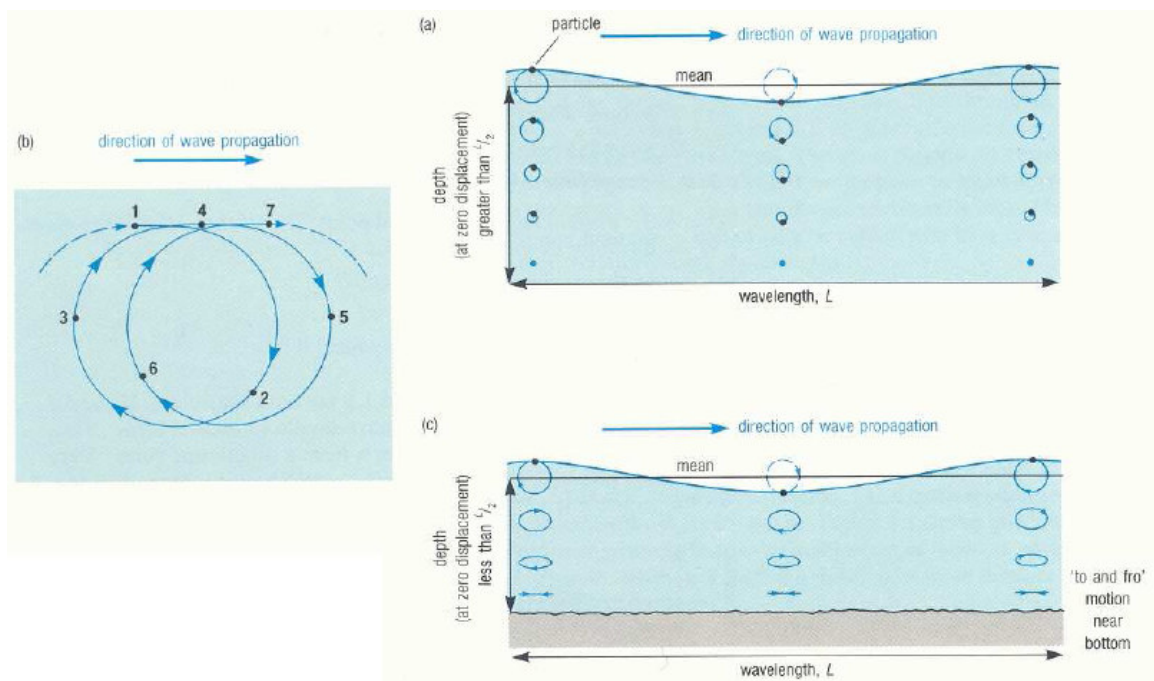


Fig. 21 - Movimento e circulação das partículas

Os parâmetros utilizados para descrever a ondulação, a partir de um registo de agitação marítima são essencialmente estatísticos:

Altura média \bar{H}

Período médio \bar{T}

Altura máxima H_{Max}

Altura significativa H_S ou $H_{1/3}$

(corresponde à média do terço das ondas mais altas. Este valor é próximo do observado visualmente)

A geração de ondas, por efeito do vento, depende da conjugação dos seguintes factores:

- Força do vento (ou velocidade do vento);
- Duração;
- Trajecto do vento sobre a superfície do oceano (*Fetch*).

