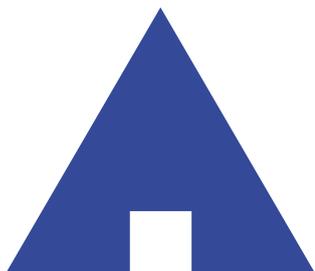




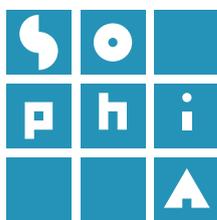
7



# ECOSSISTEMAS DO MAR PROFUNDO



CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO



#### **DGRM**

Avenida Brasília  
1449-030 Lisboa  
Portugal  
Tel.: +351 213 035 700  
Fax: +351 213 035 702  
[dgrm@dgrm.mm.gov.pt](mailto:dgrm@dgrm.mm.gov.pt)  
[www.dgrm.mm.gov.pt](http://www.dgrm.mm.gov.pt)

#### **SOPHIA**

[sophia-dqem@dgrm.mm.gov.pt](mailto:sophia-dqem@dgrm.mm.gov.pt)  
[www.sophia-mar.pt](http://www.sophia-mar.pt)

#### **COPYRIGHT**

Logótipo SOPHIA © DGRM 2016. Todos os direitos reservados. Marca registada. Não é permitida qualquer reprodução ou retroversão, total ou parcial, do logótipo SOPHIA sem prévia autorização escrita do Editor.

Guia 7 - Ecossistemas do Mar Profundo.  
Licença Creative Commons Atribuição Não Comercial Compartilha Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

## Título

Ecosistemas do Mar Profundo

## Autores

Ana Colaço<sup>1,2,3</sup>, Marina Carreiro e Silva<sup>1,2</sup>, Eva Giacomello<sup>1,2</sup>, Leonel Gordo<sup>1,4</sup>, Ana Rita Vieira<sup>1,4</sup>, Helena Adão<sup>1,5</sup>, José Nuno Gomes-Pereira<sup>1,2,3</sup>, Gui Menezes<sup>1,3</sup>, Inês Barros<sup>1,2,3</sup>

---

<sup>1</sup> MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente,

<sup>2</sup> IMAR – Instituto do Mar

<sup>3</sup> *Oceanos* Centro U&I, Universidade dos Açores

<sup>4</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

<sup>5</sup> Universidade de Évora

## Coordenação do Guia Técnico

Ana Colaço

## Coordenação Científica do Projeto SOPHIA

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

(coordenação: Ana C. Brito)

## Edição

DGRM - Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos

Edição Eletrónica - 2017

## Design Gráfico

ESCS - Escola Superior de Comunicação Social

(coordenação: João Abreu; paginação: Joana Souza;

colaboração: Joana Paraíba, Joana Torgal Marques, Pedro Ribeiro, Renata Farinha, Rita Oliveira)

## Referência ao Guia Técnico

Colaço, A., Carreiro e Silva, M., Giacomello, E., Gordo, L., Vieira, A., Adão, H., Gomes-Pereira, J. N., Menezes, G., Barros, I., (2017).

Ecosistemas do Mar Profundo. DGRM, Lisboa, Portugal.

E-book disponível em [www.sophia-mar.pt](http://www.sophia-mar.pt).

## ISBN

978-989-99601-8-3

Documentação de apoio ao módulo de formação SOPHIA –  
Ecosistemas do Mar Profundo.

# ECOSSISTEMAS DO MAR PROFUNDO



CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO





<b>PREFÁCIO</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1 - O que é o mar profundo?</b>	<b>9</b>
1.1 Zonação das bacias oceânicas	12
<b>CAPÍTULO 2 - Identificação dos diferentes ecossistemas e habitats do mar profundo</b>	<b>15</b>
2.1 Ambientes pelágicos	17
2.2 Ambientes bentopelágicos	20
2.3 Ambientes bênticos ou bentónicos	21
<b>CAPÍTULO 3 - Da margem para as dorsais oceânicas</b>	<b>22</b>
3.1 Talude Continental	24
3.2 Padrões batimétricos da biodiversidade ao longo da margem (talude) europeia	24
3.3 Canhões submarinos	25
3.4 Planície abissal	26
3.5 Meiofauna nos sedimentos do mar profundo	28
3.6 Montes submarinos	29
<b>CAPÍTULO 4 - Dorsais oceânicas</b>	<b>30</b>
4.1 Ambientes quimiossintéticos	32
4.2 Corais de águas frias	37
4.3 Agregações de esponjas	39
<b>CAPÍTULO 5 - Estratégias alimentares</b>	<b>42</b>

## **CAPÍTULO 6 - Biologia das espécies de profundidade** **48**

<b>6.1</b>	Adaptações	50
<b>6.1.1</b>	Luz	50
<b>6.1.2</b>	Tamanho dos olhos	51
<b>6.1.3</b>	Órgãos da linha lateral	51
<b>6.1.4</b>	Flutuabilidade neutra	52
<b>6.1.5</b>	Taxas metabólicas	53
<b>6.2</b>	Adaptações dos parâmetros de história de vida	53
<b>6.3</b>	Serviços ecossistémicos	55

## **CAPÍTULO 7 - Pressões sobre o meio marinho** **58**

<b>7.1</b>	Pescas	61
<b>7.2</b>	Mineração	66
<b>7.2.1</b>	Recursos minerais	66
<b>7.2.1.1</b>	Depósitos de sulfuretos polimetálicos	67
<b>7.2.1.2</b>	Nódulos de ferro-manganês	68
<b>7.2.1.3</b>	Crostras de cobalto	70
<b>7.2.1.4</b>	Recursos minerais em Portugal	71
<b>7.2.2</b>	Potenciais impactos da mineração	71
<b>7.3</b>	Exploração dos recursos genéticos	73
<b>7.4</b>	Alterações climáticas no mar profundo	75
<b>7.4.1</b>	O papel dos oceanos na regulação do clima	75
<b>7.4.2</b>	Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas	75
<b>7.4.3</b>	Aquecimento do oceano	76
<b>7.4.4</b>	Acidificação do oceano	77
<b>7.4.5</b>	Desoxigenação do oceano	78
<b>7.4.6</b>	Fluxo orgânico para o mar profundo	78
<b>7.5</b>	Conservação marinha: o uso sustentável dos recursos	79

## **CAPÍTULO 8 - Metodologias ao serviço da avaliação do Estado Ambiental** **81**

<b>8.1</b>	Anotação de imagens subaquáticas	83
<b>8.2</b>	Técnicas moleculares	86

## **REFERÊNCIAS** **89**



# Prefácio

*A Terra é um planeta azul, em que 70% da superfície está ocupada por mar. Mais de 90% desse enorme volume está a profundidades superiores a 200 metros, onde a luz escasseia e a vida toma contornos diferentes dos que se observam nas zonas onde a energia solar penetra. O fundo do mar, na sua escuridão, é a última grande fronteira marinha a ser explorada. Denominado “mar profundo”, esse gigantesco ambiente, cujo potencial para o desenvolvimento de pesquisas é igualmente imenso, é o maior bioma na Terra e tem uma série de características que o tornam distinto dos outros ecossistemas marinhos e terrestres. É comum afirmar-se que o ser humano conhece melhor a superfície lunar do que o fundo do mar. De facto, só para chegar a uns escassos 40 metros de profundidade temos que utilizar um escafandro, e os 100 metros já se tornam impossíveis de visitar sem o recurso a um submarino.*

*O conhecimento que se vem adquirindo sobre estes ambientes profundos mostra que neste bioma provavelmente vivem mais de um milhão de espécies animais ainda desconhecidas (sem falar dos microrganismos, que em algumas zonas são mais de 90% da biomassa dos sedimentos (Danovaro et al., 2015)). É, pois, necessário estudar esta biodiversidade e, como tal, dezenas de novas espécies de peixes, corais e outros animais são descobertos anualmente. Nas últimas décadas, e essencialmente como consequência da*

*disponibilidade de modernos instrumentos tecnológicos, os registos de novas espécies têm aumentado. Nos dias de hoje existem robôs e sensores que conseguem ir mais fundo, filmando e recolhendo organismos destes ambientes remotos para serem estudados. Foi graças a eles que se descobriram as fontes hidrotermais, ainda que apenas no final dos anos setenta, e mais recentemente os bancos de corais de profundidade. Apesar de desconhecido, o mar profundo é um bioma extraordinariamente importante, pois dele dependem a sequestração de carbono, a regeneração de nutrientes, entre outros. Na realidade, a maioria dos ciclos biogeoquímicos do planeta estão largamente dependentes deste grande bioma.*

*O presente guião pretende ser uma abordagem inicial ao mar profundo, aos seus ecossistemas, biodiversidade e processos.*



# CAPÍTULO 1

## O QUE É O MAR PROFUNDO?



Existem várias definições sobre o que é o mar profundo, ou sobre a profundidade a que se dá a transição para este meio. Numa revisão recente (Ramirez-Llodra et al., 2011), a definição indicada como a mais consensual é a clássica: a que define o fim da plataforma continental a cerca de 200 m de profundidade (Gage e Tyler, 1991). É a partir desta profundidade que, mesmo havendo penetração de luz, deixa de existir energia solar suficiente para a realização plena da fotossíntese, o que implica que praticamente não haja produção primária na maioria dos ecossistemas do mar profundo (Ramirez-Llodra et al., 2011).

O mar profundo tem características ambientais gerais muito próprias. As mais distintas são:

**1. Luz:** neste ambiente a luz é praticamente inexistente. Com a profundidade, a penetração da luz diminui, deixando esta de ser energeticamente utilizável pelos produtores primários. A partir dos 200 m e dependendo das características das massas de água (densidade, turbidez, teor em partículas), teremos uma zona disfótica, que nalguns casos poderá estender-se até aos 1000 m.

**2. Pressão:** a pressão aumenta 1 atmosfera (1kg/cm<sup>2</sup>) por cada 10 metros. A maior parte do ambiente profundo tem uma pressão de 100 a 600 atm. As proteínas e as membranas biológicas dos seus organismos estão adaptadas à pressão, apresentando estruturas baseadas em carbonato de cálcio. Esta adaptação é necessária, pois quando a pressão sobe e a temperatura desce, aumenta a solubilidade do carbonato de cálcio, o que torna os organismos mais frágeis.

**3. Salinidade:** a salinidade é constante a partir dos 200 m de profundidade.

**4. Temperatura:** a termoclina é definida pela maior e mais rápida mudança de temperatura entre profundidades e situa-se entre as águas superficiais e o início das águas do mar profundo. Abaixo da termoclina, a massa de água do mar profundo é fria e homogénea. Excetuam-se a este padrão as zonas com ambientes quimiossintéticos.

**5. Oxigénio:** nas águas superficiais, a concentração de oxigénio é elevada devido à renovação de oxigénio promovida pela fotossíntese e pelo contacto com a atmosfera. Entre os 500 e os 1000 m as concentrações de oxigénio são, na generalidade, baixas devido à respiração dos organismos. Nalgumas zonas dos oceanos, entre os 150 e os 1500 m, ocorre uma zona de oxigénio mínimo (OMZ), que por vezes corresponde à pycnoclina (água de transição entre a superficial e a profunda). As partículas que afundam acumulam-se nesta camada de água e ficam suspensas devido à densidade da camada inferior de água. Este alimento atrai inúmeros organismos que respiram e consomem o oxigénio. Nesta camada não há renovação de oxigénio e a difusão a partir das camadas superiores é baixa, e como tal a concentração de oxigénio acaba por diminuir. As concentrações poderão ser tão baixas que os mares muito produtivos podem tornar-se praticamente anóxicos (sem oxigénio) nestas profundidades. As águas mais profundas são ricas em oxigénio. Como a densidade de organismos no mar profundo é baixa, o oxigénio não é uma substância limitante.

**6. Alimento:** não existe fotossíntese no mar profundo. Existe dependência da camada eufótica e do material desta camada que atinge o fundo. Mais uma vez, excetuam-se as zonas com ambientes quimiossintéticos.

## 1.1 ZONAÇÃO DAS BACIAS OCEÂNICAS

O ambiente oceânico é o maior ecossistema do planeta e compreende quase 90% de toda a água existente. Este ambiente oceânico é formado pelos fundos a mais de 200 metros de profundidade e pela massa de água acima dos mesmos. Se considerarmos o ambiente marinho, ele pode dividir-se em dois grandes domínios: o pelágico (coluna de água) e o bentónico ou bêntico (fundo do mar). O oceano pode ser dividido vertical e horizontalmente, de acordo com as características físicas e biológicas de cada secção. No meio marinho, a luz solar consegue penetrar até aproximadamente 200 m (Galand et al., 2010), enquanto que a profundidades maiores a luz é praticamente inexistente.

As divisões clássicas do ecossistema pelágico são a **Região Nerítica** – parte da região pelágica que se estende desde a linha da maré alta até ao final da plataforma continental e início do talude continental (geralmente até cerca de 200 m); e a **Região Oceânica** – toda a região após a plataforma continental cujos fundos estão abaixo dos 200 m de profundidade e que se divide em 3 zonas de acordo com a profundidade:

- 1. Região fótica:** cobre os oceanos a partir da superfície até aos 200 m de profundidade e onde a luz penetra em quantidade suficiente para a realização da fotossíntese – zona epipelágica (Galand et al., 2010).
- 2. Região disfótica:** caracterizada por fraca iluminação e onde embora ainda haja alguma luz, esta não é suficiente para a realização da fotossíntese - zona mesopelágica (200-1000 m de profundidade) (Barange et al., 2010).
- 3. Região afótica:** camada profunda dos ecossistemas aquáticos, onde não há ação direta da luz solar – zona batipelágica (1000-3500 m de profundidade), abissopelágico ou abissal (3500-6500 m de profundidade) e zona hadopelágica ou hadal (mais de 6500 m de profundidade) (Barange et al., 2010; Galand et al., 2010).

Podemos então dividir a coluna de água dos oceanos em águas superficiais, picnoclina e águas profundas.

As águas superficiais geralmente correspondem à camada até aos 100 m e constituem cerca de 2% do volume dos oceanos. É a parte mais variável pois está em contacto com a atmosfera. Estas águas são menos densas devido a uma menor salinidade e a uma temperatura mais elevada.

A picnoclina corresponde a cerca de 18% do volume dos oceanos.

As águas profundas representam cerca de 80% do volume dos oceanos. Esta água presente nas camadas mais profundas não está estática. Na realidade, há uma circulação global que renova estas águas. Apesar de não ter um início nem um fim, mas antes um ciclo perpétuo, podemos, para facilidade de explicação do circuito, definir que as águas profundas têm origem à superfície das latitudes elevadas, onde, arrefecendo, se tornam mais densas, afundam até ao fundo do mar e fluem depois através das bacias oceânicas. Nas constrictões oceanográficas, a água do mar profundo regressa à zona mais superficial. Este movimento é essencial ao equilíbrio térmico do planeta e no enriquecimento mineral necessário para a produção alimentar oceânica.

Os ambientes pelágicos que estão no domínio do mar profundo, são, portanto todos aqueles que se distribuem entre os 200 m de profundidade até aos fundos marinhos. Mais de 65% da superfície sólida do nosso planeta corresponde a mar profundo. O ambiente bentónico contém desde os taludes continentais às planícies abissais com as suas fendas profundas, incluindo canhões, montes submarinos com os seus recifes e jardins de corais e agregações de esponjas, assim como cadeias montanhosas como as dorsais oceânicas e as fontes hidrotermais.

A 100 metros do fundo há uma zona com características próprias denominada, em termos ecológicos, por zona bentopelágica. Em termos físicos é considerada a camada bentónica fronteira (*benthic boundary layer* - BBL) (Sanders, 1968; Sverdrup et al., 1942).

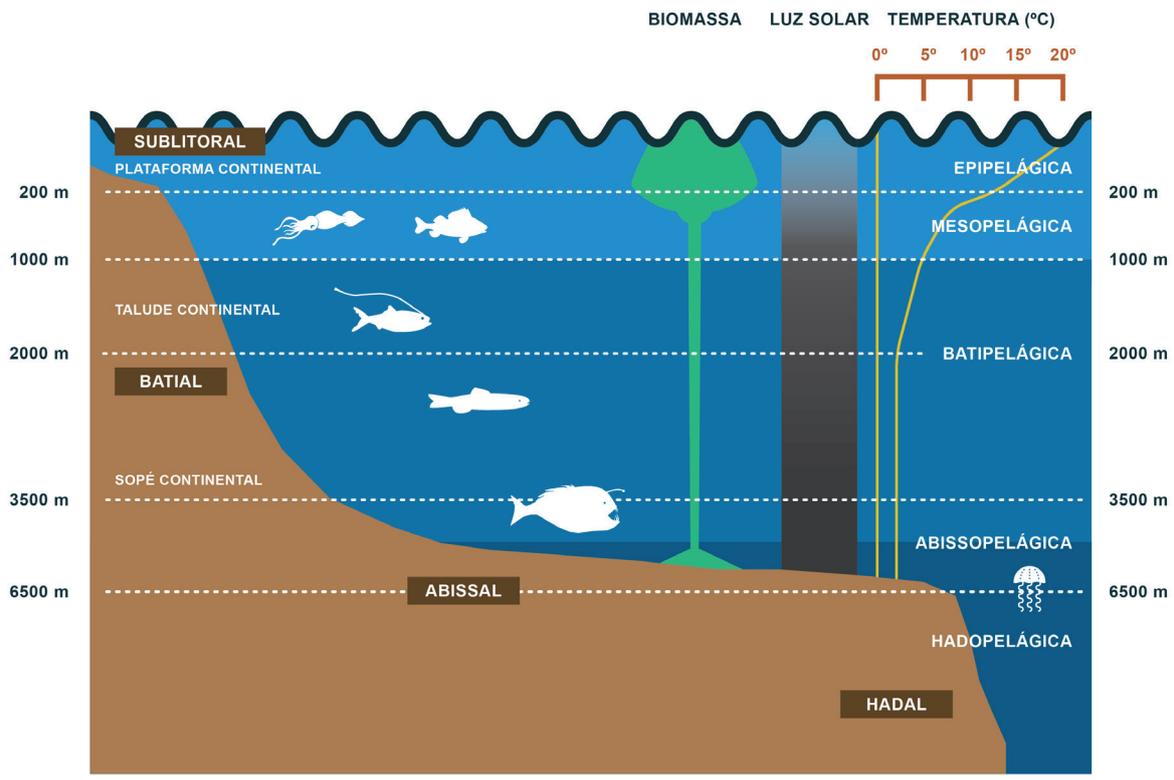
Para efeitos de zonação do fundo do mar profundo ([Figura 1](#)) consideram-se as seguintes áreas de acordo com Watling et al, 2013.:

**1. Zona Batial:** corresponde ao declive acentuado que ocorre após o término da plataforma continental. Estende-se tipicamente entre os 200 e os 3500 m de profundidade, ocupando o chamado talude continental. Devido à ausência de luz não existem algas e há poucos animais.

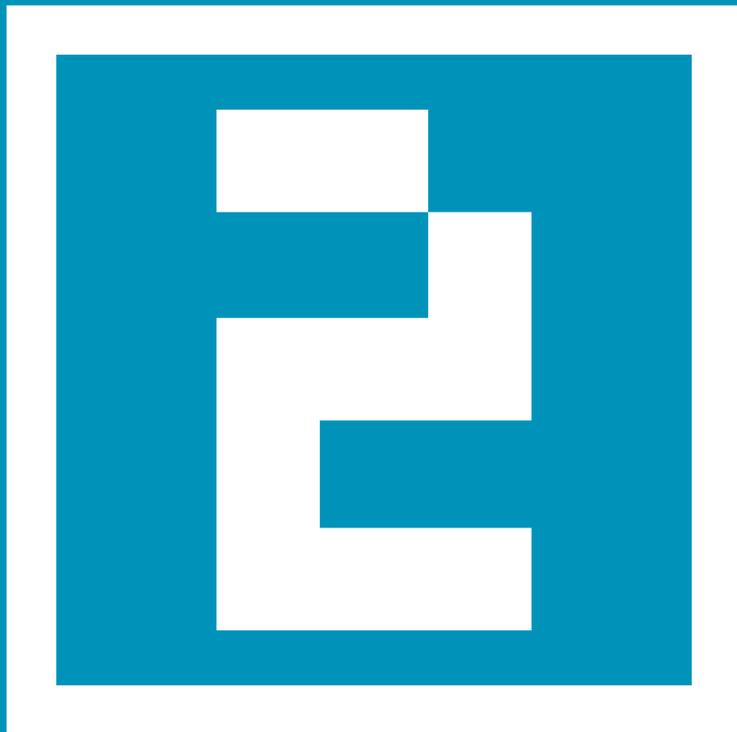
**2. Zona Abissal:** região de água com movimento reduzido, uniformemente fria e onde não penetra luz. Esta área estende-se desde os 3500 m até aos 6500 m de profundidade. Algumas espécies presentes na zona abissal apresentam adaptações extremas às grandes pressões, à ausência total de luminosidade e à consequente escassez de alimento. Em termos alimentares, a maior parte dos animais depende dos restos orgânicos que se precipitam lentamente das camadas superiores em direção ao fundo. Este alimento serve, inclusivamente, como alimento para os animais necrófagos, detritívoros e microrganismos decompositores. Alguns animais desta região apresentam bioluminescência, têm visão muito sensível, capaz de responder a pequenos estímulos luminosos, e formas bizarras, como boca e dentes grandes para facilitar a captura das presas, e o estômago dilatável.

**3. Zona Hadal:** composta por ecossistemas localizados em zonas do oceano mais profundas do que os 6500 m de profundidade. É o habitat mais profundo do planeta, geralmente

associado a fossas. A zona hadal não pode ser considerada uma continuação da zona abissal. Recentemente descobriu-se que nestas zonas existe uma acumulação de material orgânico particulado. A combinação da matéria orgânica acumulada, com a alta pressão hidrostática e com o isolamento geográfico permitiu uma elevada especiação e, como consequência, um alto nível de endemismo.



**Fig. 1** - Representação gráfica da zonalização do mar profundo, quer do ambiente bentônico, quer das zonas pelágicas, considerando as principais características ambientais (biomassa, luz e temperatura).



# CAPÍTULO 2

## IDENTIFICAÇÃO DOS DIFERENTES ECOSSISTEMAS E HABITATS DO MAR PROFUNDO



## 2.1 AMBIENTES PELÁGICOS

A maioria dos processos ecológicos fundamentais é fortemente influenciada pela estrutura vertical da coluna de água, sendo a produção primária o processo mais importante. As taxas de produção primária são influenciadas pela disponibilidade de luz e nutrientes (Angel, 2003). Os gradientes das características físico-químicas da coluna de água influenciam a distribuição dos organismos pelágicos, o que leva a uma zonação vertical destes organismos.

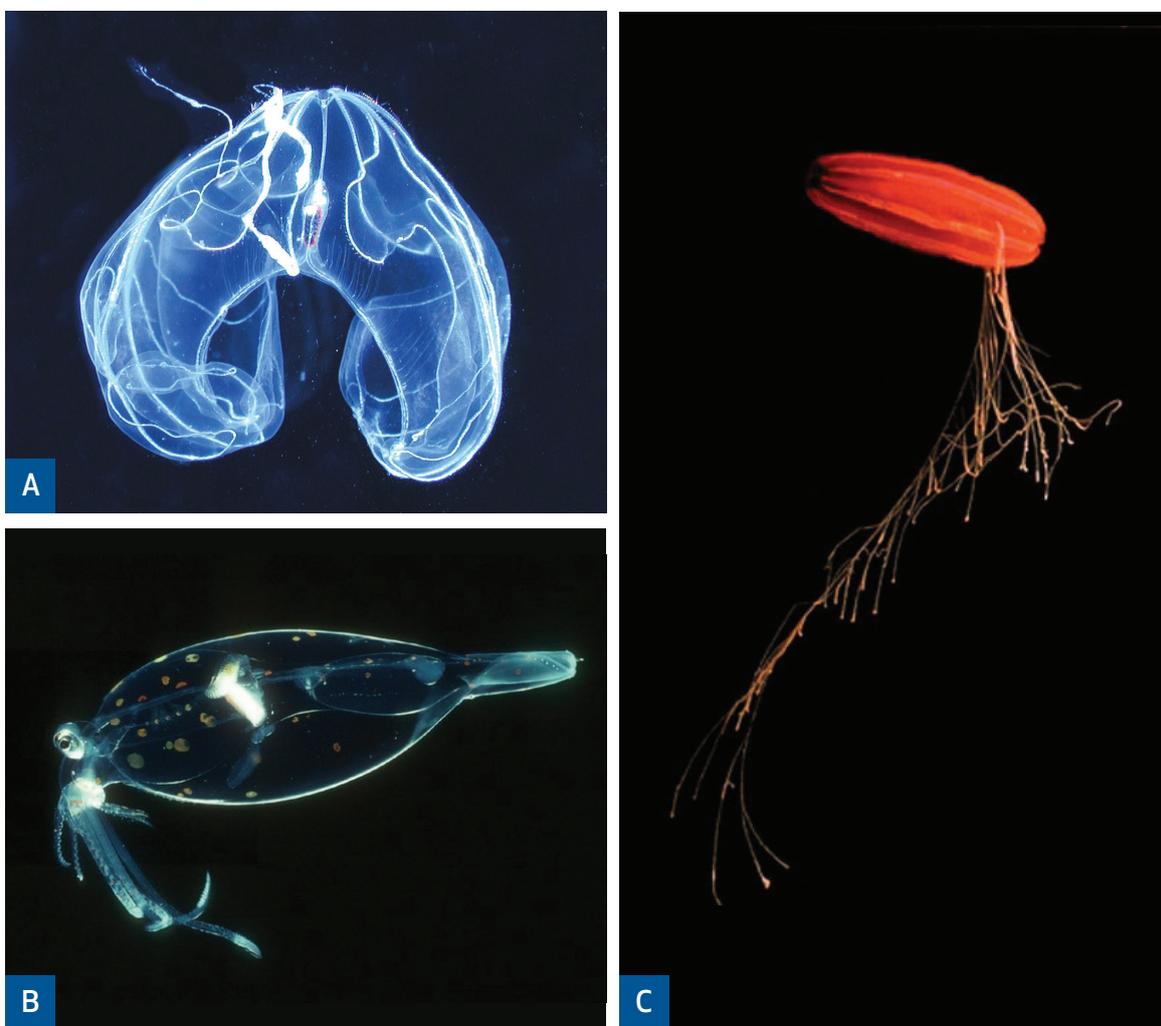
A grande maioria da vida nos oceanos está baseada na produção primária realizada nos primeiros 100 metros da coluna de água, e é subsequentemente exportada para águas mais profundas. Na sua descida, a matéria orgânica é processada por microrganismos ou consumida pelos organismos pelágicos que vivem em profundidade. Com o aumento da profundidade, a quantidade de matéria orgânica vai diminuindo (Angel, 2003). Da zona eufótica até aos 1000 m a biomassa diminui, passando-se o mesmo entre os 1000 e os 4000 m de profundidade (Angel e Baker, 1982). Esta diminuição é uma consequência direta da quantidade de matéria que chega ao fundo, quer por afundamento quer transportada por animais migradores.

A zona epipelágica prolonga-se desde a superfície até cerca dos 200 m, onde ocorre a grande maioria da produção primária, e onde o alimento é mais abundante para herbívoros e suspensívoros. A maior parte das espécies que constituem o fitoplâncton tem reduzidas dimensões e o mesmo se passa com quem dele se alimenta. Certas espécies de grandes proporções possuem, no entanto, mecanismos especializados para permitir filtrar o fitoplâncton presente na água. Assim, se o fitoplâncton for maior do que uma dezena de micrómetros, este pode servir de alimento ao “krill”, mas o pico e o nano plâncton, que têm dimensões mais reduzidas, serão por seu lado o alimento passivo para grupos planctónicos que os armadilham com muco, como fazem as salpas, os pterópodes, os foraminíferos, as larvas, entre outros. Em zonas de baixa produtividade, o picoplâncton pode produzir até cerca de 80% de toda a produção primária. O muco produzido pelos consumidores irá por sua vez transformar-se em neve marinha que pode formar agregados e servir de alimento a outros organismos pelágicos. O restante pode afundar e vir a alimentar organismos de zonas bem mais profundas.

Muitos dos residentes nos ambientes pelágicos são transparentes, obtendo assim uma camuflagem que lhes permite escapar à maioria dos predadores. Como tal existe uma profusão de organismos gelatinosos que derivam nesta massa de água e que chegam a ser dominantes em períodos diurnos. Toda esta biomassa alimenta predadores que, por

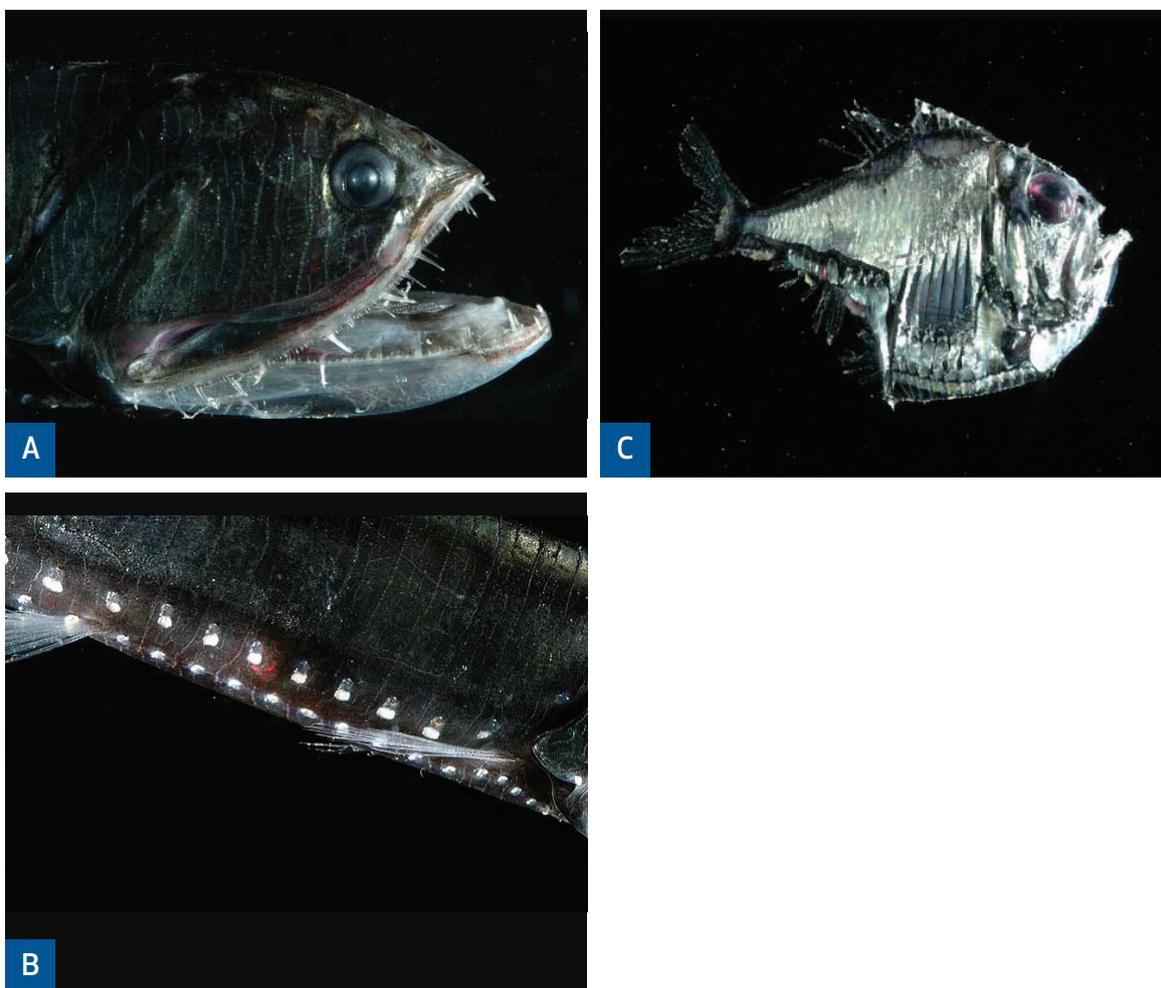
sua vez, serão alimento de outros, até ao topo da cadeia alimentar como atuns, golfinhos, entre outros. Para além desta teia, há um conjunto de organismos migradores que se movimentam nas zonas mais profundas, com movimentos ascendentes da zona mesopelágica para a zona epipelágica ao lusco-fusco e voltando a descer ao nascer do sol, aumentando a biomassa desta camada nestes períodos, chegando por vezes a duplicar o seu valor.

