

③ Características físicas e químicas da água do mar (2)

Propagação da Luz e do Som na água do mar.

A LUZ E O SOM NOS OCEANOS

O som propaga-se bem na água, o que torna possível a sua utilização para detecção de objectos no oceano (ecosondas) e para transmissão de informação (ex.: o "cantar" das baleias). A velocidade de propagação do som na água é inferior à da luz, mas dado que esta só consegue viajar curtas distâncias através da água, a sua importância no meio marinho fica muito reduzida em relação à importância que ela desempenha na atmosfera.

↪ Luz

A luz é uma forma de radiação electromagnética cuja velocidade de propagação é:

Vácuo	-	$3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Água do mar	-	$2,2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

No oceano a luz desempenha um papel importante em dois contextos:

- Visão
- Fotossíntese

À medida que a luz viaja na água, a sua intensidade decresce exponencialmente com distância à fonte. Esta diminuição exponencial de intensidade da luz denomina-se Atenuação e deve-se a dois motivos.

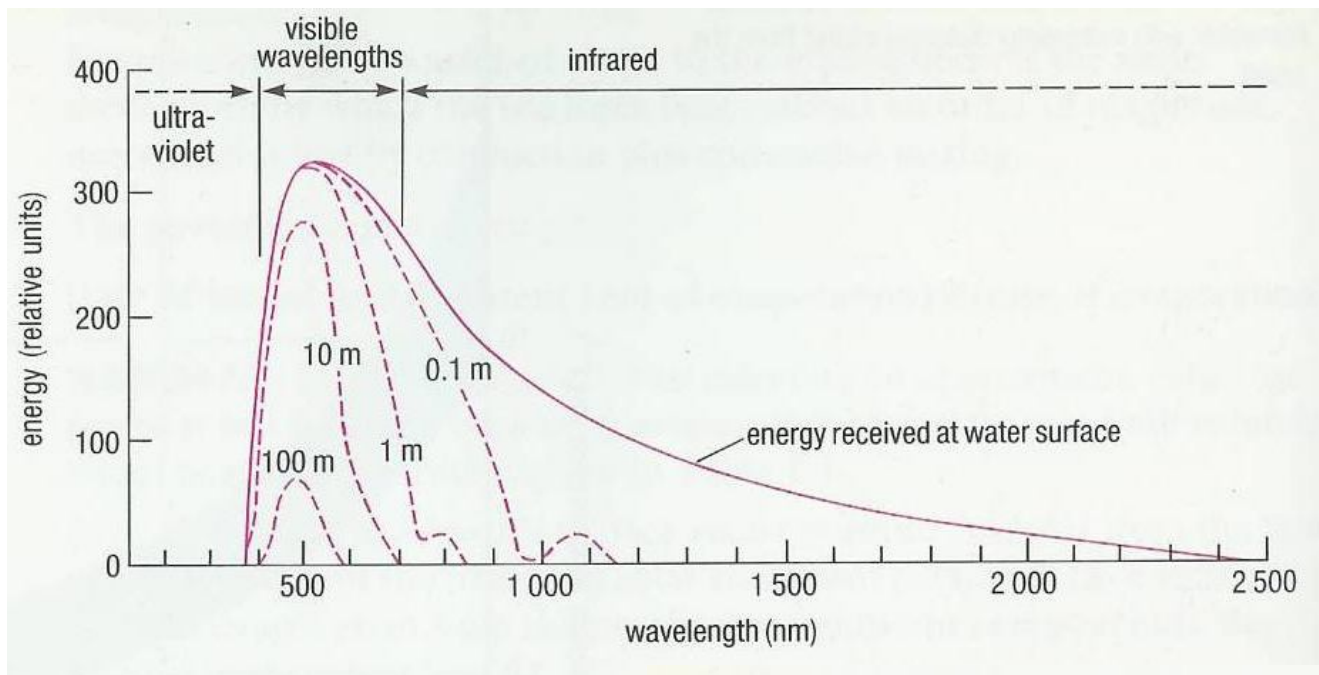


Figure 2.5 A simplified energy-wavelength spectrum of solar radiation at the surface of the ocean and at various depths. (nm=nanometre= 10^{-9} m.)

Causas de atenuação:

Absorção - conversão de energia electromagnética em outros tipos de energia, normalmente calor ou energia química (ex.: fotossíntese);

- elementos que absorvem a luz no meio marinho:

- seston [
- algas (fitoplâncton) que usam a luz para fotossíntese
 - partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão
 - compostos orgânicos dissolvidos
 - própria água

Dispersão - (scattering) a difracção modifica a direcção de propagação da energia electromagnética, como resultado de múltiplas reflexões da luz nas partículas em suspensão no oceano. Normalmente a luz é desviada em pequenos ângulos no sentido da sua propagação.

As águas costeiras tendem a ser particularmente túrbidas. A matéria em suspensão trazida pelos rios é mantida em suspensão pelas ondas e correntes de maré que também levantam sedimentos depositados no fundo.

Os rios também trazem nutrientes que provocam um crescimento do fitoplâncton, assim como compostos orgânicos dissolvidos (item [c] na lista das substâncias absorventes).

As águas oceânicas tendem a ser límpidas especialmente aonde a concentração de nutrientes é baixa e há pouca produção biológica.

Quando a luz visível (0,4 – 0,8µm) do sol penetra no oceano, ela é absorvida, consoante um aumento da temperatura à superfície do oceano. A luz solar que atinge os oceanos, é a fonte mais importante de fornecimento de calor dos oceanos.

A energia que penetra no oceano decresce progressivamente com a profundidade segundo a expressão:

$$I_z = I_0 e^{-Kz}$$

I_z - energia que penetra até à profundidade z

I_0 - energia que atinge a superfície do oceano

K - coeficiente de atenuação vertical da luz na água

z - profundidade

A zona iluminada na qual a intensidade é suficiente para que a produção fotossintética leve a um crescimento do fitoplâncton é chamada Zona Eufótica. Quanto maior for a

claridade da água e quanto mais alto estiver o sol, maior é a profundidade da zona eufótica.

Zona Eufótica	200m em águas claras em oceano aberto 40m nas plataformas continentais 15m em algumas águas costeiras
---------------	---

Só quando o fundo é suficientemente baixo para ficar dentro dos limites da zona eufótica é que existem plantas bênticas. De outro modo, as plantas marinhas no oceano têm de ser flutuantes, i.e. planctónicas.

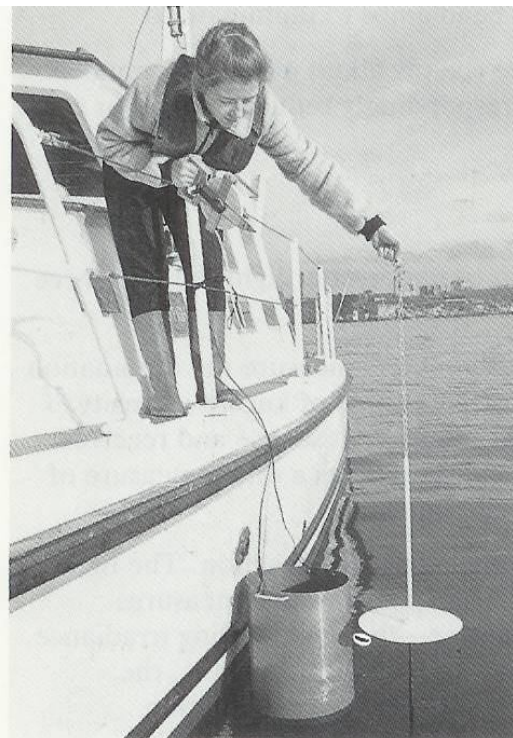


Figure 5.6 The Secchi disc.