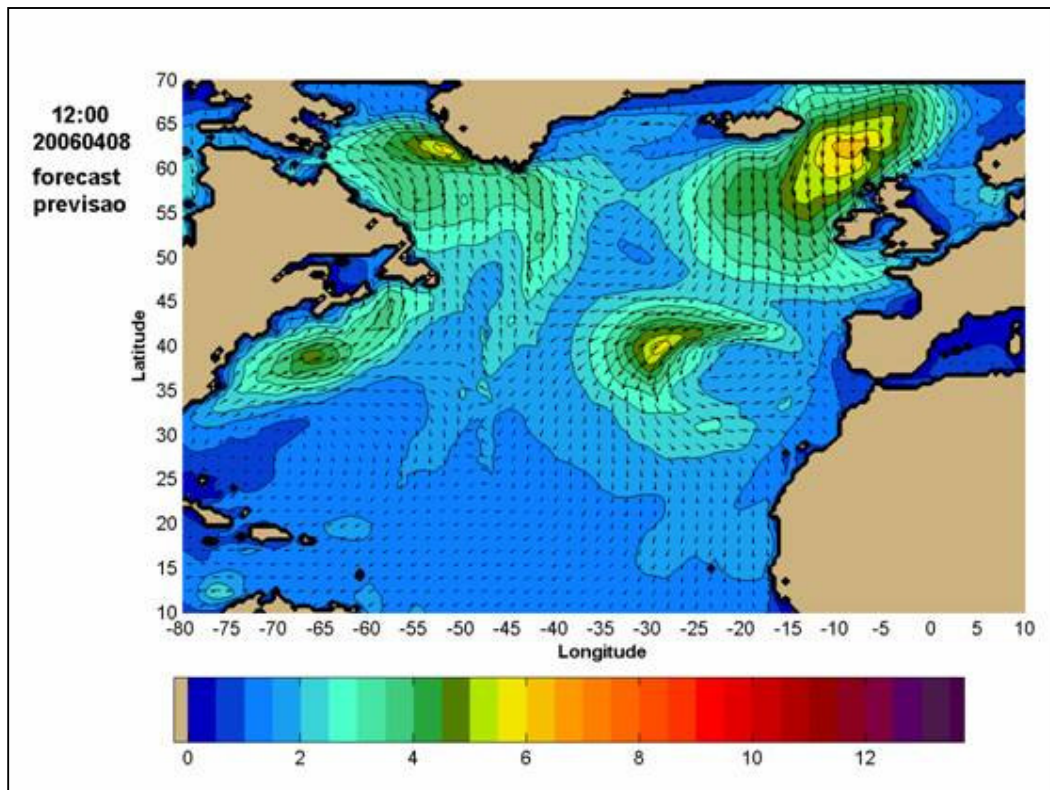


Fig. 22 – Previsão da altura da ondulação (©IH).

Assim, por exemplo, num estuário a superfície da água exposta ao vento é, usualmente, o factor limitativo da altura máxima da ondulação.

Outro factor limitativo é a profundidade. As ondas não podem atingir uma altura superior a $\frac{L}{7}$. A velocidade mais elevada das partículas na parte superior da órbita leva ao avanço da parte superior da onda e à sua posterior rebentação.