Abaixo da zona epipelágica, a zona mesopelágica estende-se até aos 1000 m de profundidade. Apesar de o tipo de organismos dominantes desta zona não diferir do da anterior, existem grandes alterações na sua composição específica. Na ausência de fitoplâncton, as opções de alimento limitam-se a detritos ou à predação. O mesozooplâncton é dominado por copépodes, mas na camada mais superficial do mesopelágico encontramos organismos gelatinosos muito frágeis e com formas que nos alimentam o imaginário ([Figura 2](#)).



**Fig. 2** - Zooplâncton gelatinoso - **(A)** Ctenóforo *Bathocyroe fosteri*; **(B)** Lula de vidro não identificada; **(C)** Ctenóforo não identificado. © Fotografia: Marsh Youngbluth.

A morfologia dos peixes que habitam esta zona é característica e inclui órgãos luminosos, negros ou prateados, resultando numa boa camuflagem usada na zona disfótica. A maior parte dos peixes têm olhos tubulares e, tal como a boca, direcionados para cima. A boca possui longos dentes extremamente afiados ([Figura 3](#)).



**Fig. 3** - Peixes mesopelágicos - **(A)** **(B)** *Gonostoma* spp. - Peixe mesopelágico com fotóforos ventrais; **(C)** *Argyroteleus hemigymnus*. © Fotografia: David Shale.

Os 1000 metros de profundidade marcam o início da zona batipelágica. Os peixes que aqui residem são negros e muitos possuem órgãos luminosos, embora em menor abundância do que os das zonas menos profundas. Nesta zona não há peixes migradores. O ambiente mais profundo, a partir dos 3500 metros, denomina-se abissopelágico. A quantidade de peixes na zona abissopelágica é ainda mais reduzida. Em termos ecológicos, os peixes são substituídos por crustáceos decápodes e, mais fundo ainda, pelos crustáceos misidáceos. A zona abissopelágica estende-se em profundidade para a zona hadal (profundidades superiores a 6500 m) (Angel, 1984).



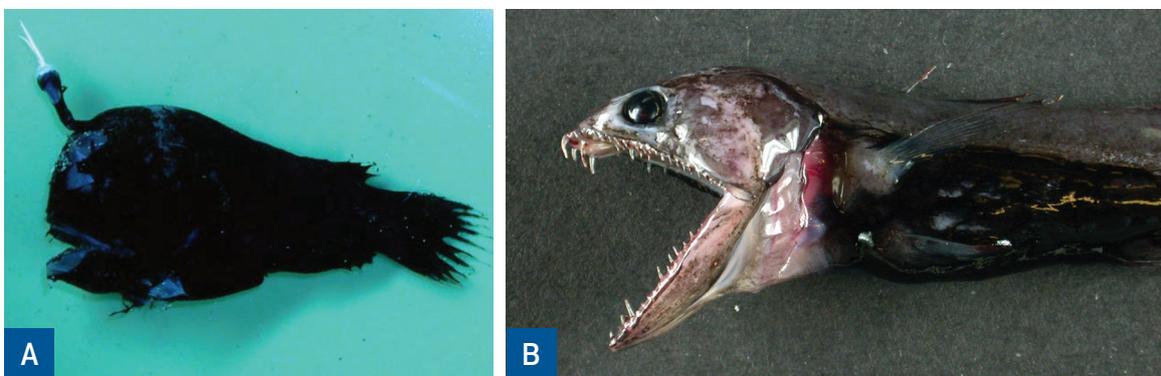
**Neve Marinha** – Agregados orgânicos de diversas naturezas, tal como bactérias, células, algas e restos de fezes ou da degradação de substâncias gelatinosas, geralmente enriquecida com microrganismos, que se precipitam das camadas mais superficiais para os fundos marinhos, providenciando energia e alimento a estas zonas.

**Plâncton** - Conjunto de organismos, principalmente microscópicos, que flutuam em águas salgadas ou doces, movendo-se com as massas de água.

**Necton** - Organismos com habilidades de natação que lhes permitem mover-se de forma independente das correntes marinhas.

## 2.2 AMBIENTES BENTOPELÁGICOS

O domínio bentopelágico é ecologicamente uma importante zona de fronteira, perto do fundo do mar (bentos), onde vivem vários organismos na chamada camada bêntica fronteira (em inglês – *Benthic Boundary Layer* – BBL). Até este ponto a biomassa tem vindo a diminuir com o aumento da profundidade, mas a proximidade ao fundo vem retroceder esta tendência. As espécies que vivem nesta zona fronteira tanto são do domínio pelágico ([Figura 4](#)) como do bêntico e interagem nesta zona que ocorre desde profundidades da plataforma continental até às zonas abissais, passando pelos montes submarinos e taludes continentais. As espécies que aqui vivem têm em comum a obrigatoriedade de passarem parte do seu ciclo de vida nesta zona fronteira.



**Fig. 4** - Peixes bentopelágicos: **(A)** *Lopodolos acanthognathus*; **(B)** *Chiasmodon niger* – Conseguem capturar e ingerir presas maiores que ele próprio graças a um grande estômago. © Fotografia: Richard Young.

A região bentopelágica, é uma zona fronteira onde ocorrem por vezes autênticas “tempestades bêmicas”. As tempestades bêmicas podem refletir-se até centenas de metros sobre o fundo (Angel e Baker, 1982; Weatherly e Kelley, 1985). Dependendo da velocidade das correntes, as partículas que estão no fundo podem mesmo ser ressuspensas.

## 2.3 AMBIENTES BÊNTICOS OU BENTÓNICOS

A biota associada aos substratos consolidados e não consolidados, também conhecido como bentos, é muito diversa e complexa e tem um papel fundamental no fluxo de energia entre os diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares. Os bentos alimentam-se tanto da matéria orgânica em suspensão como da depositada no sedimento. A biomassa das comunidades bêmicas diminui com a profundidade (Lampitt et al., 1986).

Se analisarmos o perfil das bacias oceânicas verificamos que a zona bentónica do mar profundo é extremamente heterogênea nos ecossistemas que apresenta: taludes continentais, planícies abissais, fossas, canhões, montes submarinos, dorsais, campos hidrotermais com as espécies e habitats associados.



**Biodiversidade** – Diversidade biológica. Pluralidade dos organismos vivos, nas suas variadas formas. A biodiversidade acontece a vários níveis: a nível de ecossistemas (os diferentes tipos de habitats que existem), a nível de espécies (diferenças entre espécies) e a nível genético (variedade dos genes de cada uma das espécies).

**Bioma** - São tipos de ecossistemas, habitats ou comunidades biológicas com certo nível de homogeneidade.

**Biomassa** – Quantidade de matéria viva numa determinada área.

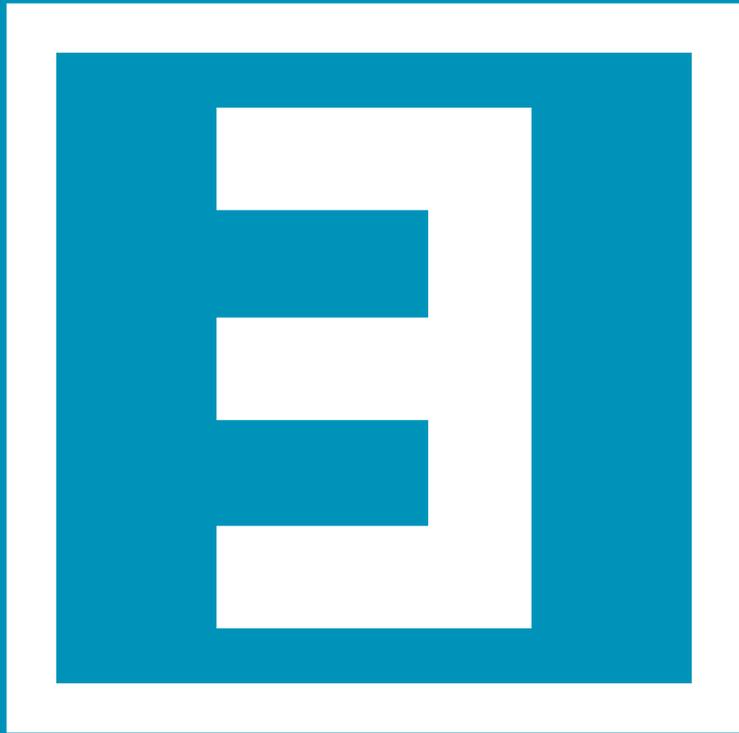
**Biota** - Conjunto de seres vivos (animal, vegetal e microrganismos) que se encontra num dado ambiente, num dado período e/ou numa determinada região geográfica.

**Comunidade** – Grupo de organismos de diferentes espécies que ocorre no mesmo habitat ou área.

**Ecossistema** - Todos os organismos numa comunidade biótica e o ambiente físico com o qual interagem.

**Habitat** - Conceito usado em ecologia que inclui o espaço físico e os fatores abióticos que condicionam um ecossistema e por essa via determinam a distribuição das populações de determinada comunidade.

**População** – Grupo de organismos da mesma espécie que habitam a mesma área geográfica.



# CAPÍTULO 3

## DA MARGEM PARA AS DORSAIS OCEÂNICAS



## 3.1 TALUDE CONTINENTAL

O **talude continental** é a zona que se encontra entre a plataforma continental e o mar profundo. É nessa área que ocorrem as grandes trocas de matéria e energia, incluindo as escorrências antropogénicas. Embora os taludes continentais constituam menos de 20% do oceano mundial, são fontes de matéria orgânica importantes utilizada pelas comunidades do oceano aberto (Druffel et al., 1992; Canals et al., 2006).

Estes ecossistemas assumem uma influência mais vasta por estarem envolvidos nalguns dos processos biogeoquímicos e ecológicos globais contribuindo assim para um funcionamento sustentável da biosfera. Dos vários bens (biomassa, moléculas bioativas, petróleo e gás) e serviços (regulação do clima, a regeneração de nutrientes e alimentos) fornecidos pelos ecossistemas de mar profundo, muitos são produzidos ou estão armazenados ao longo das encostas abertas das margens continentais. Ao mesmo tempo, os ecossistemas das plataformas do mar profundo são os principais depósitos de biomassa e, provavelmente, um grande repositório de biodiversidade ainda não descoberta na Terra. Avaliar a sua vulnerabilidade em relação às entradas antropogénicas é, portanto, crucial para a definição de ações de gestão específicas que visem a preservação da biodiversidade do mar profundo.

## 3.2 PADRÕES BATIMÉTRICOS DA BIODIVERSIDADE AO LONGO DA MARGEM (TALUDE) EUROPEIA

Para além da profundidade, as características das bacias também influem nos padrões de variação das espécies (Rex et al., 1997).

O conhecimento dos gradientes batimétricos de diversidade é amplamente baseado em estudos realizados na zona batial (isto é, a partir da quebra da plataforma dos 200 m até aos 4000 m). Além disso, diferentes *taxa* (espécies) exibem diferentes padrões espaciais com o aumento da profundidade. O número de *taxa* diminui com o aumento da profundidade e diversos estudos (Hoste et al., 2007; Vincx et al., 1994) revelam que as margens abertas são locais de elevada concentração de biodiversidade (muitas vezes referidos

pela expressão inglesa *hotspots*) em que a riqueza de espécies é maior do que o documentado para os ecossistemas do batial e abissal.

As ilhas das regiões Atlânticas, como as que constituem os arquipélagos dos Açores e da Madeira, estão rodeadas por uma plataforma insular seguida de uma vertente insular. Dado o reduzido tamanho da plataforma insular, a vertente insular é quase um prolongamento da zona costeira, com uma zonação semelhante à dos taludes continentais. Porque as ilhas têm uma génese vulcânica semelhante à das encostas dos montes submarinos, partilham com eles os mesmos padrões de variação de biodiversidade com a profundidade.

## 3.3 CANHÕES SUBMARINOS

Os **canhões submarinos** são sistemas complexos e heterogêneos. Apresentam uma forma típica em V, com gargantas estreitas e vertentes muito inclinadas. O comprimento médio é de 50 km. Muito embora a maioria tenha poucos quilómetros de comprimento, existem alguns com cerca de 200 a 300 km de extensão e o canhão submarino mais extenso conhecido até ao presente possui cerca de 442 km. Estas estruturas atingem grandes profundidades, estando muitas vezes abaixo dos 3000 m (Shepard e Milliman, 1978).

Os canhões submarinos embutidos na margem continental funcionam como vias de drenagem de materiais (sedimento, lixo, etc.) do continente para a planície abissal, e a sua eficácia depende, entre outros fatores, da distância ao litoral a que estão definidas as suas cabeceiras e da área de plataforma que os influencia diretamente.

Este tipo de incisões está frequentemente associado a diversos condicionalismos energéticos como afloramentos costeiros (consultar o Guia da Plataforma Continental - Domingos et al., 2017) e acumulação de energia das ondas internas com capacidade de transferir os sedimentos acumulados na plataforma, bordo e vertente continental superior, para a planície abissal. No caso de canhões cuja cabeceira esteja muito próxima da orla litoral, a sua morfologia tem uma influência significativa sobre os processos costeiros, como a hidrodinâmica da zona costeira (p. ex. ondas gigantes, tsunamis) e o transporte sedimentar (p. ex. o Canhão Submarino da Nazaré) (Masson e Tyler, 2011; Tyler et al., 2009). Recentemente realizaram-se vários estudos focados nos habitats bentónicos associados aos canhões submarinos e foi descoberto que, devido às características oceanográficas e geológicas anteriormente descritas, algumas destas estruturas contêm uma diversidade

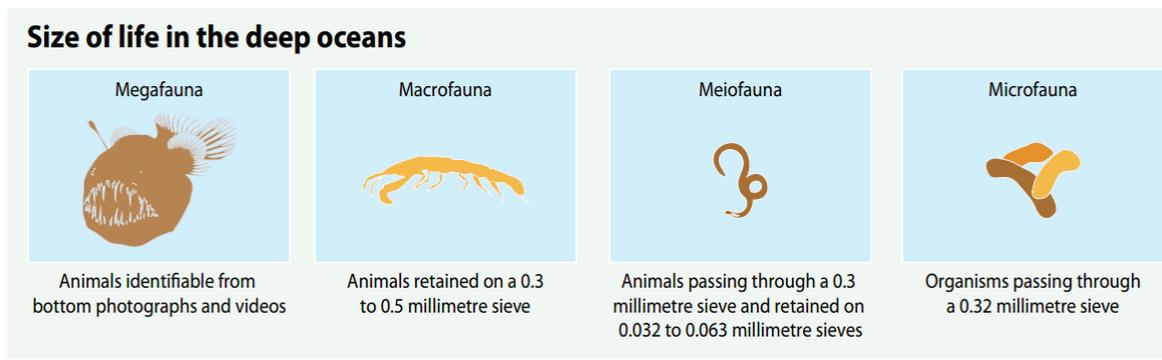
elevada e, como consequência, são consideradas áreas *hotspot* de biodiversidade, não só ao nível de organismos bentónicos (Amaro et al., 2010; De Leo et al., 2010; Tyler et al., 2009) como de populações de peixes comercialmente importantes (Company et al., 2008; Würtz, 2012).

## 3.4 PLANÍCIE ABISSAL

Todos os oceanos, entre as suas margens (ativas como as dorsais ou passivas como as margens continentais), apresentam uma área com topografia suave e plana, normalmente coberta por sedimentos pelágicos, situada entre os 3500 e os 6000 m de profundidade (Angel, 2003; Smith e Demopoulos, 2003) - a **planície abissal**. É uma área extensa dos fundos oceânicos.

Nas planícies abissais podem existir depressões designadas por fossas, que apresentam grandes profundidades, podendo mesmo ultrapassar os 11000 m. Podem ainda existir ilhas e colinas formadas pela acumulação de materiais vulcânicos emitidos por vulcões submarinos (Smith e Demopoulos, 2003). Até aos 5000 m de profundidade, a fina textura dos sedimentos é formada pela deposição de valvas de microrganismos calcários, como os de foraminíferos e de certas algas. Abaixo dessa profundidade, o sedimento mais comum tem natureza siliciosa. Este sedimento é formado a partir das valvas de diatomáceas que habitam as águas mais superficiais e que, após a morte, afundam. A grande parte do sedimento nas planícies abissais é depositado a partir das margens continentais ao longo dos canhões submarinos.

As comunidades das planícies abissais são geralmente características de sedimentos móveis (por oposição aos substratos duros), e comportam todas as classes de tamanho ([Figura 5](#)), sendo a megafauna essencialmente necrófaga (peixes macrurídeos, caranguejos e anfípodes) ou detritívora (holotúrias e ofiúros), e sendo a macrofauna (poliquetas, isópodes, etc.), e meiofauna (nemátodes, copépodes, etc.), em grande parte endofauna, responsável pela degradação e remineralização da matéria orgânica que chega ao fundo do mar, e portanto prestando um serviço fundamental de reciclagem de nutrientes ao planeta Terra.



**Fig. 5** - Classes de tamanho da fauna encontrada na planície abissal. Megafauna é a fauna que pode ser identificada por fotos e vídeos. Macrofauna é a fauna que fica retida no crivo de 300-500  $\mu\text{m}$ , sendo a meiofauna a que fica retida num crivo menor que 300-500  $\mu\text{m}$  e maior que 32-63  $\mu\text{m}$ . À fauna que não fica retida no crivo de 32  $\mu\text{m}$  dá-se o nome de microfauna. © Secretariat of the Pacific Community.

Nestas zonas sedimentares, vamos também encontrar poços, tocas, montes, trilhos ou rastros, moldes fecais e vestígios de repouso. O termo técnico para todos esses sinais de atividade bentônica, sejam rastros, trilhos, montes, e fezes é *Lebensspuren*, que apesar de originalmente ser uma palavra alemã, é também usada em inglês. Os *Lebensspuren*, cuja tradução direta é “rastros de vida”, muitas vezes confirmam a evidência da presença de grandes organismos sobre as planícies abissais e são também particularmente úteis para a quantificação da megafauna dentro dos sedimentos. Estes organismos, que são extremamente difíceis de amostrar usando os métodos convencionais, desempenham um papel potencialmente importante na ecologia do mar profundo e na estruturação do ambiente sedimentar.

Podemos classificar os *Lebensspuren* em diferentes categorias, que dependem do comportamento dos animais:

1. **Rastos de repouso:** marcas de animais parados.
2. **Rastos de locomoção:** marcas dos órgãos locomotores.
3. **Estruturas alimentares:** existência de resíduos e depósitos de fezes ou pseudo-fezes.
4. **Rastos de passagem:** marcas delicadas na superfície do sedimento.

Cada uma destas categorias tem efeitos notoriamente diferentes nas características físicas do sedimento, sendo que uns são mais efêmeros que outros. Os rastros de locomoção são os mais destrutivos das estruturas físicas e biogénicas, por resultarem numa mistura considerável do sedimento. Rastos de repouso e estruturas alimentares não causam tanta mistura de sedimento. Os rastros de passagem, por sua vez, mantêm as estruturas biogénicas e têm efeito limitado na mistura do sedimento.

## 3.5 MEIOFAUNA NOS SEDIMENTOS DO MAR PROFUNDO

Pertencem à meiofauna bentónica (meiobentos) os pequenos organismos com tamanho entre os 32 e os 1000  $\mu\text{m}$  que vivem nos diminutos espaços intersticiais dos sedimentos. Estes possuem elevada representação na biodiversidade marinha, mas sobretudo desempenham um papel importante no funcionamento dos ecossistemas aquáticos. O grupo taxonómico mais abundante da meiofauna são geralmente os nemátodes marinhos de vida livre, que se caracterizam pela sua elevada abundância e diversidade.

As comunidades de meiobentos têm um papel determinante no funcionamento e saúde dos ecossistemas devido à sua posição funcional. Encontram-se na base da teia trófica sendo essenciais na transferência de energia para os níveis tróficos superiores dos ecossistemas aquáticos, mas também são importantes na cadeia detrítica, fazendo parte integrante do ciclo de nutrientes e da produção secundária. Tem sido também demonstrada a sua profunda relação com o ambiente ecológico em que vivem e a sua elevada sensibilidade às alterações e perturbações dos ecossistemas aquáticos (Materatski et al., 2016; Ramalho et al., 2014; Vafeiadou et al., 2014).

É possível então considerar estas comunidades como uma espécie de “comunidade modelo” para o estudo dos processos de ecologia marinha em diferentes habitats e em particular nos sedimentos do mar profundo, devido às suas importantes características: (i) a ubiquidade da sua distribuição espacial (ii); a capacidade de refletir as alterações ambientais a pequena e a grande escala espacial e temporal (iii) o facto de os indivíduos possuírem um ciclo de vida curto (apenas de 2 ou 3 semanas), o que permite a estas comunidades terem respostas muito mais rápidas às perturbações naturais ou antropogénicas, modificando a sua biodiversidade e ainda (iv) a amostragem ser consideravelmente mais simples que a necessária para outros grupos bentónicos.

A meiofauna e os nemátodes marinhos constituem assim uma importante comunidade bentónica para a monitorização e avaliação do bom estado ambiental dos sedimentos do mar profundo.

## 3.6

# MONTES SUBMARINOS

Os montes submarinos são estruturas conspícuas, normalmente com flancos abruptos e uma forma cônica de base circular, elíptica ou mais alongada. Do ponto de vista geológico são formações que emergem do leito do oceano, geralmente de origem vulcânica e frequentemente associados a *hotspots* de biodiversidade. Apesar de existirem milhares de montanhas submarinas estes sistemas são pouco estudados (Giacomello et al., 2013). Atualmente são conhecidos cerca de 100.000 montes submarinos, dos quais 14 000 têm grandes dimensões (Wessel et al., 2010). Apenas em 200 destes 14 000 montes submarinos foram já recolhidas amostras de forma sistemática (Shank, 2010), o que demonstra quão pouco estudados estão. As correntes que circundam os montes submarinos e as superfícies rochosas expostas dos mesmos oferecem condições ideais para animais filtradores, que tendem a dominar a zona bentónica. No Oceano Atlântico existem pelo menos 800 montes submarinos de grandes dimensões, a maioria deles associada à Crista Média Atlântica, mas também na zona a oeste de Portugal Continental (Morato et al., 2008).

Os montes têm natureza rochosa e podem possuir fissuras, falhas, canhões, onde é frequente a acumulação de sedimentos biogénicos (Gubbay, 2003). O relevo dos montes submarinos tem efeitos profundos sobre a circulação oceânica circundante, como a formação de ondas retidas, jatos, turbilhões e as circulações fechadas conhecidas como colunas de Taylor (Gubbay, 2003). Podem ser divididos em:

- 1. Pouco profundos:** quando o cume se encontra na zona fótica.
- 2. Intermédios:** quando o cume se encontra entre o limite inferior da zona fótica e a profundidade de migração diurna do zooplâncton, mais conhecidas por migrações nictemerais (aproximadamente 400 m).
- 3. Profundos:** quando o cume está abaixo dos 400 m e, portanto, sem efeito da luz solar (Gubbay, 2003).

Os montes são caracterizados por uma elevada biodiversidade e pensa-se que os que se aproximam mais da superfície são importantes por facilitarem a dispersão das espécies nos oceanos agindo como pontos de passagem (mais conhecidos pela expressão inglesa “*stepping stones*”) para espécies nas suas rotas de colonização (Gubbay, 2003). Nos montes submarinos cujo cume se localiza na zona fótica ou disfótica e aquando das migrações nictemerais, muitos dos organismos migradores acabam por ficar aprisionados nos topos durante a sua descida diurna, devido às correntes oceânicas, provocando o aumento local da quantidade de alimento.



# CAPÍTULO 4

## DORSAIS OCEÂNICAS



Geralmente, a biomassa bentónica diminui com a profundidade e com a distância aos continentes, tendo as profundidades abissais menos de 1% dos valores de biomassa das zonas costeiras (Rex e Etter, 2010). Na ausência de uma dorsal oceânica, espera-se que a fauna abissal seja escassa. Isto justifica-se também pela baixa produtividade da zona fótica em pleno oceano.

A presença das dorsais oceânicas, que não são mais do que cadeias de montanhas no meio do oceano, reduz a profundidade da coluna de água e a sua topografia pode influenciar os padrões de circulação (St Laurent e Thurnherr, 2007). Estas elevações podem, em parte providenciar habitat para as espécies batiais, que de outra forma não existiriam no meio do oceano (a não ser nos montes submarinos).

Acredita-se que também as dorsais oceânicas possam ser *stepping stones* para a dispersão das espécies batiais. Estudos recentes (Priede et al., 2013) na dorsal atlântica (também chamada Crista Médio Atlântica) mostram que os flancos desta cadeia montanhosa são dominados por terraços planos separados por vertentes abruptas, frequentemente com penhascos paralelos voltados para o eixo da dorsal. Estes terraços (com inclinação inferior a 5%) representam cerca de 38% da área e estão cobertos por sedimento, seguidos de vertentes ligeiras (56%) também maioritariamente cobertas de sedimento, sendo interrompidos por afloramentos rochosos (5-30° de inclinação) e cerca de 6% de vertentes inclinadas cobertas com cerca de 30% de sedimento (>30°). Nestas vertentes inclinadas, os penhascos são de rocha nua nas faces verticais, mas com sedimento na base. Os autores concluíram que, apesar de vários elementos rochosos na topografia, o substrato dominante é sedimentar. O substrato rochoso é o habitat de uma grande diversidade de fauna bentónica sésil, dominada por corais, esponjas e crinóides (Mortensen et al., 2008).

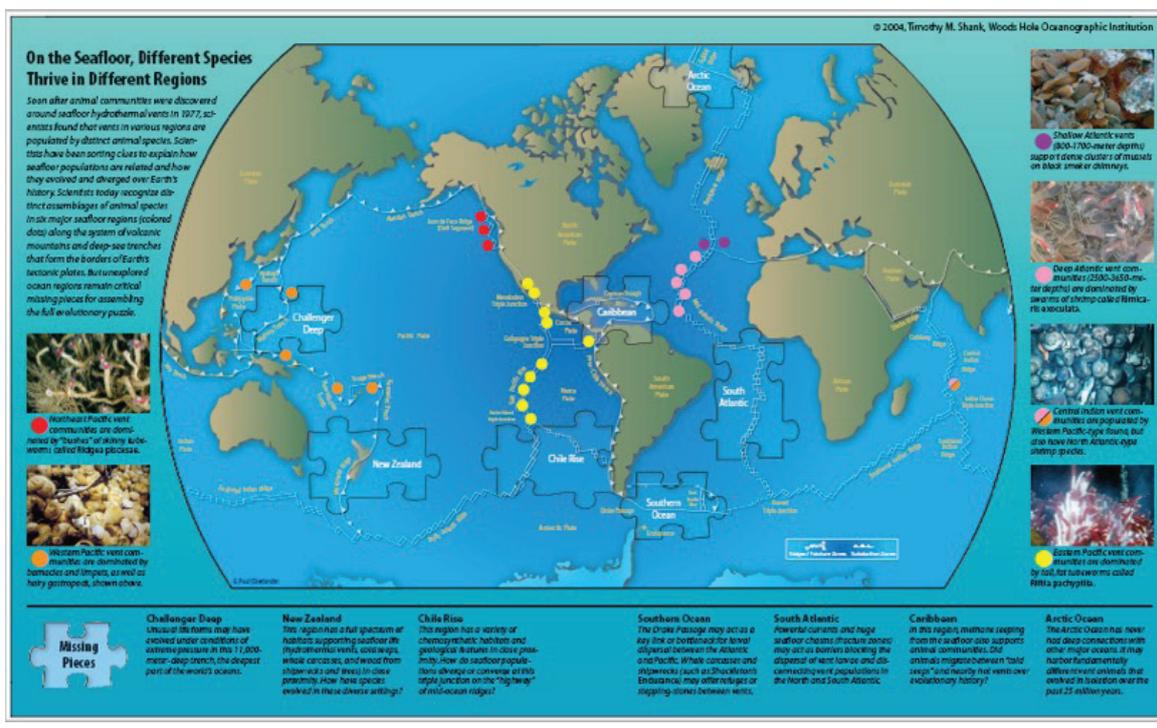
Diversos cientistas (Priede et al., 2013) constataram que a fauna da dorsal médio atlântica tem muitas espécies conhecidas das margens continentais. A maior parte das espécies demersais e benthicas são típicas do batial, tendo cerca de 10% de endemismos (espécie endémica: espécie que se desenvolve numa única região geográfica) na megafauna benthica. As holotúrias constituem o grupo com maior percentagem de endemismos.

## 4.1 AMBIENTES QUIMIOSSINTÉTICOS

Quer nas margens continentais, quer nas dorsais oceânicas podemos encontrar ambientes particulares com capacidade de sintetizar matéria orgânica na ausência de luz. Estes são os ambientes quimiossintéticos onde a produção primária não depende da luz solar.

Em zona de margem os ambientes quimiossintéticos dependem da presença de uma fonte de metano no sedimento e têm o nome de “fontes frias” por oposição às fontes hidrotermais, que se formam em zona de separação de placas, e que apresentam fluidos reduzidos extremamente quentes.