Abaixo dos 1000m de profundidade a luz do dia já não pode ser apercebida.

Um meio simples de determinar a turbidez da água é através do disco de Secchi. O disco de Secchi é um disco circular com diâmetro de 20 – 30cm, pintado ou todo de branco, ou com 2 quadrantes pintados de preto e 2 de branco. É baixado através da coluna de água, até deixar de ser visível a partir da superfície. A profundidade a que isto acontece é a chamada Profundidade De Secchi:

$$Z_s = \frac{F}{C + K}$$

Z_s – profundidade de Secchi

C – coeficiente de atenuação da luz dirigida

K – coeficiente de atenuação difusa da luz não-dirigida (coeficiente de extinção)

F – factor que depende:

- reflectividade do disco;
- reflectividade do fundo (água) contra o qual se observa o disco;
- percepção de contraste do observador.

O disco de Secchi pode ser utilizado para estimar o valor do coeficiente de atenuação difusa K utilizado para estudos de produção primária fotossintética no oceano.

Assume-se a relação empírica:

$K \times Z_s \approx \text{constante}$

$$1,4 < K \times Z_s < 1,7 \quad \text{e assume-se} \quad K \times Z_s = 1,5$$

por outro lado,

$$V = 0,7 Z_s \quad V - \text{visibilidade submarina horizontal}$$

$$Z_e = 3 Z_s \quad Z_e - \text{profundidade zona eufótica}$$

$$Z_s = V / 0,7$$

$$Z_e = 3V / 0,7 \quad \Leftrightarrow \quad Z_e = 4,3V$$

Qual a energia que atinge o limite da zona eufótica?

$$\begin{cases} K \times Z_s = 1,5 \\ Z_e = 3 Z_s \end{cases} \Rightarrow K \times Z_e / 3 = 1,5 \Leftrightarrow K \times Z_e = 4,5$$

$I_z = I_0 e^{-KZ}$ para a profundidade Z_e :

$$I_z = I_0 e^{-4,5}$$

$$I_z / I_0 \approx 1\%$$

↳ **Cor**

A luz azul-verde (450 - 500 nm) é a que penetra mais no oceano. Cerca de 35% da luz deste comprimento de onda que incide na superfície do oceano atinge os 10 m de profundidade.

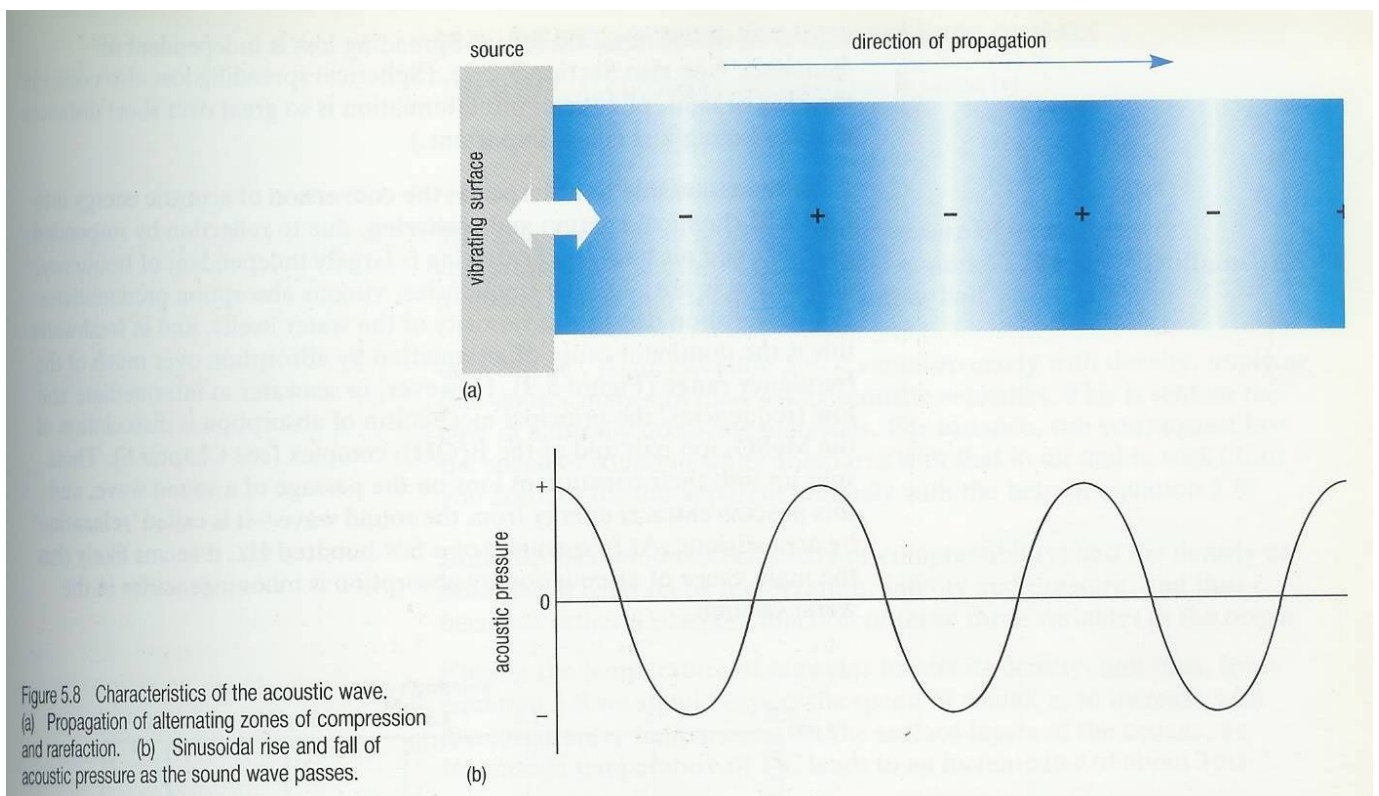
Em águas costeiras com elevada turbidez, a luz que penetra mais é a amarela - verde (500 - 550 nm), mas só cerca de 2% da luz deste comprimento de onda que incide na superfície do oceano atinge os 10 m de profundidade.

Muitas algas contêm pigmentos que absorvem energia luminosa a comprimentos de onda maiores e que transferem esta energia para o sistema da clorofila. Por esta razão, a banda de comprimentos de onda dos 400 nm (violeta escuro) aos 700 nm (vermelho escuro) é descrita como radiação fotossinteticamente activa (PAR). No entanto, a maioria dos organismos fotossintéticos usam comprimentos de onda na região azul-verde (450 - 500 nm) que coincidentemente (mas não por acaso) são aqueles que melhor se propagam nas águas do oceano aberto (águas límpidas).

Turbidez	Profundidade máxima de visibilidade (m)	Cor do mar e comprim. de onda predominante	Factores predominantes p/ a cor do mar
Água límpida	50 - 60	Azul escuro $\lambda - 0,477\mu\text{m}$	Absorção pela água. Difusão selectiva (molecular)
Turbidez média	≈ 25	Azul - verde $\lambda - 0,488\mu\text{m}$	Absorção pela água e pela "subst. Amarelas"
Turbidez elevada	5 - 10	Verde - amarelo $\lambda - 0,51\mu\text{m}$	"substância amarela"
Turbidez muito elevada	< 5		Cor da própria matéria em suspensão

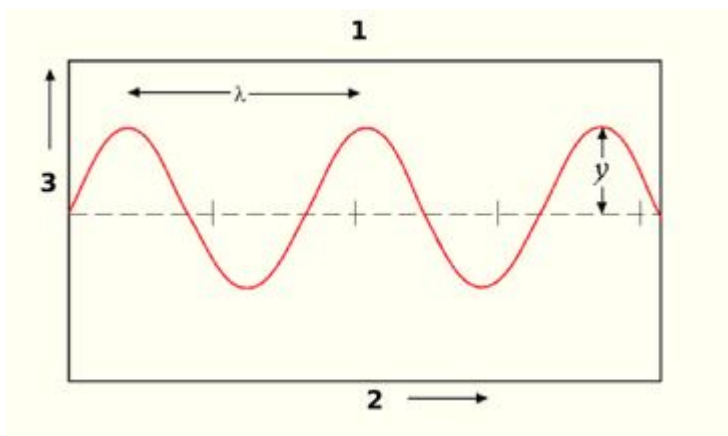
↪ Som

Apesar de ser possível considerar que tanto a luz como o som se deslocam como ondas, eles são fundamentalmente diferentes. A luz é uma forma de energia lectromagnética. Como já se disse a sua velocidade de propagação é máxima no vazio e normalmente diminui à medida que aumenta a densidade do meio.