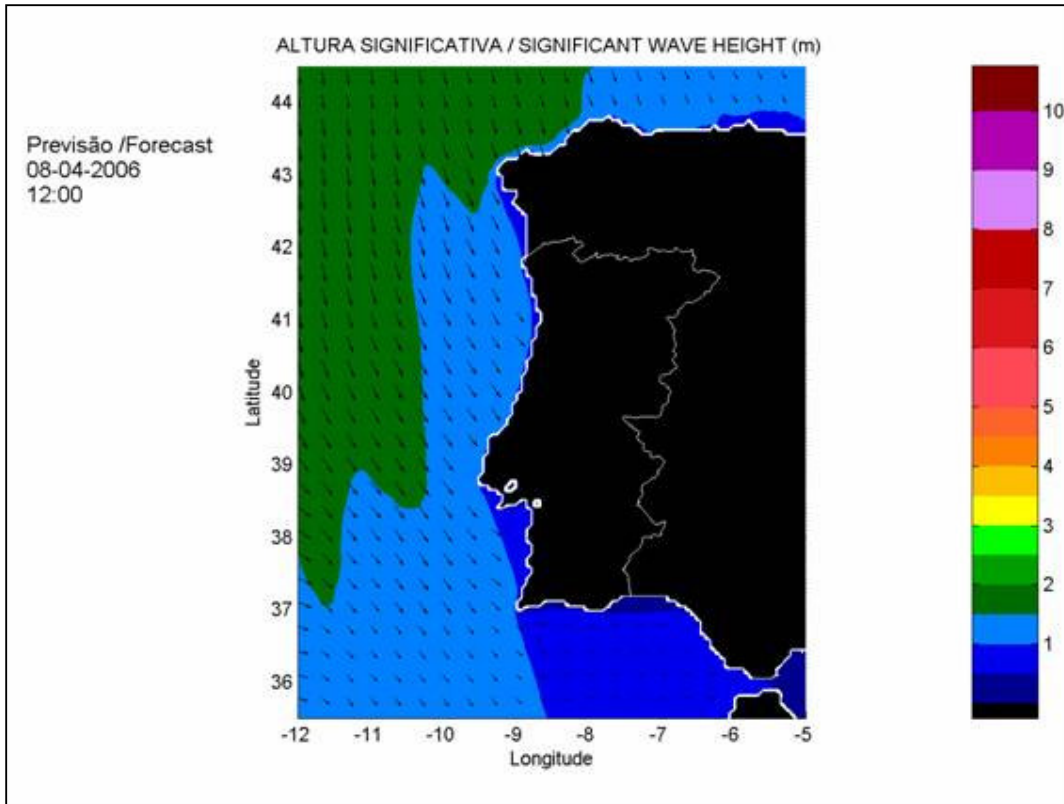


Fig. 23 – Previsão da altura da ondulação (©IH).

A **velocidade de propagação de uma onda**, ou **velocidade de fase**, pode ser obtida a partir do tempo que um comprimento de onda demora a passar num ponto fixo, $v = L/T$.

$$\text{Águas profundas} \quad z > \frac{L}{2} \quad v = \sqrt{\frac{g}{k}}$$

$$\text{Transição} \quad \frac{L}{25} < z < \frac{L}{2}$$

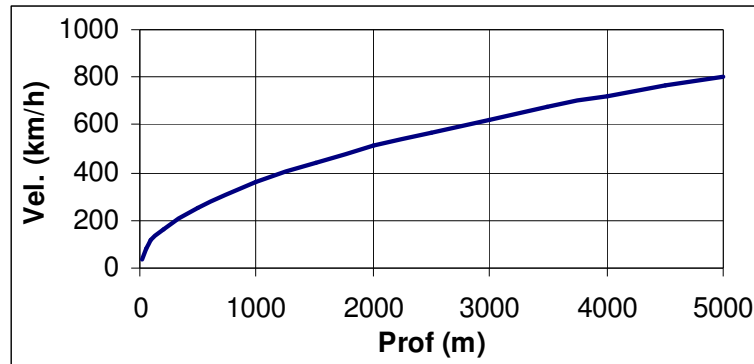
$$\text{Águas pouco profundas} \quad z < \frac{L}{25} \quad v = \sqrt{gz}$$

onde: z é a profundidade,

L é o comprimento de onda;

g é a aceleração da gravidade, e

k é o número de onda, dado por $2\pi/L$



Quando as ondas se propagam para fundos mais baixos, a parte da onda que se propaga em fundos superiores avança mais rapidamente que a parte da onda que se propaga em fundos inferiores. Consequentemente a frente da onda é paralela à batimetria. Este fenómeno que ocorre quando a onda começa a “sentir o fundo” é designado de refração.

Uma **seicha** é uma onda estacionária, em resultado da soma de duas ondas progressivas que se propagam em sentidos opostos. As seichas podem ocorrer em lagos, baías, estuários ou portos abertos ao mar numa das suas extremidades. São causadas pela mudança súbita das condições meteorológicas.

8.1 – Tsunamis

Um **tsunami** (termo derivado de *tsu* (porto) e *nami* (onda), significa onda de porto) é uma onda ou uma série de ondas que ocorrem após perturbações abruptas do fundo do mar que deslocam verticalmente a coluna de água, como, por exemplo, um sismo, actividade vulcânica, abrupto deslocamento de terras ou devido ao impacto de um meteorito, dentro ou perto do mar.

Há quem identifique o termo com "maremoto" - contudo, maremoto refere-se a um sismo no fundo do mar, semelhante a um sismo em terra firme e que pode, de facto originar um tsunami.

A energia de um tsunami é função da sua amplitude e da sua velocidade. À medida que a onda se aproxima de terra, a sua amplitude aumenta, enquanto que a sua velocidade diminui. Os tsunamis podem caracterizar-se por ondas de 30 metros de altura, causando grande destruição (Fig. 24).