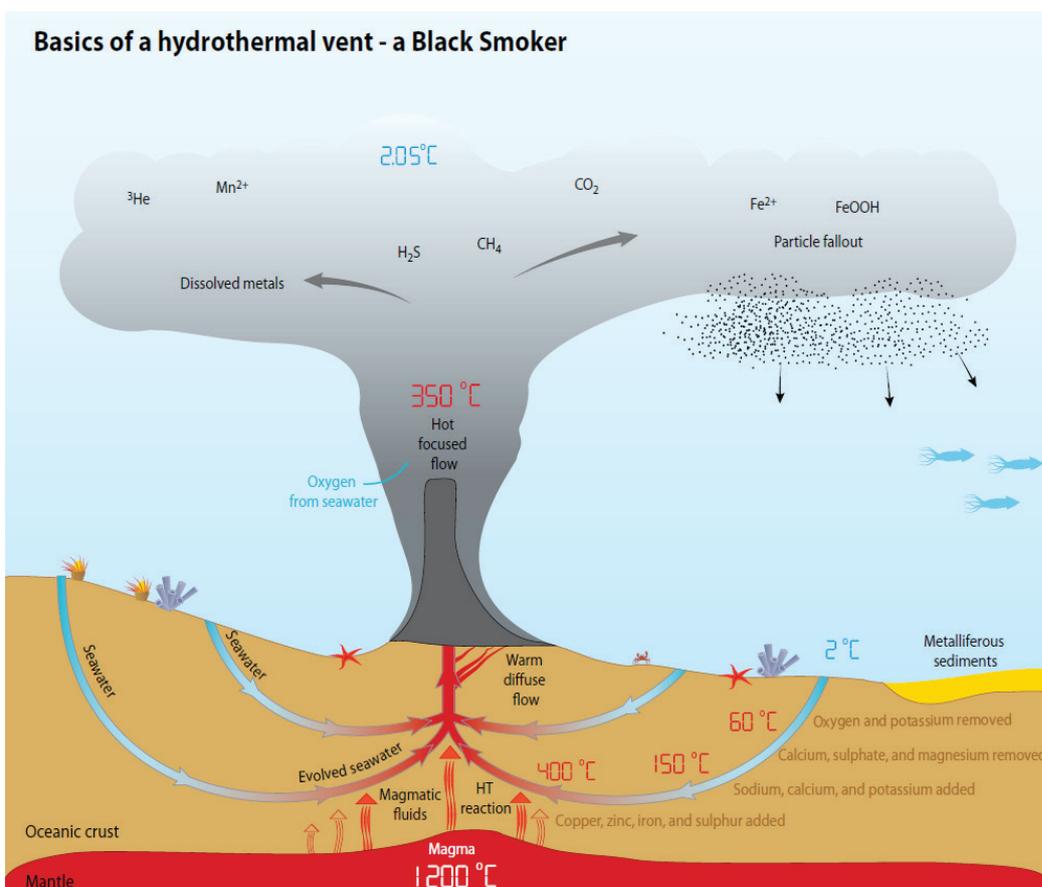
Os ecossistemas **hidrotermais** encontram-se em zonas relacionadas com a tectónica de placas, situando-se nas zonas de separação das mesmas (**Figura 6**). Aqui, o magma, com uma temperatura de cerca de 1200 °C, ascende, consolida e forma nova crosta que, ao arrefecer, se fratura. A água do mar infiltra-se nestas fraturas, circula na nova crosta oceânica, e aquece quando se aproxima da câmara magmática. Aí aquece, torna-se anóxica e menos densa e, por movimentos de convexão, volta a ascender até à superfície da crosta. No processo de ascensão, interage quimicamente com as rochas por onde passa, arrastando consigo metais como o ferro, cobre, zinco e chumbo entre outros. Transporta também gases, incluindo o dióxido de carbono, o hidrogénio, o metano e o sulfureto de hidrogénio. O contacto deste fluido com a água do mar fria e oxigenada, faz com que os compostos acarretados se precipitem sob a forma de calcopirite (Cu, Fe, S), esfalerite (Zn, Fe, S) e pirite (Fe, S), formando chaminés (Van Dover, 2000).



**Fig. 6 - Padrões biogeográficos das comunidades hidrotermais, em ambiente de dorsal e de margem. As diferentes cores indicam as seis grandes províncias biogeográficas. Ilustração de E. Paul Oberlander, © Woods Hole Oceanographic Institution.**

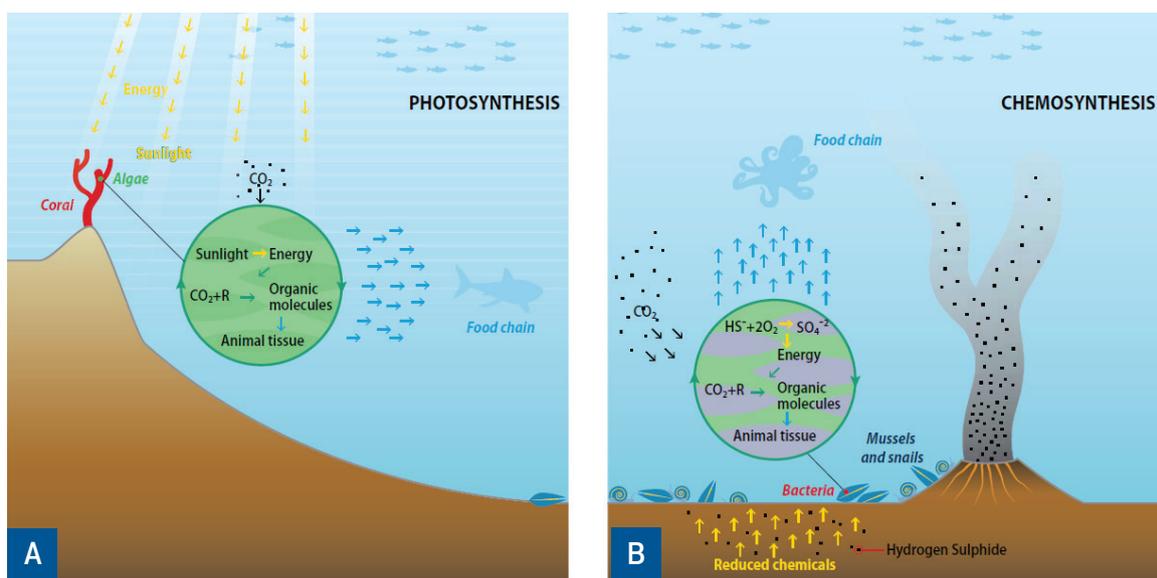
**Tabela 1 – Fauna dominante das províncias biogeográficas propostas na figura 6 (Adaptado de Ramirez-Llodra et al, 2007)**

Provincia biogeográfica e Profundidade	Fauna dominante
Dorsal Médio Atlântica, Junção Tripla dos Açores (Atlântico norte, 800-1700m)	Mexilhões do Género Bathymodiolus, anfípodes e camarões da Infra-Ordem Caridea
Dorsal Médio Atlântica entre a Junção Tripla dos Açores e o Equador (Atlântico norte, 2500-3650m)	Camarões da Infra-Ordem Caridea- maioritariamente Rimicaris exoculata, e mexilhões do Género Bathymodiolus
Dorsal médio Atlântica sul	Camarões da Infra-Ordem Caridea, mexilhões do Género Bathymodiolus e ameijoas
Dorsal das Galapagos e Rise do Pacífico Este	Verme tubícola vestimentifera- maioritariamente Riftia pachyptila e mexilhões do Género Bathymodiolus, ameijoas da Família Vesycomidae, poliquetas da Família Alvinellidae, anfípodes e caranguejos
Pacífico Noroeste	Verme tubícola vestimentifera- excluindo os do Género Riftia, poliquetas e gastrópodes
Pacífico Oeste	Cracas, lapas, Mexilhões do género Bathymodiolus, gastrópodes “cabeludos”, ameijoas da Família Vesycomidae e camarões
Dorsal central do Índico	Infra-ordem Caridea- Rimicaris kairei, mexilhões, gastrópodes com “escamas” e anêmonas.



**Fig. 7 - Esquema simplificado de uma fonte hidrotermal.** A água do mar infiltra-se na crosta oceânica e ao aproximar-se da câmara magmática aquece e é modificada pela troca química com as rochas circundantes. A água do mar alterada, por movimento de convexão, é novamente expelida no fundo oceânico. A pluma crescente mistura-se rapidamente com a água do mar ambiente, baixando a temperatura e a diluição da concentração de partículas. A pluma, menos densa que a água circundante, continua a subir através da água do mar. Uma vez que a densidade da pluma hidrotermal corresponde à densidade da água do mar, a subida pára e começa a dispersar lateralmente. Num cenário como este, 90% dos metais da pluma perdem-se e não formam depósitos de metal. ©Secretariat of the Pacific Community.

A temperatura dos fluidos das chaminés varia consoante a profundidade a que estão os campos hidrotermais e pode chegar a atingir os 350 °C (Figura 7). São os compostos reduzidos (fonte de energia) e o dióxido de carbono transportado por estes fluidos que permitem que os organismos quimiossintéticos realizem produção primária (produção de matéria orgânica a partir de elementos inorgânicos), algo que até à descoberta destes ambientes só se conhecia em ambientes fotossintéticos (fotossíntese), (Figura 8). Verifica-se então, como consequência deste original processo de fabricação de alimento, a presença de autênticos oásis de vida em redor das chaminés. Os organismos que vivem sobre ou próximo delas estão adaptados a estes ambientes (que contrariamente ao mar profundo batial e abissal, é rico em metais, enxofre, com pH inferior ao da água do mar e com elementos radioativos), distribuindo-se de forma heterogénea, conforme as suas adaptações. As variações são à escala centimétrica, podendo no espaço de uma dezena de centímetros variar entre 100 °C e 12 °C.



**Fig. 8** - Relações de simbiose quimioautotrófica. Estas relações são semelhantes às simbioses que ocorrem entre recifes de corais e as algas fotossintéticas. **(A)** tal como alguns corais necessitam da luz solar para obter energia para as algas simbióticas, **(B)** os animais, tais como os mexilhões, necessitam dos fluidos provenientes das fontes hidrotermais que são benéficos para as bactérias simbióticas. © Secretariat of the Pacific Community.

A característica mais especial dos ambientes hidrotermais é o facto de não dependerem do carbono orgânico que provém da superfície. A produção primária realizada pelos microrganismos suporta este oásis de vida, que apesar de uma grande biomassa, tem uma diversidade específica inferior à dos ecossistemas batiais vizinhos. São ambientes geralmente dominados por espécies simbiotróficas, ou seja, megafauna e macrofauna hospedeiras de bactérias simbiotes quimioautotróficas, autênticas fábricas de produção de alimento.

Os campos hidrotermais são muito importantes. Contribuem para o equilíbrio térmico do planeta, enriquecem a água do mar do ponto de vista químico e geram parte dos sedimentos existentes nos fundos submarinos.

Existem várias províncias biogeográficas com hidrotermalismo de grande profundidade ativo e a região dos Açores é uma delas. Os campos hidrotermais açorianos são dominados pelo mexilhão hidrotermal *Bathymodiolus azoricus*, um curioso animal que alberga nas suas brânquias uma simbiose dupla de microrganismos que oxidam o enxofre e o metano. No domínio da megafauna é também abundante o camarão *Mirocaris fortunata* e o caranguejo *Segonzacia mesatlantica*. Estes campos hidrotermais são áreas marinhas protegidas, fazendo parte da rede de áreas marinhas protegidas da Convenção Oslo-Paris para a proteção do Norte Atlântico (mais conhecida pelo acrónimo OSPAR) e do Parque Marinho dos Açores.

Do ponto de vista geológico, as fontes frias apresentam características muito diversas. Estão dispersas globalmente, ocorrendo em todas as margens continentais (tectonicamente ativas e passivas) e em lagos e mares interiores. São conhecidas fontes frias desde profundidades inferiores a 15 m até profundidades superiores a 7400 m. As fontes frias encontram-se com frequência ao longo de fraturas na crista de colinas, nas escarpas baixas e nos afloramentos planos, além de em zonas de falha associadas a tectónicas salinas em margens continentais passivas (Gibson et al., 2005). Estas fontes dependem do metano, quer este seja formado por afloramentos de hidratos, quer por ascensão através de falhas ou quer pela produção a partir da diagénese da matéria orgânica.

As fontes frias, tal como as fontes hidrotermais, albergam comunidades caracterizadas por uma produção primária quimioautotrófica e com associações simbióticas entre bactérias eucariotas. O metano e o sulfureto são as principais fontes de energia e são oxidados por espécies bacterianas na presença de oxigénio. As altas concentrações de metano, hidrocarbonetos ou sulfureto podem estar presentes no fluido, sendo que as concentrações e o fluxo têm grandes efeitos na composição da comunidade quimioautotrófica adjacente (Solem, 1997). Em sedimentos anóxicos controlados por difusão, todo o metano produzido por metanogénese é oxidado na zona de transição metano/sulfato e nunca alcança as águas do fundo. Nas fontes frias, a água saturada de metano existente nos poros do sedimento é transportada na direção da superfície do sedimento e a grande disponibilidade de metano leva a taxas mais altas de oxidação anaeróbica de metano na superfície dos sedimentos (Gibson et al., 2005).

Mas há outros ambientes submarinos que albergam comunidades biológicas particulares. Quer em zona de margens, quer nas dorsais oceânicas, quer nos montes submarinos, se as condições forem propícias, encontrar-se-ão construções biológicas que *per si* são

também ecossistemas muito importantes, tais como as agregações de esponjas, os jardins e recifes de corais de águas frias. É sobre estes outros ambientes que iremos dissertar daqui em diante.

## 4.2 CORAIS DE ÁGUAS FRIAS

Os corais de águas frias ou corais de profundidade (também habitualmente referidos pela sigla em inglês CWC - *cold water corals*) pertencem ao Filo Cnidaria e diferem das espécies tropicais por não dependerem de dinoflagelados simbiotes para a produção de alimento. Este grupo taxonómico engloba alguns antozoários, como as colónias constituídas por esqueletos calcários ou córneos (Hexacorallia: Scleractinia e Antipatharia, respetivamente), as gorgónias (Octocorallia: Gorgonacea) e os hidrozoários duros (Hydrozoa: Stylasteridae) (Roberts e Cairns, 2014).

Embora os corais sejam geralmente coloniais, determinadas espécies são solitárias, isto é, constituídas por um único pólipó (p. ex. Caryophylliidae). Estes organismos tanto podem existir isolados ou em povoamentos densos de colónias arbustivas (jardins de corais), como podem formar recifes de aspeto tridimensional e com considerável extensão (Roberts et al., 2009). As gorgónias e os antipatários são os principais constituintes das comunidades do tipo jardim de coral (OSPAR, 2010), enquanto que os corais escleractíneos *Lophelia pertusa* e *Madrepora oculata* são as principais espécies construtoras de recifes tridimensionais complexos (Roberts et al., 2009). Por exemplo, o maior recife de coral de *L. pertusa* de que há registo, o Røst reef, foi descoberto em 2002 ao longo da margem da plataforma continental da Noruega, a uma profundidade de 300 - 400 m, cobrindo uma área com aproximadamente 35 - 40 km de comprimento e 3 km de largura (Thiem et al., 2006). Noutras áreas geográficas os jardins de corais são o habitat mais comum. É o caso dos Açores onde, até hoje, foram identificados cerca de vinte tipos de jardins de coral e 165 espécies de corais (Braga-Henriques et al., 2013; Tempera et al., 2013).

Os CWCs habitam predominantemente águas oceânicas com temperaturas entre os 4 e os 13 °C e possuem uma distribuição geográfica global (Roberts et al., 2009). A sua distribuição em profundidade varia com a latitude: em latitudes mais elevadas a presença de corais ocorre a profundidades relativamente reduzidas (50 a 1000 m), enquanto que a menores latitudes poderá atingir os 8000 m. São normalmente encontrados em fundos rochosos acidentados sob condições hidrodinâmicas intensas, muitas vezes em torno de elevações topográficas, tais como os montes submarinos, pináculos, bem como nas

margens continentais e nos canhões (Roberts et al., 2009). A preferência por zonas de correntes aceleradas tem duas funções: maior disponibilidade de alimento, p. ex. zooplâncton e outros materiais orgânicos suspensos nas águas circundantes (Thiem et al., 2006) e o contributo para manter a superfície dos corais livres de sedimentos (Lacharité e Metaxas, 2013).

No que respeita à biodiversidade, estas comunidades são comparáveis aos recifes de corais tropicais de baixa profundidade. De facto, cerca de 66% da diversidade global de corais, i.e. 3356 das 5160 espécies conhecidas, encontra-se em águas com mais de 50 m de profundidade (Roberts e Cairns, 2014). Estes números, só por si, comprovam que os CWCs são autênticos *hotspots* de biodiversidade. Na realidade, o facto de propiciarem habitat, alimento, local de desova e viveiro para muitos outros organismos incrementa os níveis de biodiversidade associada. As esponjas, os poliquetas, os crustáceos, os moluscos, os equinodermes e os briozoários, incluindo as espécies comerciais de peixes, tais como o peixe relógio (*Hoplostethus atlanticus*), a maruca azul (*Molva dipterygia*) e os grana-deiros (família Macrouridae) (Costello et al., 2005; Pham et al., 2015), são alguns dos beneficiados pelos jardins de corais.

Os CWC são caracterizados por grande longevidade e taxas de crescimento lentas. As colónias de coral *L. pertusa* têm um crescimento linear de cerca de 6 a 35 mm por ano, e os recifes que formam podem atingir os oito mil anos (Roberts et al., 2009). As gorgónias não formam recifes, mas sim colónias de grandes dimensões, com longevidade na ordem das centenas de anos, e taxas de crescimento entre os 50 e os 440  $\mu\text{m}$  por ano, segundo estudos baseados em técnicas radiométricas de Carbono 14 ou Chumbo 210 (Weaver et al., 2011). Os corais de ouro (*Gerardia* sp.) e os corais negros (*Leiopathes glaberrima*) têm as longevidades maiores que se conhecem, podendo viver entre dois e quatro milénios, respetivamente (Roark et al., 2009). Estes organismos possuem uma taxa de crescimento muito lenta, na ordem de 2 a 5  $\mu\text{m}$  por ano de crescimento radial.

Pela sua natureza, nomeadamente a grande longevidade, o crescimento lento e a reprodução tardia, os habitats formados por estas espécies são particularmente vulneráveis aos impactos das atividades humanas como a pesca de fundo, a perfuração para recolha de hidrocarbonetos e a mineração dos fundos marinhos. Depois de perturbados, estes locais podem necessitar de centenas de anos para recuperar a sua compleição natural (Roberts et al., 2009), tendo por isso sido classificados como ecossistemas marinhos vulneráveis pela Convenção OSPAR (OSPAR, 2010, 2009, 2008).



**Antipatários ou corais pretos (Ordem Antipatharia)** - Secretam um esqueleto orgânico à base de quitina. Os pólipos possuem caracteristicamente seis tentáculos.

**Cnidária** - Filo de animais com cerca de 9000 espécies diferentes. Os cnidários são radialmente simétricos, com tentáculos provenientes de um nó central. Este filo inclui hidróides, medusas, anêmonas e corais.

**Corais duros ou escleractínios (Ordem Scleractinia)** - Têm esqueletos calcários e são os principais construtores dos recifes de coral. Caracterizam-se por apresentar tentáculos em número de seis ou múltiplos de seis e podem ser solitários (apenas um pólipo) ou coloniais (vários pólipos).

**Hidrocorais (Classe Hydrozoa)** - Produzem esqueleto calcário. Têm poros de tamanho diferenciado, onde se localizam três tipos de pólipos, um especializado na alimentação, outro na defesa e outro na reprodução.

**Octocorais (Subclasse Octocorallia)** - São assim chamados por apresentarem exclusivamente oito tentáculos nos seus pólipos. Incluem as gorgónias, os corais tubo e os corais moles. Podem produzir um eixo córneo, que lhes confere grande flexibilidade. As gorgónias contêm no seu esqueleto estruturas de calcite que se chamam escleritos.

**Pólipo** - Cada um dos indivíduos pertencentes a uma colónia dos animais invertebrados do filo Cnidária, tal como os corais e as anêmonas. Por vezes podem ser solitários. Cada pólipo consiste numa estrutura cilíndrica em forma de saco com uma cavidade interna que se abre apenas numa extremidade chamada boca, rodeada por tentáculos. A boca tem função de ingestão de alimentos e também na eliminação de resíduos.

## 4.3 AGREGAÇÕES DE ESPONJAS

As esponjas, pertencentes ao Filo Porifera, encontram-se entre os animais mais primitivos e ancestrais que se conhecem, com registos fósseis com 710 milhões de anos (i.e. Era Neoproterozóica) (Maloof et al., 2010).

São um grupo taxonómico diverso e exclusivamente marinho, composto por quatro classes: esponjas calcárias (Calcarea), esponjas-de-vidro (Hexactinellida), as demoesponjas (Demospongiae) e as Homoscleromorpha (Bergquist e Anderson, 1998). O termo “agregações de esponjas” refere-se a comunidades dominadas por megasponjas das Classes Demospongiae e Hexactinellida que ocorrem essencialmente em zonas profundas (superiores a 250 m de profundidade) (Bett e Rice, 1992; OSPAR, 2010). Estas comunidades

ocorrem essencialmente entre os 250 e os 1300 m de profundidade e a temperaturas entre os 4 e os 10 °C onde as correntes são moderadas (0,5 nós) (Bett e Rice, 1992; OSPAR, 2010). As agregações de esponjas ocorrem maioritariamente em substratos móveis, podendo também colonizar substratos rochosos (rochas e pedras) em zonas sedimentares. Estes organismos têm preferências por habitats semelhantes aos dos corais de águas frias, sendo frequentemente encontrados nos mesmos locais, como por exemplo nos montes submarinos na região dos Açores (Pereira, 2013; Tempera et al., 2012).

Do ponto de vista ecológico estas comunidades desempenham um papel importante enquanto micro e macro-habitat para microrganismos, invertebrados e peixes (Bell, 2008). Tal como os corais de águas frias, estes organismos possuem um papel funcional chave no ciclo de vida de algumas espécies, como locais de refúgio, alimentação e reprodução. Alguns estudos indicam que os “tapetes” de espículas das esponjas presentes em redor das agregações de esponjas, estabilizam os sedimentos, contribuindo para um aumento da biodiversidade de organismos associados, desde microrganismos a organismos macrobentónicos (p. ex. equinodermes, crustáceos) (Smith e Hughes, 2008). Os tapetes de espículas têm também uma função importante como substrato de fixação para as larvas de esponjas que colonizam estes locais (Henrich et al., 1992). Em algumas regiões geográficas estes biótopos têm uma importância acrescida para espécies de peixes comerciais e conseqüentemente para a pesca local (Bell, 2008; Kenchington et al., 2010).

Para além do seu papel bioconstrutor de habitat, as esponjas são organismos filtradores/suspensívoros que desempenham uma função fundamental no acoplamento bentopelágico através da remoção direta de nutrientes, por via de microrganismos associados (Pile e Young, 2006; Radax et al., 2012; Yahel et al., 2007). As esponjas apresentam, assim, a capacidade de alterar as comunidades planctónicas e as características químicas da coluna de água a nível local. Algumas esponjas são também importantes agentes bioerosivos de bioestruturas calcárias, como corais e conchas de bivalves, o que lhes confere um papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos (Beuck e Freiwald, 2005).

No geral, as espécies que formam agregações de esponjas apresentam uma grande longevidade e um crescimento lento (Dayton et al., 2013; Fallon et al., 2010), tornando-as pouco resilientes aos impactos causados pelas atividades antropogénicas e tendo, por esse motivo, sido classificados como Ecossistemas Marinhos Vulneráveis pela União Europeia<sup>1</sup>, e como espécies ou habitats ameaçados ou em declínio pela Convenção OSPAR<sup>2</sup> (OSPAR, 2010). São agregações com um padrão de distribuição irregular e espacialmente fragmentado, sendo por isso extremamente vulneráveis à destruição, por exemplo, por pesca de arrasto (Freese, 2001; Wassenberg et al., 2002). Desde o início da pesca industrial com arrasto que foi possível observar alterações das comunidades

bentónicas, com diminuição da densidade e biomassa de esponjas, as quais pelas suas características biológicas parecem não recuperar (Clark et al., 2015; Heifetz et al., 2009; Moran, 2000; Pitcher e Clark, 2010).

O estudo da importância das agregações de esponjas como ecossistemas do mar profundo, é ainda um tópico recente. O estado da identificação taxonómica destas esponjas (Pereira, 2013) é ainda limitado e fragmentado, bem como o conhecimento da sua biologia reprodutiva e populacional, longevidade, crescimento, e desenvolvimento larval. Todos estes parâmetros são essenciais para o desenvolvimento e implementação de estratégias de gestão e conservação.

<sup>1</sup> norma regulatória C.E. nº 734/2008

<sup>2</sup> OSPAR (acordo de 2008-06)



# CAPÍTULO 5

## ESTRATÉGIAS ALIMENTARES



À exceção dos ambientes quimiossintéticos, o ambiente do mar profundo depende da matéria orgânica que é produzida nas camadas mais superficiais do oceano ([Figura 9](#)). Por esta razão, a maior parte dos organismos tem uma baixa especialização da dieta, podendo utilizar vários tipos de estratégias alimentares: suspensívora, detritívora, necrófaga, por raspagem ou predação.

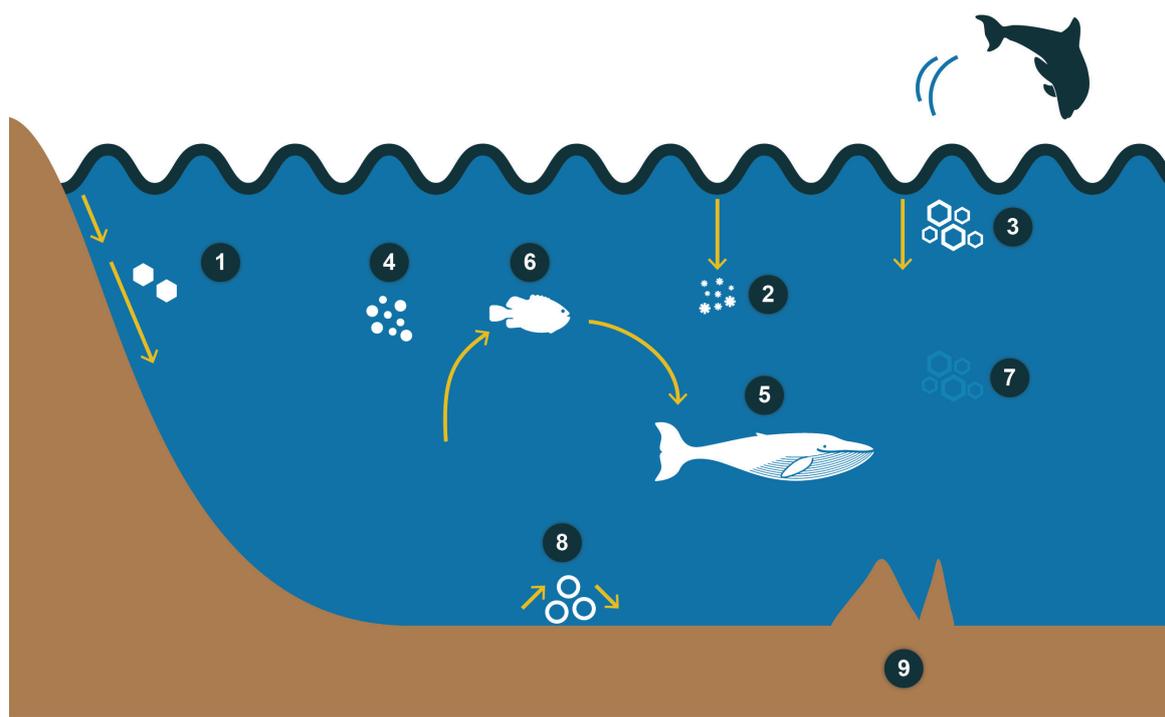
Os suspensívoros podem intercetar passivamente as partículas (p. ex. os braços dos cri-nóides) ou ter uma intersecção ativa através da geração de muco ou criação de correntes (caso dos equinodermes, bivalves e ascídias). Geralmente os suspensívoros diminuem com a profundidade, pois o fluxo das partículas é baixo (correntes lentas) ou estão limitados a zonas onde existe um aumento do fluxo (p. ex. montes submarinos, zonas de penhasco ou de inclinação acentuada).

Os detritívoros são animais que processam os detritos no tubo digestivo (geralmente os detritos misturados nos sedimentos). Geralmente, estes animais processam apenas a camada fina do topo dos sedimentos. Encontramos nos organismos das planícies abissais e das zonas hadais a dominância desta forma de alimentação. Os detritívoros utilizam diversas formas de alimentação: estendendo os tentáculos ou palpos alimentares na superfície do sedimento, aspirando a subsuperfície do sedimento ou usando covas ou galerias como armadilhas de detritos.

Existem também os raspadores (muitas vezes referidos pelo nome em inglês, *grazers*), cuja fonte de alimento são as bactérias e outros microrganismos (p. ex. nemátodes).

Os necrófagos são omnívoros e substituem funcionalmente em profundidade os predadores carnívoros. Apesar de poderem ter dimensões reduzidas, como alguns anfípodes, geralmente são grandes e podem nadar grandes distâncias (p. ex. o anfípode *Eurythenes gryllus* pode nadar a uma velocidade de até cerca de  $\sim 7 \text{ cm s}^{-1}$  dado que desenvolveu bastante a sua capacidade natatória). Os animais necrófagos desenvolveram sentidos que os auxiliam a detetar as carcaças que chegam ao fundo, deixando assim a visão para segundo plano.

Apesar de, com a profundidade, a predação ser progressivamente substituída pela necrofagia, continuam a existir alguns predadores no mar profundo. Geralmente usam uma estratégia do tipo “sentado à espera”, como o peixe trípode que é sensível às vibrações. Existem também grupos especializados, como os bivalves, que se alimentam de madeira (xilófagos), ou os poliquetas que se alimentam de ossos de baleia (*Osedax* sp.), assim como os organismos simbiotróficos dos ambientes quimiossintéticos que utilizam simbiontes para providenciar toda ou parte da energia fundamental para viver e onde as bactérias quimiossintéticas vivem numa estreita associação com os seus hospedeiros.

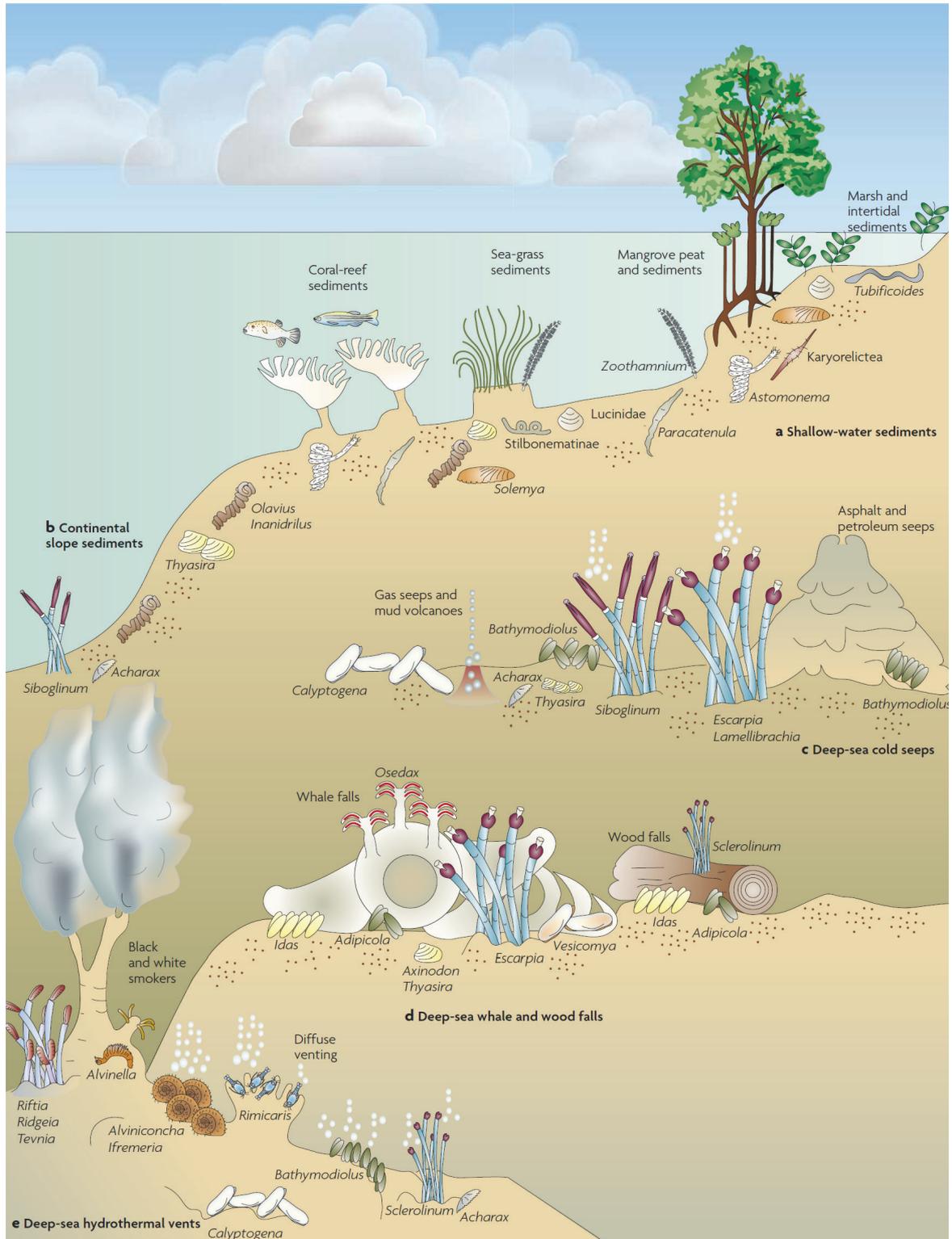


**Fig. 9** - O que chega ao mar profundo: (1) Material de origem terrestre; (2) Neve Marinha; (3) Matéria orgânica particulada; (4) Dejetos e mudas de animais; (5) Grandes carcaças; (6) Transferências tróficas de organismos de profundidade que fazem migrações na coluna de água; (7) Matéria orgânica dissolvida; (8) Microrganismos no sedimento; (9) Produção quimiossintética nas fontes hidrotermais.