O som, ou energia acústica, envolve a vibração do meio através do qual, se propaga, deslocando-se melhor através dos sólidos e líquidos, menos bem através dos gases e não se propaga no vazio. Ao contrário da luz, o som tem inúmeras aplicações em oceanografia:

- detecção e localização de cardumes e de submarinos
- determinação da batimetria do fundo do mar
- comunicações submarinas
- sistemas de posicionamento
- controlo das redes de pesca
- correntómetros acústicos
- dispositivos acústicos de libertação para amarrações
- etc.



λ - Comprimento de onda
 γ - Amplitude
 h - Altura (2γ)
 T - Período (tempo entre duas cristas)
 f = 1/T - frequência (nº de ciclos/s)

As ondas sonoras são caracterizadas pela sua amplitude (intensidade ou altura do som) e pela frequência (f) ou comprimento de onda (λ). A velocidade de propagação é:

$$C = f \cdot \lambda$$

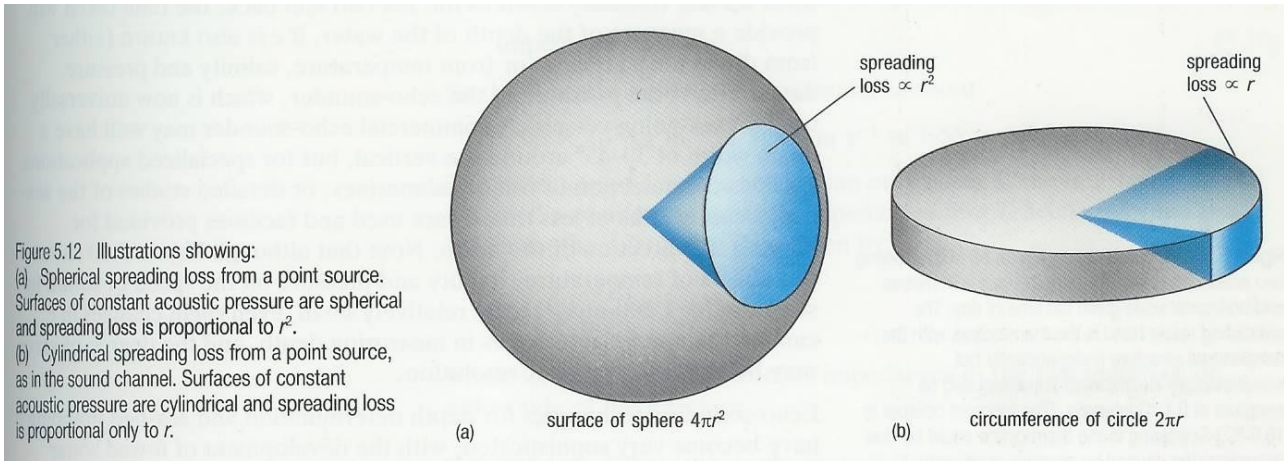
Os comprimentos de onda do som com interesse em oceanografia vão de 50m a 1mm que, se a velocidade média do som na água do mar por 1500ms^{-1} corresponde a frequências entre 30Hz e 1,5MHz.

O ouvido humano não distingue os sons acima de 20 KHz.

Quando uma fonte acústica emite energia acústica uniformemente em todas as direcções, são produzidas superfícies esféricas de pressão constante. A intensidade acústica diminui com a distância à fonte como resultado de:

Atenuação por dispersão

Devido à dispersão por uma superfície cada vez maior. A área da superfície da esfera é proporcional ao quadrado do raio da esfera e assim, a atenuação por dispersão é proporcional ao quadrado da distância percorrida; é independente da frequência.



Atenuação por absorção e refração

- conversão de energia acústica em calor e energia química por Absorção
 - Refração devido à reflexão provocada por partículas em suspensão e bolhas de ar.
- A refração é independente da frequência; a absorção não.

Absorção: Freqüências altas

e ⇒ absorção devido à viscosidade da água
Água doce

Água do mar a
Freq. Intermediárias ⇒ dissociação do $MgSO_4$ e do complexo $B(OH)_3$

Freq. Baixas
(centenas de Hz) ⇒ inhomogeneidades (variações de temperatura e salinidade) na coluna de água