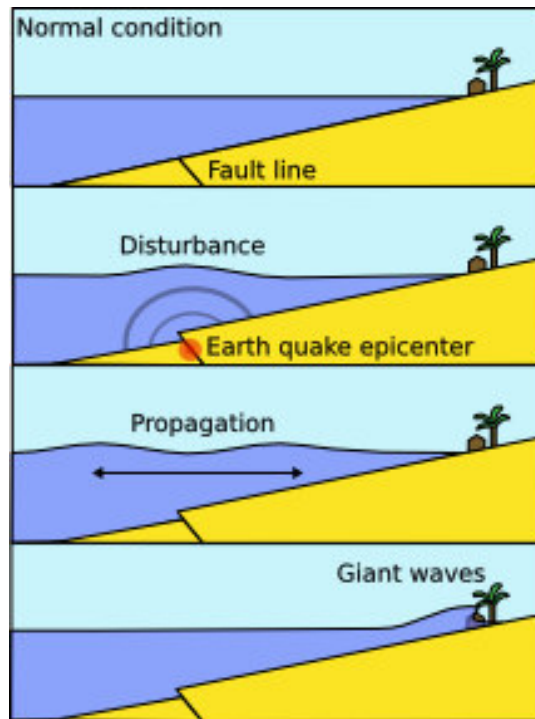


Fig. 24 - Esquema de um Tsunami [Wikipedia, 2005]

Um tsunami pode ser gerado por qualquer perturbação que desloque verticalmente uma grande massa de água, tal como um sismo (movimento no interior da terra), um deslocamento da terra, uma explosão vulcânica ou um impacto de um meteoro.

Os sismos tectónicos são um tipo particular de sismo que origina uma deformação da crosta; sempre que os sismos ocorrem em regiões submarinas, a massa de água localizada sobre a zona deformada vai ser afastada da sua posição vertical de equilíbrio. As ondas são o resultado da acção da gravidade sobre a perturbação da massa de água.

Os movimentos verticais da crosta são muito importantes nas fronteiras entre as placas litosféricas. Por exemplo, no Oceano Pacífico existem vários locais onde placas oceânicas mais densas deslizam sob as placas continentais menos densas, num processo que se designa por subducção. Estas zonas originam facilmente tsunamis.

Deslizamentos submarinos de terra, acompanham muitas vezes os grandes tremores de terra, podem, também, perturbar a coluna de água, quando grandes volumes de sedimentos e rocha se deslocam e se redistribuem no fundo do mar. Uma explosão vulcânica submarina violenta pode, do mesmo modo, levantar a coluna de água e gerar um tsunami. Grandes deslizamentos de terra e impactos de corpos cósmicos podem perturbar o equilíbrio do oceano, com transferência de momento destes para o mar. Os tsunamis gerados por estes mecanismos dissipam-se mais rapidamente que os anteriores.

Os Tsunamis têm um comportamento muito diferente das típicas ondas de surf; propagam-se a altas velocidades e podem percorrer distâncias transoceânicas sem grande perda de energia, devido ao seu elevado comprimento de onda. Um tsunami pode causar estragos a milhares de quilómetros de distância da sua origem, podendo passar muitas horas entre a sua criação e a sua chegada à costa.

Tipicamente, cerca de dez minutos antes de um tsunami, o mar recua da costa, expondo parte do leito marinho. Se a inclinação for rasa, este recuo pode exceder 800 m. As pessoas inconscientes do perigo podem permanecer na costa, devido à curiosidade, mas este pode ser um sinal de advertência da vinda de um tsunami. **Pode haver diversas ondas, com intervalos entre dois e quarenta e cinco minutos.**

Estas características ocorrem porque os tsunamis possuem períodos extremamente longos e também grandes comprimentos de onda. Enquanto que as ondas provocadas pelo vento, geradas por exemplo, por uma tempestade longínqua, ocorrem de forma periódica com períodos da ordem dos 10 segundos e comprimento de onda de cerca de 100 metros. Porém, os tsunamis podem ter períodos superiores a uma hora e comprimentos de onda que podem exceder os 100 km.

Uma onda, em fundos baixos, tem tendência a rebentar quando a relação entre a profundidade da água e o seu comprimento de onda se torna muito pequena (isto é, quando a profundidade é bastante menor que o comprimento de onda). Como os tsunamis têm um grande comprimento de onda, comportam-se como ondas em fundos baixos, mesmo no alto mar.

As ondas em fundos baixos movem-se com uma velocidade que pode ser calculada pela raiz quadrada do produto da aceleração da gravidade (9.8 m/s^2) pela profundidade da água. Assim, para uma profundidade de 4000 m, um tsunami viajará a 200 m/s (cerca de 712 km/hora) com uma perda mínima de energia, mesmo em grandes distâncias. Para uma profundidade de 40 metros, a velocidade poderá diminuir para os 20 m/s (cerca de 71 km/hora), o que é, efectivamente, muito mais lento mas, suficientemente rápido para se fugir a tempo.