## SIMBIOSSES

A relação entre hospedeiro-simbionte é chamada de “holobionte”. É geralmente nos ambientes quimiossintéticos que encontramos, em ambientes profundos, a associação simbiótica holobionte, em que são geralmente as espécies dominantes (pioneiras ou não) a assumir o papel de bioconstrutoras, pois são elas que alteram o ambiente por forma a torná-lo “habitável” por outras espécies. Muitas vezes os holobiontes apresentam adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas menos comuns nestes ambientes profundos, incluindo a perda do sistema digestivo no caso das ríftias (*Riftia pachyptila*) e novos fotorreceptores em camarões (Van Dover, 2002). Conjuntos de organismos holobiontes, como, por exemplo, agregações de bivalves e ríftias, podem propiciar habitats complexos (Figura 10) que servem de substrato para o crescimento microbiano, como refúgio para invertebrados juvenis ou como habitat para os organismos associados, incluindo os consumidores primários e consumidores secundários (Van Dover, 2014). O hospedeiro fornece os compostos reduzidos (p. ex. o sulfeto de hidrogénio) e o oxigénio que a bactéria usa para sintetizar compostos de carbono a partir de moléculas de carbono simples (quer de dióxido de carbono ou metano). Estes simbiotes requerem uma fonte de doadores de eletrões (p. ex. o sulfeto proveniente das fontes hidrotermais), uma fonte recetora de

eletrões (p. ex. o oxigênio existente na água do mar) e uma fonte de carbono inorgânico (p. ex. o dióxido de carbono ou o metano dos fluidos hidrotermais) (Bettencourt et al., 2014; Desbruyères et al., 2000).



**Fig. 10** - Simbiose quimiossintética que ocorre numa ampla gama de habitats marinhos, incluindo: **(a)** sedimentos de águas rasas; **(b)** sedimentos do talude continental; **(c)** fontes frias; **(d)** carcaças de baleias e quedas de madeira. Adaptado de Dubilier et al. © 2008 Nature Publishing Group.

Não existem, portanto, ambientes isolados no mar profundo, desde logo porque a energia tem, essencialmente, origem na superfície. E as diferentes estratégias alimentares fazem com que este ambiente seja muito diverso, quer em termos de biodiversidade, quer em termos de funcionamento. Mesmo nos ambientes quimiossintéticos, os organismos aeróbicos necessitam do oxigénio que é formado nas camadas superficiais do oceano através da fotossíntese.

A [Figura 11](#) resume as diferentes fontes de energia para os ambientes em profundidade no substrato móvel, no substrato fixo e nos ambientes quimiossintéticos. Ilustra-se também a diferença entre os produtos reduzidos de origem termogénica, como as fontes hidrotermais, em contraponto com os de origem biogénica das fontes frias (a grande maioria). Nas fontes frias, é um complexo de microrganismos que vai reduzir o sulfato da água do mar e oxidar o metano (que pode ter origem biogénica ou termogénica), para produção de sulfureto de hidrogénio e dióxido de carbono, necessário para os microrganismos quimioautotróficos.

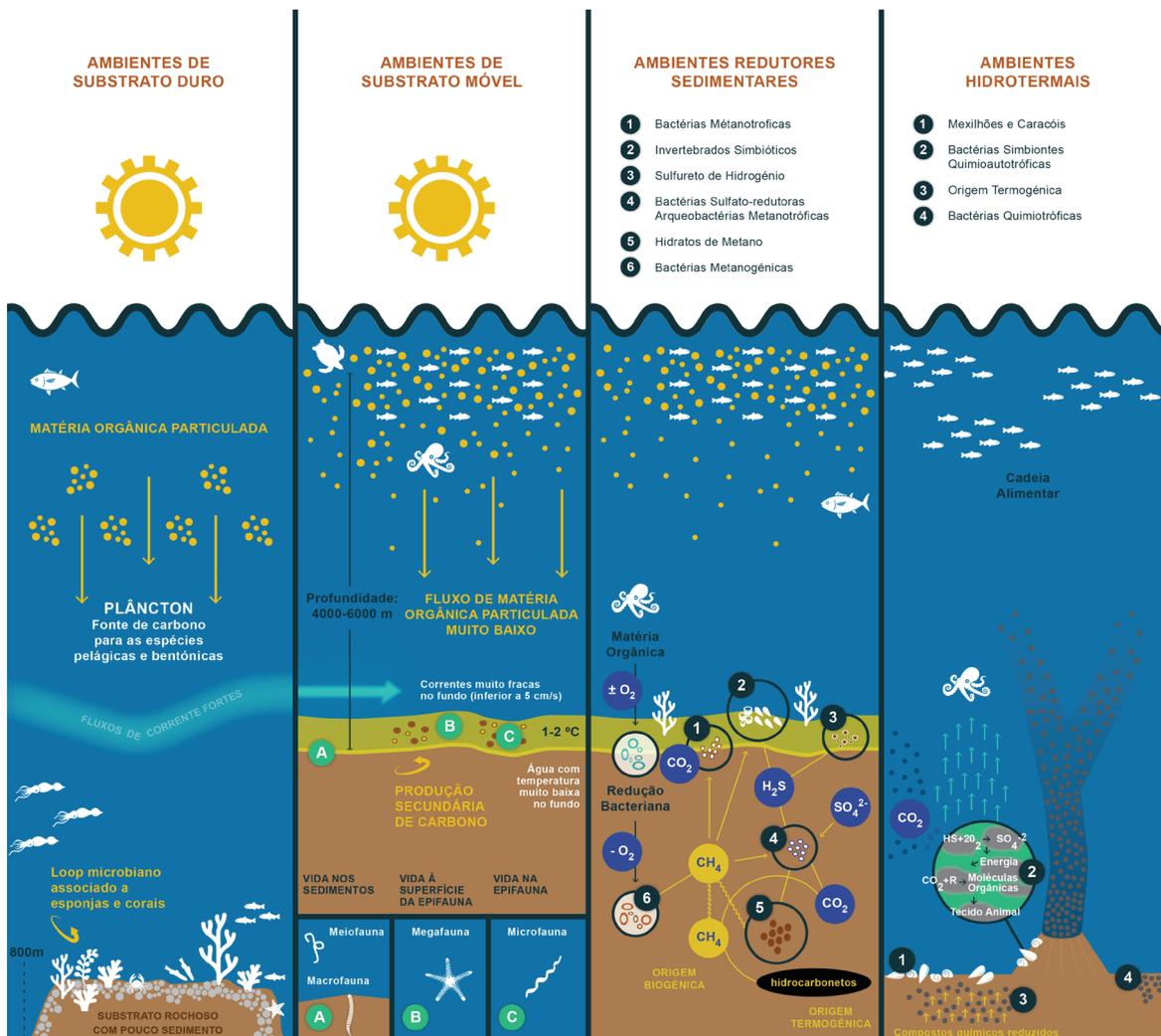
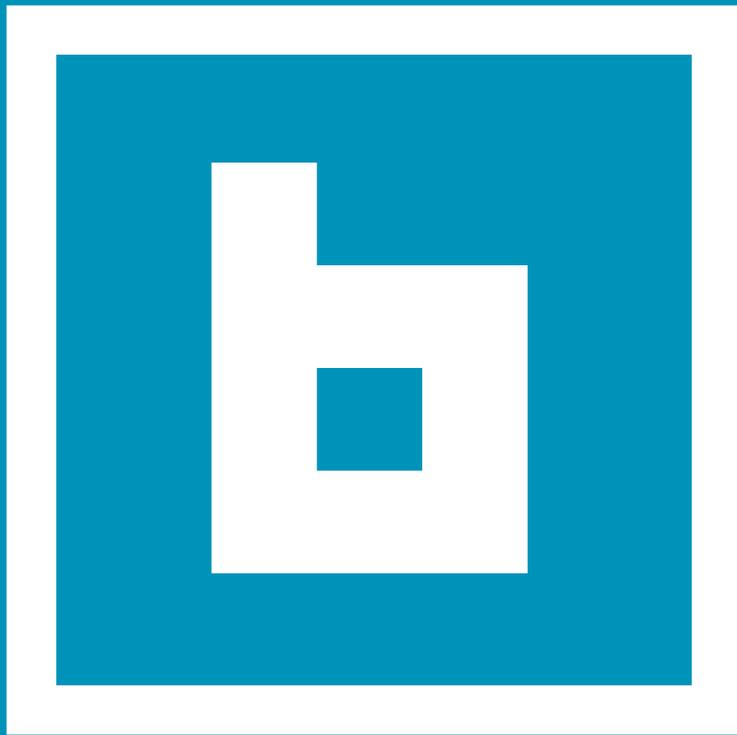


Fig. 11 - Do sol ao magma - a energia que alimenta o mar profundo.



# CAPÍTULO 6

BIOLOGIA

DAS ESPÉCIES

DE PROFUNDIDADE



## 6.1 ADAPTAÇÕES

As espécies de profundidade colonizaram o mar profundo em momentos diferentes. Estas deslocações foram acompanhadas de adaptações que tornaram os organismos particularmente adaptados a estes ecossistemas.

Um primeiro grupo inclui seres que pertencem a famílias que evoluíram e radiaram em espécies que só se encontram no mar profundo. Estas espécies exibem claras adaptações estruturais para a vida nas profundezas, incluindo órgãos luminosos especializados, olhos modificados e dentes de grandes dimensões. Um segundo grupo, os chamados peixes secundários das profundezas, teve a sua evolução e radiação primárias na plataforma continental costeira, onde a maioria se encontra ainda hoje, e mudou-se para o fundo muito mais tarde. Não mostram, por isso, marcadas adaptações morfológicas ao ambiente profundo relativamente às formas mais antigas. De uma maneira geral, as formas pelágicas de profundidade pertencem, na sua maioria, a grupos de formas antigas enquanto as afinidades das formas demersais podem ser consideradas como as secundárias.

De uma maneira geral, a abundância e biomassa dos peixes de profundidade, tanto pelágicos como demersais, diminuem com a profundidade. Ou seja, quanto mais fundo for o ambiente, menos peixes existem e menor é a sua biomassa. A diversidade varia de forma um pouco diferente, já que o seu máximo ocorre a profundidades médias. Em áreas onde a produção primária é elevada, por exemplo em latitudes elevadas ou em áreas de *upwelling*, o domínio de uma ou de poucas espécies é comum. Em áreas onde a produção é baixa, o que corresponde à grande maioria do oceano, as espécies estão presentes em baixas abundâncias e a escassez é a regra.

As adaptações particulares da fauna do mar profundo vão para além do aspeto peculiar que aparentam em termos de cor, estrutura mandibular e posicionamento das barbatanas. O tamanho dos olhos, os órgãos da linha lateral, a bexiga gasosa e os tecidos sofreram modificações evolutivas para garantir o sucesso no mar profundo. No entanto, as adaptações também incluem outras questões importantes embora não aparentes como os parâmetros de história de vida (Herring, 2002; Merrett e Haedrich, 1997; Randall e Farrell, 1997).

### 6.1.1 LUZ

Uma das adaptações de espécies que vivem no mar profundo está relacionada com a resposta ao gradiente vertical da intensidade da luz. Muitas espécies da plataforma e

vertente continental têm um contraste de cor, com dorsos escuros de modo a facilitar a camuflagem contra o fundo e ventres claros para coincidir com a componente fraca da luz ambiente vista de baixo. Nestas espécies, os flancos são prateados para refletir o ambiente de todos os ângulos. A luz solar consegue penetrar a água até cerca de 1000 m de profundidade e este facto resulta numa diminuição do contraste protetor, muitas vezes acompanhado por um escurecimento geral do corpo a maior profundidade. Uma vez que a extremidade vermelha do espectro (ver Guia da Detecção Remota - Sutcliffe et al. (2016) é melhor absorvida pela água do mar, a cor vermelha torna-se funcionalmente preta e o escurecimento do corpo a maior profundidade pode ser atingido pela pigmentação vermelha. Isso acontece, por exemplo, no peixe relógio, *Hoplostethus atlanticus*, e nos peixes vermelhos do género *Sebastes*. A coloração mais negra é usada, por exemplo, pelo peixe -espada-preto, *Aphanopus carbo*.

## 6.1.2 TAMANHO DOS OLHOS

Os olhos da maioria das espécies de fundo mantêm a grande proporção das espécies mais superficiais. Algumas espécies da família das Alepocephalidae e Squalidae possuem meios especializados para recolher qualquer fração de luz. Estudos comparativos confirmam que as espécies têm tendência para responder a níveis diminutos de luz através de diversas adaptações particulares. A retenção de olhos funcionais e substanciais, conjuntamente com adaptações especializadas, são também consequência da luz biológica que é produzida por muitos organismos do mar profundo. Entre os seres que produzem luz biológica encontram-se indivíduos pertencentes aos grupos taxonómicos Crinoidea, Amphiuridae, Holothuriidae, mas também os seres planctónicos dos grupos Siphonophora, Ctenophora e Euphausiacea.

## 6.1.3 ÓRGÃOS DA LINHA LATERAL

Os órgãos da linha lateral, usados para a deteção a curta distância e localização de movimento (predadores, presas ou parceiros sexuais) são especialmente elaborados nas espécies de fundo. Este sistema desenvolve-se particularmente nos granadeiros (família Macrouridae) e Halosauridae (ordem Notacanthiformes) que possuem regiões cavernosas na cabeça, albergando canais preenchidos por muco e com detectores sensoriais. Quanto maior for a matriz sensorial, maior é a precisão e alcance do sistema. Este é provavelmente o fator significativo que terá levado à evolução do corpo muito alongado encontrado em muitas espécies demersais de profundidade (quimeras, enguias-de-fundo, peixe-rato).

## 6.1.4 FLUTUABILIDADE NEUTRA

Algumas espécies desenvolveram consideráveis adaptações para a conservação de energia usando a bexiga gasosa como sistema de flutuação com baixo custo energético para conseguir a flutuabilidade neutra que lhes permite manter a profundidade onde se encontram. Outras conseguiram-no ainda quer acumulando lípidos, quer incluindo gordura nos ossos, quer aumentando o conteúdo em água através da redução do seu esqueleto e da robustez muscular.

**1. Bexiga gasosa:** um meio muito eficiente para atingir a flutuabilidade neutra é utilizando uma cavidade cheia de gás. A profundidades moderadas, o gás tem uma densidade praticamente negligenciável comparada com a densidade da água e uma cavidade com gás com um volume de cerca de 5-6% do volume do corpo é suficiente para assegurar a flutuabilidade neutra. O gás é depositado na bexiga gasosa por difusão passiva a partir do sangue.

**2. Acumulação de lípidos:** algumas espécies possuem elevado conteúdo de lípidos corporais (que são menos densos que a água), facilitando assim a obtenção da flutuabilidade neutra. Com efeito, os lípidos mais comuns (ésteres de cera, esqualeno, triacilglicerol) têm uma densidade de entre 0,8 e 0,9 quilogramas por litro. Outras espécies acumulam lípidos no fígado que, em geral, equivale a 2 a 4% do peso total, mas que nos tubarões equivale a 20 a 25%. Elevados conteúdos em esqualeno ocorrem nos fígados de cinco famílias de tubarões, chegando o fígado de *Centrophorus uyato* a conter 90% de esqualeno.

**3. Ossos com gordura:** o esqueleto é, geralmente, o tecido com maior densidade. Vários teleósteos usam, porém, os seus ossos como reservatórios de gordura, reduzindo assim a sua densidade. Em algumas espécies, a maior acumulação ocorre no crânio (p. ex. *Cirrhitis pinnulatus*, com 90%), mas noutras é em todo o esqueleto. Nessas espécies, os ossos lipídicos constituem o maior reservatório de lípidos do organismo. Por exemplo, o *Pimelometopon pulchrum* e o *Anoplopoma fimbria* têm, respetivamente, 79 a 93% e 52 a 82% do total de lípidos nos ossos. Outro exemplo de uma espécie que usa o crânio e ossos como reservatórios de gordura é o peixe-chocolate *Ruvettus pretiosus*.

**4. Tecidos aquosos:** a água pode ser acumulada não só em fluidos, mas também em tecidos que, quando apresentam um maior conteúdo em água, são designados por tecidos aquosos. Um músculo aquoso é muito mais suave do que um músculo normal e tem uma densidade menor. A acumulação de água pode ocorrer também no esqueleto e é conseguida pela redução da mineralização. Uma redução no peso do esqueleto pode ser ainda conseguida pela redução do tamanho e espessura dos ossos. A elevada densidade do esqueleto

está relacionada com o elevado conteúdo de iões pesados tais como o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e fosfatos ou sulfatos. Assim, reduzindo o seu conteúdo nos ossos, diminui-se drasticamente a densidade óssea. Normalmente, o conteúdo destes elementos ronda 2% do peso total, mas, por exemplo, as espécies *Pleuragramma antarcticum* e *Dissostichus mawsoni* reduziram o conteúdo dos seus esqueletos para menos de 0,6%.

### 6.1.5 TAXAS METABÓLICAS

Os peixes de profundidade diferem dos seus congéneres costeiros tanto ao nível da fisiologia como da bioquímica, devido às alterações que foram necessárias para que se adaptassem a ambientes de altas pressões, baixas temperaturas e de fraca abundância alimentar. As espécies do mar profundo usualmente respiram a uma taxa muito mais baixa do que as espécies costeiras. Por exemplo, a taxa de respiração do peixe-rato *Coryphaenoides acrolepis* é duas vezes mais baixa que a do seu parente costeiro de águas frias, o bacalhau *Gadus morhua*. O peixe-rato-abissal *Coryphaenoides armatus* combina uma taxa metabólica relativamente baixa com um armazenamento altamente energético sob a forma de lípidos neutros e glicogénio. O armazenamento disponível pode fornecer as necessidades energéticas do animal para cerca de 186 dias, facilitando assim a vida num ambiente onde a disponibilidade alimentar é pouca e espaçada. As temperaturas em profundidade são permanentemente baixas e, em conjunto com o aumento da pressão, podem retardar os processos gerais de taxa metabólica apesar das adaptações enzimáticas às condições de profundidade (Herring, 2002; Merrett e Haedrich, 1997; Randall e Farrell, 1997).

## 6.2 ADAPTAÇÕES DOS PARÂMETROS DE HISTÓRIA DE VIDA

Os parâmetros de história de vida são fortemente influenciados pelas condições ambientais acima referidas e, em termos bióticos, pelo facto de as espécies do mar profundo estarem sujeitas a uma disponibilidade alimentar muito mais fraca quando comparada com a das espécies costeiras.

A temperatura afeta o crescimento e, nas águas superficiais, as mudanças sazonais podem diminuir a taxa de crescimento durante o inverno. Nas águas profundas, as temperaturas permanentemente baixas associadas ao aumento de pressão, retardam os processos das taxas metabólicas dos indivíduos.

Tal como nos peixes de menor profundidade, também no mar profundo os anéis opacos e hialinos ocorrem nos otólitos da maioria das espécies, identificando assim épocas de maior e menor abundância alimentar. Contudo, não está claro como e a que ritmo se depositam os padrões de bandas observados nos organismos do mar profundo: serão anéis diários ou anuais? Ou estarão estes anéis relacionados com ciclos lunares ou com qualquer outro padrão singular de disponibilidade alimentar?

Nas espécies de águas superficiais, como acontece nos *Gadidae*, as fêmeas estão maduras quando ainda se encontram na fase de crescimento rápido e continuam a reproduzir-se anualmente até idades muito avançadas. No mar profundo, por outro lado, as energias disponíveis são canalizadas exclusivamente para o crescimento rápido até se atingir o tamanho de adulto, uma estratégia para garantir o sucesso alimentar e evitar os predadores. Só depois de atingida a fase adulta é que começa a ser canalizada energia para a reprodução, o que significa que a maioria das espécies só atingem a primeira maturação quando alcançam 75% do seu tamanho máximo. As adaptações estendem-se também à fecundidade, havendo uma tendência para que as espécies de profundidade sejam menos fecundas quando comparadas com espécies costeiras da mesma família. Este tipo de estratégia, caracterizado por uma elevada longevidade, maturação tardia e menor fecundidade torna os habitantes do mar profundo extremamente vulneráveis à exploração (Figura 12) (Herring, 2002; Merrett e Haedrich, 1997; Randall e Farrell, 1997).

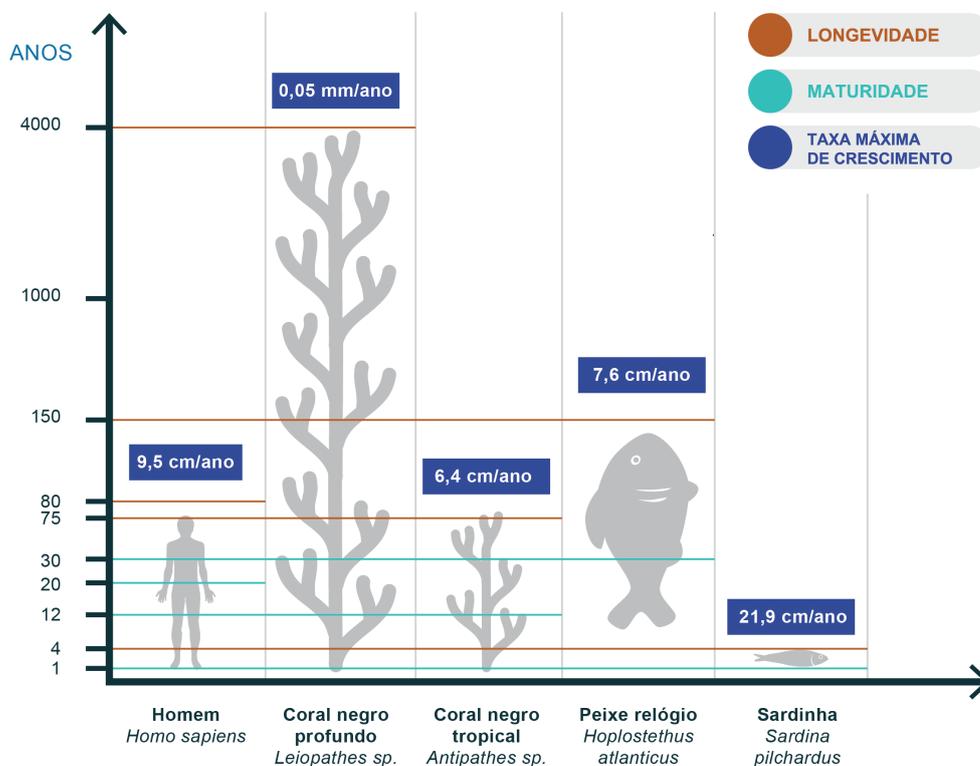


Fig. 12 - Comparação da longevidade, da taxa máxima de crescimento e da idade de maturação entre vários organismos.



**Bexiga natatória** – Órgão em forma de saco que se encontra na parte dorsal da cavidade visceral de muitos peixes ósseos; desempenha funções de flutuação por regulação do volume de ar.

**Arrasto de fundo** - Um método de pesca em que uma grande rede em forma de saco é arrastada na parte de trás da embarcação. A boca da rede pode ser mantida aberta por vários métodos, tais como o uso de uma viga de madeira (redes de arrasto) ou grandes placas planas (arrasto de fundo).

**Demersal** – Organismo que vive maioritariamente associado ao fundo oceânico.

**Esqualeno** – Tipo de óleo extraído dos fígados de alguns tubarões, com aplicação na indústria química (p. ex. farmacêutica e cosmética).

**Fecundidade** - Medida de produção de gâmetas; variável quantificável sobre o sucesso reprodutor individual, que expressa o número de ovos ou esperma produzido por fêmea ou macho, respetivamente.

**Peixes cartilagíneos** – Que possuem esqueleto cartiliginoso, além de outras características típicas; tubarões, raias, jamantas, etc.

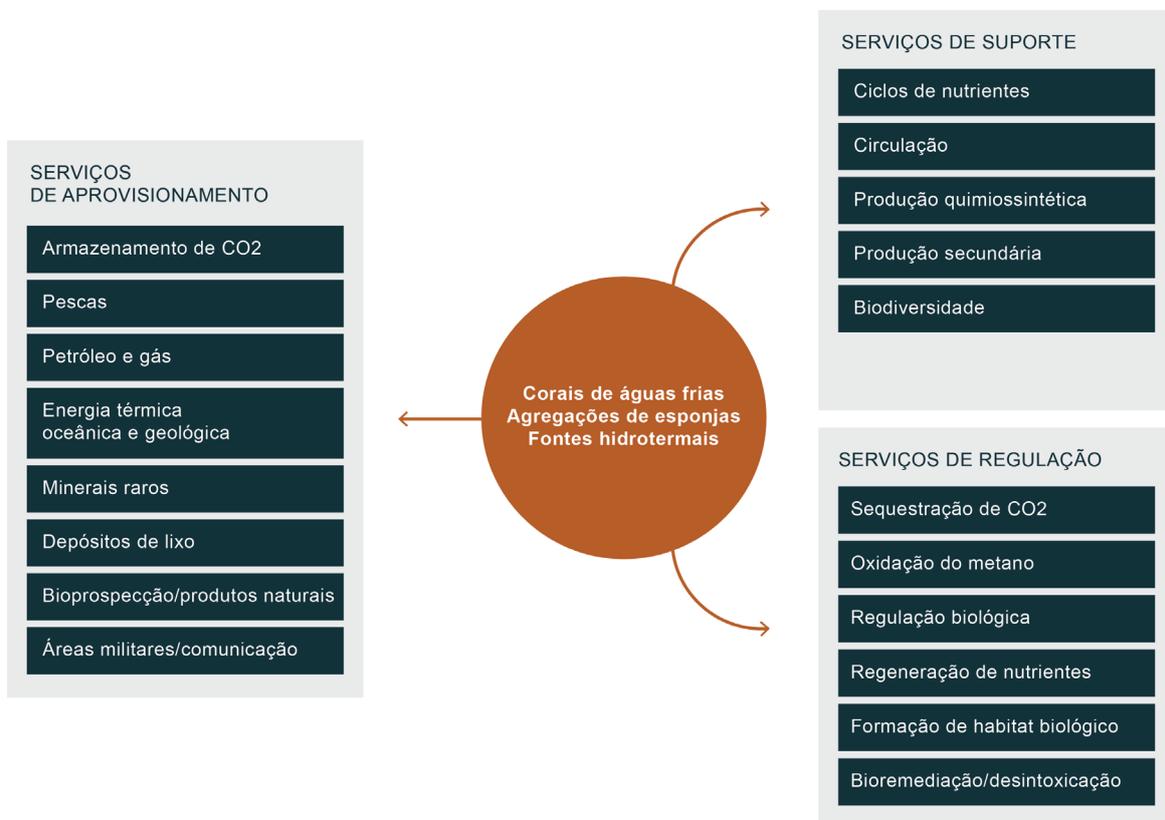
**Peixes ósseos** – Que possuem esqueleto de tecido ósseo, além de outras características típicas; englobam a maioria dos peixes, excetuando os peixes cartilagíneos.

## 6.3 SERVIÇOS ECOSSISTÉMICOS

O mar profundo é, muitas vezes, visto como um ambiente grande, escuro, remoto e inóspito. No entanto este ambiente e os seus fundos são cruciais devido aos serviços que fornecem. Se a compreensão plena acerca das funções do mar profundo continua aquém do desejado, a evidência da sua importância de suporte, de abastecimento, de regulação e como fonte de serviços culturais é já bastante clara ([Figura 13](#)).

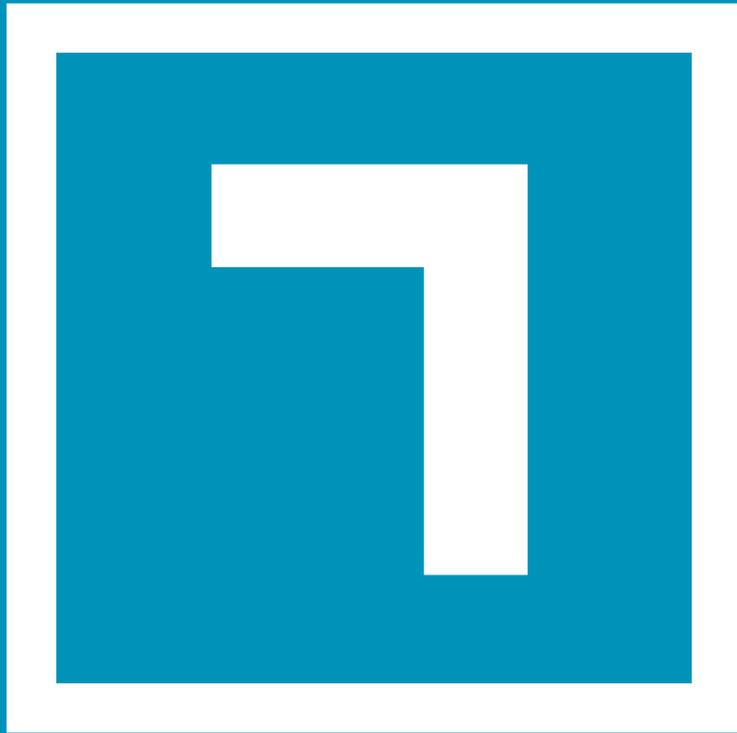
Um dos principais processos na regulação climática é o facto de várias ações biológicas como a fotossíntese, a respiração, a alimentação e a decomposição reduzirem a quantidade de carbono que as atividades antropogénicas e naturais libertam para a atmosfera, incorporando-o nas águas do fundo do mar por longos períodos de tempo. A esta ocorrência dá-se o nome de bomba biológica. Um outro potente gás da atmosfera e um dos responsáveis pelo efeito de estufa, o metano, é mantido no oceano profundo pela oxidação microbiana, durante o processo de captura de carbono em carbonatos. A regeneração

de nutrientes levada a cabo por qualquer uma das classes de tamanho da fauna fornece os elementos necessários para abastecer a produtividade, a pesca de superfície e uma diversidade de processos microbianos de desintoxicação de compostos. Individualmente, cada um desses processos ocorre numa escala muito pequena, mas se considerarmos a grande área sobre a qual eles ocorrem, tornam-se importantes para o funcionamento global do Oceano (Smith e Hughes, 2008). O mar profundo também oferece uma riqueza de recursos, onde se incluem as populações de peixes, um enorme potencial para a bioprospecção, e as reservas de elementos e de energia. Alguns destes bens começam já a ser extraídos e é previsto que no futuro próximo essa procura aumente. Enquanto muitas funções ocorrem em grandezas de microns a metros e escalas de tempo de anos, os serviços derivados que daí resultam, só são úteis depois de séculos de atividade integrada. Este vasto habitat escuro, que cobre a maior parte do mundo, abriga processos que têm impacto direto nos seres humanos sob várias formas. E no entanto as características que o diferenciam dos sistemas marinhos terrestres exigem uma maior necessidade de compreensão espacial e temporal integrada (Thurber et al., 2014).