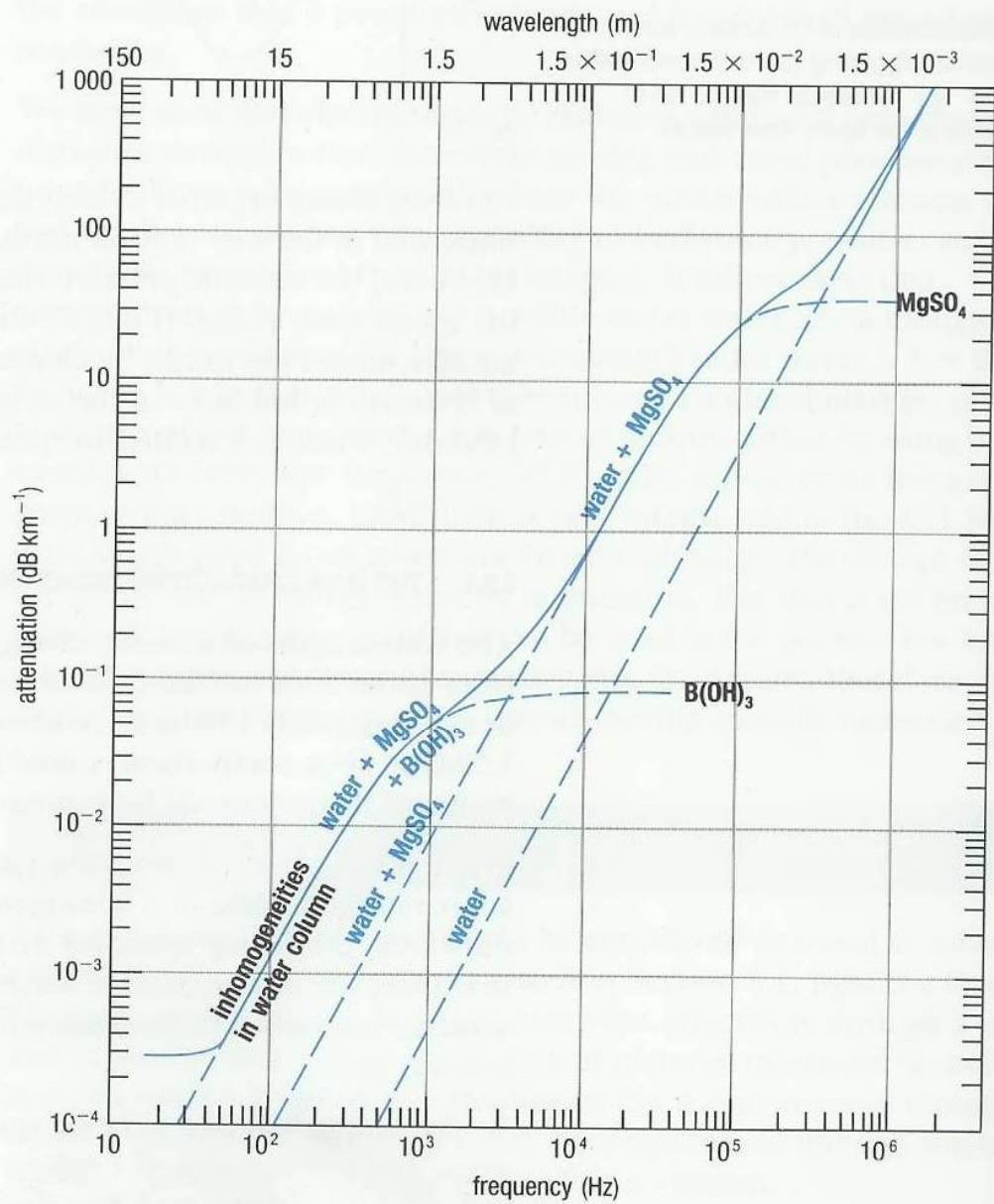
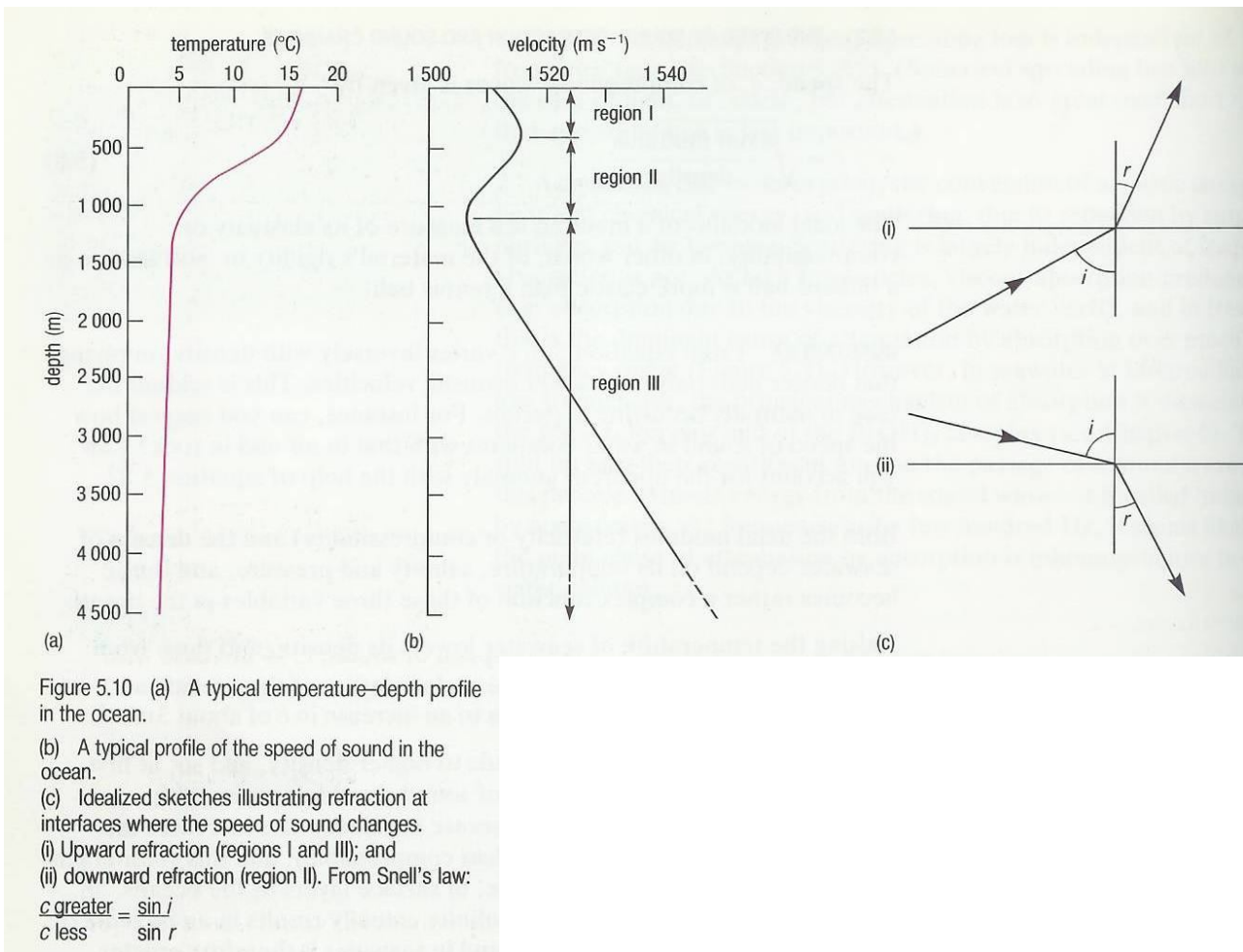


Figure 5.9 The attenuation of acoustic energy as a function of frequency in seawater, showing the dominant causes of attenuation and how they change according to frequency. The curves in this diagram are for a specific temperature and pressure; attenuation varies somewhat according to changing conditions. (dB = decibel, the unit of measurement for sound intensity.)

Velocidade do som no Oceano

$$S = \sqrt{\frac{\text{módulo axial}}{\text{densidade}}}^{1/2} \quad \text{➤ elasticidade ou compressibilidade do meio}$$



Tanto o módulo axial como a densidade dependem da pressão, da temperatura e da salinidade.

Aumentando a temperatura da água do mar, diminui a densidade. Nas camadas superficiais do oceano, um aumento de 1°C na temperatura leva a um aumento de \underline{c} de cerca de 3ms⁻¹.

Embora um aumento de salinidade, leva a um aumento da densidade, o aumento de salinidade também provoca um aumento do módulo axial (o líquido fica menos compressível) e esta acção tem um efeito oposto ao aumento da densidade (na velocidade do som). Por exemplo, nas camadas superficiais do oceano, um aumento de 1USP resulta no aumento de cerca de 1,1ms⁻¹ em \underline{c} .

O aumento do módulo axial com a profundidade é maior do que o correspondente aumento de densidade e assim \underline{c} aumenta com a profundidade, excepto no canal de som. Um aumento na profundidade de 100m produz um aumento de pressão e 10 atmosferas e este provoca um aumento em \underline{c} de cerca de 1,8ms⁻¹.

Na camada superficial do oceano (~ 0-500m) onde as mudanças de temperatura são grandes, c é controlado fundamentalmente pela temperatura e em grau menor pela salinidade e profundidade.

Abaixo da termoclina permanente t e s variam pouco e é a pressão o factor dominante no controlo da c .

Uma fórmula empírica para a velocidade do som no oceano é, para temperaturas entre os 6 e os 17°C:

$$c = 1410 + 4,21T - 0,037T^2 + 1,14S + 0,018d$$

T - temperatura ; S - salinidade ; d - profundidade; c - m/s

Variações horizontais em c são muito menores do que as verticais porque os gradientes horizontais de temperatura e salinidade são muito menores do que os verticais.

Uma onda acústica viajando verticalmente no oceano não é grandemente afectada pela refacção porque viaja essencialmente em ângulo recto (perpendicularmente) relativamente às interfaces entre camadas de diferentes densidades. Uma onda deslocando-se horizontalmente encontra estas interfaces com ângulos pequenos, sendo assim consideravelmente refractada.

Para um perfil vertical da velocidade do som em que esta aumenta até um valor máximo e depois diminui (perfil típico da velocidade do som na camada de mistura), uma fonte de som junto a este máximo origina ondas de som que são refractadas para a superfície (e depois reflectidas nesta) e para o fundo, originando uma zona de sombra na qual as ondas sonoras não se propagam.

A presença dum mínimo na velocidade do som (típico de profundidades médias ~ 1000-2000m) origina a formação do chamado canal do som: para uma fonte sonora localizada junto a este mínimo, a refacção sofrida pelas ondas sonoras vai provocar que estas oscilem acima e abaixo deste mínimo. Este canal de som é designado SOFAR (SOund Fixing And Ranging) dado que as ondas sonoras de baixa frequência (centenas de Hz) propagam-se durante milhares de Km ao longo deste canal de som.

Munk et. Al (1588) detonou explosivos em Perth, Austrália e detectou as ondas sonoras nas Bermudas a 19,821 Km de distância.

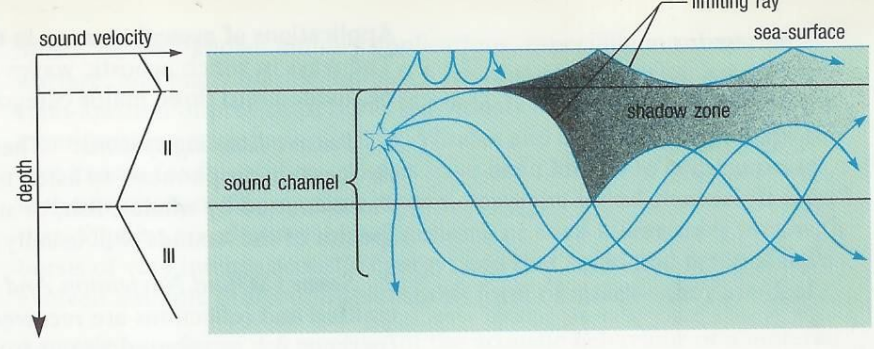


Figure 5.11 An example of a ray diagram for a sound emitted in region II of Figure 5.10 (b), showing a sound channel and a shadow zone. (See text for further discussion.) The shadow zone is defined by the limiting rays, reflected at the sea-surface and/or the boundary between regions I and II.

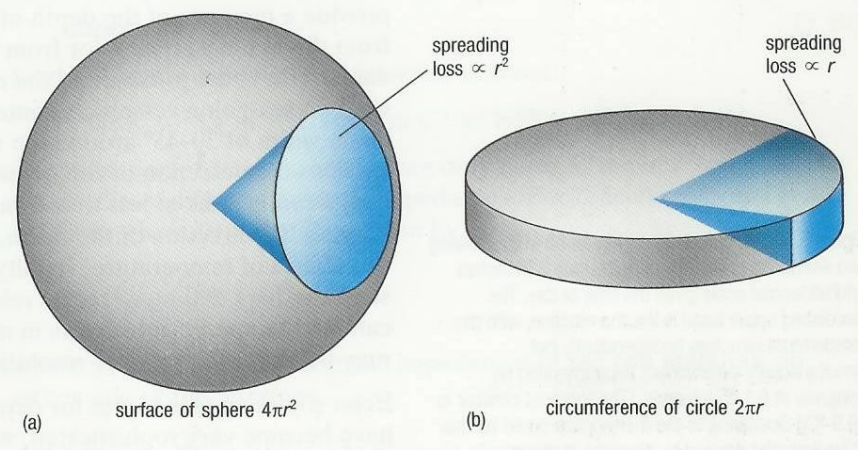


Figure 5.12 Illustrations showing:
 (a) Spherical spreading loss from a point source. Surfaces of constant acoustic pressure are spherical and spreading loss is proportional to r^2 .
 (b) Cylindrical spreading loss from a point source, as in the sound channel. Surfaces of constant acoustic pressure are cylindrical and spreading loss is proportional only to r .

A energia perdida pelas ondas sonoras que se propagam ao longo do canal do som é proporcional apenas à distância pois as superfícies de pressão acústica constante são cilíndricas e não esféricas.

O canal SOFAR é característico de latitudes baixas e médias, onde a temperatura decresce substancialmente com a profundidade. Nas altas latitudes onde a temperatura junto à superfície pode ser constante, ou mesmo decrescer em direcção à superfície, o canal de som pode ser extremamente estreito e situar-se nas camadas superficiais. Neste caso, ondas sonoras dirigidas perto da superfície para o fundo são refractadas para a superfície e ondas dirigidas para cima são reflectidas na superfície, dirigem-se para o fundo e são refractadas de novo para cima. Nesta situação, a detecção de submarinos a partir de um navio usando um aparelho de SONAR (SOUND Navigation And Ranging) pode ser impossível.

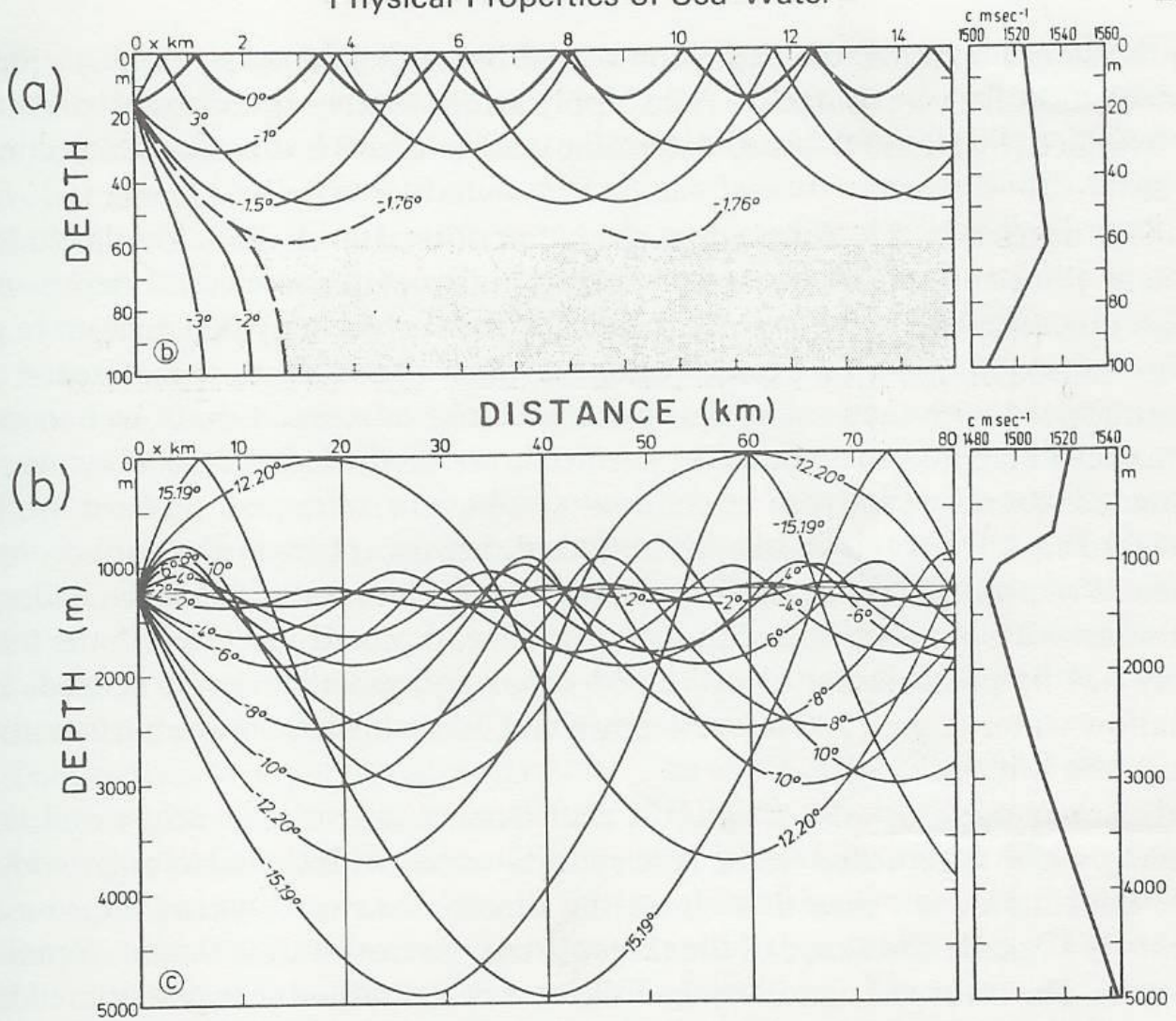


FIG. 3.3. Sound ray diagrams: (a) from a shallow source for a sound speed profile initially increasing with depth in upper mixed layer to a shallow maximum and then decreasing, (b) from a sound source near the speed minimum in the sound channel for a typical open ocean sound speed profile.

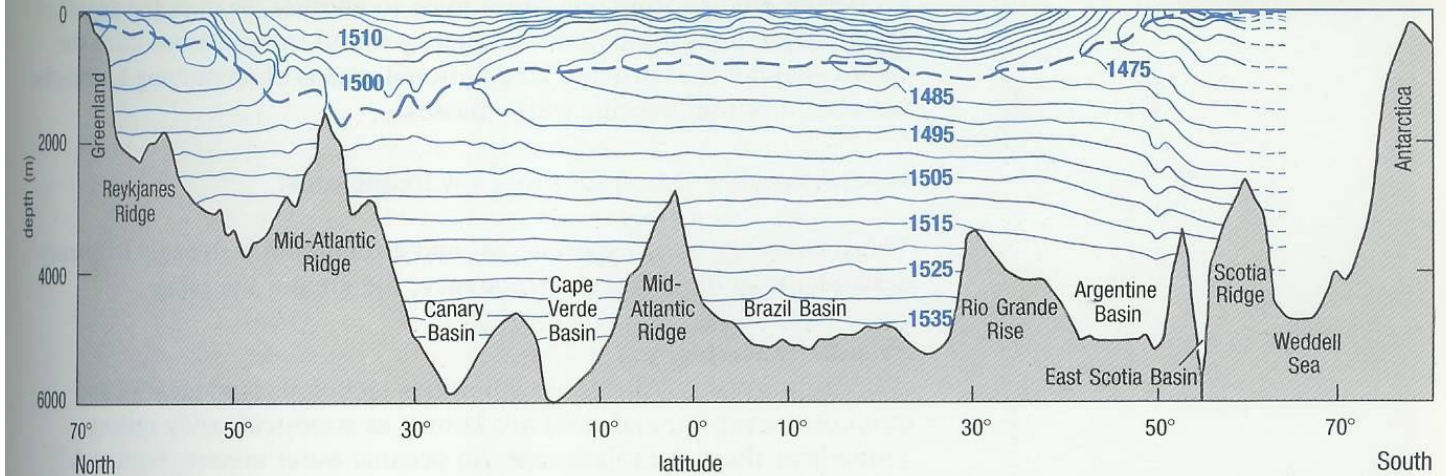


Figure 5.14 North-south section of sound channel structure in the north and south Atlantic along the 30.5° W meridian. Sound speeds are in m s^{-1} , and the approximate sound channel axis is indicated by a heavy blue broken line. Contours of equal speed are based on annual average data. Near-surface structure above the axis in mid-latitudes is subject to seasonal variations. These average contours are included only as a general indication of the complete vertical structure. Sound speeds generally increase from the sound channel axis to the base of the mixed surface layer.

↪ Aplicações da Energia Acústica nos Oceanos

Podem-se dividir-se em três categorias:

1- Instrumentos passivos de escuta

Instrumentos de captação do som na água – Hidrofonos. Uma análise da frequência dos sons recebidos permite identificar baleias, peixes, submarinos, etc.

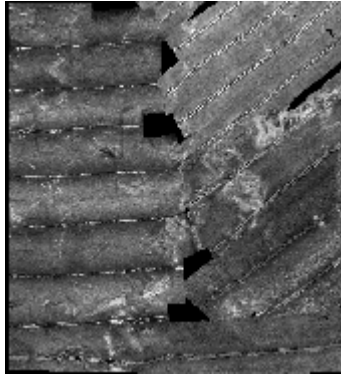
2- SONAR (SOund Navigation And Ranging)

Um sinal acústico é emitido e os sons reflectidos pelos objectos existentes no oceano (peixes, submarinos, etc.) e pelo fundo são recebidos e analisados.

Se se emitir um sinal acústico da superfície para o fundo (perpendicularmente) é possível medir a profundidade (se se souber c ou a temperatura, salinidade e pressão) – é o princípio da Ecossonda, que também é utilizada por exemplo na detecção de cardumes de peixes. Aparelhos sofisticados desenvolvidos sob este princípio são:

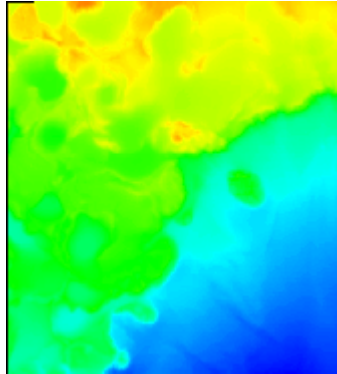
SEABEAM - ecossonda multi-feixe usada para produzir mapas batimétricos detalhados ao longo do trajecto percorrido pelo navio com este sistema;
GLORIA (Geological Long Range Inclined Asdic) e SEAMARC
- sistemas de multi-feixes laterais (sidescan images) produzem o equivalente a fotografias aéreas ou imagens de radar usando no entanto ondas sonoras em vez de microondas.

1 - GLORIA Sidescan Sonar Mosaic



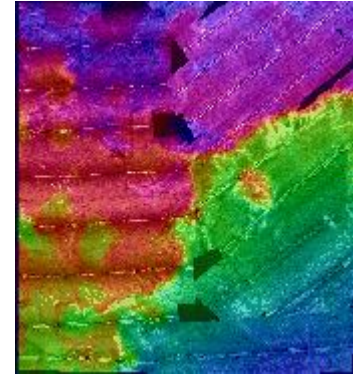
GLORIA sidescan sonar mosaic for the area

2 - NOS Gridded SeaBeam Bathymetry



Pseudo-color encoded NOS gridded SeaBeam bathymetry

3 - Color-encoded GLORIA Sidescan Sonar Mosaic



GLORIA sidescan sonar mosaic after it has been color coded with the SeaBeam bathymetry image to reflect depth.

O SONAR é conhecido pela sua aplicação em submarinos. Muitos animais marinhos possuem mecanismos tipo SONAR para a localização das suas presas através de ondas acústicas, bem como para a identificação e comunicação. As baleias conseguem comunicar umas com as outras através de milhares de km de distância usando o canal do som. Julga-se que os golfinhos conseguem atordoar ou mesmo matar as suas presas através da produção de sons de energia acústica muito intensa e que as lulas e os polvos desenvolveram uma protecção eficaz - contra esta forma de ataque - são surdos.

Impedância acústica (Z) - mede o comportamento acústico de um material e determina o efeito de um "alvo" para os sistemas de SONAR.

$$Z = \rho \cdot c$$

ρ - densidade; c - velocidade do som.

Para a água do mar:

$$1030 \text{ Kg m}^{-3} \times 1500 \text{ m s}^{-1} = 1,55 \times 10^6 \text{ Kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

A reflexão da energia acústica efectua-se apenas na interface entre dois meios de impedâncias acústicas diferentes, para uma reflexão perpendicular à interface:

$$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \times 100\%$$

Z_1 e Z_2 são as impedâncias acústicas dos dois materiais de cada lado da interface.

Table 5.1 Acoustic properties of some common materials.

Material	Acoustic velocity $c(\text{ms}^{-1})$	Acoustic impedance $Z = \rho c (\times 10^6)$	Reflectivity in seawater $R(\%)$
Air (20°C)	343	415*	100
Freshwater (15°C)	1481	1.48	—
Seawater (35‰, 15°C)	1500	1.54	—
Wet fish flesh	~1450	1.6	1.9
Wet fish bone	~1700	2.5	24
Steel	6100	47	94
Brass	4700	40	92
Aluminium	6300	17	83
Perspex	2570	3.06	33
Rubber	1990	1.81	8
Concrete	3100	8	68
Granite	5925	16.0	82
Quartz	5750	15.3	82
Clay	~3000	7.7	67
Sandstone	~3300	~ 7.6	67
Basalt	~6000	~16.8	84

*The value given for air is *not* $\times 10^6$.

3- Telemetria e seguimento de objectos em movimento (tracking)

Objectos podem ser localizados e seguidos se estiverem equipados com dispositivos, que emitam sinais acústicos. Se emitirem os sinais no canal do som, podem ser monitorizados com hidrofones a milhares de Km de distância.

Isto é a base da tecnologia SOFAR (Sound Fixing And Ranging) desenvolvida a partir da 2ª Guerra e é usada para fins militares como sejam a localização de submarinos, destroços de aviões, navios afundados, etc. Os pilotos da 2ª Guerra Mundial transportavam explosivos cuja flutuação era estudada de modo a afundarem-se até profundidades na zona do Canal do Som onde detonavam. Estas explosões permitiam a localização dos pilotos dos aviões abatidos.

Em oceanografia, um uso do Canal do Som é a tecnologia dos flutuadores SOFAR: são bóias derivantes cuja flutuação é estudada de modo a eles mergulharem até uma certa profundidade onde permanecem pois a sua densidade é a mesma da água circundante. Estes flutuadores deslocam-se com a corrente e emitem sinais acústicos que são detectados por um sistema de (normalmente 3) amarrações com hidrofones que são

previamente colocadas no oceano. A deslocação destes flutuadores pode assim ser monitorizada. Estes flutuadores podem ter sensores para características físicas da água, por exemplo temperatura, e esta pode ser transmitida também pelo canal SOFAR através da alteração da frequência e/ou do período dos sinais sonoros. Presentemente existem também flutuadores denominados RAFOS (SOFAR escrito ao contrário) que inversamente aos SOFAR em vez de emitirem ondas acústicas, recebem-nas – são as amarrações fixas que emitem os sinais acústicos. Estes RAFOS podem também ter instalados outros sensores (temperatura, condutividade, etc) armazenando normalmente esta informação em dispositivos de memória sólida. A certos intervalos de tempo estes flutuadores vêm à superfície (ou automaticamente ou controlados pelas fontes sonoras fixas) e “despejam” a informação gravada via rádio ou satélite.

Dispositivos acústicos de escape (Acoustic Releases)

São dispositivos utilizados para libertar aparelhagem de auto-registo (correntómetros, marégrafos, sismógrafos, etc) ancorados no fundo do mar. Também podem ser usados para abrir ou fechar redes de pesca por comando remoto, etc. Estão equipados com receptores e emissores Transdutores acústicos de ondas sonoras que são accionados de bordo através de uma unidade de comando. O transdutor a bordo é colocado dentro de água e é marcado (na unidade de comando) o código do aparelho colocado no fundo do mar. Este código é transmitido através da Modulação das ondas sonoras. O transdutor do dispositivo de escape colocado no fundo do oceano, ao receber o código correcto, emite também ele um sinal sonoro modulado que é recebido a bordo e que contém normalmente a distância e direcção a que o dispositivo acústico se encontra do navio. Um 2º código emitido de bordo faz com que o dispositivo de libertação actue mecanicamente libertando a amarração da poita (peso) que a mantém submergida.

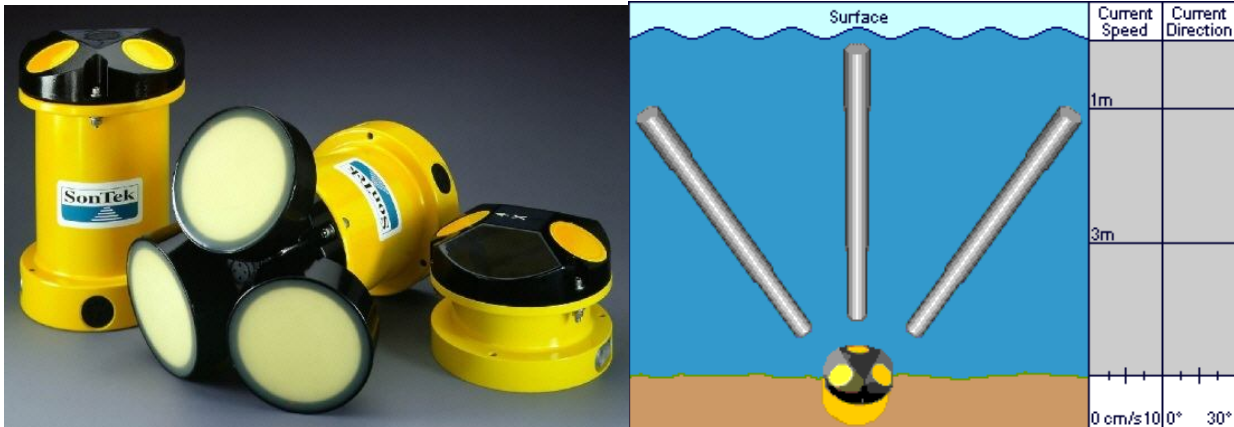
Correntómetros Acústicos

Com o desenvolvimento da electrónica estão sempre a surgir novos equipamentos oceanográficos. Um destes casos é o dos correntómetros acústicos. Sem entrar em grandes pormenores técnicos, convém apenas ter a noção dos princípios básicos do seu funcionamento, que são:

A medição da corrente por estes correntómetros acústicos (que podem ser de 2 tipos) baseia-se ou no Efeito de Doppler ou na Advecção da energia sonora pelo próprio meio onde esta se propaga.

O efeito Doppler é usado na medida em que se detecta o desvio provocado na frequência de um sinal pela reflexão deste nas partículas em suspensão (que se movem com o meio). No 2º tipo de correntómetros o que se mede são os tempos dos

percursos de um sinal sonoro emitido por uma fonte e recebido em dois receptores, um de cada lado e igualmente espaçados desse emissor.



ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler

Ruído Acústico (Noise)

Quando sinais acústicos são emitidos e depois recebidos como nas aplicações descritas anteriormente, toda a restante energia acústica presente no oceano é considerada como Ruído de Fundo acima do qual o referido sinal tem de ser ouvido. Amplificando o nível de escuta dum sinal sonoro amplifica também o ruído, além do que reverbações (múltiplas reflexões por partículas na água bem como as fronteiras oceânicas) podem tornar-se um grave problema. Algum do ruído presente também é devido ao próprio sistema electrónico do sistema acústico e do navio, bem como os barulhos mecânicos dos motores e de outro equipamento.

O Ruído Ambiente produzido no mar divide-se em duas categorias:

- Físico,
- Biológico.

O ruído físico é na sua maioria devido à acção do vento e é audível em frequências entre $10 - 10^4$ Hz. Inclui o som das ondas, bolhas de ar a rebentar, chuva, gelo em movimento e deslocação de sedimentos no fundo.

O ruído biológico é produzido por animais marinhos e tem frequências extremamente baixas abaixo de 50 Hz e a maioria dos detectores animais funcionam nessas frequências. Por exemplo, o sistema da linha lateral de muitos peixes é altamente sensível a estas baixas frequências. Apenas os animais com órgãos auditivos especializados podem usar o som para comunicação (baleias, golfinhos, etc) – em alguns peixes de águas profundas estes órgãos são as bexigas natatórias que normalmente servem apenas para a flutuação (e respiração).

Oceanografia Acústica

Desde 1970 houve avanços consideráveis na aplicação de técnicas acústicas à investigação de inomogenidades de escalas relativamente pequenas e com curtas variações temporais, tanto laterais como verticais, entre massas de água, incluindo frentes oceânicas, bem como estudos de microestrutura oceânica.

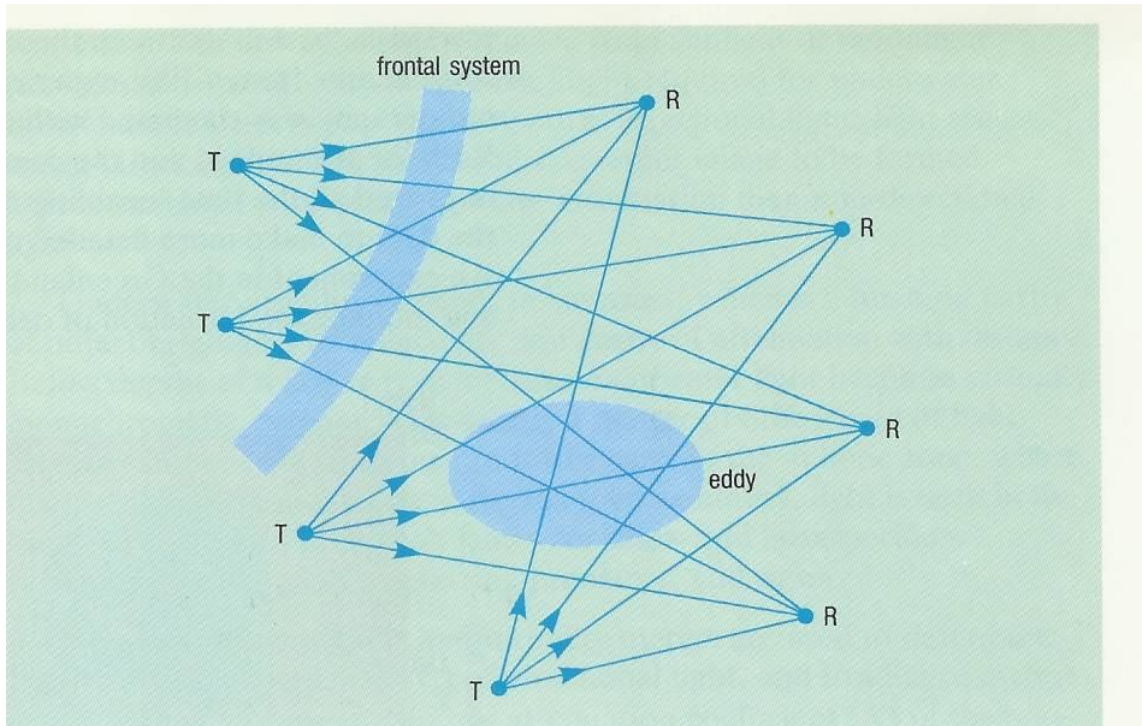
A baixas frequências, a causa principal de atenuação do som é as inomogenidades da coluna de água. Massas de água diferentes têm padrões de inomogenidades diferentes variando T, S bem como outros parâmetros de uma massa de água para outra, também varia o grau de atenuação do som. Transmissões sonoras de baixa frequência e longo-raio de acção usando o canal do som, permitem identificar fronteiras entre diferentes, massas de água oceânicas.

Tomografia Acústica

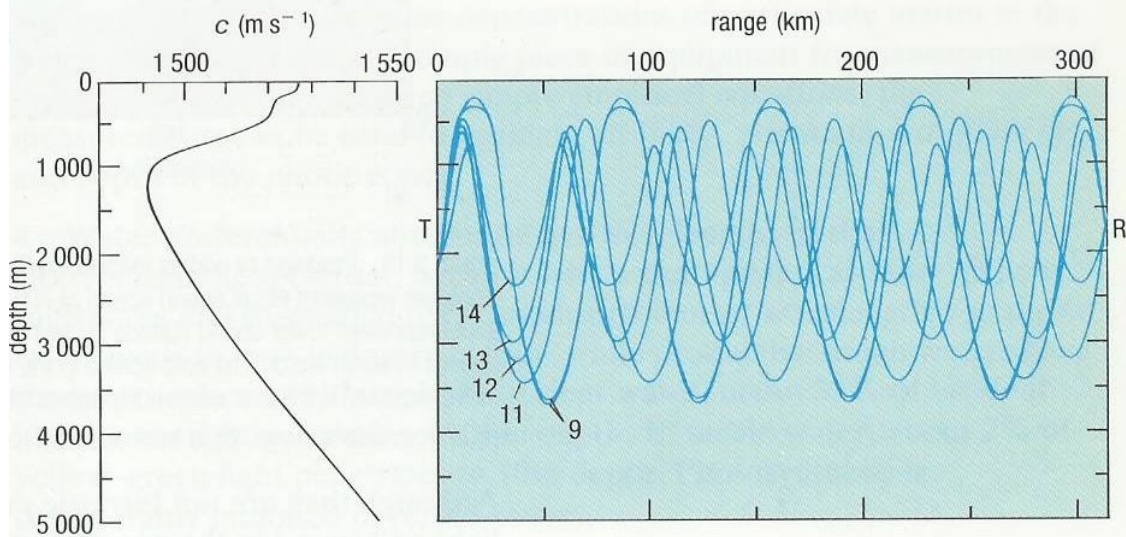
O principal objectivo desta técnica extremamente sofisticada é a identificação e monitorização do movimento dos sistemas de Vórtices de mesoescala (mesoscale eddies). Os vórtices de mesoescala são o correspondente oceânico das depressões e anticiclones atmosféricos, mas têm uma dimensão 10x mais pequena. Os eddies de mesoescala têm dimensões na ordem dos 100Km diâmetro e escalas temporais (tempos de vida) na ordem dos vários meses.

O método baseia-se no facto de que cada vórtice tem uma temperatura (e salinidade) diferente da água que está à sua volta – há vórtices quentes (anticiclónicos) e vórtices frios (ciclónicos). A velocidade do som entre uma fonte acústica e o receptor varia se um vórtice passe entre eles.

A tomografia acústica é realizada através de uma série de amarrações com emissores e receptores acústicos colocados no oceano numa área da ordem dos 300Km – 1000Km de extensão. Impulsos acústicos são emitidos a intervalos de poucos segundos com frequência de cerca de 250Hz. O tempo que as ondas sonoras levam a percorrer 1000Km é da ordem dos 11 minutos. Este tempo é medido entre cada par emissor-receptor. A quantidade de dados resultante de uma experiência de tomografia acústica é extraordinariamente grande e é necessário o uso de supercomputadores para a sua análise.



(a)



(b)

Figure 5.15 (a) Sketch plan of acoustic tomography array, showing the multiple transmission paths between acoustic transmitters (T) and receivers (R). Note that while we concentrate on the application of the technique to locating meso-scale eddies, other features such as fronts can also be detected.

(b) A multipath ray diagram between one transmitter (T) and one receiver (R) in an acoustic tomography experiment in the north-western Atlantic. Only the ray paths for acoustic pulses that initially travel *upwards* are shown. An equal number of initially downward-directed ray paths would give a more or less mirror-image pattern of lines on the diagram, but these have been omitted for clarity. The numbers give the total number of 'turning points' for each ray. Note that the deeper the ray, the fewer these are. The depth profile for the average speed of sound for this transmitter/receiver pair is shown in black on the left.