O gigantesco abalo sísmico, em 1755, gerou uma onda de cerca dez metros de altura, que colheu cerca de 60 mil pessoas que tinham fugido do interior da cidade de Lisboa para a costa.

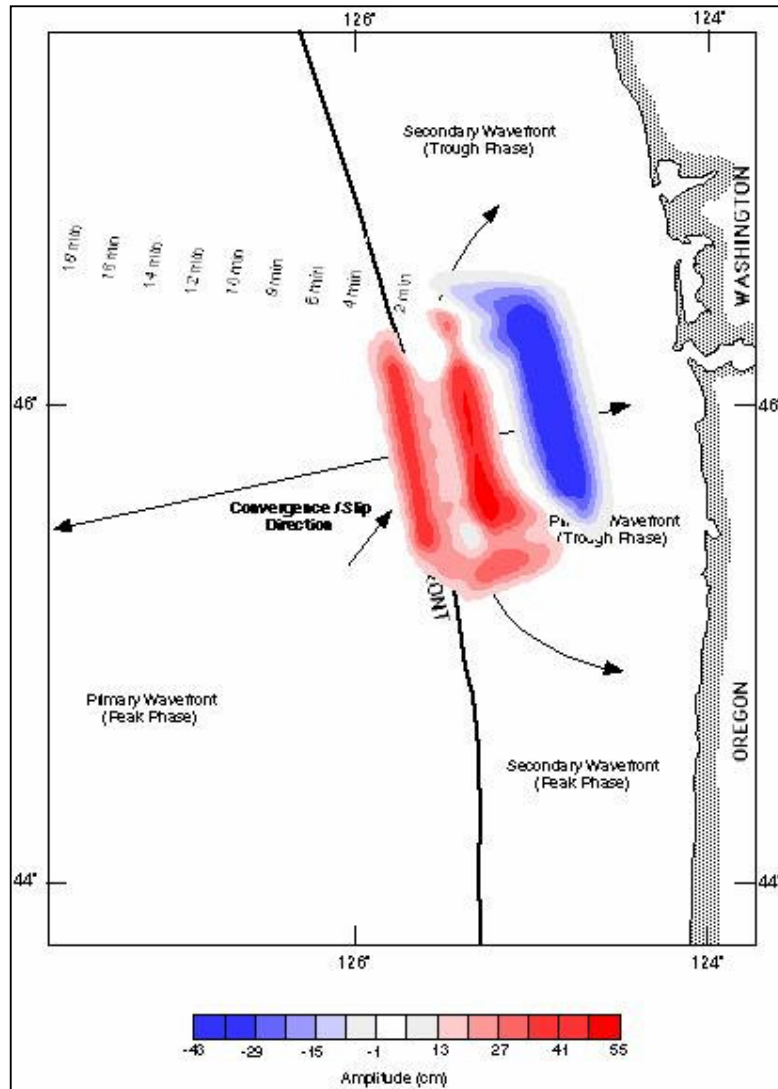


Fig. 25 - Esquema de propagação das ondas [Wikipedia, 2005]



Fig. 26 – Fronteira das placas tectônicas in J. Cabral (1993)

Bibliografia:

Antunes M. e F. Pimentel (2003) – *A extensão da Plataforma Continental para além das 200 Milhas*, Revista da Armada, Marinha Portuguesa, Lisboa.

Cabral, João C. (1993) – *Neotectónica de Portugal Continental*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.

IHO (1998). *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Special publication No. 44, 4ª Edição, International Hydrographic Organization, Mónaco.

IHO (2002). *IHO Regulations of the IHO for International (INT) Charts and Chart Specifications of the IHO*. Publication M-4, International Hydrographic Organization, Mónaco.

<http://en.wikipedia.org>

<http://www.hidrografico.pt/wwwbd/Mares/MaresPortosPrincipais.asp>

Anexo A – Exercícios e Prática

A.1 – Utilização da Carta Náutica Oficial (CNO)

Na utilização correcta da carta náutica oficial (CNO) deve ter-se em atenção a informação apresentada no título da carta e nas notas complementares.

Exemplo:

OCEANO ATLÂNTICO NORTE
PORTUGAL
PORTUGAL CONTINENTAL – COSTA OESTE
CABO DA ROCA
AO
CABO DE SINES

ESCALA 1:150 000 (39°00')

PROJECCÃO DE MERCATOR

Elipsóide Internacional – Datum Europeu (1950)

Sondas – Expressas em metros e referidas ao nível do Zero Hidrográfico (ZH.) que fica situado abaixo do nível da Maré Astronómica Mais Baixa (BMmín.).

Altitudes – Expressas em metros e referidas ao Nível Médio do mar (NM.).

Topografia – Extraída de cartas militares produzidas pelo Instituto Geográfico do Exército.

Posições – As posições referidas ao sistema geodésico mundial (WGS) devem ser corrigidas de 0,08' para norte e 0,09' para leste, para concordância com esta carta.

NOTAS:

Fundeadouros – Antes de fundear na área desta carta a navegação deve contactar, previamente, a Autoridade Marítima local.

Sistema de Balizagem – Sistema de Balizagem Marítima AISM – Região «A» (Vermelho a Bombordo).

Águas Jurisdicionais Portuguesas – Toda a navegação na área desta carta deve respeitar a legislação abaixo mencionada:

- Base Recta – Decreto–Lei No 495/85.
- Exercício da Pesca – Decreto Regulamentar No 43/87 com a redacção que lhe é dada pelo Decreto Regulamentar No 7/2000. Arrasto – Portaria No 1102E/2000.
- Mar Territorial – Lei No 33/77.
- Zona Económica Exclusiva – Decreto–Lei No 119/78 e Decreto–Lei No 52/85.
- O *Grupo Anual de Avisos aos Navegantes* contém informação complementar sobre esta matéria.

Reservas e Parques Naturais – Toda a navegação na área desta carta deve respeitar a legislação/regulamentação abaixo mencionada:

- Decreto–Lei No 19/93.
- Parque Natural de Sintra–Cascais – Decreto Regulamentar No 8/94
- Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica – Decreto–Lei No 168/84
- Parque Natural da Arrábida – Decreto–Lei No 622/76, Portaria N°26–F/80 e Decreto Regulamentar N°23/98.
- Reserva Natural do Estuário do Sado – Decreto–Lei No 430/80 e Portaria N°957/89.
- Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina – Decreto Regulamentar No 26/95.
- O *Grupo Anual de Avisos aos Navegantes* contém informação complementar sobre esta matéria.

Exercícios de Submarinos – A área coberta por esta carta está inserida numa Zona de Exercícios de Submarinos. Toda a navegação deve manter uma adequada vigilância a submarinos, quer em imersão, quer à superfície. Ver *Grupo Anual de Avisos aos Navegantes*.

Exercícios Militares – Os períodos de tiro temporários são anunciados por avisos à navegação difundidos via rádio.

Anomalias Magnéticas – A sul de Cascais podem ocorrer fortes anomalias magnéticas.

Experiências de Velocidade – A navegação a sul de Sesimbra não deve interferir com os navios que se encontrem a efectuar experiências de velocidade.

Área de protecção de cabos submarinos – Dentro desta área é proibido o exercício de qualquer actividade susceptível de danificar os cabos submarinos, tais como, fundear, arrastar, rocegar, ou utilizar quaisquer redes ou artes de pesca que atinjam o fundo.

Símbolos: Carta 10Z01 (INT 1);

A.2 – Tabela de Marés

A.3 – Previsão da ondulação

Como referido no Capítulo 7 a geração de ondas, por efeito do vento, depende da conjugação dos seguintes factores:

- Força do vento (ou velocidade do vento);
- Duração do vento;
- Trajecto do vento sobre a superfície do oceano (*fetch*).

Exemplo 1:

Considerando os seguintes dados:

- Velocidade do vento = 20 m/s;
- Duração do vento = 2 horas;
- *Fetch* = 4 km

e o ábaco seguinte, estime a altura da ondulação nessas condições.

Identificando a curva da velocidade correspondente a 20 m/s, e efectuando a intersecção com as linhas de duração do vento (2 h) e do *fetch* (4 km), verifica-se que a primeira intersecção é dada pela linha do *fetch*. É este o factor limitativo pelo que a altura estimada da ondulação é de 1.2 m.

Assim, para estas condições de velocidade de vento e de *fetch*, a altura de 1.2 m será atingida, para a duração do vento de cerca de 40 minutos.