**Fig. 13** - Relação entre os serviços de suporte, regulação e aprovisionamento prestados pelos ecossistemas do mar profundo. Adaptado de Thurber et al. (2014).

É importante salientar que os serviços de regulação e de suporte dependem de um oceano “saudável”, assim como alguns serviços de aprovisionamento (p. ex. pescas, compostos derivados de organismos marinhos, sequestração de CO<sub>2</sub>), enquanto outros não (p. ex. fontes minerais). O oceano tem vindo a sofrer processos de industrialização desde meados do século XX, que têm acelerado dramaticamente nos últimos 30 anos em conjunto com os ciclos económicos globais e que são conduzidos por diversos fatores entre os quais o desenvolvimento tecnológico e a globalização.



# CAPÍTULO 7

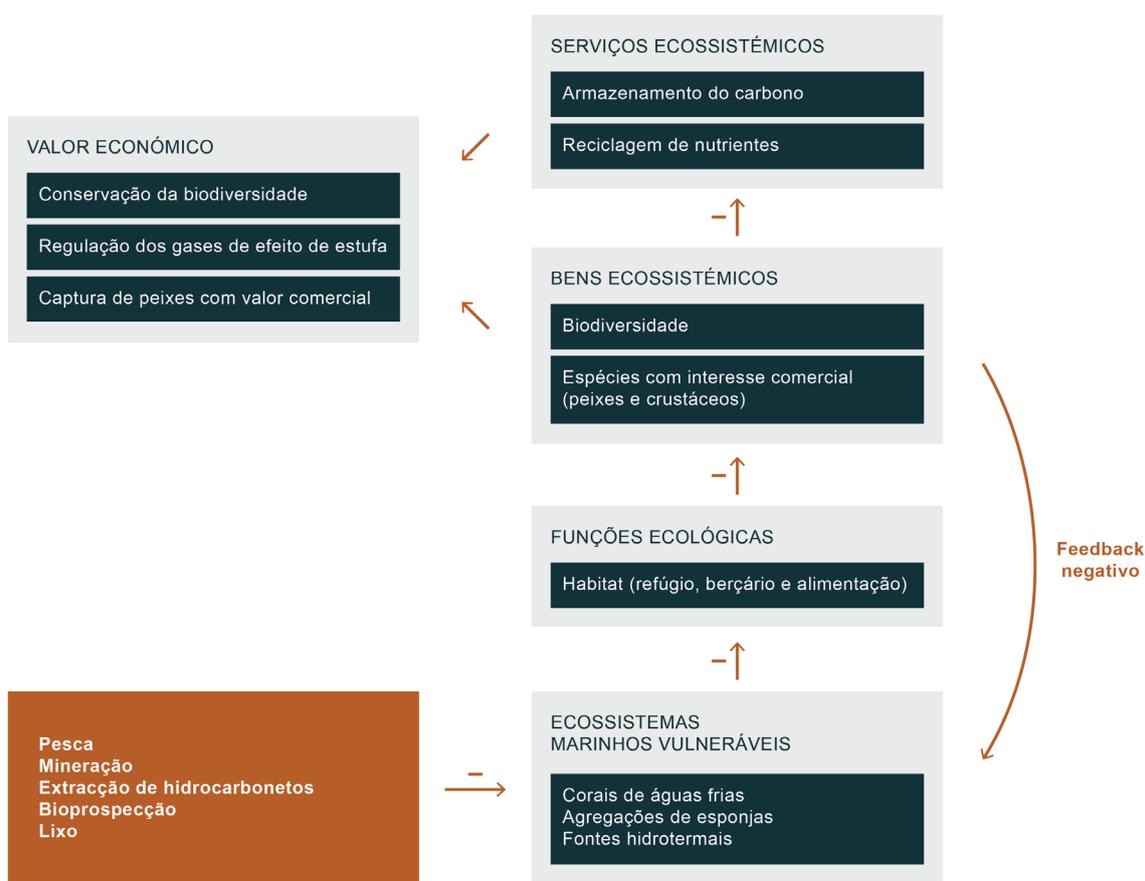
## PRESSÕES

### SOBRE O MEIO

### MARINHO

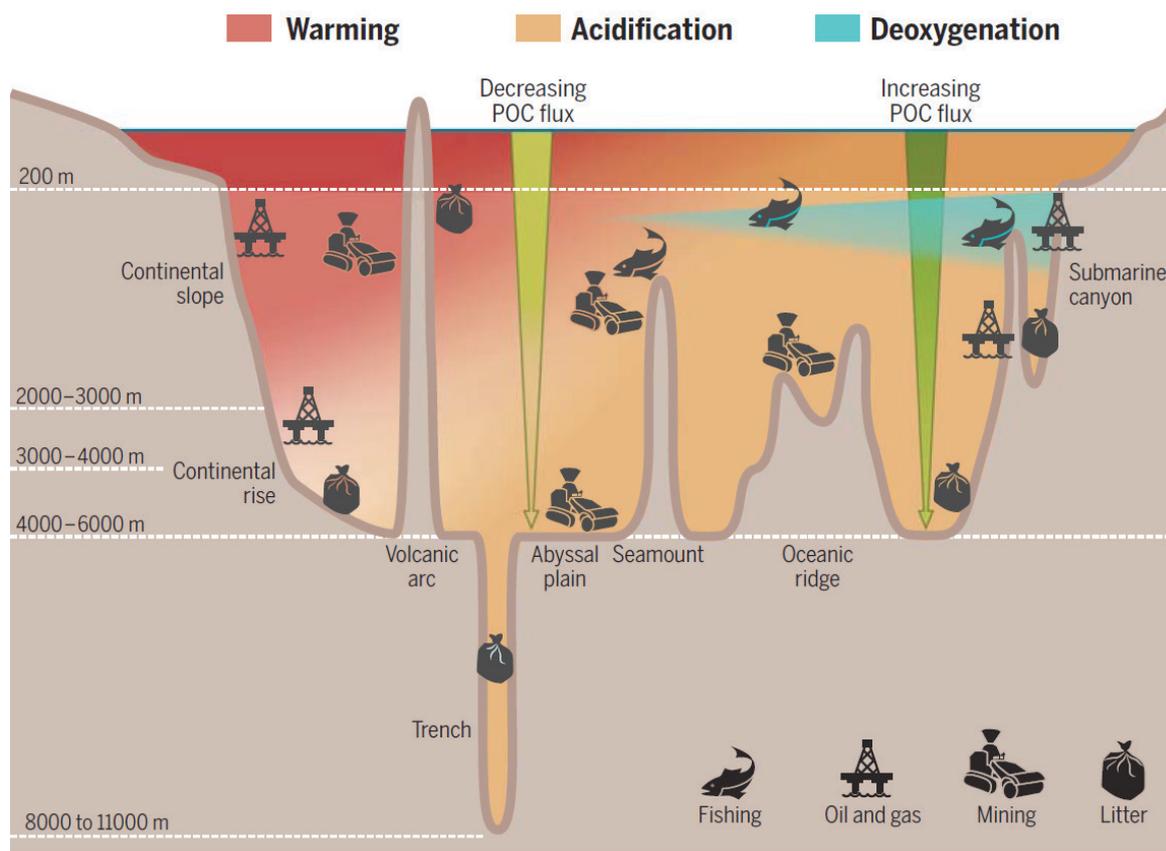


Como consequência da sobre-exploração dos recursos terrestres e dos de baixa profundidade, as diferentes atividades económicas têm migrado para águas mais profundas (exemplo das pescas e da exploração petrolífera). Os parâmetros da história de vida das espécies de profundidade (p. ex. a grande longevidade, baixas taxas de crescimento, idade de maturação tardia) e dos habitats que estas formam (p. ex. os corais de águas frias, as agregações de esponjas, as fontes hidrotermais), tornam-nos mais vulneráveis à atividade humana, daí que se espere que o impacto resultante das diversas pressões nos bens e serviços que estes fornecem ao ser humano seja mais significativo ([Figura 14](#)).



**Fig. 14** - Efeitos cascata dos principais impactos antropogénicos nos bens e serviços dos ecossistemas marinhos vulneráveis do mar profundo.

Entre as pressões que podem impactar os ambientes do mar profundo contam-se a sobre-exploração dos recursos marinhos vivos (como a pesca), a poluição, as alterações climáticas (p. ex. o aumento da temperatura e a acidificação dos oceanos com o CO<sub>2</sub>), a exploração de petróleo e gás, a mineração, entre outros ([Figura 15](#)). As potenciais consequências dessas pressões serão abordadas de seguida.



**Fig. 15** - Impactos humanos e climáticos no mar profundo. O esquema ilustra a confluência nas atividades de exploração humana e resíduos com as alterações climáticas na temperatura, pH e oxigenação do mar profundo, causadas pelo aumento do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) libertado durante a queima de combustíveis fósseis. A sobreposição de impactos antropogênicos e climáticos será maior ao longo das margens continentais e em profundidade batial, mas as mudanças ao longo da profundidade do oceano irão comprometer os serviços dos ecossistemas em todo o mundo. © 2015 American Association for the Advancement of Science.

## 7.1 PESCAS

As atividades humanas no mar profundo têm vindo a aumentar nas últimas décadas, assim como o interesse e reconhecimento dos serviços e funções fornecidos pelos seus ecossistemas (Thurber et al., 2014). Em geral, considera-se que o impacto global das atividades antropogênicas no mar profundo está a aumentar e que, entre as atividades humanas que são realizadas, a extração de recursos, em especial as pescas, será a mais relevante em termos de expressão e impactos causados. A pesca de fundo, que tem um impacto sobre espécies vulneráveis e em habitats frágeis como os CWC, é hoje em dia considerada como a ameaça mais séria enfrentada pelos ecossistemas de mar profundo (Ramirez-Llodra et al., 2011; Rogers, 2015). Os impactos da pesca, juntamente com outras atividades humanas (como o despejo de resíduos, a poluição, as perturbações mecânica e acústica, a

bioprospecção, a indústria de petróleo e o gás, a mineração dos fundos marinhos ou as alterações climáticas), criam sinergias produzindo impactos acumulados que ameaçam o provisionamento dos serviços ecossistêmicos (Ramirez-Llodra et al., 2011).

Entre os vários ecossistemas incluídos no oceano profundo, as zonas de fratura ou cristas oceânicas, os canhões e os montes submarinos representam áreas importantes para as pescas. A exploração pesqueira do mar profundo atua maioritariamente até aos 1500 - 1800 m de profundidade, e em alguns casos pode ter lugar até aos 2000 m (Clark et al., 2008; Morato et al., 2006; Rogers e Gianni, 2010). Apesar de as pescas poderem acontecer num vasto intervalo de profundidade, as áreas potencialmente disponíveis para a pesca são limitadas. Considerando que 80% da pesca em alto mar é realizada utilizando o arrasto, e que este ocorre em substratos rochosos das cristas oceânicas, montes submarinos e canhões, só menos de 5% dos fundos marinhos são adequados para esse efeito (Menezes e Giacomello, in press; Norse et al., 2012).

O início da exploração pesqueira do mar profundo remonta aos anos 1960 e 70 com as frotas longínquas da União Soviética e do Japão e de outras nações em diversas regiões oceânicas (Bensch et al., 2008; Clark et al., 2008; Gordon et al., 2003; Merrett e Haedrich, 1997; Rogers e Gianni, 2010). No Atlântico Norte, foi a frota francesa de arrastões que, em meados dos anos 80, deu o mote para que pesca de espécies de mar profundo se desenvolvesse em maior escala (Gordon et al., 2003), como a das frotas da Islândia e de Espanha (Merrett e Haedrich, 1997). Depois de um período de rendimentos muito elevados, a partir de meados dos anos 90 a maioria das pescarias de profundidade exploradas por grandes arrastões tinha colapsado (Merrett e Haedrich, 1997). Apesar disso, várias cristas nos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico continuam a ser exploradas para a pesca dirigida a várias espécies de peixes (Clark et al., 2008).

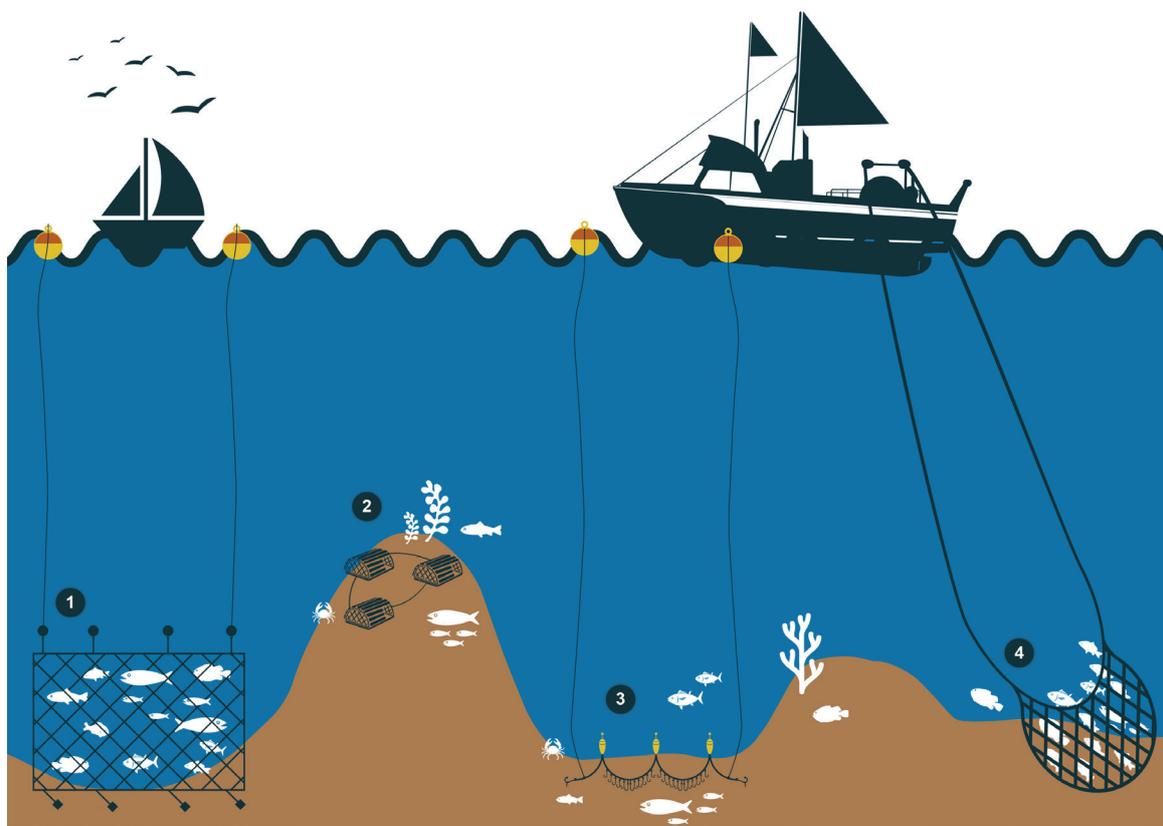
A expansão da pesca no mar profundo foi impulsionada por vários fatores, incluindo a diminuição dos recursos pesqueiros nas áreas tradicionais de pesca na plataforma, o aumento das restrições e da regulamentação na pesca a nível nacional, e o aumento na procura de peixe pelos países desenvolvidos (Devine et al., 2006; Morato et al., 2006; Rogers e Gianni, 2010; Weaver et al., 2011). A evolução e a expansão da pesca industrial no mar profundo foram acompanhadas por avanços tecnológicos consideráveis, como o desenvolvimento de artes de pesca mais robustas, a bordo de grandes navios, dotados de equipamento avançado eletrónico para navegação, caracterização do fundo e localização dos recursos, com elevada autonomia e capacidade de pesca, e a capacidade de processar o peixe a bordo (Gordon et al., 2003; Norse et al., 2012).

A análise das tendências globais de 1950 a 2001 indica que a profundidade média de captura aumentou notoriamente a partir dos anos 80, comprovada pelo aumento das

descargas de espécies de mar profundo, como o peixe relógio (*Hoplostethus atlanticus*, família *Trachichthyidae*), os granadeiros (família *Macrouridae*), os imperadores (*Beryx* spp., família *Berycidae*) e alguns tubarões de profundidade (Morato et al., 2006).

As espécies alvo das grandes pescarias no mar profundo incluem várias espécies de peixes ósseos, tais como *Reinhardtius hippoglossoides*, *Coryphaenoides rupestris*, *Coryphaenoides armatus*, *Sebastes mentella*, *Dissostichus eleginoides*, *Sebastes norvegicus*, *Dissostichus mawsoni*, *Hoplostethus atlanticus*, *Molva dypterygia*, *Alepocephalus bairdii*, *Beryx splendens*, *Aphanopus carbo*, *Polyprion americanus*, *Epigonus telescopus*, *Pseudopentaceros richardsoni*, *Pseudocyttus maculatus*, *Ruvettus pretiosus*, e alguns peixes cartilagíneos como *Centroscymnus coelolepis*, *Centrophorus squamosus* (Morgan et al., 2005; Pitcher, 2010), uma boa parte das quais são espécies alvo de pescarias dirigidas e efetuadas em montes submarinos (Pitcher, 2010).

As pescarias no mar profundo são efetuadas utilizando várias artes de pesca, como redes de arrasto, armadilhas, redes de emalhar e aparelhos de linha e anzol (palangres de fundo e linha de mão) (Figura 16), em frotas artesanais, semi-artesanais ou industriais, sendo a pesca de arrasto a mais comum e frequente na pesca de mar profundo a nível global, seguida pelo palangre.



**Fig. 16** - Diferentes tipos de artes de pesca que podem ser utilizados no mar profundo: (1) Rede de emalhar fundeada; (2) Armadilhas; (3) Palangre; (4) Rede de arrasto.

(Para uma melhor compreensão da ilustração não foram respeitadas as escalas reais dos elementos)

As artes de pesca têm impactos diferentes nas espécies e nos seus habitats. Os efeitos da pesca causam danos e perturbações físicas que afetam a morfologia e as propriedades físicas do fundo (através dos efeitos de abrasamento e assoreamento), e que danificam o habitat quando a pesca se sobrepõe com comunidades bentónicas vulneráveis - Ecossistemas Marinhos Vulneráveis (VMEs); bem como perturbações biológicas nas espécies alvo da pesca (mas também nas acessórias, ou seja, nas que são capturadas acidentalmente).

Na pesca de mar profundo, particularmente em alto mar, os montes submarinos representam áreas de pesca privilegiadas, e ao mesmo tempo extremamente vulneráveis aos impactos gerados. Os montes submarinos albergam vários organismos, alguns dos quais particularmente frágeis e sensíveis aos impactos da pesca, como CWC e esponjas (Althaus et al., 2009; Clark e Rowden, 2009; Koslow et al., 2001; Roberts, 2007; Williams et al., 2010), e comunidades bentónicas reconhecidas como VMEs. Os danos provocados pela passagem das redes de arrasto no fundo marinho podem ser grandes, tendo em conta que são organismos muitas vezes de crescimento lento e com ciclos de vida longos, como alguns CWC que apresentam longevidade até aos milhares de anos, (Roark, 2006), limitando fortemente a capacidade destas comunidades recuperarem do impacto (Althaus et al., 2009; Clark e Koslow, 2008; Clark e Rowden, 2009; Hoffmann et al., 2010; Roberts, 2007; Waller et al., 2007; Weaver et al., 2011). Os impactos do arrasto nas comunidades bentónicas nos montes submarinos são duradouros, como documentado em estudos realizados em montes submarinos na Austrália e na Nova Zelândia onde se estima que a recuperação poderá ser difícil de acontecer, e a acontecer será eventualmente numa escala temporal de várias gerações humanas (Althaus et al., 2009; Clark e Rowden, 2009; Williams et al., 2010).

As diferenças nos impactos do arrasto e do palangre são evidentes quando é estimado que um barco de arrasto poderá capturar, num único evento de pesca, cerca de 60 toneladas de peixes, uma quantidade que é comparável, por exemplo, ao que um grande palangreiro dos Açores captura durante um ano. Os efeitos estimados nas capturas acessórias de corais e de outros organismos do fundo apontam para a grande diferença entre o palangre de fundo e a pesca de arrasto: estimou-se que apenas um evento de pesca de arrasto poderá ter o mesmo impacto, em termos de remoção de organismos epi-bentónicos como os corais, que várias centenas ou até milhares de eventos de pesca efetuados com palangre de fundo (Pham et al., 2014).

A vulnerabilidade das espécies do mar profundo está ligada a aspetos dos seus ciclos de vida, que incluem características biológicas como a elevada longevidade, a baixa produtividade, maturação tardia e crescimento normalmente lento. Por exemplo o peixe relógio, *H. atlanticus*, pode atingir a idade de 150 anos (Fenton et al., 1991), e a maturação sexual aos 30 anos (Francis e Horn, 1997; Horn et al., 1998). Aspetos da ecologia comportamental, como a formação de grandes agregações para se alimentar ou reproduzir também contribuem para

o aumento da vulnerabilidade. Esta última característica faz com que as espécies que fazem agregações sejam particularmente atraentes para a pesca, garantindo rendimentos elevados em tempos curtos (que podem atingir quantidades de 60 toneladas em 20 minutos de arrasto (Roberts, 2002). A pesca efetuada nas agregações reprodutivas, em áreas relativamente pequenas e isoladas, como é frequentemente o caso do peixe relógio (*H. atlanticus*), do alfonsim (*B. splendens*) ou da maruca azul (*M. dipterygia*) em montes submarinos (Clark et al., 2008; Koslow, 1997; Roberts, 2002; Rogers, 1994), pode capturar simultaneamente um número significativo de indivíduos sexualmente ativos e, no caso de serem de grandes dimensões e de elevada fecundidade, pode rapidamente gerar esgotamentos locais, contribuindo assim para a fragmentação das populações e comprometendo ainda mais a sua capacidade de recuperação.

Devido às particularidades das pescarias das espécies de mar profundo, que utilizam artes de pesca de elevado impacto, estima-se que em alguns casos as populações de peixe de profundidade terão sofrido reduções superiores a 90% das suas abundâncias (Watling et al., 2011).

As consequências das pescarias no mar profundo podem ser significativas também em peixes cartiláginos, como é o caso de várias espécies de tubarões de profundidade, caracterizados por elevada longevidade e maturação tardia (Simpfendorfer e Kyne, 2009). As dificuldades na identificação das espécies, bem como o facto de algumas terem distribuições amplas e não permitirem uma avaliação do estado das populações, fazem com que estas pescarias sejam das menos reportadas e assim as estatísticas de pesca sejam bastante enviesadas (Hoffmann et al., 2010). Hoje considera-se que as populações de várias espécies comerciais terão decrescido de maneira significativa (Basson et al., 2001; Neat et al., 2015), e desde 2010 as capturas de tubarões de profundidade estão, por este motivo, proibidas na União Europeia.

Um caso emblemático é o do peixe relógio (*H. atlanticus*) cujas pescarias na Austrália, Nova Zelândia e Namíbia mostram um padrão da dinâmica da exploração recorrente: rendimentos de pesca muito elevados no início, seguidos por um declínio rápido e o colapso da população a menos de 10 - 20% da abundância antes da exploração pesqueira (Branch, 2001; Clark, 1999; Haedrich e Merrett, 1997; Koslow, 2000).

Em geral, as pescarias de mar profundo e particularmente aquelas que operam em grandes barcos de arrasto no alto mar são consideradas insustentáveis, e do ponto de vista económico não viáveis, nem a níveis de exploração baixa (Clark et al., 2008; Morato et al., 2006) devido a um conjunto de fatores tais como a baixa produtividade das espécies alvo, a baixa seletividade das artes de pesca, o efetivo baixo lucro que promove a sobre-exploração das populações, e uma gestão, regulamentação e monitorização destes recursos e destas pescarias ainda fraca e pouco coordenada (Sumaila et al., 2015; Weaver et al., 2011).

## 7.2 MINERAÇÃO

### 7.2.1 RECURSOS MINERAIS

A mineração do mar profundo é um termo vasto que engloba a extração de minério no fundo do mar a profundidades que excedem os 200 metros, frequentemente já fora da plataforma continental geológica. Em geral, quando falamos em mineração do mar profundo, tal corresponde a três grandes tipos de depósitos: sulfuretos polimetálicos, crostas de cobalto e nódulos de ferro-mangânês. Cada um destes tipos de depósito tem uma génese diferente, encontram-se em profundidades e ecossistemas diferentes e consequentemente os potenciais impactos da sua exploração serão também diferentes. Como tal, o estudo e análise destes ambientes e possíveis consequências não podem ser generalizados, mas terão que ser estudados de forma independente.

Esta atividade ainda não teve início em águas internacionais (fora da jurisdição dos países), mas os pedidos e o controlo são regulamentados pela Autoridade Internacional para os Fundos do Mar (também conhecida pelo acrónimo em inglês ISA - *International Seabed Authority*). Já existem regulamentos para a prospeção dos recursos mas ainda não foram publicados regulamentos para a exploração dos mesmos ([Figura 17](#)).

MINING CODE   Regulating prospecting, exploration, and exploitation of marine minerals in the International seabed area		
Resource	Prospecting and Exploration	Resource
Polymetallic nodules 	Regulations for Prospecting and Exploration of Polymetallic Nodules (2000). Supplemented by recommendations from the Legal and Technical Commission for the guidance of contractors on the assessment of environmental impacts of exploration and guidance on financial reporting.	To be developed
Sea-floor massive sulphides 	Regulations for Prospecting and Exploration of Polymetallic Nodules (2000). Supplemented by recommendations from the Legal and Technical Commission for the guidance of contractors on the assessment of environmental impacts of exploration and guidance on financial reporting.	To be developed
Cobalt-rich ferromanganese crusts 	Regulations for Prospecting and Exploration of Polymetallic Nodules (2000). Supplemented by recommendations from the Legal and Technical Commission for the guidance of contractors on the assessment of environmental impacts of exploration and guidance on financial reporting.	To be developed



**Fig. 17** - Regulação na prospeção, exploração e extração desenvolvida pelas autoridades internacionais do fundo marinho (International Seabed Authority). © Secretariat of the Pacific Community.

### 7.2.1.1 DEPÓSITOS DE SULFURETOS POLIMETÁLICOS

Os depósitos de sulfuretos polimetálicos ocorrem em zonas de separação de placas, geralmente nas dorsais médias oceânicas ou em zonas de bacias de contra-arco. Nessa zona formam-se chaminés de depósitos minerais, que são lixiviados da crosta durante a ascensão de fluido quente, que não é mais do que água do mar que se infiltrou em zonas de fissuras, afundou na crosta e ao entrar na zona de proximidade do manto, aqueceu, e, já enriquecida com diversos minerais ascendeu por movimentos de convexão e ressurgiu novamente ao nível do solo a temperaturas elevadas (até 400 °C). Ao entrar em contacto com a água do mar, oxida e precipita os minerais que acumulou em profundidade. Formam-se então chaminés ricas em metais. Caso a precipitação dos metais (devido a fenómenos físico-químicos) ocorra antes de chegar à superfície do fundo do mar, formam-se depósitos no subsolo. Ao longo do tempo as chaminés vão colapsando e, em conjunto com os minerais precipitados em profundidade, formam depósitos de vários metros de espessura. A quantidade e tipo de minerais depende da pressão, regime de temperatura e rochas encaixantes das zonas onde se formam (Figura 18).

#### Geochemistry of massive sulphides in various tectonic settings

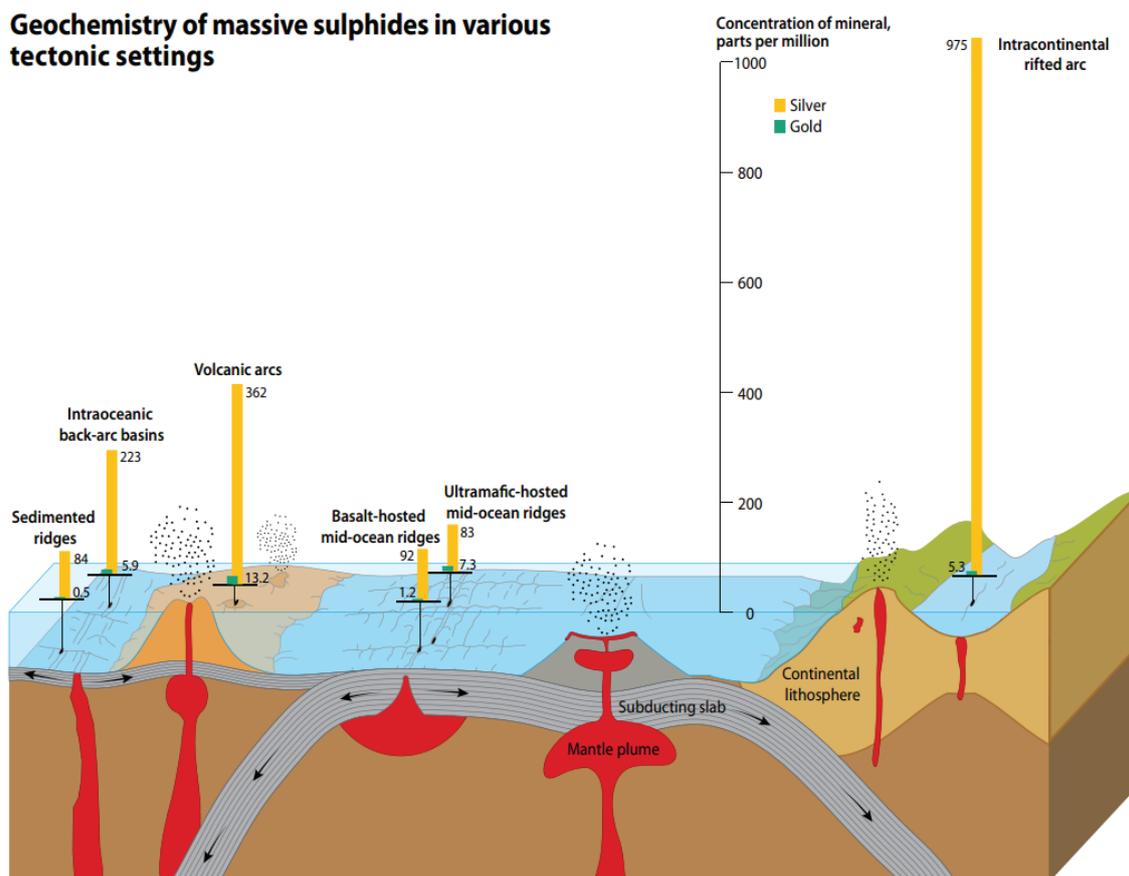
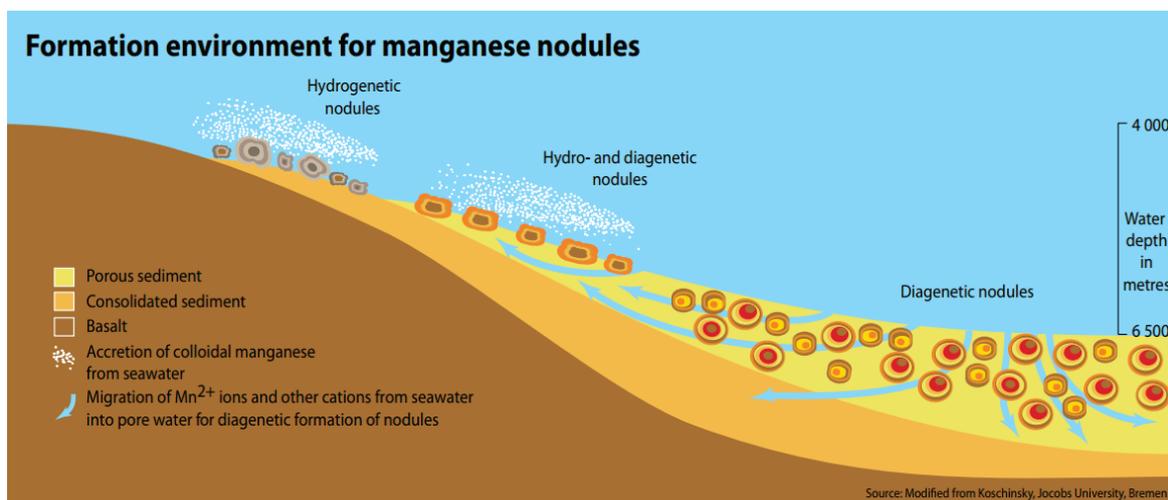


Fig. 18 - Concentrações de cobre, zinco e chumbo em sulfuretos maciços formados em diferentes contextos geológicos no fundo oceânico. © GEOMAR.

A mineração de depósitos ativos ou inativos terá impactos diferentes, mas os mais comuns serão o impacto da remoção dos organismos, as plumas geradas quer pelas máquinas de mineração, quer pelas águas de lavagem do minério, a potencial lixiviação e solubilização dos metais que compõem os minerais tornando-os tóxicos, a luz, o ruído e, indiretamente, a diminuição das populações, a redução ou quebra da conectividade entre populações, a diminuição das funções e dos serviços dos ecossistemas.

### 7.2.1.2 NÓDULOS DE FERRO-MANGANÊS

Os nódulos de ferro manganês formam-se durante milhões de anos pela precipitação lenta de compostos metálicos na água do mar (Figura 19). Os nódulos apresentam-se sob a forma de esferas ligeiramente achatadas com 5 a 10 cm de diâmetro, e encontram-se nos fundos oceânicos entre 4000 e 6000 m de profundidade.



**Fig. 19** - Formação de nódulos de manganês. Este processo ocorre em águas profundas entre os 4000 até aos 6500 m. © Secretariat of the Pacific Community.

A sua massa volúmica é de 2 gramas por centímetro cúbico, 30% é água e tem uma porosidade de 50%. São formados por camadas concêntricas, chamadas de “cór-tex”, que correspondem a camadas de deposição sucessiva à volta de um “núcleo”. As camadas são formadas por hidróxido de manganês e ferro. Os melhor cristalizados são os mais ricos em Manganês, Níquel e Cobre, e os menos bem cristalizados são ricos em Ferro e Cobalto. A velocidade de crescimento dos nódulos é de apenas alguns centímetros por cada milhão de anos. A idade dos nódulos do Oceano Pacífico central é na ordem dos 2 a 3 milhões de anos e podem ter origem “hidrogénica<sup>3</sup>” ou “hidrogénica e diagénica<sup>4</sup>” (SPC 2013).

<sup>3</sup> precipitação lenta dos elementos metálicos a partir da água do mar, conduz a concreções com teores equivalentes de Fe e Mn e um teor relativamente forte em Ni+Cu+Co)

<sup>4</sup> remobilização do Mn na coluna sedimentar e a sua precipitação na interface água-sedimento, origina nódulos ricos em Mn e pobres em Fe e (Ni+Cu+Co)

Os nódulos estão numa camada fina sobre o sedimento abissal. Para que a sua exploração seja economicamente viável, é necessário que a extração se realize em áreas extensas. A recolha dos nódulos irá levantar uma fina camada de sedimentos, habitualmente referida como pluma. A precipitação destas finas partículas sobre os fundos pode ocorrer até muitos quilómetros de distância. A deposição das plumas nos organismos que vivem nestes ambientes, assim como a compactação do sedimento pelas máquinas, são dois dos grandes impactos que esta actividade terá em grandes extensões no fundo do mar.

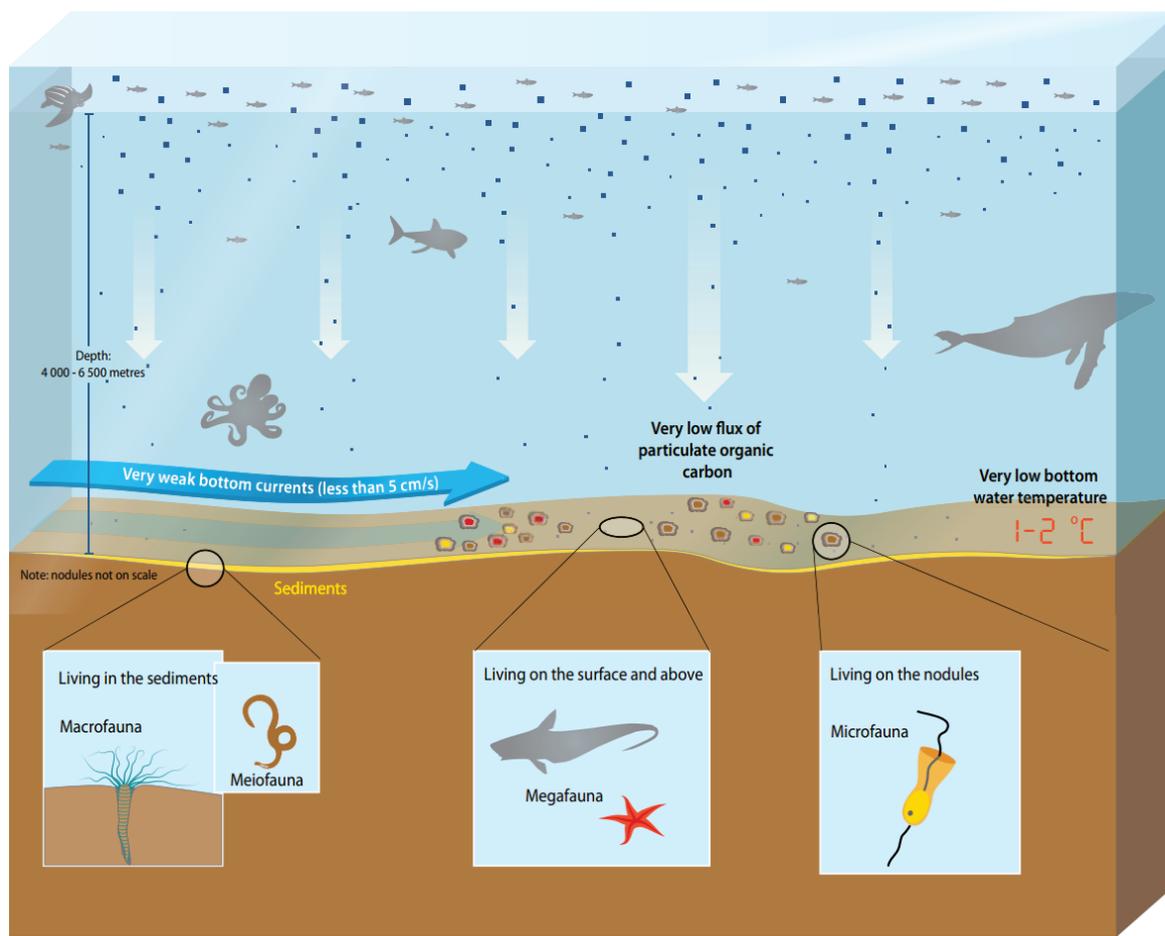
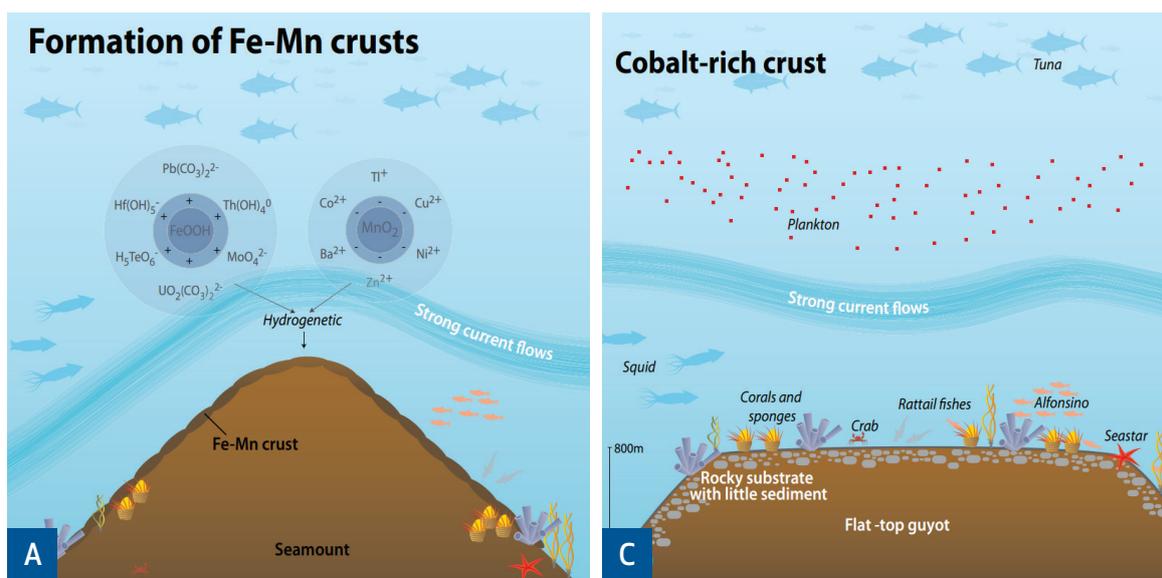


Fig. 20 - Habitat e biodiversidade em regiões de nódulos. © Secretariat of the Pacific Community.

Os ecossistemas das planícies abissais são muito diversos ([Figura 20](#)), mas com biomassas muito baixas. A maior parte das espécies está ainda por identificar, mas sabe-se que muitos dos organismos têm taxas de crescimento muito baixas, elevadas longevidades e estão adaptados a ambientes muito estáveis. Julga-se que estes ecossistemas serão muito suscetíveis a perturbações físicas e a ficarem sepultados sob as plumas. Pensa-se também que a recuperação destes ecossistemas (se possível), será muito lenta.

### 7.2.1.3 CROSTAS DE COBALTO

As crostas de cobalto são precipitadas da água do mar que se formam em camadas muito finas, em superfícies de substrato rochoso, tipicamente no topo ou nos flancos dos montes submarinos onde a sedimentação é mínima (Figura 21). A sua taxa de acumulação é de cerca de 1 - 6 mm por cada milhão de anos.



**Fig. 21 - (A)** Formação de crostas de cobalto-Manganês; **(B)** Crosta rica em cobalto. © Secretariat of the Pacific Community

Existem zonas ricas em crostas de cobalto no Oceano Pacífico, entre os 800 e os 2500 m de profundidade. A exploração destas zonas desperta interesse económico. O grande desafio da operação mineira é retirar a crosta sem retirar a rocha subjacente. Grandes áreas terão que ser exploradas para que a exploração seja economicamente viável. Os ecossistemas nos montes submarinos são geralmente complexos (ver acima) e podem incluir zonas de recife e jardins de corais ou de agregações de esponjas. Muitas destas espécies têm vida longa, taxas de crescimento muito baixas, reproduzem-se muito lentamente, e algumas delas só existem em determinados montes submarinos.

O soterramento pelos sedimentos das plumas e das águas de lavagem do minério são alguns dos potenciais impactos que devido à fisiografia do fundo e ao regime hidrodinâmico poderão ter efeitos numa área muito extensa. Julga-se que a recuperação do ecossistema será muito lenta.

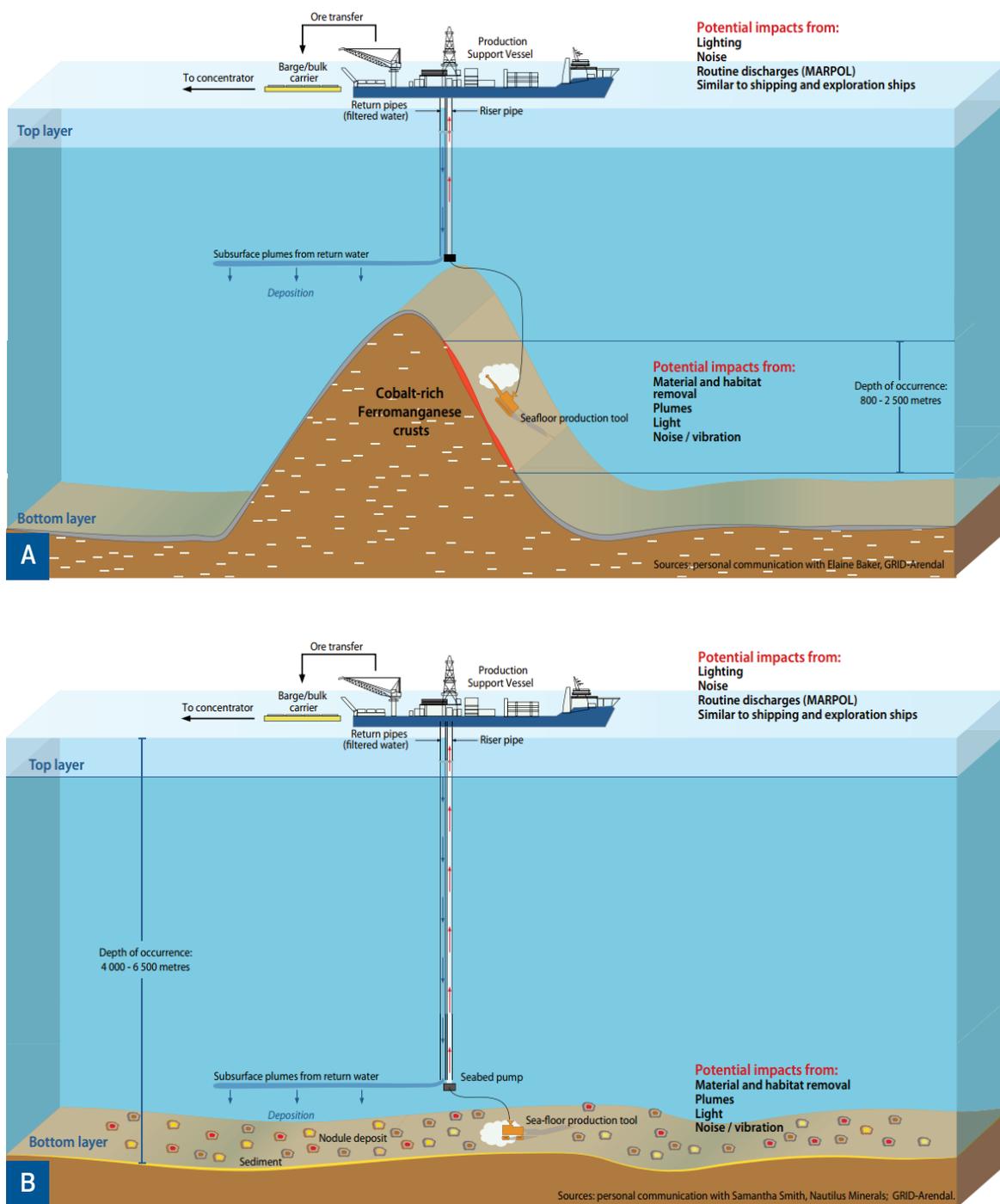
### 7.2.1.4 RECURSOS MINERAIS EM PORTUGAL

Portugal, apresentou às Nações Unidas um pedido de extensão da plataforma continental, na sequência dos esforços encetados pela Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC). Portugal tem assim a potencial jurisdição sobre quase 4 milhões de quilómetros quadrados de fundos marinhos, representando este valor mais de 42 vezes o território nacional emerso (Pinto de Abreu et al., 2006). As expectativas perante este recurso potencial são muito elevadas. No entanto pouco se sabe sobre as reservas reais destes fundos marinhos. Apesar de não se conhecerem as reservas na sua totalidade, já existe algum conhecimento sobre os potenciais recursos que existem nos nossos fundos marinhos. Não há relato de ocorrências com interesse económico de nódulos polimetálicos (Barriga et al., 2012), mas de acordo com Muiños et al. (Muiños et al., 2013) existem crostas polimetálicas numa extensão considerável.

Graças ao impacto visual das imagens de campos hidrotermais com fumarolas, os sulfuretos polimetálicos tornaram-se os tipos de depósitos do mar profundo mais referidos e mais populares. Na Península Ibérica há também uma faixa piritosa importante que tem precisamente a mesma génese que os campos hidrotermais, mas que se distancia temporalmente por uns bons milhões de anos. A descoberta dos campos hidrotermais no fundo do mar com teores metálicos mais consideráveis levantou um grande interesse por parte dos diferentes sectores económicos (Barriga et al., 2012).

### 7.2.2 POTENCIAIS IMPACTOS DA MINERAÇÃO

Os potenciais impactos da mineração ([Figura 22](#)), não se resumem apenas à zona intervencionada. Há outros impactos que resultam diretamente da plataforma que serve de base à exploração e que incluem o som, a vibração e a luz, que poderão afetar espécies carismáticas como os mamíferos marinhos e as aves. Uma das grandes incógnitas e com enorme potencial de impacto é o local onde se irão colocar as águas de lavagem do minério. É sabido que o seu efeito será diferente consoante a zona onde irá ocorrer (fótica, disfótica ou junto à área minerada) mas quaisquer possíveis consequências terão de ser cuidadosamente estudadas.



**Fig. 22 - (A)** Sistema de mineração das crostas de cobalto-manganês e fontes relacionadas do potencial impacto ambiental; **(B)** Exemplo de um sistema de mineração dos nódulos de manganês e fontes relacionadas do potencial impacto ambiental. © Secretariat of the Pacific Community.

Em qualquer dos tipos de extração, irá haver impacto resultante da destruição dos organismos. Tal não acontece apenas no momento e no local da extração mas também aquando do impacto das plumas resultantes e da lavagem do minério. O impacto das plumas tem a componente física da própria partícula, que pode danificar ou colmatar as estruturas

de filtração e ou respiração dos organismos, assim como o efeito tóxico dos potenciais metais redissolvidos no processo. Esse impacto será mais ou menos severo consoante o tipo de recurso mineral, as condições ambientais, os padrões de circulação e a profundidade as que as plumas de lavagem serão colocadas. O impacto no funcionamento dos ecossistemas é uma grande incógnita. No entanto, devido às características das espécies de profundidade, prevê-se que o potencial de recuperação dos ecossistemas seja muito baixo.

Os impactos mencionados são apenas potenciais e a sua conjectura resulta do melhor conhecimento científico disponível. Apenas com estudos mais detalhados, que deverão condicionar e acompanhar a eventual atividade de mineração de forma independente, poderão dar-se respostas que permitam decidir avançar com esta atividade ou cessá-la no caso dos impactos serem considerados incomportáveis.

## 7.3 EXPLORAÇÃO DOS RECURSOS GENÉTICOS

A evolução do conhecimento sobre os ecossistemas dos fundos oceânicos, associada ao desenvolvimento da biotecnologia, possibilitou a descoberta, nas últimas décadas, dos recursos genéticos marinhos e seu potencial económico.

O rápido crescimento da apropriação humana de recursos genéticos marinhos (RGMs), com mais de 18000 produtos naturais e 4900 patentes associadas a genes de organismos marinhos (Leary et al., 2009), com estas últimas a crescer a 12% ao ano demonstra que o uso dos RGMs já não é uma visão, mas sim uma fonte crescente de oportunidades biotecnológicas e de negócio. Esta diversidade de interesses requer das governações nacionais e internacionais a criação de regulamentação específica e adequada, por forma a garantir a sustentabilidade da atividade, e que a partilha dos benefícios não caia apenas nos países com capacidade de investigação e criação de patentes. O maior dos desafios, no entanto, parece ser o relacionado com o registo em patente de componentes da vida. Parte da resposta foi dada pela Conferência de Nagoya das Nações Unidas (ONU) onde se estabeleceu o protocolo para a melhoria do acesso aos recursos genéticos de forma justa e com a partilha de benefícios resultantes da sua utilização. A implementação de medidas para a proteção das RGMs foi essencial para garantir a sua utilização sustentável e apoiar o fluxo de futuras descobertas de interesse médico e biotecnológico (Barriga et al., 2012).

A enorme diversidade biológica dos oceanos oferece um vasto repertório de moléculas biológicas potencialmente úteis que não é comparável com os ambientes terrestres.

Enquanto que a utilização de organismos marinhos para produtos alimentares tem, muitas vezes, causado danos ecológicos, a identificação e o uso de recursos genéticos é um processo essencialmente sustentável. As amplas oportunidades para a ciência e negócios no uso de recursos marinhos requer travar a perda generalizada de biodiversidade marinha, nas quais as Áreas Marinhas Protegidas são instrumentos chave.

O acesso e a partilha de benefícios económicos e sociais resultantes da exploração de RGMs ainda está a emergir. Mais especificamente, para além de serem estabelecidas Áreas Marinhas Protegidas para o mar profundo, há que criar leis internacionais que regulem expressamente o uso e a proteção dos recursos biológicos para além da Zona Económica Exclusiva. Só dessa forma haverá uma proteção efetiva do vasto conjunto de biodiversidade marinha e RGMs (Barriga et al., 2012; Purkey e Johnson, 2010).

Lacunas no quadro jurídico internacional (nomeadamente na *United Nations Convention on the Law of the Sea* - UNCLOS) para áreas marinhas fora da jurisdição nacional (também referidas a partir do acrónimo em inglês ABNJ – *Areas Beyond National Jurisdiction*) levantam muitas questões para a investigação científica marinha, incluindo a partilha de dados e amostras biológicas, a posse de material biológico e a implementação de um novo acesso para favorecer regimes de partilha. A investigação do mar profundo tem um papel fundamental no desenvolvimento de um novo instrumento jurídico internacional para conservar a vida marinha além das fronteiras nacionais (64% da superfície do oceano), especialmente em relação ao acesso e partilha de benefícios de RGMs em ABNJ.

A gama de atividades científicas relevantes abrange a recolha e conservação de amostras biológicas, por exemplo: ecologia, monitorização ambiental, pesquisa taxonómica, a química de produtos naturais, microbiologia, biologia molecular, a sequenciação de genomas completos e a descoberta de enzimas. Novos desafios para a investigação científica poderiam incluir o aumento da comunicação, o armazenamento de grande quantidade de dados e respetiva gestão, a identificação dos requisitos administrativos para a recolha, armazenamento e partilha de amostras biológicas em ABNJ.

Qualquer nova atividade no mar profundo deverá ser detalhadamente analisada *a priori*. Há que equacionar a necessidade e a tipologia de um estudo de impacto ambiental durante as fases de prospeção, de teste piloto e de extração, por forma a identificar os impactos, mitigá-los, e contribuir para a gestão espacial das regiões (criação de áreas de reserva e de áreas de fonte de larvas para recolonização) assim como estabelecer ações de recuperação.

## 7.4 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO MAR PROFUNDO

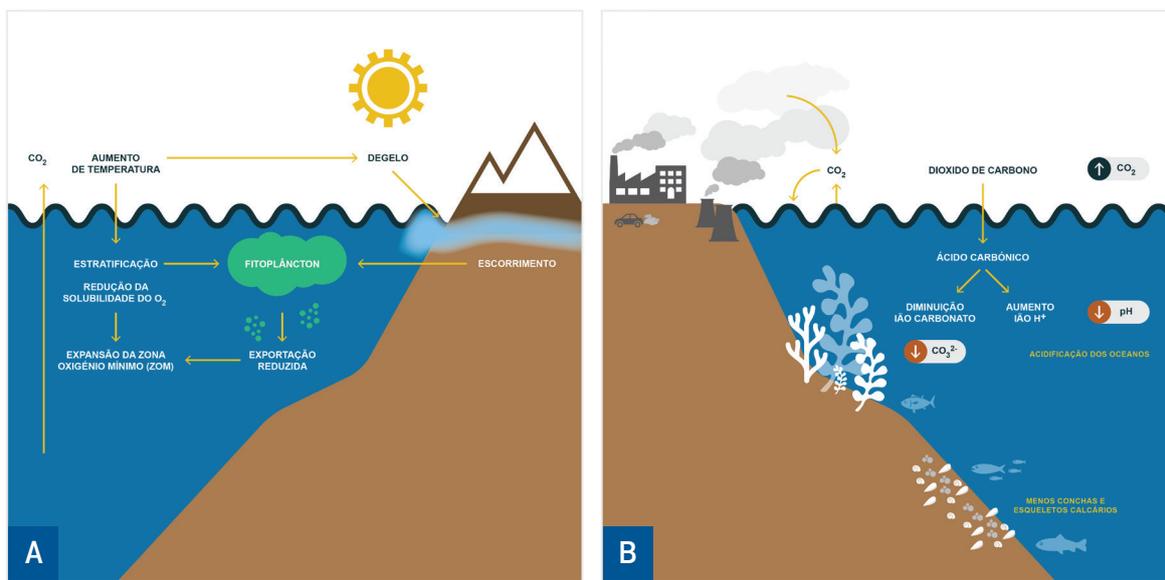
### 7.4.1 O PAPEL DOS OCEANOS NA REGULAÇÃO DO CLIMA

O clima e os oceanos são indissociáveis. O oceano global é o “regulador climático” que (i) absorveu 93% do calor adicional da Terra desde 1970, mantendo a atmosfera mais fria; (ii) capturou 28% das emissões de CO<sub>2</sub> causadas por humanos desde 1750; e (iii) tem recebido virtualmente toda a água do degelo (Magnan et al., 2015). Sem o oceano, a mudança climática seria, portanto, muito mais intensa, colocando em risco muitas espécies na Terra. Tais serviços, apesar de importantes, não foram capazes de contrariar o aumento da concentração de gases atmosféricos com efeito estufa de 278 para 400 partes por milhão ao longo do período industrial, um conjunto de grandes mudanças ambientais no oceano, que incluem o aquecimento, a acidificação, a perda de oxigênio e o aumento do nível médio do mar.

### 7.4.2 PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) é uma organização científico-política criada em 1988 no âmbito das Nações Unidas e que reúne milhares de cientistas de todo o mundo. A tarefa destes cientistas consiste em avaliar a investigação e os conhecimentos existentes em matéria de alterações climáticas e em elaborar, a intervalos regulares, relatórios globais que, nalguns casos, exigem vários anos de trabalho. O mais recente, o quinto relatório de avaliação, publicado em 2014, conclui com um elevado grau de certeza que as concentrações atmosféricas de gases com efeito de estufa aumentaram principalmente em consequência das atividades humanas e adverte que, caso não sejam tomadas medidas, as consequências ecológicas e socioeconómicas serão graves. Neste relatório são apresentados modelos que simulam as alterações futuras do clima tendo em conta vários cenários de emissão de dióxido de carbono como resultado da queima de combustíveis fósseis, os quais são utilizados pelas comunidades científicas no planeamento de experiências com o objetivo de testar o efeito das alterações climáticas na fisiologia dos organismos, comunidades e ecossistemas. O relatório conclui que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, e desde 1950 muitas das mudanças observadas não têm precedentes. Desde então, os oceanos têm aquecido (0,6 a 0,8 °C, cerca de 0,15 a 0,20 °C por década), o

pH dos oceanos diminuiu em 30%, as quantidades de neve e gelo diminuíram em 50% e o nível médio do mar subiu 19 centímetros (Pachauri e Meyer, 2014) (Figura 23). Estão descritas abaixo algumas das principais mudanças nos oceanos consideradas como as ameaças mais importantes que podem afetar o ambiente de águas profundas (Levin e Le Bris, 2015).



**Fig. 23** - Principais efeitos das alterações climáticas do mar profundo. **(A)** Alterações relacionadas com o aquecimento global. **(B)** Acidificação dos Oceanos.

### 7.4.3 AQUECIMENTO DO OCEANOS

O aquecimento dos oceanos refere-se ao aumento da temperatura média dos oceanos, como resultado do calor atmosférico absorvido pelo oceano (Purkey e Johnson, 2010). Cerca de 60% do excesso de calor total é armazenado nas camadas mais superficiais até aos 700 m, enquanto 30% é armazenada em camadas mais profundas, abaixo dos 700 m. Levantamentos hidrográficos estimaram o aquecimento nas bacias profundas, produzindo um aumento médio de temperatura de até aos 0,1 °C por década no oceano global (Mora et al., 2013). A situação é, no entanto, heterogénea entre e através de bacias de águas profundas, com taxas de aquecimento maiores documentadas nos oceanos Ártico e Antártico.

A maioria das espécies de profundidade vivem em regimes térmicos muito estáveis, portanto, o aquecimento de 1 °C ou menos pode exercer stress ou causar mudanças nas distribuições por profundidade ou por latitude e alterar as interações entre espécies (Levin e Le Bris, 2015). Por exemplo, na bacia Palmer Deep perto da Península Antártica, o

aquecimento acima de 1,4 °C permitiu a invasão de caranguejos lithodid (*Neolithodes wal-dwyni*), que são predadores vorazes e parecem ter dizimado os invertebrados bentônicos (Smith et al., 2012). No Mar Mediterrâneo, onde as águas profundas são naturalmente quentes (entre 12 e 14 °C) existem espécies de corais de águas profundas perto de seu limiar de tolerância (Gori et al., 2016). Nessas bacias oceânicas semifechadas, a resposta dos ecossistemas pode ser rápida e difícil de prever, porque o aquecimento não só é rápido, como também descontínuo em resultado de eventos intensos de convexão de águas profundas (Danovaro et al., 2004).

## 7.4.4 ACIDIFICAÇÃO DO OCEANO

A acidificação dos oceanos é a redução do pH devido à absorção de CO<sub>2</sub>, causando alterações significativas na química da água do mar (Feely et al., 2004). Desde o início da Revolução Industrial, os oceanos absorveram cerca de um terço de todo o CO<sub>2</sub> produzido, o que causou um aumento de 30% da acidez da superfície dos oceanos. Se as emissões de CO<sub>2</sub> continuarem a este ritmo é esperado que a acidez dos oceanos aumente mais de 100 a 150% em relação aos valores do início da Revolução Industrial (Pachauri e Meyer, 2014).

Assim, a acidificação dos oceanos de origem antropogénica é de grande preocupação pois com base no nosso conhecimento é, pelo menos, 10 vezes mais rápida do que qualquer evento de acidificação natural no passado.

A acidificação dos oceanos tem sido identificada como uma das maiores ameaças aos ecossistemas marinhos (Doney et al., 2009). Algumas espécies marinhas são negativamente afetadas porque necessitam de carbonato de cálcio para construir esqueletos ou conchas. Ora, com o aumento da acidez da água do mar, a concentração de iões de carbonato na água diminui substancialmente. Quando isso acontece, torna-se mais difícil que corais, moluscos e organismos calcificantes (que necessitam de carbonato) consigam formar as suas partes duras. Isto é particularmente importante para as espécies de profundidade, porque, para além da profundidade, vivem em águas frias, onde o ião carbonato já é naturalmente raro. Assim, as espécies de profundidade estarão expostas a águas corrosivas até o final deste século, tal como projetado por diversos modelos (Gehlen et al., 2014). Os efeitos em CWC são particularmente preocupantes devido ao seu papel de construção no habitat. Mesmo que alguns estudos tenham revelado que os CWC têm a capacidade de lidar com a diminuição do pH (McCulloch et al., 2012), ainda assim isso pode exigir energia extra. Assim, com todos os efeitos conjugados, incluindo a diminuição do pH, o aumento da temperatura e a baixa disponibilidade de alimentos, podemos estar a comprometer a sobrevivência dos oceanos profundos tal como os conhecemos (Pachauri e Meyer, 2014) e, indiretamente, da humanidade.

### 7.4.5 DESOXIGENAÇÃO DO OCEANO

A desoxigenação refere-se à perda de oxigénio dos oceanos devido às mudanças climáticas (Keeling et al., 2010). Este fenómeno ocorre devido à combinação dos efeitos da solubilidade reduzida do oxigénio em águas mais quentes e ao aumento da estratificação. Os oceanos mais quentes são mais estratificados porque a água quente é menos densa do que a água fria e a forte densidade de gradientes reduz a mistura vertical. A monitorização dos oceanos a longo prazo mostra que as concentrações de oxigénio no oceano baixaram durante o século XX e, em resposta ao aquecimento na superfície, está prevista uma diminuição de 3 a 6% durante o século XXI (Pachauri e Meyer, 2014). Em termos numéricos esta diminuição pode parecer pequena, mas vai ser sentida de forma particularmente aguda em áreas hipóxicas e subóxicas, onde o oxigénio já é o fator limitante.

As zonas com baixos níveis de oxigénio já estão presentes em várias partes do mundo e estão a aumentar substancialmente em número, volume e intensidade. Estas áreas de baixo teor de oxigénio, conhecidas como zonas mínimas de oxigénio (ZMOs), são mais comuns abaixo das águas de superfície de alta produtividade entre os 100 e os 1000 m de profundidade (Stramma et al., 2010).

As ZMOs são naturalmente pobres em oxigénio devido aos processos combinados de uso de altos teores de oxigénio e reposição de oxigénio limitado, que podem estender-se por centenas de metros de profundidade e milhares de quilómetros na horizontal.

Geralmente, as áreas hipóxicas têm uma concentração inferior a 60 micromoles de oxigénio por quilograma. Desde os anos 1960, a área hipóxica aumentou em 4,5 milhões de quilómetros quadrados em profundidades entre 200 e os 700 m em águas tropicais e subtropicais (Stramma et al., 2010). Entretanto, fora da Califórnia, em águas entre os 200m e os 300m observou-se uma perda de entre 20 a 30% do seu oxigénio nos últimos 25 anos. A expansão das ZMOs levou à compressão do habitat para espécies demersais intolerantes, mesopelágicas, os peixes de costas e a expansão do habitat para espécies tolerantes à hipoxia tais como a lula Humboldt (Gilly et al., 2013; Stramma et al., 2010). O oxigénio exerce um alto controlo sobre a biodiversidade marinha através dos efeitos na evolução, fisiologia, reprodução, comportamento e interações entre espécies e, portanto, grandes impactos nos ecossistemas são esperados no futuro (Levin e Le Bris, 2015).

### 7.4.6 FLUXO ORGÂNICO PARA O MAR PROFUNDO

O aumento da estratificação não só limita a oxigenação de águas profundas, como também reduz o fornecimento de nutrientes para as águas superficiais a partir do mar profundo, onde a matéria orgânica é reciclada. A previsão de redução na produção de fitoplâncton

vai resultar num menor fluxo de carbono orgânico particulado (POC) para o mar profundo, particularmente de médias para altas latitudes (Jones et al., 2014). Abaixo das grandes áreas oligotróficas, já nas planícies abissais, pobres em alimento, podem ainda ser privadas de abastecimento de matéria orgânica, resultando numa menor biomassa bentónica, assim como na alteração de taxas de respiração e bioturbação (Smith e Hughes, 2008). Globalmente, as previsões sugerem uma tendência similar que afeta 80% dos hotspots de biodiversidade, tais como canhões ou montes submarinos, por décadas ou até mesmo por séculos (Thurber et al., 2014).

## 7.5 CONSERVAÇÃO MARINHA: O USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS

Qualquer atividade exige que se conheça o ecossistema. Apenas assim será possível prever, contabilizar, mitigar e compatibilizar os impactos. Os diferentes órgãos de gestão recomendam quais os estudos a fazer para avaliar e determinar a existência de condições de sustentabilidade.

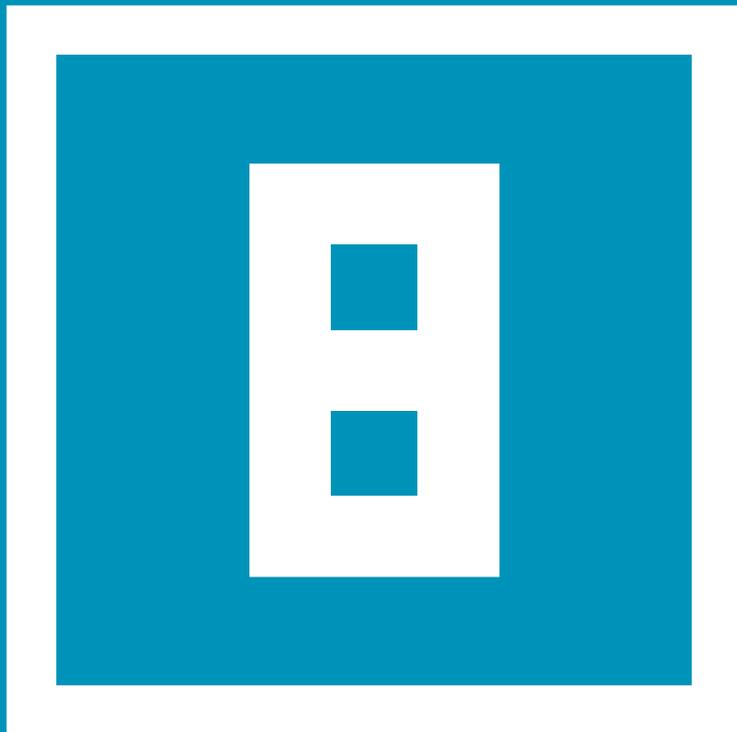
A Diretiva Quadro Estratégia Marinha (DQEM) é o pilar da política europeia de proteção do ambiente marinho.

A DQEM baseia-se no conceito de abordagem ecossistémica, uma estratégia para a gestão integrada, que promove a conservação e o uso sustentável dos recursos de modo equitativo. Assim, deve ter presente a relação entre as atividades humanas e as pressões que estas causam, assim como os impactos destas nos ecossistemas e no bem-estar humano.

Esta abordagem incorpora estratégias de gestão e de conservação, baseadas em conhecimento científico muitas vezes limitado ou incompleto, adotando-se uma abordagem precaucional, por forma a se manter a biodiversidade e o bom estado ambiental. A abordagem do Governo de Portugal foi propor a medida de proteção espacial DesignAMP - Designar Áreas Marinhas Protegidas no espaço marítimo português, onde se pretende constituir novas áreas marinhas protegidas de grande dimensão, delimitadas em zonas oceânicas de grande profundidade, de forma a cobrir adequadamente um dos mais importantes habitat oceânicos: o habitat OSPAR Montes Submarinos (Ficha de medida ME01-DV). Assim como medidas esporádicas de aumento de conhecimento.

A DQEM baseia-se em descritores de estado para caracterizar o bom estado ambiental (BEA) e monitorizar as alterações que as pressões humanas podem provocar. Esta diretiva lista as características, as pressões e os impactos e indica como monitorizar os efeitos das atividades humanas. Para tal é necessário conhecer não só o que existe, mas também como funciona e qual a sua resiliência. Apenas com estes dados será possível, depois, monitorizar as atividades e propor medidas para manter o BEA dos ecossistemas.

Os mares portugueses são profundos e vastos, existindo um grande desconhecimento das suas funções e serviços, incluindo as mais-valias para a regulação, o aprovisionamento e o suporte. Com este guião pretende-se contribuir para o aumento do conhecimento sobre os ecossistemas do mar profundo, as suas espécies, as atividades que nele podem decorrer e os seus impactos por parte dos agentes nacionais promotores das medidas e monitorização para atividades humanas que se pretendam fazer nestes ambientes.



# CAPÍTULO 8

## METODOLOGIAS AO SERVIÇO DA AVALIAÇÃO DO ESTADO AMBIENTAL

Os métodos de estudo das comunidades bentónicas do oceano profundo são muito variados e adaptados ao tipo de substrato e profundidade do local. Alguns equipamentos são apropriados para realizar amostragens quantitativas, enquanto outros servem somente para amostragem qualitativa (Nybakken, 1993). Nas últimas décadas, com o avanço da tecnologia oceânica e robótica, têm sido desenvolvidos aparelhos, com ou sem tripulação, capazes de alcançar grandes profundidades (Gage e Tyler, 1991).

No entanto, o uso de submersíveis ou de câmaras controladas preparadas para descer a milhares de metros de profundidade é bastante dispendioso, o que limita os estudos do fundo marinho. Outra limitação prende-se com as baixas densidades dos organismos bentónicos. Esta limitação obriga a recolher um grande número de amostras para quantificar de forma representativa a biodiversidade existente.

As técnicas mais utilizadas para amostrar organismos bentónicos são as carotes (em inglês *corers*) (*boxcorer*, *multicorer*, *megacorer*), dragas e redes de arrasto. A técnica de filmagem também é um método utilizado para pontos de elevadas profundidades.

As carotes são normalmente usadas para amostrar sedimentos para serem analisados a nível químico, geoquímico e biológico e permitem amostrar os sedimentos de uma forma quantitativa. O *boxcorer* permite amostrar uma área maior (600 a 2500 cm<sup>2</sup>) e a camadas mais profundas (penetração de 50 cm), mas a qualidade da amostra é menor, especialmente nas camadas mais superficiais. Os *multicorers* podem ter 4 a 8 tubos (diâmetro de 6 cm e comprimento de 80 cm). A qualidade da amostra é excelente usando *multicorers*, mas a área amostrada é bem menor. Embora, tenham tubos maiores em comprimento do que as *boxcorers*, a penetração máxima não vai além dos 20 cm no caso dos *multicorers*. Estes últimos são mais usados para amostragens dos meiobentos e microbentos, enquanto os *megacorers* (tubos com diâmetro de 11 cm) são usados para a macrofauna. As dragas são armações pesadas de metal que são arrastadas sobre o fundo marinho e os materiais recolhidos vão sendo depositados em sacos de forma cónica.

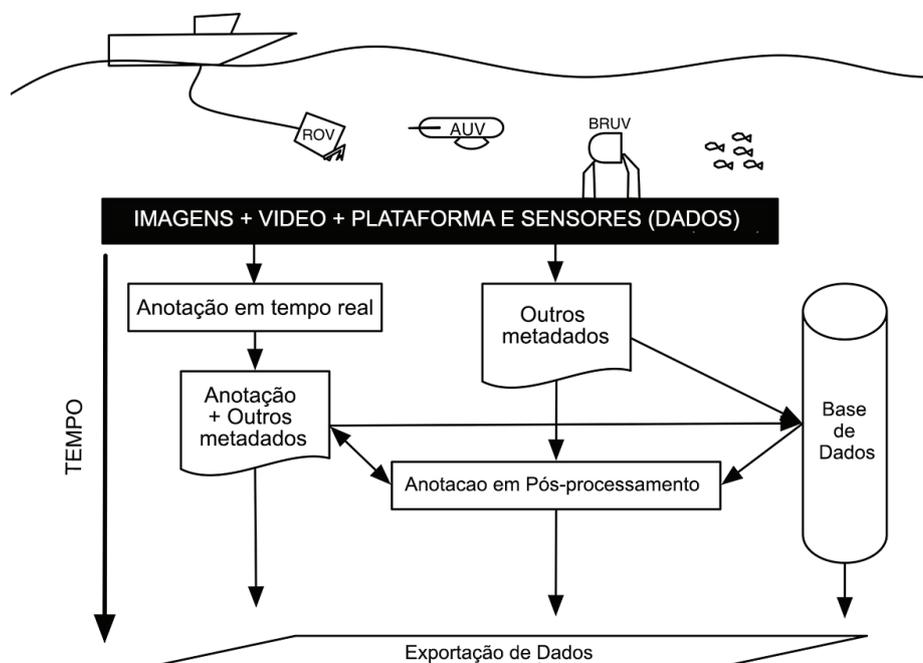
## 8.1

# ANOTAÇÃO DE IMAGENS SUBAQUÁTICAS

A identificação e avaliação do bom estado ambiental de Ecossistemas Marinhos Vulneráveis (EMVs) recorre com frequência ao vídeo ou a fotografias subaquáticas. Perante a crescente disponibilidade de dados de imagem decorrentes de atividades de exploração e monitorização, têm sido desenvolvidas ferramentas especializadas com interfaces gráficas adaptáveis à necessidade do utilizador que assistem na anotação, na análise e na indexação desta

informação. A anotação de imagem - processo de transposição de objetos ou eventos representados numa imagem de vídeo ou fotografia para o nível semântico - pode envolver interações humanas ou soluções assistidas por computador (Gomes-Pereira e Tempera, 2016).

O Software de Anotação de Imagens Subaquáticas (SAIS) que requer a intervenção humana é basicamente uma interface gráfica com leitor de vídeo ou, nalguns casos, um pesquisador de imagens que reconhece um código associado - temporal (data e hora) ou uma georeferenciação (latitude, longitude) - permitindo registar os eventos de forma sincronizada. Os SAIS diferem de software semelhante pela capacidade de integrarem dados associados à recolha do vídeo, sendo os dados mais simples as coordenadas do local onde se encontrava a plataforma de gravação. Os SAIS têm três características principais: anotar eventos em tempo real, em pós-processamento e interagir com uma base de dados. Os SAIS variam desde simples interfaces de anotação a sistemas completos de gestão de dados a bordo dos navios, com uma variedade de ferramentas. Alguns pacotes de software avançados permitem receber e apresentar dados de múltiplos sensores ou múltiplos anotadores via intranet ou internet. O software para pós-processamento manual inclui geralmente ferramentas para apresentação dos dados e análise de imagens (como comprimento, área, segmentação de imagem e atribuição aleatória de pontos) e, em alguns casos, a possibilidade de pesquisar e editar registos de mergulhos anteriores ou analisar os resultados da anotação. Os SAIS que permitem a interação com uma base de dados possibilitam a integração automática das anotações de diferentes amostragens. Permitem de igual modo a re-anotação e a anotação colaborativa de dados partilhados assim como a pesquisa dos dados.



**Fig. 24** - Fluxograma simplificado de trabalhos de amostragens subaquáticas com recurso a imagem, com destaque para: anotação em tempo real, anotação em pós-processamento e interação com base de dados. ROV, Remotely Operated Vehicle - Veículo de operação remota; AUV, Autonomous Underwater Vehicle - Veículo autónomo subaquático; BRUV, Baited Remote Underwater Video - Video remoto subaquático com isco

Os progressos no campo da anotação automática têm decorrido sobretudo no pós-processamento, com plataformas estáveis ou fotografias (imagens estáticas). A integração da anotação automática nos SAIS existentes está atualmente limitada a alguns pacotes específicos, através de processos semiautomáticos de reconhecimento de pontos e recorrendo a módulos de visão computacional, que agregam conhecimento de anotações anteriores feitas por especialistas ([Figura 24](#)).

A maioria dos SAIS foram desenvolvidos e lançados durante as duas últimas décadas dentro de institutos académicos e governamentais ou companhias privadas. São geralmente desenvolvidas para servir as necessidades de cada instituto. A sua utilidade para a comunidade científica e industrial tem levado alguns SAIS a ficarem disponíveis de forma gratuita ou por pagamento. Alguns exemplos incluem: ADELIE, ClassAct Mapper, COVER ou OFOP para anotação em tempo real, usados para imagens de Vídeos de Operação Remota, câmaras rebocadas ou suspensas ou observatórios marinhos; NICAMS, SeaScribe, OFOP, VARS e VirtualVan operam tanto em tempo real como em pós-processamento e interagem com uma base de dados. O CATAMI, EventMeasure, photoQuad, Squidle ou Video Navigator operam apenas em pós-processamento (exemplo: submersíveis, câmaras rebocadas ou suspensas, landers ou veículos autónomos), com o BIIGLE e o DIAS a operarem em pós-processamento e a interagirem com uma base de dados, mas não em tempo real. O CPCe, ImageJ, photoQuad e o Seascape são exclusivos para a anotação de imagens estáticas.

A obtenção de informação quantitativa para aferir o bom estado ambiental das espécies e habitats enquadra-se na anotação de imagem ou vídeo. As medidas mais frequentemente calculadas são a área e o comprimento das imagens e dos objetos (corais ou esponjas). Medições de tamanho requerem reconhecimento sobre área ou escala (p. ex. tamanho de um objeto conhecido, um sistema de laser de escala ou dados de altimetria). A quantificação requer conhecimento sobre a área e é facilitada com o uso de imagens obtidas de forma perpendicular a um fundo marinho plano. O conhecimento sobre a área e a escala são também pré-requisitos para vários dos algoritmos de classificação automatizada atual. De entre as diferentes técnicas utilizadas para análise de área, a análise de pontos aleatórios ou em grelha é já usada há várias décadas, sendo uma forma eficiente de estimar percentagens de cobertura e monitorizar áreas com grandes dimensões, estando disponíveis ferramentas para tal em diversos SAIS. As ferramentas de segmentação de imagem com base em algoritmos de segmentação e extração de descritores morfométricos avançados em 2D têm sido também desenvolvidos para assistir a anotação manual.

Existe uma questão permanente - qual é o melhor software de anotação de imagens subaquáticas? Não existe nenhum SAIS ideal, mas sim o SAIS que mais se adequa

à análise pretendida num determinado estudo. Ao escolher instalar e trabalhar com pacotes mais complexos, os primeiros aspetos a ter em consideração são o modo de operação (em tempo real ou pós-processamento), e os custos e esforço de implementação. Os custos das licenças comerciais variam entre 450€ e 2000€ (para vários anos). Existem vários pacotes de software sem fins lucrativos e alguns em código livre. Estes últimos não oferecem nenhum apoio oficial de programação. Por outro lado, pacotes comerciais, incluem apoio inicial e treino e, em alguns casos, configurações personalizadas para o cliente que permitem a integração de sensores, exportação de dados, entre outros, aumentando as capacidades do software e reduzindo a fase de implementação dos procedimentos de anotação. Do ponto de vista do utilizador, a existência de ferramentas adicionais deve ser considerada uma vez que estas dizem respeito a análises específicas que poderão ser de interesse. No caso da implementação do software num centro de pesquisa, deverão ser tidas em consideração a capacidade de interação deste com uma base de dados e com outros sistemas, e a possibilidade de o mesmo ainda estar a ser atualizado. O leque de ferramentas oferecido pelos diferentes pacotes deve ser comparado com base nestas características e nos objetivos de implementação de um SAIS no curto, médio e longo prazo.

## 8.2 TÉCNICAS MOLECULARES

A investigação em genética de populações de peixes tem contribuído fortemente para responder a questões relativas à origem das espécies, estrutura de populações, sistemas reprodutivos, diferenças genéticas entre populações, migrações, tamanho das populações, seleção natural e eventos históricos (Parker et al., 1998; Sunnucks, 2000). Estes estudos são importantes quando se visa a conservação de recursos naturais, essencialmente o papel desempenhado pelas variações ao nível do genoma em resposta às mudanças ambientais, nomeadamente de origem antropogénica.

Considerando as características biológicas dos peixes, a grande diversidade da ictiofauna e a importância da pesca em diversas regiões do mundo, a utilização destes marcadores genéticos pode ajudar os programas de conservação de recursos pesqueiros. A monitorização das variações genéticas nos recursos pesqueiros é necessária nos programas de conservação, a fim de evitar o declínio da variabilidade genética (Ward e Grewe, 1994). Neste contexto, surgiu a expressão biodiversidade, trazendo desde a sua origem a ideia do conjunto de variabilidade ecológica, representada pelo número de espécies de uma comunidade e as suas interações, e de variabilidade genética, onde se destaca a diversidade de alelos nos vários locos de uma espécie.

A biologia molecular tem sido a ferramenta escolhida para os estudos de genética de populações. Tem originado avanços importantes, gerando técnicas cada vez mais precisas para a análise de fragmentos de DNA. Os progressos incluem variados marcadores moleculares aplicáveis aos mais diversos problemas encontrados no estudo das populações. As análises estatísticas progrediram, permitindo tanto a estimativa do grau de variabilidade genética de uma dada população como a construção de árvores filogenéticas.

Os estudos moleculares para avaliar as variações genéticas nas diversas espécies tiveram início com o desenvolvimento da eletroforese, nos anos 50 (Parker et al., 1998). A sua base está na migração diferenciada de moléculas com cargas diferentes quando submetidas a um campo elétrico. As investigações neste campo fundamentam-se nas múltiplas formas moleculares (alélicas) da mesma enzima (isoenzimas) que ocorrem numa espécie e que desempenham, portanto, a mesma atividade catalítica, mas que podem ter diferentes propriedades cinéticas, inferindo que as diferenças apresentadas entre as isoenzimas são o resultado das diferenças nas sequências de DNA que as codificam.

Ao contrário de marcadores enzimáticos, o DNA pode ser extraído de tecidos fixados por tempo ilimitado e permite a visualização direta das variações ocorridas no genoma individual. Outra vantagem surgiu também com o uso da reação em cadeia da enzima polimerase (*Polymerase Chain Reaction* – PCR) permitindo a amplificação *in vitro* de ácidos nucleicos, resolvendo os problemas relacionados com a quantidade de DNA a ser utilizado nas reações em laboratório.

A concepção inicial da técnica da PCR foi de Kary Mullis e consiste, basicamente, na repetição *in vitro* dos ciclos de duplicação da cadeia de DNA. A reação em cadeia da polimerase possibilita a amplificação exponencial de segmentos de DNA pelo reconhecimento de sequências de DNA iniciadoras (*primers*). A técnica consiste em submeter um “mix” de “primers”, tampões, nucleotídeos, enzima polimerase e o DNA de interesse a intervalos de ciclos (p. ex. 35 ciclos) de variações de temperatura ótima para o emparelhamento dos primers (variando conforme a sequência e o tamanho do primer utilizado) e para a extensão do segmento a ser amplificado. Os produtos da amplificação podem ser visualizados diretamente em gel de agarose ou poliacrilamida.

Os estudos voltados para conservação de populações, espécies de importância económica ou em risco de extinção fornecem dados que constituem uma base essencial na tomada de medidas para a gestão de populações selvagens ou em cativeiro. A interligação das diferentes áreas de estudos populacionais, tais como biologia, ecologia e genética são uma tendência atual. Nesta última, o desenvolvimento de técnicas que possibilitam a deteção da evolução de diferentes genótipos enriqueceu a gama de ferramentas a utilizar para a identificação de indivíduos bem como a estimativa do grau de parentesco entre eles, a

delimitação de populações de interesse, grau de variabilidade das mesmas, bem como determinação do grau de similaridade entre populações e espécies, com a construção de árvores filogenéticas.

Com os conhecimentos adquiridos a partir da investigação dos diversos aspetos genéticos nos stocks de recursos pesqueiros, haverá maior facilidade em implementar normas de exploração dos mesmos com maior segurança. Tal permitirá propor ações de manutenção ou de recuperação de diversas espécies, assim como avaliar impactos de atividades antropogénicas (p. ex. a exploração excessiva de recursos naturais, a introdução de espécies exóticas e a existência de híbridos dentro de espécies protegidas).

O código de barras do DNA é um sistema concebido para tornar a identificação das espécies rápida e precisa. Um dos seus propósitos é tornar o sistema taxonómico de Lineu mais acessível, assegurando maior precisão e facilidade na identificação de espécies. O DNA Barcoding pode aumentar e subsidiar o conhecimento global da diversidade dos seres vivos (Hebert e Gregory, 2005). Para mais detalhes, consultar na série SOPHIA (Domingos et al., 2017).

**Agradecimentos:**

AC é financiada pelo Programa Investigador FCT (IF/00029/2014/CP1230/CT0002).

MC-S é financiada através de uma bolsa de cientista convidada da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do Programa Estratégico (FCT/UID/MAR/04292/2013) do MARE.

EG é financiada através do projeto DEMERSAIS financiado pelo Governo Regional dos Açores.

Os autores agradecem a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), através do projeto estratégico UID/MAR/04292/2013 concedido ao MARE.



# Referências

Althaus, F., Williams, A., Schlacher, T., Kloser, R., Green, M., Barker, B., Bax, N., Brodie, P., Hoenlinger-Schlacher, M. (2009). Impacts of bottom trawling on deep-coral ecosystems of seamounts are long-lasting. *Marine Ecology Progress Series*, 397, 279-294.

Amaro, T., Bianchelli, S., Billett, D.S.M., Cunha, M.R., Pusceddu, A., Danovaro, R. (2010). The trophic biology of the holothurian *Molpadia musculus*: implications for organic matter cycling and ecosystem functioning in a deep submarine canyon. *Biogeosciences* 7, 2419–2432. doi:10.5194/bg-7-2419-2010

Angel, M.V. (1984). Detrital Organic Fluxes Through Pelagic Ecosystems. In: Fasham, M.J.R. (ed.). *Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems: Theory and Practice*, Springer US, Boston, MA, 475–516. doi:10.1007/978-1-4757-0387-0\_19

Angel, M.V. (2003). The pelagic environment of the open ocean. In: Tyler, P. (ed.) *Ecosystems of the World. Ecosystems of the Deep Ocean*, Amsterdam.

Angel, M.V., Baker, A.C. (1982). Vertical Distribution of the Standing Crop of Plankton and Micronekton at Three Stations in the Northeast Atlantic. *Biological Oceanography*, 2, 1–30.

Barange, M., Field, J.G., Harris, R.P., Hofmann, E.E., Perry, R.I., Werner, F.E. (2010). *Change, Marine ecosystems and global*. Oxford, Oxford Univ. Press 412.

Barriga, F.J.A.S., Relvas, J.M.R.S., Santos, R.S., Pascoal, A. (2012). *Ciência e recursos minerais na última fronteira - Encontro Mar Português, Conhecimento, Valorização e Desenvolvimento*.

Basson, M., Gordon, J.D.M., Large, P., Lorance, P., Pope, J., Rackham, B. (2001). The effects of fishing on deep-water fish species to the West of Britain. *JNCC Report*.

Bell, J.J. (2008). The functional roles of marine sponges. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 79, 341–353. doi:10.1016/j.ecss.2008.05.002

Bensch, A., Gianni, M., Gréboval, D., Sanders, J., Hjort, A. (2008). Worldwide review of bottom fisheries in the high seas. *FAO Fish. Aquac. Tech. Pap.* 522.

Bergquist, P.R., Anderson, D.T. (1998). Porífera. Invertebrate Zoology. Oxford: Oxford University Press, 10–27.

Bett, B.J., Rice, A.L. (1992). The influence of hexactinellid sponge (*Pheronema carpenteri*) spicules on the patchy distribution of macrobenthos in the porcupine seabight (bathyal ne atlantic). *Ophelia*, 36, 217–226. doi:10.1080/00785326.1992.10430372

Bettencourt, R., Rodrigues, M., Barros, I., Cerqueira, T., Freitas, C., Costa, V., Pinheiro, M., Egas, C., Santos, R.S. (2014). Site-related differences in gene expression and bacterial densities in the mussel *Bathymodiolus azoricus* from the Menez Gwen and Lucky Strike deep-sea hydrothermal vent sites. *Fish Shellfish Immunol.*, 39, 343–353. doi:10.1016/j.fsi.2014.05.024

Beuck, L., and Freiwald, A. (2005) Bioerosion patterns in a deep-water *Lophelia pertusa* (Scleractinia) thicket (Propeller Mound, northern Porcupine Seabight). In: *Cold-Water Corals and Ecosystems*. Freiwald, A., and Roberts, J.M. (eds.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 915-936.

Braga-Henriques, A., Porteiro, F.M., Ribeiro, P.A., de Matos, V., Sampaio, Í., Ocaña, O., Santos, R.S. (2013). Diversity, distribution and spatial structure of the cold-water coral fauna of the Azores (NE Atlantic). *Biogeosciences* 10, 4009–4036. doi:10.5194/bg-10-4009-2013

Branch, T.A. (2001). A review of orange roughy *Hoplostethus atlanticus* fisheries, estimation methods, biology and stock structure. *South African J. Mar. Sci.*, 23, 181–203. doi:10.2989/025776101784529006

Canals, M., Puig, P., de Madron, X.D., Heussner, S., Palanques, A., Fabres, J. (2006). Flushing submarine canyons. *Nature*, 444, 354–357.

Clark, M. (1999). Fisheries for orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) on seamounts in New Zealand. *Oceanol. Acta*, 22, 593–602. doi:10.1016/S0399-1784(00)88950-1

Clark, M.R., Althaus, F., Schlacher, T.A., Williams, A., Bowden, D.A., Rowden, A.A., (2015). The impacts of deep-sea fisheries on benthic communities: a review. *ICES J. Mar. Sci. J. du Cons.* doi:10.1093/icesjms/fsv123

Clark, M.R., and Koslow, J.A. (2008) Impacts of Fisheries on Seamounts. In: *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*: Blackwell Publishing Ltd, 413-441. doi:10.1002/9780470691953.ch19

Clark, M.R., Rowden, A.A. (2009). Effect of deepwater trawling on the macro-invertebrate assemblages of seamounts on the Chatham Rise, New Zealand. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 56, 1540–1554. doi:10.1016/j.dsr.2009.04.015

Clark, M.R., Vinnichenko, V.I., Gordon, J.D.M., Beck-Bulat, G.Z., Kukharev, N.N., and Kakora, A.F. (2008) Large-Scale Distant-Water Trawl Fisheries on Seamounts. In: *Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation*: Blackwell Publishing Ltd, 361-399. doi:10.1002/9780470691953.ch17

Company, J.B., Puig, P., Sard, F., Palanques, A., Latasa, M., Scharek, R., 2008. Climate Influence on Deep Sea Populations. *PLoS One* 3, e1431.

Costello, M.J., McCrea, M., Freiwald, A., Lundalv, T., Jonsson, L., Bett, B.J., van Weering, T.C.E., de Hass, H., Roberts, M.J., Allen, D. (2005). Role of cold-water *Lophelia pertusa* coral reefs as fish habitat in the NE Atlantic. *Cold-water corals Ecosyst.*, 2nd Intern, 771–805.

Danovaro, R., Corinaldesi, C., Rastelli, E., Dell’Anno, A. (2015). Towards a better quantitative assessment of the relevance of deep-sea viruses, Bacteria and Archaea in the functioning of the ocean seafloor. *Aquat. Microb. Ecol.*, 75, 81–90.

Danovaro, R., Dell’Anno, A., Pusceddu, A., He, F., (2004). Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecology Letters*, 7(9), 821-828 doi:10.1111/j.1461-0248.2004.00634.x

Dayton, P.K., Kim, S., Jarrell, S.C., Oliver, J.S., Hammerstrom, K., Fisher, J.L., O’Connor, K., Barber, J.S., Robilliard, G., Barry, J., Thurber, A.R., Conlan, K. (2013). Recruitment, growth and mortality of an Antarctic hexactinellid sponge, *Anoxycalyx joubini*. *PLoS One* 8, e56939. doi:10.1371/journal.pone.0056939

De Leo, F.C., Smith, C.R., Rowden, A.A., Bowden, D.A., Clark, M.R. (2010). Submarine canyons: hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea. *Proc. Biol. Sci.*, 277, 2783–2792. doi:10.1098/rspb.2010.0462

Desbruyères, D., Almeida, A., Biscoito, M., Comtet, T., Khripounoff, A., Le Bris, N., Sarradin, P.M., Segonzac, M. (2000). A review of the distribution of hydrothermal vent communities along the northern Mid-Atlantic Ridge: dispersal vs. environmental controls. *Hydrobiologia*, 440, 201–216. doi:10.1023/A:1004175211848

Devine, J.A., Baker, K.D., Haedrich, R.L. (2006). Fisheries: Deep-sea fishes qualify as endangered. *Nature*, 439, 29.

Domingos I., Gameiro, C., Ferreira, A., Adão, H., Amorim, A., Brotas, V., Chainho, P., Costa, J.L., Gordo, L.S., Newton, A., Sousa, F., Teixeira, H., Vieira, A.R., Zilhão, R., Brito, A.C. (2017). *Ecosistemas da Plataforma Continental*. DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em [www.sophia-mar.pt](http://www.sophia-mar.pt)

Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A., Kleypas, J.A. (2009). Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 1, 169–192. doi:10.1146/annurev.marine.010908.163834

Druffel, E.R.M., Williams, P.M., Bauer, J.E., Ertel, J.R. (1992). Cycling of dissolved and particulate organic matter in the open ocean. *J. Geophys. Res.*, 97, 15639. doi:10.1029/92JC01511

Dubilier, N., Bergin, C., Lott, C. (2008) Symbiotic diversity in marine animals: the art of harnessing chemosynthesis, *Nature Reviews Microbiology*, 6, 725-740 doi:10.1038/nrmicro1992

Fallon, S.J., James, K., Norman, R., Kelly, M., Ellwood, M.J. (2010). A simple radiocarbon dating method for determining the age and growth rate of deep-sea sponges. *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, 268, 1241–1243. doi:10.1016/j.nimb.2009.10.143

Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J., Millero, F.J. (2004). Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science*, 305, 362–366. doi:10.1126/science.1097329

Fenton, G.E., Short, S.A., Ritz, D.A. (1991). Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Pisces: Trachichthyidae) using <sup>210</sup>Pb:<sup>226</sup>Ra disequilibria. *Mar. Biol.*, 109, 197–202. doi:10.1007/BF01319387

Francis, C.R.I.C., Horn, L.P. (1997). Transition zone in otoliths of orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) and its relationship to the onset of maturity. *Mar. Biol.*, 129, 681–687. doi:10.1007/s002270050211

Freese, J.L. (2001). Trawl-induced Damage to Sponges Observed From a Research Submersible. *Marine Fisheries Review*, 63(3), 7-13.

Gage, J.D., Tyler, P.A. (1991). *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*, Cambridge University Press, Cambridge.

Galand, P.E., Potvin, M., Casamayor, E.O., Lovejoy, C. (2010). Hydrography shapes bacterial biogeography of the deep Arctic Ocean. *ISME J.* 4, 564–576. doi:10.1038/ismej.2009.134

Gehlen, M., Séférian, R., Jones, D.O.B., Roy, T., Roth, R., Barry, J., Bopp, L., Doney, S.C., Dunne, J.P., Heinze, C., Joos, F., Orr, J.C., Resplandy, L., Segschneider, J., Tjiputra, J. (2014). Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk. *Biogeosciences*, 11, 6955–6967. doi:10.5194/bg-11-6955-2014

Giacomello, A., Menezes, G., Bergstad, O.A. (2013). An integrated approach for studying seamounts: CONDOR observatory. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 98, A, 1-6.

Gibson, R., Atkinson, R., Gordon, J. (2005). Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanogr. Mar. Biol. an Annu. Rev.*, 43, 1–46.

Gilly, W.F., Beman, J.M., Litvin, S.Y., Robison, B.H. (2013). Oceanographic and biological effects of shoaling of the oxygen minimum zone. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 5, 393–420. doi:10.1146/annurev-marine-120710-100849

Gomes-Pereira, J.N., Tempera, F. (2016). Hydroid gardens of *Nemertesia ramosa* (Lamarck, 1816) in the central North Atlantic. *Mar. Biodivers.*, 46, 85–94. doi:10.1007/s12526-015-0325-9

Gordon, J.D.M., Bergstad, O.A., Figueiredo, I., Menezes, G. (2003). Deep-water Fisheries in the Northeast Atlantic: I Description and current trends. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.*, 31, 137–150.

Gori, A., Ferrier-Pages, C., Hennige, S.J., Murray, F., Rottier, C., Wicks, L.C., Roberts, J.M. (2016). Physiological response of the cold-water coral *Desmophyllum dianthus* to thermal stress and ocean acidification. *PeerJ*, 4, e1606. doi:10.7717/peerj.1606

Gubbay, S. (2003). *Seamounts of the North-East Atlantic*. 1st ed. WWF Germany, Frankfurt am Main.

Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L., deWaard, J.R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. Biol. Sci.*, 270, 313–321. doi:10.1098/rspb.2002.2218

Hebert, P.D.N., Gregory, T.R. (2005). The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Syst. Biol.*, 54, 852–859. doi:10.1080/10635150500354886

Heifetz, J., Stone, R.P., Shotwell, S.K. (2009). Damage and disturbance to coral and sponge habitat of the Aleutian Archipelago. *Mar. Ecol. Prog.*, 397, 295–303.

Henrich, R., Hartmann, M., Reitner, J., Schäfer, P., Freiwald, A., Steinmetz, S., Dietrich, P.,

Thiede, J. (1992). Facies belts and communities of the arctic Vesterisbanken Seamount (Central Greenland Sea). *Facies*, 27, 71–103. doi:10.1007/BF02536805

Herring, P. (2002). *The biology of the deep ocean*. Oxford University Press, Oxford.

Hoffmann, M., Hilton-Taylor, C., Angulo, A., Bohm, M., Brooks, T.M., Butchart, S.H.M., Carpenter, K.E., Chanson, J., Collen, B., Cox, N.A., Darwall, W.R.T., Dulvy, N.K., Harrison, L.R., Katariya, V., Pollock, C.M., Quader, S., Richman, N.I., Rodrigues, A.S.L., Tognelli, M.F., Vie, J.-C., Aguiar, J.M., Allen, D.J., Allen, G.R., Amori, G., Ananjeva, N.B., Andreone, F., Andrew, P., Aquino Ortiz, A.L., Baillie, J.E.M., Baldi, R., Bell, B.D., Biju, S.D., Bird, J.P., Black-Decima, P., Blanc, J.J., Bolanos, F., Bolivar-G, W., Burfield, I.J., Burton, J.A., Capper, D.R., Castro, F., Catullo, G., Cavanagh, R.D., Channing, A., Chao, N.L., Chenery, A.M., Chiozza, F., Clausnitzer, V., Collar, N.J., Collett, L.C., Collette, B.B., Cortez Fernandez, C.F., Craig, M.T., Crosby, M.J., Cumberlidge, N., Cuttelod, A., Derocher, A.E., Diesmos, A.C., Donaldson, J.S., Duckworth, J.W., Dutson, G., Dutta, S.K., Emslie, R.H., Farjon, A., Fowler, S., Freyhof, J., Garshelis, D.L., Gerlach, J., Gower, D.J., Grant, T.D., Hammerson, G.A., Harris, R.B., Heaney, L.R., Hedges, S.B., Hero, J.-M., Hughes, B., Hussain, S.A., Icochea M, J., Inger, R.F., Ishii, N., Iskandar, D.T., Jenkins, R.K.B., Kaneko, Y., Kottelat, M., Kovacs, K.M., Kuzmin, S.L., La Marca, E., Lamoreux, J.F., Lau, M.W.N., Lavilla, E.O., Leus, K., Lewison, R.L., Lichtenstein, G., Livingstone, S.R., Lukoschek, V., Mallon, D.P., McGowan, P.J.K., McIvor, A., Moehlan, P.D., Molur, S., Munoz Alonso, A., Musick, J.A., Nowell, K., Nussbaum, R.A., Olech, W., Orlov, N.L., Papenfuss, T.J., Parra-Olea, G., Perrin, W.F., Polidoro, B.A., Pourkazemi, M., Racey, P.A., Ragle, J.S., Ram, M., Rathbun, G., Reynolds, R.P., Rhodin, A.G.J., Richards, S.J., Rodriguez, L.O., Ron, S.R., Rondinini, C., Rylands, A.B., Sadovy de Mitcheson, Y., Sanciangco, J.C., Sanders, K.L., Santos-Barrera, G., Schipper, J., Self-Sullivan, C., Shi, Y., Shoemaker, A., Short, F.T., Sillero-Zubiri, C., Silvano, D.L., Smith, K.G., Smith, A.T., Snoeks, J., Stattersfield, A.J., Symes, A.J., Taber, A.B., Talukdar, B.K., Temple, H.J., Timmins, R., Tobias, J.A., Tsytsulina, K., Tweddle, D., Ubeda, C., Valenti, S. V, van Dijk, P.P., Veiga, L.M., Veloso, A., Wege, D.C., Wilkinson, M., Williamson, E.A., Xie, F., Young, B.E., Akcakaya, H.R., Bennun, L., Blackburn, T.M., Boitani, L., Dublin, H.T., da Fonseca, G.A.B., Gascon, C., Lacher, T.E.J., Mace, G.M., Mainka, S.A., McNeely, J.A., Mittermeier, R.A., Reid, G.M., Rodriguez, J.P., Rosenberg, A.A., Samways, M.J., Smart, J., Stein, B.A., Stuart, S.N. (2010). The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *Science*, 330, 1503–1509. doi:10.1126/science.1194442

Horn, L.P., Tracey, M.D., Clark, R.M. (1998). Between-area differences in age and length at first maturity of the orange roughy *Hoplostethus atlanticus*. *Mar. Biol.*, 132, 187–194. doi:10.1007/s002270050385

Hoste, E., Vanhove, S., Schewe, I., Soltwedel, T., Vanreusel, A. (2007). Spatial and temporal variations in deep-sea meiofauna assemblages in the Marginal Ice Zone of the Arctic Ocean. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 54, 109–129. doi:10.1016/j.dsr.2006.09.007

- Jones, D.O.B., Yool, A., Wei, C.-L., Henson, S.A., Ruhl, H.A., Watson, R.A., Gehlen, M. (2014). Global reductions in seafloor biomass in response to climate change. *Glob. Chang. Biol.*, 20, 1861–1872. doi:10.1111/gcb.12480
- Keeling, R.E., Kortzinger, A., Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 2, 199–229. doi:10.1146/annurev.marine.010908.163855
- Kenchington, E., Power, D., Koen, M. (2010). Associations of Demersal Fish with Sponge Grounds in the Northwest Atlantic Fisheries Organization Regulatory Area and Adjacent Canadian Waters. Fisheries and Oceans Canada.
- Koslow, J. (2000). Continental slope and deep-sea fisheries: implications for a fragile ecosystem. *ICES J. Mar. Sci.*, 57, 548–557. doi:10.1006/jmsc.2000.0722
- Koslow, J.A. (1997). Seamounts and the ecology of deep-sea fisheries. *Am. Sci.*, 85, 168–176.
- Koslow, J.A., Gowlett-Holmes, K., Lowry, J.K., O'Hara, T., Poore, G.C.B., Williams, A. (2001). Seamount benthic macrofauna off southern Tasmania: community structure and impacts of trawling. *Mar. Ecol. Ser.*, 213, 111–125. doi:10.3354/meps213111
- Lacharité, M., Metaxas, A. (2013). Early Life History of Deep-Water Gorgonian Corals May Limit Their Abundance. *PLoS One* 8, e65394.
- Lampitt, R.S., Billett, D.S.M., Rice, A.L. (1986). Biomass of the invertebrate megabenthos from 500 to 4100 m in the northeast Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, 93, 69–81. doi:10.1007/BF00428656
- Leary, D., Vierros, M., Hamon, G., Arico, S., Monagle, C. (2009). Marine genetic resources: A review of scientific and commercial interest, *Marine Policy*, 33(2), 183–194. doi: 10.1016/j.marpol.2008.05.010.
- Levin, L.A., Le Bris, N. (2015). The deep ocean under climate change. *Science* 350, 766–768. doi:10.1126/science.aad0126
- Magnan, A., Billé, R., Cooley, S.R., Kelly, R., Portner, H.O., Turley, C.M., Gattuso, J.P. (2015). Intertwined ocean and climate: implications for international climate negotiations. Policy Brief No. 4/15 (IDDRI, 2015), Paris.
- Maloof, A.C., Rose, C.V., Beach, R., Samuels, B.M., Calmet, C.C., Erwin, D.H., Poirier, G.R., Yao, N., Simons, F.J. (2010). Possible animal-body fossils in pre-Marinoan limestones from South Australia. *Nat. Geosci.*, 3, 653–659.

Masson, D.G., Tyler, P.A. (2011). The geology, geochemistry and biology of submarine canyons west of Portugal: Introductory remarks. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 58, 2317–2320. doi:10.1016/j.dsr2.2011.08.008

Materatski, P., Vafeiadou, A.M., Moens, T., Adão, H. (2016). Benthic nematode assemblage composition and diversity during a natural recovery process of *Zostera noltii* seagrass beds, *Estuaries & Coasts*, 1559–2731.

McCulloch, M., Trotter, J., Montagna, P., Falter, J., Dunbar, R., Freiwald, A., Försterra, G., López Correa, M., Maier, C., Rüggeberg, A., Taviani, M. (2012). Resilience of cold-water scleractinian corals to ocean acidification: Boron isotopic systematics of pH and saturation state up-regulation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 87, 21–34. doi:10.1016/j.gca.2012.03.027

Menezes, G.M., Giacomello, E. High Seas Deep-sea Fisheries under the Global Changing Trends. *Marine Pollution and Climate Change*, A. H. Arias & J. E. Marcovecchio, S.P, CRC Press/ Taylor & Francis. In press.

Merrett, N.R., Haedrich, R.L. (1997). *Deep-sea demersal fish and fisheries*. Chapman & Hall, London.

Mora, C., Wei, C.-L., Rollo, A., Amaro, T., Baco, A.R., Billett, D., Bopp, L., Chen, Q., Collier, M., Danovaro, R., Gooday, A.J., Grupe, B.M., Halloran, P.R., Ingels, J., Jones, D.O.B., Levin, L.A., Nakano, H., Norling, K., Ramirez-Llodra, E., Rex, M., Ruhl, H.A., Smith, C.R., Sweetman, A.K., Thurber, A.R., Tjiputra, J.F., Usseglio, P., Watling, L., Wu, T., Yasuhara, M. (2013). Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *PLoS Biol.*, 11, e1001682. doi:10.1371/journal.pbio.1001682

Moran, M. (2000). Effects of otter trawling on macrobenthos and management of demersal scalefish fisheries on the continental shelf of north-western Australia. *ICES J. Mar. Sci.*, 57, 510–516. doi:10.1006/jmsc.2000.0718

Morato, T., Watson, R., Pitcher, T.J., Pauly, D. (2006). Fishing down the deep. *Fish Fish.*, 7, 24–34. doi:10.1111/j.1467-2979.2006.00205.x

Morato, T., Machete, M., Kitchingman, A., Tempera, F., Lai, S., Menezes, G., Pitcher, T., Santos, R. (2008). Abundance and distribution of seamounts in the Azores. *Marine Ecology Progress Series*, 357, 17–21. doi: 10.3354/meps07268.

Morgan, L.E., Norse, E.A., Rogers, A.D., Haedrich, R.L., Maxwell, S.M. (2005). Why the world need a time-out on high-seas bottom trawling. *Deep Sea Conserv. Coalit.*, 1–14.

Mortensen, P.B., Buhl-Mortensen, L., Gebruk, A.V., Krylova, E.M. (2008). Occurrence of deep-water corals on the Mid-Atlantic Ridge based on MAR-ECO data. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 55, 142–152. doi:10.1016/j.dsr2.2007.09.018

Muiños, S.B., Hein, J.R., Frank, M., Monteiro, J.H., Gaspar, L., Conrad, T., Pereira, H.G., Abrantes, F. (2013). Deep-sea Fe-Mn Crusts from the Northeast Atlantic Ocean: Composition and Resource Considerations. *Mar. Georesources Geotechnol.*, 31, 40–70. doi:10.1080/1064119X.2012.661215

Neat, F.C., Burns, F., Jones, E., Blasdale, T. (2015). The diversity, distribution and status of deep-water elasmobranchs in the Rockall Trough, north-east Atlantic Ocean. *J. Fish Biol.*, 87, 1469–1488. doi:10.1111/jfb.12822

Norse, E.A., Brooke, S., Cheung, W.W.L., Clark, M.R., Ekeland, I., Froese, R., Gjerde, K.M., Haedrich, R.L., Heppell, S.S., Morato, T., Morgan, L.E., Pauly, D., Sumaila, R., Watson, R. (2012). Sustainability of deep-sea fisheries. *Mar. Policy*, 36, 307–320. doi:10.1016/j.marpol.2011.06.008

Nybakken, J.W. (1993). *Marine biology: an ecological approach*. HarperCollins College Publishers, New York.

OSPAR (2010). Background document for Deep-sea sponge aggregations. OSPAR Commission, 2010. Publication number: 485.

OSPAR (2009). OSPAR - Background Document for *Lophelia pertusa* reefs. OSPAR Commission, 2009. Publication number: 423.

OSPAR (2008). Case Reports for the OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. OSPAR Commission, 2008. Publication number: 358.

Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (2014). IPCC (2014) Climate Change. Geneva.

Parker, P.G., Snow, A.A., Schug, M.D., Booton, G.C., Fuerst, P.A. (1998). What molecules can tell us about populations; choosing and using a molecular marker. *Ecology*, 79, 361–382. doi:10.1890/0012-9658(1998)079[0361:WMCTUA]2.0.CO;2

Pereira, R.S.M. (2013). Caracterização das megasponjas do batial superior dos Açores. Dissertação de Mestrado, Universidade dos Açores, Horta.

Pham, C.K., Diogo, H., Menezes, G., Porteiro, F., Braga-Henriques, A., Vandeperre, F., Morato, T. (2014). Deep-water longline fishing has reduced impact on Vulnerable Marine Ecosystems. *Sci. Rep.*, 4, 4837.

Pham, C.K., Vandeperre, F., Menezes, G., Porteiro, F., Isidro, E., Morato, T. (2015). The importance of deep-sea vulnerable marine ecosystems for demersal fish in the Azores. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 96, 80–88. doi:10.1016/j.dsr.2014.11.004

Pile, A.J., Young, C.M. (2006). The natural diet of a hexactinellid sponge: Benthic–pelagic coupling in a deep-sea microbial food web. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 53, 1148–1156. doi:10.1016/j.dsr.2006.03.008

Pinto de Abreu, M., Calado, A., Campos, A., Coelho, P., Conceição, P., Costa, R., Dias, F., Lourenço, N., Martins, M. (2012). Extensão da Plataforma Continental, o Projecto de Portugal – Primeiros Seis Anos de Missão. Associação Fórum Empresarial da Economia do Mar, Empresa Pública de Urbanização de Lisboa, Lisboa.

Pitcher, T.J., M.R. Clark, Morato, T., Watson, R. (2010). Seamount fisheries: Do they have a future? *Oceanography* 23, 134–144. dx.doi.org/10.5670/oceanog.2010.66

Pitcher, T.J. (2010). Eight major target species in world seamount fisheries. *Oceanography*, 23, 130–131.

Priede, I.G., Bergstad, O.A., Miller, P.I., Vecchione, M., Gebruk, A., Falkenhaus, T., Billett, D.S.M., Craig, J., Dale, A.C., Shields, M.A., Tilstone, G.H., Sutton, T.T., Gooday, A.J., Inall, M.E., Jones, D.O.B., Martinez-Vicente, V., Menezes, G.M., Niedzielski, T., Sigurðsson, Þ., Rothe, N., Rogacheva, A., Alt, C.H.S., Brand, T., Abell, R., Brierley, A.S., Cousins, N.J., Crockard, D., Hoelzel, A.R., Høines, Å., Letessier, T.B., Read, J.F., Shimmield, T., Cox, M.J., Galbraith, J.K., Gordon, J.D.M., Horton, T., Neat, F., Lorange, P. (2013). Does presence of a mid-ocean ridge enhance biomass and biodiversity? *PLoS One* 8, e61550. doi:10.1371/journal.pone.0061550

Purkey, S.G., Johnson, G.C. (2010). Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets. *J. Clim.*, 23, 6336–6351. doi:10.1175/2010JCLI3682.1

Radax, R., Hoffmann, F., Rapp, H.T., Leininger, S., Schleper, C. (2012). Ammonia-oxidizing archaea as main drivers of nitrification in cold-water sponges. *Environ. Microbiol.*, 14, 909–923. doi:10.1111/j.1462-2920.2011.02661.x

Ramalho, S.P., Adão, H., Kiriakoulakis, K., Wolff, G.A., Vanreusel, A., Ingels, J. (2014). Temporal and spatial variation in the Nazaré Canyon (Western Iberian margin): Inter-annual and canyon heterogeneity effects on meiofauna biomass and diversity. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 83, 102–114. doi:10.1016/j.dsr.2013.09.010

Ramirez-Llodra, E., Tyler, P.A., Baker, M.C., Bergstad, O.A., Clark, M.R., Escobar, E., Levin, L.A., Menot, L., Rowden, A.A., Smith, C.R., Van Dover, C.L. (2011). Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea., *PLoS One* 6, e22588.

Ramirez-Llodra, E., Shank, T.M., German, C.R. (2007). Biodiversity and biogeography of hydrothermal vent species: Thirty years of discovery and investigations. *Oceanography* 20:30–41. doi: 10.5670/oceanog.2007.78.

- Randall, D., Farrell, A. (1997). *Deep-sea fishes*. 1st ed. Academic Press, San Diego.
- Rex, M.A., Etter, R.J. (2010). *Deep-Sea Biodiversity, Pattern & Scale*. Harvard Univ. Press., 354.
- Rex, M.A., Etter, R.J., Stuart, C.T. (1997). Large-scale patterns of species diversity in the deepsea benthos. *Mar. Biodiversity Patterns Process.*, 94.
- Roark, E.B., Guilderson, T.P., Dunbar, R.B., Fallon, S.J., Mucciarone, D.A. (2009). Extreme longevity in proteinaceous deep-sea corals. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 106, 5204–5208. doi:10.1073/pnas.0810875106
- Roark, E.B., Guilderson, T.P., Dunbar, R.B., Ingram, B.L. (2006). *Radiocarbon Based Ages and Growth Rates: Hawaiian Deep Sea Corals*. 1st ed. Washington, D.C: United States. Dept. of Energy.
- Roberts, C. (2002). Deep impact: the rising toll of fishing in the deep sea. *Trends Ecol. Evol.*, 17, 242–245. doi:10.1016/S0169-5347(02)02492-8
- Roberts, C.M. (2007). *The unnatural history of the sea*. 1st ed. Island Press/Shearwater Books, Washington.
- Roberts, J.M., Cairns, S.D. (2014). Cold-water corals in a changing ocean. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 7, 118–126. doi:10.1016/j.cosust.2014.01.004
- Roberts, J.M., Wheeler, A.J., Freiwald, A., Cairns, S.D. (2009). *Cold-water corals: the biology and geology of deep-sea coral habitats*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rogers, A.D. (2015). Environmental Change in the Deep Ocean. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 40, 1–38. doi:10.1146/annurev-environ-102014-021415
- Rogers, A. (1994). The Biology of Seamounts. *Advances in Marine Biology*, 305-350. doi:10.1016/S0065-2881(08)60065-6
- Rogers, A.D., Gianni, M. (2010). *The Implementation of UNGA Resolutions 61/105 and 64/72 in the Management of Deep-Sea Fisheries on the High Seas*. Report prepared for the Deep-Sea Conservation Coalition. International Programme on the State of the Ocean, London, United Kingdom.
- Sanders, H.L. (1968). Marine Benthic Diversity: A Comparative Study. *Am. Nat.*, 102, 243–282. doi:10.1086/282541

Shank, T. (2010). Seamounts: Deep-ocean laboratories of Faunal Connectivity, evolution, and Endemism, *Oceanography*, 23(01), 108–122. doi: 10.5670/oceanog.2010.65

Shepard, F.P., Milliman, J.D. (1978). Sea-floor currents on the foreset slope of the Fraser River Delta, British Columbia (Canada). *Mar. Geol.*, 28, 245–251. doi:10.1016/0025-3227(78)90020-8

Simpfendorfer, C.A., Kyne, P.M. (2009). Limited potential to recover from overfishing raises concerns for deep-sea sharks, rays and chimaeras. *Environ. Conserv.*, 36, 97–103.

Smith, C.R., Demopoulos, A.W.J. (2003). Ecology of the deep Pacific Ocean floor. *Ecosyst. World*, 28, 179 – 218.

Smith, C.R., Grange, L.J., Honig, D.L., Naudts, L., Huber, B., Guidi, L., Domack, E. (2012). A large population of king crabs in Palmer Deep on the west Antarctic Peninsula shelf and potential invasive impacts. *Proc. Biol. Sci.*, 279, 1017–1026. doi:10.1098/rspb.2011.1496

Smith, T., Hughes, J.A. (2008). A review of indicators and identification of gaps: Deep-sea habitats. National Oceanography Centre, Southampton.

Solem, I. (1997). Analysis of Microbial Diversity in Cold Seep Sediments by 16S rDNA-based Denaturing Gradient Gel Electrophoresis. MBARI, Monterey Bay.

SPC (2013). Deep Sea Minerals: Manganese Nodules, a physical, biological, environmental, and technical review. Baker, E., and Beaudoin, Y. (Eds.) Vol. 1B, Secretariat of the Pacific Community.

St Laurent, L.C., Thurnherr, A.M. (2007). Intense mixing of lower thermocline water on the crest of the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 448, 680–683.

Stramma, L., Schmidtko, S., Levin, L.A., Johnson, G.C. (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 57, 587–595. doi:10.1016/j.dsr.2010.01.005

Sumaila, U.R., Lam, V.W.Y., Miller, D.D., Teh, L., Watson, R.A., Zeller, D., Cheung, W.W.L., Côté, I.M., Rogers, A.D., Roberts, C., Sala, E., Pauly, D. (2015). Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Sci. Rep.*, 5, 8481.

Sunnucks (2000). Efficient genetic markers for population biology. *Trends Ecol. Evol.*, 15, 199–203.

Sutcliffe, A., Brito, A.C., Sá, C., Sousa, F., Boutov, D., Brotas, V. (2016). Observação da Terra: uso de imagens de temperatura da superfície do mar e cor do oceano para a monitorização de águas costeiras e oceânicas. DGRM, Lisboa. E-book disponível em [www.sophia-mar.pt](http://www.sophia-mar.pt).

Sverdrup, H.U., Johnson, M.W., Fleming, R.H. (1942). *Physics, The Oceans: Their chemistry, and general biology*. Prentice-Hall, New York.

Tempera, F., Atchoi, E., Amorim, P., Gomes-Pereira, J., Gonçalves, J. (2013). Atlantic Area Marine Habitats. Adding new Macaronesian habitat types from the Azores to the EUNIS Habitat Classification. Technical Report No. 4/2013 - MeshAtlantic, IMAR/DOP-UAç, Horta.

Tempera, F., Giacomello, E., Mitchell, N., Campos, A.S., Braga, H.A., Martins, A., Bashmachnikov, I., Morato, T., Colaço, A., Porteiro, F.M., Catarino, D., Gonçalves, J., Pinho, M.R., Isidro, E.J., Santos, R.S., Menezes, G. (2012). Mapping the Condor seamount seafloor environment and associated biological assemblages (Azores, NE Atlantic). *Seafloor Geomorphol. as Benthic Habitat Geohab Atl*, 807–818.

Thiem, Ø., Ravagnan, E., Fosså, J.H., Berntsen, J. (2006). Food supply mechanisms for cold-water corals along a continental shelf edge. *J. Mar. Syst.*, 60, 207–219. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.12.004

Thurber, A.R., Sweetman, A.K., Narayanaswamy, B.E., Jones, D.O.B., Ingels, J., Hansman, R.L. (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, 11, 3941–3963. doi:10.5194/bg-11-3941-2014

Tyler, P., Amaro, T., Arzola, R., Cunha, M.R., de Stigter, H., Gooday, A.J., Huvenne, V., Ingels, J., Kiriakoulakis, K., Lastras, G., Masson, D., Oliveira, A., Pattenden, A., Vanreusel, A., van Weering, T., Vitorino, J., Witte, U., Wolff, G. (2009). Europe's Grand Canyon: Nazare submarine canyon. *Oceanography*, 22, 48–57.

Vafeiadou, A.-M., Materatski, P., Adão, H., De Troch, M., Moens, T. (2014). Resource utilization and trophic position of nematodes and harpacticoid copepods in and adjacent to *Zostera noltii* beds. *Biogeosciences*, 11, 4001–4014. doi:10.5194/bg-11-4001-2014

Van Dover, C.L. (2014). Impacts of anthropogenic disturbances at deep-sea hydrothermal vent ecosystems: a review. *Mar. Environ. Res.*, 102, 59–72. doi:10.1016/j.marenvres.2014.03.008

Van Dover, C.L. (2002). Community structure of mussel beds at deep-sea hydrothermal Vents. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 137–158.

Van Dover, C.L. (2000). *The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents*. 1st ed. Princeton University Press, Princeton.

Vincx, M., Bett, B.J., Dinert, A., Ferrero, T., Gooday, A.J., Lamshead, P.J.D., Pfannkuche, O., Soltwedel, T., Vanreusel, A. (1994). Meiobenthos of the deep northeast Atlantic. *Advances in Marine Biology*, 30, 1–88.

Waller, R., Watling, L., Auster, P., Shank, T. (2007). Anthropogenic impacts on the Corner Rise seamounts, north-west Atlantic Ocean. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 87, 1075–1076. doi:10.1017/S0025315407057785

Ward, R.D., Grewe, P.M. (1994). Appraisal of molecular genetic techniques in fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 4, 300–325. doi:10.1007/BF00042907

Wassenberg, T., Dews, G., Cook, S.. (2002). The impact of fish trawls on megabenthos (sponges) on the north-west shelf of Australia. *Fish. Res.*, 58, 141–151. doi:10.1016/S0165-7836(01)00382-4

Watling, L., Haedrich, R., Devine, J., Drazen, J., Dunn, M., Gianni, M., Baker, K., Cailliet, G., Figueiredo, I., Kyne, P., Menezes, G., Neat, F., Orlov, A., Duran, P., Perez, J., Ardon, J., Bezaury, J., Revenga, C., Nouvian, C. (2011). Can ecosystem-based deep-sea fishing be sustained? Report of a workshop held 31 August-3 September 2010. Walpole, ME: University of Maine, Darling Marine Center. Darling Marine Center Special Publication 11-1.

Weatherly, G.L., Kelley, E.A. Jr. (1985). HEBBLE site abyssal flows: storms and reversals. *Mar. Geol.*, 66, 205–218.

Watling, L., Guinotte, J., Clark, M.R., Smith, C.R. (2013). A proposed biogeography of the deep ocean floor. *Progr. Oceanog.* 111: 91-112. doi: 10.1016/j.pocean.2012.11.003.

Weaver, P.P.E., Benn, A., Arana, P.M., Ardron, J.A., Bailey, D.M., Baker, K., Billett, D.S.M., Clark, M.R., Davies, A.J., Durán Muñoz, P., Fuller, S.D., Gianni, M., Grehan, A.J., Guinotte, J., Kenny, A., Koslow, J.A., Morato, T., Penney, A.J., Perez, J.A.A., Priede, I.G., Rogers, A.D., Santos, R.S., Watling, L. (2011). The impact of deep-sea fisheries and implementation of the UNGA Resolutions 61/105 and 64/72.

Wessel, P., Sandwell, D. and Kim, S.-S. (2010). The global Seamount census. *Oceanography*, 23(01), 24–33. doi: 10.5670/oceanog.2010.60.

Williams, A., Schlacher, T.A., Rowden, A.A., Althaus, F., Clark, M.R., Bowden, D.A., Stewart, R., Bax, N.J., Consalvey, M., Kloser, R.J. (2010). Seamount megabenthic assemblages fail to recover from trawling impacts. *Mar. Ecol.*, 31, 183–199. doi:10.1111/j.1439-0485.2010.00385.x

Würtz, M. (2012). *Mediterranean Submarine Canyons: Ecology and Governance.*, IUCN, Gland, Switzerland and Málaga.

Yahel, G., Whitney, F., Reiswig, H.M., Eerkes-Medrano, D.I., Leys, S.P. (2007). In situ feeding and metabolism of glass sponges (Hexactinellida, Porifera) studied in a deep temperate fjord with a remotely operated submersible. *Limnol. Oceanogr.*, 52, 428–440. doi:10.4319/lo.2007.52.1.0428

#### Promotores e Parceiros



#### Financiamento



#### Entidades Participantes



#### Apoios e Colaborações





CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO