

# NAS PROFUNDEZAS DOS OCEANOS

*O oceano – o maior e mais inexplorado território da Terra – sempre mexeu com o imaginário do homem. Embora por debaixo de tanta água haja muito a ser descoberto, os cientistas são unânimes: uma das maiores biodiversidades do mundo está nas profundezas dos oceanos.*

TÁSSIA BIAZON\*  
Bióloga

---

## SUMÁRIO

Introdução  
Pesquisa  
Exploração  
Biodiversidade  
Impactos

## INTRODUÇÃO

As enormes pressões – aumento de 1 atmosfera (atm) a cada 10 metros – e o expressivo tamanho – mais de 360 milhões de km<sup>2</sup> de extensão e 1 bilhão de km<sup>3</sup> de volume – são os principais desafios que os cientistas enfrentam para estudar o mar profundo, também denominado oceano profundo, que se inicia a partir da quebra da plataforma continental, no chamado ta-

lude continental, e se estende nas planícies abissais. Embora o mar profundo não seja contínuo, tem uma profundidade média de 4 mil metros; a partir dos mil metros a escuridão é total, abaixo dos 2 mil metros a temperatura é constante em 4°C e a salinidade é em torno de 34,7. “Um enorme sistema tridimensional. Sem dúvida, o menos conhecido de todos. E muitos cientistas chegam à conclusão que nunca haverá a sua compreensão completa”, afirma o professor

---

\* Graduada pela Universidade Estadual Paulista (Unesp) e pela Universidade de Coimbra (Portugal) e pós-graduada na área de Jornalismo Científico pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente, desenvolve projeto de divulgação científica junto ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (USP).

José Angel Alvarez Perez, do Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar (CTTMar) da Universidade do Vale do Itajaí (Univali), em Itajaí, Santa Catarina.

Embora os cientistas já tenham explorado regiões localizadas a milhares de metros de profundidade, muitas dificuldades devem ser ultrapassadas para investigar o fundo dos oceanos. “O leito dos oceanos é um local de difícil acesso e compreende um mosaico de ambientes: talude continental, planícies abissais, fontes hidrotermais, exsudações frias, montes submarinos, recifes de corais etc.”, diz o professor Paulo Yukio Gomes Sumida, do Departamento de Oceanografia

Biológica do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP). A título de curiosidade, a profundidade máxima a que o ser humano já chegou por meio do mergulho autônomo (que faz uso de aparelhos de respiração subaquática, como o cilindro de oxigênio) foi a pouco mais de 300 metros – o recorde foi atingido em 2013, quando o egípcio Ahmed Gamal Gabr chegou a 332,35 metros no Mar Vermelho.

Entre os desafios para a realização da pesquisa oceanográfica está a necessidade de grandes investimentos em novas tecnologias, seja aprimorando equipamentos já disponíveis ou criando novos, segundo o professor Rodrigo Kerr Duarte Pereira, do Laboratório de Estudos dos Oceanos e Clima (Leoc) do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (IO-Furg). “As boias, conhecidas como *Deep Argo* (equipamentos autônomos para operação em profundidades maiores que 2 mil metros, que armazenam dados e, quando submergem em superfície, os

enviam via satélite), trarão benefícios significativos aos estudos do oceano profundo”, afirma. “Além disso, também é desafiante a constante necessidade de capacitação profissional, seja para operacionalização dos instrumentos ou para formação de pesquisadores que estudam essa região particular dos oceanos”, complementa.

Para o professor Angelo Fraga Bernardino, do Departamento de Oceanografia e Ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), o maior desafio em estudar grandes profundidades está no limitado financiamento, associado à disponibilidade de embarcações para esse fim. “Um custo

**O oceano global  
corresponde a cerca  
de 70% da superfície  
da Terra, e os oceanos  
profundos correspondem a  
cerca de 80% do volume de  
água do oceano global**

diário de um navio de pesquisa gira em torno de 40 mil reais, podendo chegar facilmente a 60 ou até 100 mil reais se o pesquisador quiser contratar um navio com Remotely Operated Vehicle (ROV) ou submersível”, informa. Os ROV, que custam milhões de dólares, são

veículos submarinos não tripulados, manobrados a distância. Segundo ele, não há no Brasil editais de pesquisa que suportem esse tipo de investimento. “Assim, grande parte do conhecimento do mar profundo na margem brasileira baseia-se em amostragens feitas por programas de caracterização ambiental, associados a empresas de óleo e gás”, informa.

## PESQUISA

O oceano global corresponde a cerca de 70% da superfície da Terra, e os oceanos profundos correspondem a cerca de 80% do volume de água do oceano global. Assim, quando se pergunta o quanto o homem já sabe sobre o fundo do mar, os pesquisadores são categóricos: é difícil mensurar! “A

Oceanografia é uma ciência relativamente nova (~70/80 anos). Hoje o homem deve conhecer somente 5% das zonas profundas do oceano global. Muitos estudos ainda são necessários para compreensão dos aspectos de variabilidade natural e/ou antrópica dessas regiões”, relata Kerr.

A lendária expedição Challenger, realizada nos anos de 1870, e que produziu pesquisas a cerca de 5 mil metros de profundidade, foi um marco na Oceanografia. Contudo, devido ao impedimento tecnológico, até a Segunda Guerra Mundial pouco se conhecia por debaixo de tanta água, que ocupa quilômetros de profundidade e de extensão. Com a Guerra Fria, novas tecnologias foram obtidas, como submarinos e veículos remotos, que permitiram novas descobertas – a morfologia do fundo oceânico, das cordilheiras e das fossas é conhecida graças a investimentos militares e comerciais. “O desenvolvimento de novos

sensores e equipamentos de amostragem remota está revolucionando a Oceanografia”, diz Bernadino. “Satélites obtêm dados batimétricos de bacias oceânicas ou mesmo dados ecológicos globais importantes, apenas utilizando espectros de luz”, acrescenta.

Entre os nomes que já estudaram o fundo dos oceanos, há de se destacar a cartógrafa Marie Tharp (1920-2006) e o geólogo Bruce C. Heezen (1924-1977), os criadores do primeiro mapa global do fundo do oceano – que influenciou a aceitação das teorias da tectônica de placas e da deriva continental. O primeiro mapa que eles completaram foi do Atlântico Norte (1959); em seguida o Atlântico Sul (1961) e depois o Oceano Índico (1964). Após o falecimento de Heezen, em 1977, foi publicado o panorama do fundo do oceano (World Ocean Floor) pelo Escritório de Pesquisa Naval (ONR, na sigla em inglês) – o mapa foi pintado pelo austríaco Heinrich C. Berann (1915-1999).



Navio *Prof. W. Besnard* – o primeiro navio oceanográfico civil brasileiro  
(Foto: Francisco Luiz Vicentini Neto/IO-USP)

Para a obtenção de dados oceanográficos, como nos trabalhos de Tharp e Heezen, muitos recursos são necessários – recursos com custos expressivos, já que, depois da ciência astronômica, a ciência oceanográfica é a mais cara –, o que implica uma carência de dados do ambiente marinho. “Embora os principais equipamentos utilizados em mar profundo estejam custeados em uma faixa acima de 500 mil reais, em sua maioria, o maior custo para cruzeiros em águas abertas é o que estimamos em ‘dias de mar’ do navio, ou seja, quantos dias os navios estariam disponíveis para determinado estudo. A partir dos ‘dias de mar’ destinados a um cruzeiro oceanográfico, planeja-se de que forma podemos utilizar este tempo para melhor atingir os objetivos do estudo”, diz Kerr. “Uma viagem ao fundo do mar depende muito do tipo de equipamento utilizado. Viagens *low-tech* chegam a custar em torno de 20-30 mil dólares por dia. As *high-tech* podem chegar até uns 100 mil dólares por dia”, acrescenta Sumida.

A pesquisa em mar profundo é tradicionalmente realizada por navios de pesquisa oceanográficos associados ou contratados por universidades, governo ou instituições privadas como a Petrobras. “Esses navios fornecem a segurança e o apoio para atividades de pesquisa ou industriais em áreas de oceano aberto, que podem ter rápidas mudanças de condições de mar e de clima”, diz Bernadino. Nem todo navio oceanográfico está capacitado para operar em mar profundo. “O navio deve ser grande

(>70m) e com autonomia de mais de um mês, já que as regiões profundas podem ser remotas e demandar longas viagens. Deve ter um longo cabo de aço, ao menos três vezes mais longo do que a profundidade da operação. Deve ter um guincho rápido (pelo menos 1 m/s) – as operações de descida e subida de equipamentos podem levar muitas horas e diminuir muito a capacidade de amostragem. Posicionamento dinâmico (que mantém uma embarcação fixa em uma posição geográfica) e sonares multifeixe (que permitem o mapeamento do fundo oceânico em tempo real e 3D) são aparelhos sofisticados, mas fundamentais para a operação em áreas profundas. Além do sonar multifeixe, a observação de parâmetros físicos e químicos se faz com equipamentos eletrônicos mergulhados até as profundidades desejadas. Em alguns casos, garrafas de fechamento automático (garrafas de Niskin) são essenciais para coletar água em diferentes níveis de profundidade, para depois realizar análises a bordo”, informa Perez.



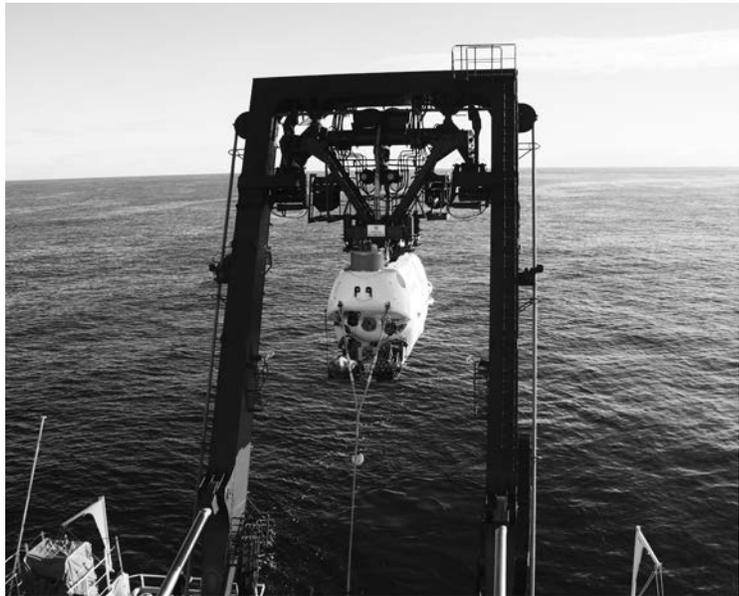
Pesquisa em mar profundo  
(Foto: Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (GOAL))

O estudo do mar profundo, que utiliza os mesmos instrumentos que em regiões marinhas mais rasas, porém com algumas adaptações, se dá por mergulhos diretos em submersíveis tripulados ou por robôs guiados remotamente. “Há algum tempo foram desenvolvidos trajes individuais, mas não são extensivamente utilizados para a pesquisa”, diz Sumida. “Os grandes fundos de sedimento podem ser amostrados com instrumentos mais simples (como redes ou dragas), mas é preciso que sejam operados por navios grandes e equipados. Para alguns ambientes, precisamos de ferramentas de alta tecnologia, como o ROV, o *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV) e submersíveis”, acrescenta o professor.

“Veículos submarinos têm sido desenvolvidos há mais de 30 anos para realizar coletas de sedimento, rochas e organismos, bem como registrar imagens. São submersíveis tripulados ou controlados remotamente por pesquisadores a bordo dos navios, que são guiados para observar, descrever, registrar dados e coletar amostras que serão analisadas na superfície”, explica. Assim, além de navios específicos, são necessários equipamentos operacionais e uma tripulação experiente em operações oceânicas. “Tudo isso é muito caro, o que restringe o número de países que fazem pesquisa em mar profundo”, informa Sumida, citando que os países referências nesses

estudos são Estados Unidos, Japão, Inglaterra, França e Alemanha.

No Brasil, muitos dados do mar profundo foram obtidos a profundidades de 2 mil a 3 mil metros – regiões amostradas por navios de pesquisa contratados por empresas petrolíferas ou associados a universidades, como o Navio de Pesquisa *Alpha Crucis*, da USP. “Não existem no Brasil navios de pesquisa especializados em altas profundidades, mas eles conseguem enviar amostradores ou até submersíveis tripulados a profundidades de 6 mil metros. Esse é o caso do navio japonês *Yokosuka*, que abriga o submersível *Shinkai 6500* e que pode mergulhar e coletar amostras até profundidades de 6.500 metros. Essa tecnologia é extremamente cara, e poucos países têm capacidade ou interesse em financiá-la”, conta Bernardino. Em 2013, Sumida, em parceria com pesquisadores japoneses, esteve a bordo do *Shinkai 6500*, no Atlântico Sul, onde coletou amostras a 4.200 metros de profundidade.



Submersível *Shinkai 6500* durante expedição no Oceano Atlântico  
(Foto: Lamp/IO-USP)

Em 1960, por meio do submersível Trieste, o tenente americano Don Walsh e o oceanógrafo suíço Jacques Piccard (1922-2008) foram os primeiros homens a chegar no ponto mais profundo da Terra: a Fossa das Marianas (Challenger Deep), localizada no Oceano Pacífico, a cerca de 11 mil metros de profundidade. Em 2012, o diretor do filme *Titanic*, James Cameron, dentro do submersível Deepsea Challenger, repetiu o feito. E em 2016 noticiou-se a exploração com ROV na Fossa das Marianas.

Mesmo com tantos fatores limitantes, os cientistas já descobriram processos inimagináveis nas regiões profundas – como os ecossistemas das fontes hidrotermais – e obtiveram uma boa base teórica sobre o mar profundo e seu respectivo papel no planeta. “Quanto mais o homem procura, mais ele encontra novidades”, diz Perez. “Talvez o

desafio seja sensibilizar as fontes de recursos sobre a importância de investir nesses estudos, e isto não é fácil. A maioria dos navios oceanográficos tem gestores que lutam para mantê-los na ativa”, alega. Ao passo que se reconhece o quanto ainda falta estudar sobre o mar profundo, as pressões relacionadas ao uso comercial de seus recursos só aumentam.

## EXPLORAÇÃO

Como um todo, os oceanos são importantíssimos para a vida no que se refere à regulação climática, aos ciclos de nutrientes, à obtenção de energia, à exploração de minérios e combustíveis, à produção de

recursos pesqueiros, às rotas de comércio e comunicação, ao repositório de biodiversidade, à recreação etc. “É amplo o conhecimento sobre o papel que os oceanos têm na regulação climática por meio da absorção de calor e de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, bem como na produtividade biológica marinha, que suporta importantes indústrias pesqueiras ao redor do mundo”, diz Bernardino. “No mar profundo, muitas espécies encontram abrigo, alimentação e zonas de reprodução e crescimento, dando

continuidade a ciclos biológicos importantes. O leito dos oceanos fornece recursos minerais (óleo, gás e metais) que são historicamente a base da economia mundial. Assim, os oceanos são vitais para milhões de espécies, entre elas a *Homo sapiens*”, destaca.

Mesmo com desafios científicos, tecnológicos e ambientais, o homem já explora

muitos recursos do mar profundo, entre eles o petróleo – óleo inflamável, formado a partir da decomposição, durante milhões de anos, de matéria orgânica (plantas, animais marinhos etc.), encontrado apenas em terreno sedimentar. Usado desde a antiguidade, o petróleo produz muitos derivados amplamente utilizados pela sociedade: gasolina, nafta, óleo diesel, asfalto, lubrificante, combustível marítimo, solventes, parafinas, plásticos, borrachas etc.

Inicialmente, o petróleo foi encontrado em terra, em poços com pouca profundidade ou em exsudações na superfície terrestre. Conforme o livro *Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore*

**Os cientistas já descobriram processos inimagináveis nas regiões profundas – como os ecossistemas das fontes hidrotermais – e obtiveram uma boa base teórica sobre o mar profundo e seu respectivo papel no planeta**

(2013), “o primeiro poço exploratório no mundo foi aberto na cidade de Balakhani, em Baku, em 1846, com a profundidade de 21 metros, onde também foi implantada a primeira destilaria de petróleo, em 1847”. As primeiras explorações de petróleo no mar, conhecidas como *offshore*, ocorreram na última década do século XIX, nas costas marítimas da Califórnia. “O poço de petróleo que iniciou as atividades de produção *offshore* no Golfo do México foi perfurado em Caddo Lake, Louisiana, em 1911”, destaca o livro. Deste modo, a história do petróleo *offshore* é muito recente, se comparada à exploração *onshore* – em terra.

Com a evolução tecnológica, a extração de petróleo em mar foi se aprimorando, e em meados da década de 1980 o petróleo já era explorado a profundidades próximas a 400 metros. Hoje a exploração já chega a milhares de metros – os reservatórios do pré-sal (descoberto em 2006, na Bacia de Santos, a cerca de 300 km da costa brasileira) estão a quase 7 mil metros de profundidade a partir do nível do mar, sendo cerca de 2 mil metros de água e quase 5 mil metros de rochas. Conforme o *site* da Petrobras, o ano de 2016 consolidou o pré-sal como maior polo produtor de petróleo do País, superando a produção de 1 milhão de barris por dia.

A complexidade de extrair matéria-prima dos oceanos aumenta quanto mais funda ou longe da costa a extração é realizada. Conforme destaca o livro *Petróleo em águas profundas*, a exploração de petróleo no mar deve vencer “a velocidade dos ventos, a altura das ondas, as direções das correntes marinhas, as tempestades, as pressões hidrostáticas decorrentes da coluna d’água, as baixas temperaturas no fundo do mar, a natureza maleável da camada de sal, as condições estruturais do solo marinho, a composição e o grau de porosidade das rochas sedimentares, entre outros”.

Além das regiões em terra, segundo o professor Celso Kazuyuki Morooka, da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), há quatro regiões nos oceanos que, devido a condições específicas, apresentam grande potencial para produção de petróleo. “Uma é o Golfo do México, entre o México e os Estados Unidos. Outra fica no Mar do Norte, próximo à Noruega e à Inglaterra. Uma terceira é a região costeira do Brasil, desde o Nordeste ao Sul do País. E a quarta, e a mais nova de todas, é a costa oeste da África, que está voltada para o continente americano”. Segundo Morooka, essas duas últimas regiões têm um grande potencial no futuro. “A produção brasileira está crescendo, bem como há potencial para descobrir novos campos”, afirma.

O petróleo em mar profundo não começou a ser explorado por adivinhação. Estudos exploratórios, que utilizam técnicas de diversas áreas, permitem obter informações sobre o fundo oceânico. “É igual ao raio-X, um sinal é emitido, o raio é refletido no fundo do mar e permite tirar uma imagem da região. Assim como o médico enxerga algum problema no raio-X, o geólogo identifica na imagem se há rocha, areia, sal, petróleo etc.”, compara Morooka. “Identificando óleo em uma dada área, é furado um primeiro poço para a confirmação. Em caso positivo, outros poços são perfurados para avaliar a extensão da jazida e constatar se ela é economicamente viável”, acrescenta. Autorizada sua extração, dezenas de poços são perfurados na região, o que causará impactos. “Fazer uso da matéria-prima que não está disponível naturalmente produz impactos, mas esses impactos necessitam ser controlados. Todo poço perfurado tem que ter aprovação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Não é tão simples e exige fiscalização”, diz o engenheiro naval.

O professor lembra que, ao extrair o petróleo, vêm água, gás carbônico e gás, na maioria das vezes todos juntos. “Para aumentar a produção de petróleo no Brasil, é necessário aumentar a capacidade de processar o gás que vem junto. Eu diria que esse é o grande gargalo para produzir o petróleo do pré-sal: a capacidade de tratar esse petróleo, que também vem com água gás carbônico e gás. O gás carbônico não pode ser jogado na atmosfera, então ele é injetado na rocha. O gás natural é valioso quando está no meu fogão, mas em alto-mar ele é um prejuízo; contudo, também não pode ser jogado fora. As opções são injetá-lo na rocha ou criar um sistema via ductos para que ele possa chegar ao continente. Entretanto, os ductos são muito caros, sendo que poucas empresas têm a capacidade de construí-los. Hoje o grande drama está em ter mais ductos. O gargalo da produção de mais petróleo é o problema logístico e como tratar esse gás natural, pois há distâncias a serem vencidas e o seu transporte é muito caro”, explica.

Mas o mar profundo não oferece só o petróleo como riqueza econômica. Ainda no século passado, em meados dos anos 1970, foram encontradas grandes quantidades de metais no Pacífico. “Os estudos relacionados a esses depósitos minerais teve um impulso na década de 70, mas foi colocado na gaveta, e agora ele está sendo retirado da gaveta. A tecnologia do passado era diferente da atual, e esses elementos eram pouco utilizados, mas hoje eles estão em muitos produtos industriais. O que no passado não era considerado viável e interessante, hoje se tornou viável e interessante”, informa Christian Millo, professor do Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica do IO-USP.

A partir dos estudos de mapeamento do fundo marinho, que estão em contínua realização, o homem conhece hoje três

principais regiões onde são encontrados depósitos minerais no fundo do mar: em zonas profundas (~4.000 m), os nódulos polimetálicos; em zonas intermediárias (~3.000m), os sulfetos polimetálicos e em zonas mais rasas (<2.000m), as crostas cobaltíferas – as mais valiosas.

Os nódulos polimetálicos, ricos em manganês, níquel, cobre e cobalto, repousam na planície abissal, em áreas relativamente calmas. A área mais rica com esses nódulos está no Pacífico, mas se encontram similares no Índico. “No Pacífico Central encontra-se a zona de nódulos polimetálicos mais bem estudada e amostrada até hoje (desde os anos 80), chamada Clarion-Clipperton Zone – região onde blocos de exploração e investigação, regulados por uma autoridade internacional, foram designados para países interessados”, diz Bernardino. Segundo ele, estudos têm mostrado a existência de comunidades biológicas únicas na região que poderiam ser impactadas se a mineração fosse iniciada em escala comercial. Desse modo, a autoridade internacional criou uma série de normas para a futura exploração desses recursos, a fim de garantir que os impactos sejam minimizados e que sejam mantidas áreas de proteção. “Há regiões onde a exploração de nódulos polimetálicos já ocorre, como as Ilhas Cook, no Pacífico”, acrescenta Millo.

Os sulfetos polimetálicos, ricos em ferro, zinco, cobre, prata e ouro, são depósitos encontrados próximos às regiões conhecidas como fumarolas ou fontes hidrotermais – áreas no fundo do mar onde há atividade magmática –, de onde saem jatos de água quente em meio às águas geladas. Uma das regiões onde eles são encontrados é na proximidade das Ilhas Galápagos ou Atlântico Sul. “Os sulfetos são extraídos de fumarolas extintas. Eles são muito interessantes, porque, por exemplo, contêm ouro”, afirma Millo.

As crostas cobaltíferas, ou também crostas de manganês ricas em cobalto, formam-se com mecanismos similares aos de formação de nódulos, mas são mais ricas em cobalto – metal valioso –, além de conter manganês, níquel, platina, tálio e telúrio. As crostas não se formam nas planícies abissais, mas em afloramentos rochosos, a cerca de mil metros, no topo de montanhas submarinas. “O lugar mais próximo do Brasil onde foram encontrados esses elementos minerais é na Elevação do Rio Grande (ERG). O maior interesse nessa região está relacionado às crostas, o que não significa que não possam existir nódulos em sua parte basal”, explica Millo.

Formados, ao longo de milhões de anos, pelo acúmulo de metais que precipitam na coluna d’água até altas profundidades, os nódulos polimetálicos e as crostas cobaltíferas são alguns dos recursos minerais finitos do mar profundo. “São compostos principalmente por ferro e manganês, mas associados a uma

**Formados, ao longo de milhões de anos, os nódulos polimetálicos e as crostas cobaltíferas são alguns dos recursos minerais finitos do mar profundo**

diversidade de outros elementos raros de grande interesse na indústria *high-tech*, na produção de telas de celulares, painéis solares, baterias de carros etc. Ou seja, por serem elementos essenciais na indústria do futuro e possuírem limitados estoques em terra ao redor do mundo, países ricos têm procurado garantir estoques desses minerais associados ao fundo marinho – regiões onde ocorrem em abundância, primariamente em áreas marinhas internacionais, isto é, fora de zonas econômicas exclusivas (ZEE)”, explica Bernardino.

A ZEE é a área que vai até 200 milhas náuticas (370 km) a partir da costa territorial. Conforme a Lei 8.617/93, “na zona econômi-

ca exclusiva, o Brasil tem direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não-vivos, das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo, e no que se refere a outras atividades com vistas à exploração e ao aproveitamento da zona para fins econômicos”.

As regiões onde são encontrados os depósitos minerais normalmente não fazem parte de nenhum território – áreas que acabam gerando uma disputa geopolítica entre nações. Conforme define a Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar (1982), para além das jurisdições nacionais o oceano é patrimônio da humanidade. “A International Seabed Authority (ISA), órgão estabelecido pela

Organização das Nações Unidas (ONU), é uma autoridade internacional que tem jurisdição no fundo do mar e nas águas internacionais, ou seja, áreas além da ZEE. Qualquer atividade que seja realizada nessas áreas deve ter

a permissão da ISA”, explica Millo.

A ERG, um monte marinho que fica no Atlântico Sul, localizado a 3 mil km do litoral de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, é uma área rica em crostas cobaltíferas (possui 4 mil metros de profundidade e o seu topo fica a 800 metros abaixo do nível do mar). Como a ERG está situada fora da plataforma continental, em 2012 o Brasil fez um pedido à ISA para explorar a região.

Fruto de uma cooperação entre a USP, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e o Natural Environment Research Council (Nerc), do Reino Unido, o projeto “Depósitos marinhos de ferromanganês: A

principal fonte de elementos tecnológicos (MarineE-thec)” busca levantar questões socioeconômicas na mineração de depósitos de ferromanganês na ERG. Assim, muitos pesquisadores estão envolvidos na caracterização dos ecossistemas presentes na região, buscando identificar e quantificar o potencial de impactos antropogênicos, bem como mapear a biodiversidade, tipos de *habitat*, processos e serviços ecossistêmicos. No final de 2016, um grupo de cientistas brasileiros, junto com pesquisadores ingleses, realizou estudos em crostas cobaltíferas numa montanha submarina próxima às Ilhas Canárias. Em 2017, pesquisadores do IO-USP pretendem fazer o mesmo trabalho na ERG.

Essas pesquisas buscam estudar, na região, os chamados Elementos Terras Raras (ETR). “Um dos mais importantes minérios que encontramos hoje, tanto no continente como no oceano, são os ETR”, diz Millo. O fundo do mar possui mais ETR do que as rochas continentais. O grupo de ETR inclui um conjunto de 17 elementos químicos como: lantânio (La), lutécio (Lu), ítrio (Y) e escândio (Sc). Embora nomes nada conhecidos, são elementos que, cada vez mais, estão presentes na vida do homem. “Eles são usados em muitas tecnologias atuais que são fundamentais da vida moderna, como os *smartphones* e os *tablets*”, explica o pesquisador.

“Hoje a China tem praticamente um monopólio da produção dos ETR. Isso significa que ela determina o seu preço”, informa Millo. “Os reservatórios desses elementos nos continentes não são muitos, e no oceano eles são encontrados em águas internacionais ou em águas territoriais de países que não são poderosos, como as ilhas do Pacífico, com uma economia ligada ao turismo, à pesca etc. Então, por uma série de questões geológicas, econômicas e também políticas, tem se tornado

interessante considerar esses recursos marinhos”, acrescenta.

Pouco se sabe sobre os impactos relativos à exploração desses elementos. Contudo, as formas de extração desses minerais diferem e, conseqüentemente, seus impactos também. “Os nódulos são soltos, sendo colhidos como se fossem batatas. Do ponto de vista operacional, a dificuldade em coletá-los está ligada à profundidade. As crostas estão em contato com a rocha muito dura, e tentar tirá-las é mais complicado. Os sulfetos talvez sejam os mais simples, porque são fragmentos de chaminés que estão desativadas. Para isso seria necessário um robô submarino que conseguisse quebrar e coletar o fragmento”.

“Como cientista, eu tenho um olhar que vai além do aspecto econômico. Primeiro, há muitos aspectos ligados ao mecanismo de formação dos nódulos e das crostas, que ainda não foram esclarecidos. Mais ou menos se conhecem quais são os processos de formação, mas ainda não está clara a influência biológica que poderia facilitar a formação desses depósitos”, diz Millo, frisando que a hipótese de que a concentração de metais nos nódulos seria mediada por microrganismos merece ser estudada detalhadamente. “Ainda há muito o que ser descoberto. Mas, se for comprovado que realmente os microrganismos ajudam na formação desses metais, em um futuro poderia haver a possibilidade de ‘cultivar’ depósitos polimetálicos”, revela.

“Vai chegar um momento em que vamos parar de extrair metais, tanto de regiões oceânicas como continentais, e o ser humano irá produzir de forma artificial os metais de seu interesse. Eu gosto de sonhar isso, mesmo que seja muito complicado entender como o sistema funciona, penso que o ser humano precisa ir nessa direção”, analisa o pesquisador, refletindo que as riquezas produzidas no

fundo do mar são findáveis, como o petróleo, e que a produção de determinados elementos de forma artificial seria um caminho mais viável, transformando esses elementos em recursos renováveis e causando menos impacto ao meio ambiente. “A ideia é, em vez de concentrar esforços para a extração, concentrar esforços para a produção desses minerais em laboratório”, analisa.

“Os nódulos estão lá há milhares, até milhões, de anos. As camadas formam-se lentamente, um milímetro em milhares ou milhões de anos. Os nódulos possuem uma história, e o ser humano precisa ser sagaz para entendê-la. Conhecendo como esses metais se estabeleceram, o homem poderia tentar criá-los em laboratório, acelerar o processo de formação e, se possível, concentrar os elementos mais interessantes – já que a concentração dos elementos é na ordem de 1% da massa do nódulo. E se a gente conseguisse produzir um nódulo com 5% da massa total? Será que a natureza pode nos ensinar a fazer isso?”, questiona Millo.

## BIODIVERSIDADE

Hoje já se sabe que todos os filós animais têm representantes marinhos – diversidade que é distribuída das zonas costeiras às profundas, dos polos às zonas tropicais. Contudo, é o mar profundo que abriga uma das maiores diversidades biológicas do planeta – a maioria das espécies é rara e composta principalmente pela fauna de pequeno tamanho, menor do que 1 milímetro. Essa diversidade atinge o pico entre 2 mil e 3 mil metros, diminui

nas planícies abissais e é influenciada pela latitude – ao Norte diminui e ao Sul aumenta (diversidade favorecida pela Antártica). “A macrofauna do mar profundo é estimada em mais de 10 milhões de espécies. Há ainda 90% a 95% dessa fauna que são desconhecidos”, quantifica Perez.

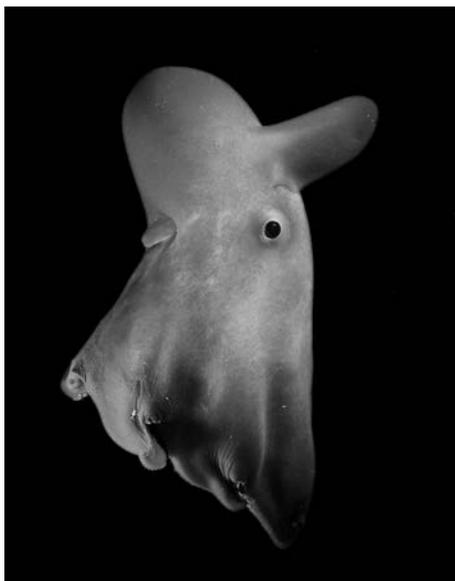
Em meados do século XIX, o naturalista inglês Edward Forbes (1815-1854), estudando o Mar Hegeu, estabeleceu uma teoria de que não havia vida abaixo dos 600 metros de profundidade. Ao longo dos anos, expedições para fins econômicos

**É o mar profundo que abriga uma das maiores diversidades biológicas do planeta – a maioria das espécies é rara e composta principalmente pela fauna de pequeno tamanho, menor do que 1 milímetro**

realizadas em fundos oceânicos revelaram uma rica fauna no fundo do mar. “A Teoria Azóica de Forbes caiu por terra antes do fim do século XIX, pois várias expedições marinhas demonstraram a existência de vida há mais de mil metros de profundidade – a mais conhecida foi a expedição Challenger

(1872-1876)”, lembra Perez.

Entretanto, somente na década de 1960 os cientistas constataram a grande diversidade no mar profundo. “Foi quando iniciou-se o uso das redes com malhas entre 250 e 500 micrômetros, permitindo a coleta de amostras da biota menores do que 1 milímetro. Ou seja, o aumento da estimativa de biodiversidade do mar profundo se deve ao estudo de animais muito pequenos que vivem no sedimento oceânico”, explica Perez. Segundo o professor, nessa fração da biota estão presentes diversos organismos, invertebrados (nematódeos, anelídeos, moluscos, crustáceos), esponjas, equinodermos (estrelas, crinóides, ouriços e pepinos do mar), cnidários (anêmonas e corais), cefalópodes (polvos e lulas) e peixes.



Polvo de mar profundo  
(Foto: Laboratório de Ecologia e Evolução  
de Mar Profundo - Lamp/IO-USP)

“A explicação para a diversificação de espécies, ainda hipotética, está associada à escassez de alimento. Uma vez depositado como matéria orgânica, o alimento, que vem da superfície do oceano, sustenta as comunidades profundas. Desse modo, a biomassa de organismos bentônicos decai exponencialmente com a profundidade”, explica Perez. Ainda, a distribuição dessa biodiversidade não é homogênea: há zonas com elevada biodiversidade e baixa biomassa (como as abissais) e zonas com alta biomassa e baixa biodiversidade (como as hidrotermais). “Há comunidades específicas em montanhas submarinas, dominadas por invertebrados suspensívoros e faunas das fossas abissais com grande presença de anfípodes carniceiros”, diz Perez.

Embora a diversidade no mar profundo seja alta, normalmente as populações encontradas são pouco abundantes, ou seja, há poucos indivíduos por espécie. “Se você coletar uma amostra no mar profundo, vai encontrar pouquíssimas espécies. Isso é

devido à extrema escassez de alimentos, o que faz com que a densidade numérica seja baixa. Contudo, se você continuar amostrando, verá que o número de espécies aumenta a cada amostra, sem mostrar uma tendência a diminuir. Há muitas espécies raras no mar profundo, onde há ambientes especiais, que aumentam sua complexidade estrutural, gerando mais espécies”, relata Sumida.

As teorias mais recentes apontam que a alta biodiversidade de espécies no mar profundo ocorre em parte pela sua imensa extensão espacial e pela alta diversidade de *habitats*. “Apesar de aparentemente homogêneo, escuro e pobre em alimento, muitas espécies evoluíram para aproveitar as menores oportunidades de alimento e de *habitat* que existem, levando a extremas adaptações e especiação ao longo de milhares de anos. Um processo similar às florestas tropicais: apesar de não existirem árvores, há uma variedade de espaços no mar profundo, como poros sedimentares, corais, fontes hidrotermais, montanhas submarinas e outros diversos *habitats* que abrigam espécies únicas”, diz Bernardino.

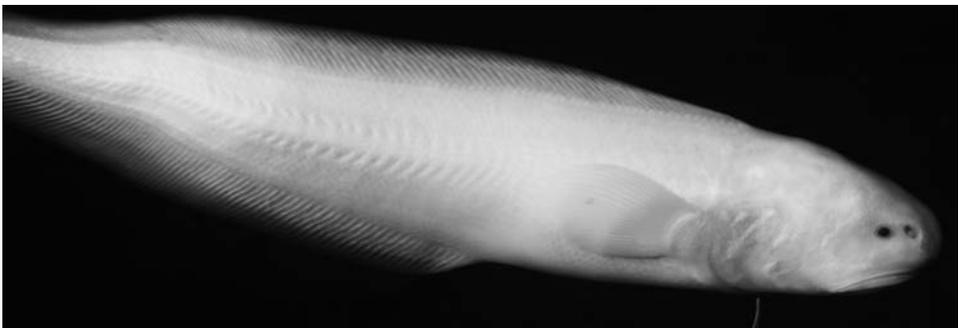
Há locais no oceano profundo com características específicas, como na planície abissal – com mais de 4 mil metros de profundidade –, onde em alguns pontos há Zonas de Mínimo Oxigênio (ZMO). Um exemplo são as zonas de ressurgência, como na costa do Peru/Chile, onde a fauna bentônica é empobrecida. Há poucos locais em que não existe oxigênio, como ao redor das fontes hidrotermais – rochas que estão em atividade vulcânica e liberam água a cerca de 400°C. Nessas regiões são estabelecidos ecossistemas únicos, onde bactérias quimiossintetizantes vivem em simbiose com outros organismos. As fontes hidrotermais, as exsudações frias e as carcaças de baleias são regiões quimiossintetizantes onde são encontrados organismos com adaptações ainda mais específicas e

surpreendentes. “Em zonas hidrotermais, a energia química de compostos liberados é utilizada por micróbios associados a animais ou de vida livre, que conseguem usar essa energia para produzir alimento sob a forma de biomassa ou compostos orgânicos. Assim, próximo a esses ecossistemas há organismos especializados para utilizar essa energia abundante, gerando uma maior concentração de vida nessas áreas”, informa Bernardino.

A vida, seja em terra ou na água, em condições ideais, é dependente de oxigênio, energia solar e temperatura. No mar profundo há uma grande limitação orgânica, pois é uma zona perenemente escura sem produção fotossintética. “Grande parte do alimento que sustenta a vida do mar profundo é produzida em zonas superficiais – onde há produtividade fotossintética – e é lentamente transportada por meio do afundamento de partículas até o leito oceânico”, relata Bernardino. Então, como explicar a manutenção da vida em condições extremamente adversas? Para Sumida, o homem vê as coisas de um ponto de vista antropocêntrico. “Geralmente pensamos que o ambiente é extremo, mas apenas o é para os organismos que não evoluíram lá, como os humanos. De fato, o ambiente fez com que houvesse a seleção de organismos capazes de lidar com as altas pressões e a falta ou escassez de alimentos”, reflete.

De acordo com Perez, são muitas as adaptações dos organismos do mar profundo para viverem em condições ambientais específicas de pressão, temperatura, oxigênio, luz, nutrientes, matéria orgânica etc. “A bioluminescência é uma regra e não uma exceção e está presente desde bactérias até peixes e lulas. O tecido gelatinoso também é comum, já que diminui o gasto energético, importante em um ambiente onde a comida é escassa”, diz. “Alguns grupos de invertebrados apresentam formas ‘gigantes’, mas outros apresentam formas ‘anãs’. Acredita-se que ambas as tendências derivam das adaptações à falta de alimento, já que maiores tamanhos favorecem um menor metabolismo e menores tamanhos favorecem a manutenção de populações maiores e mais viáveis”, acrescenta.

As comunidades biológicas nos oceanos mudam de acordo com a profundidade e com diversas outras variáveis ambientais, pois são adaptadas a condições ótimas para crescimento, alimentação e reprodução. “Em altas profundidades, as espécies em geral devem possuir adaptações para lidar com as altas pressões, as baixas temperaturas e a escassez de alimento. Essas três condições favorecem grupos de organismos que são adaptados para obter alimento rapidamente (alguns organismos com aparente ‘gigantismo’), ou que podem aproveitar a mínima quan-



Peixe do gênero *Spectrunculus* fotografado pelo Shinkai 6500 a cerca de 3 mil metros de profundidade (Foto: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

tidade de material orgânico que afundou”, explica Bernardino.

Sumida diz que os cientistas sabem mais sobre a distribuição e a composição dos *habitats* do que sobre a biologia das espécies que compõem o fundo do mar. “Há mistérios, lendas e muitos conceitos equivocados sobre o mar profundo. Apesar disso, há organismos que captam a imaginação humana, como as lulas gigantes e os peixes-diabo – animais que realmente existem”, revela.

## IMPACTOS

Embora pouco conhecidos, os oceanos, há muito tempo, são grandemente impactados pelo homem com a exploração pesqueira, a poluição com deposição de resíduos, interferências com a mineração e a extração de petróleo e de gás, entre outras atividades. “Nos anos 1970 e 1980, utilizavam o mar profundo para despejo de lixo radioativo. Isso cessou, mas o material continua lá”, informa Sumida. “É difícil estimar a exata extensão dos impactos, mas podemos afirmar que todos os ecossistemas oceânicos já sofreram, em variado grau, algum tipo de interferência humana”, alega Bernardino.

Perez faz uma avaliação dos impactos gerais: “Pode-se dizer, com segurança, que o homem já deixou rastro em todos os estratos de profundidade em várias regiões do mar profundo. Eventos de sobrepesca foram diagnosticados em regiões profundas (inclusive no Brasil), principalmente sobre montanhas submarinas, onde, além das espécies de interesse, reporta-se à destruição de ambientes coralinos profundos praticamente irrecuperáveis. A extração de petróleo tem sido intensa nas margens continentais e também tem ocasionalmente gerado impactos, como a recente New Horizon, no Golfo do México. Muito se fala na exploração mineral no mar profundo, que

passou a ser interesse de muitas nações. Essa exploração está em fase incipiente, pois a tecnologia para extração desses minerais (nódulos, crostas, sulfetos) ainda não está disponível. Mas existe uma ‘corrida’ dos países para tentarem ‘reservar’ seus espaços no mar profundo para quando a tecnologia existir”.

Para o pesquisador, felizmente existe uma discussão intensa, que envolve órgãos da ONU e Organizações Não Governamentais (ONG) internacionais, a respeito de políticas internacionais para preservação e uso sustentável do oceano profundo. “Muitos acham ainda temeroso o sucesso dessas políticas, mas, se pensarmos nas regiões costeiras em geral, a discussão só ocorre depois que o impacto já ocorreu. No mar profundo há uma chance de se ter alguma antecipação”.

De acordo com Bernardino, os impactos nos oceanos são extremamente variáveis. “Normalmente a pesca se concentra em zonas de maior produtividade marinha, que são intensamente impactadas por arrastos e sobre-exploração de estoques. A poluição urbana está próxima às zonas costeiras e aos estuários, onde grande parte encontra-se em lastimável estado de conservação. A extração de óleo e gás está cada vez mais se dirigindo a grandes profundidades, o que gera grande preocupação, pois aumenta a pressão sobre ecossistemas pouquíssimo estudados e distantes do olho humano. Isto é, se houver um impacto no mar profundo próximo a uma plataforma a 2 mil metros de profundidade, não teremos a menor ideia de sua extensão ou seus efeitos”, afirma o professor. “A presença de microplásticos nos oceanos também é assustadora. Eles já foram encontrados desde zonas costeiras até em altas profundidades, inclusive dentro de organismos de mar profundo, indicando que a fauna marinha vem se ali-

mentando indiretamente desses poluentes introduzidos pelo homem”, alerta.

Segundo Bernardino, a maior ameaça aos ecossistemas profundos são a pesca de arrasto e a indústria *offshore*. “No Brasil, a extensão do impacto por arrasto em comunidades profundas já foi reportada em alguns locais, mas ainda não há uma ampla visão de seus efeitos. Ou seja, em geral se conhecem as áreas de pesca, mas não existem dados que avaliem quantitativamente seus impactos, nem propostas de manejo dessa atividade”, diz. “Na indústria *offshore*, o Brasil tem enormes áreas licenciadas para produção ao longo da sua margem continental profunda, ainda que grande parte dessas áreas delimitadas pelo governo tenha sequer sido amostrada efetivamente. É o mesmo que delinear blocos de exploração na Amazônia sem ter ido lá verificar o que existe, mas com uma diferença importante: na floresta teríamos imediatamente conhecimento de impactos da atividade, enquanto no mar profundo não possuímos essa exata ideia”, analisa.

O professor ressalta a preocupação com a possibilidade, mesmo que remota, de acidentes em altas profundidades e da sua incrível complexidade logística para remediação. “O acidente da plataforma da BP, no Golfo do México, foi um terrível exemplo de como um acidente como aquele pode impactar desde comunidades profundas até zonas costeiras. Exemplos recentes mostraram o quanto o Brasil está despreparado para grandes acidentes ambientais”, diz Bernardino. Um deles é o desastre na cidade Mariana, em Minas Gerais, em que dejetos de mineração impactaram diversos ecossistemas, inclusive atingindo o Oceano Atlântico.

Em geral, as espécies e os *habitats* do mar profundo são mais vulneráveis e menos resilientes do que as espécies e os *habitats* de zonas menos profundas – por conta de crescimento lento, maturidade

tardia, longevidade, descontinuidade de populações etc. E o quanto essas espécies estão ameaçadas? Um exemplo são os peixes que podem ser capturados por operações comerciais de pesca. “São muitas famílias com representantes em águas mais rasas. Porém as histórias de vida apontam para atributos únicos que conferem uma baixa produtividade e, portanto, pequenas oportunidades de recuperação de biomassa perdida”, diz Perez.

As pescas de profundidade são consideradas a “mineração de recursos vivos”. Elas podem ser pesca de arrasto de fundo ou semipelágico, pesca de espinhel de fundo e pesca com armadilhas. O desenvolvimento da pesca profunda no mundo, na década de 1980, levou à rápida depleção de vários estoques locais. Na última década, os esforços internacionais para conter ou restringir a atividade foram intensos, e estima-se que possam se recuperar, especialmente em regiões onde a proteção é total. “As espécies mais comentadas no Atlântico são as que se pescam sobre as montanhas submarinas, como *orange roughy* (*Hoplostetetus atlanticus*), oreos (várias espécies da família Oreosomatidae), alfonsinos (*Beryx* spp.), merluza negra (*Dissostichus eleginoides*). Mas há muitas outras, incluindo: camarões-de-profundidade (família Aristeidae), caranguejos-de-profundidade (*Chaceon* spp.) e peixes-rato (muitas espécies da família Macruridae)”, informa Perez.

“O *Hoplostetetus atlanticus* é o exemplo clássico, bastante explorado nas montanhas submarinas do Atlântico e Pacífico e com acúmulos de eventos de sobrepesca, principalmente na Nova Zelândia e na Austrália. A espécie pode atingir no máximo 70 centímetros, mas para isso pode precisar de 150 anos de vida. Poucos acreditam que explorar esse tipo de história de vida possa ser sustentável, o que tem movimentado o debate internacional para o banimento com-

pleto da pesca profunda”, aponta Perez. No Brasil, a pesca atual do talude se concentra no peixe-sapo (*Lophius gastrophysus*), na merluza (*Merluccius hubbsi*) e no abrótea-de-profundidade (*Urophycis mystacea*). O professor ressalta: “A pesca profunda tem que ser muito limitada, em termos de embarcações, e muito regulamentada, tanto no que se refere à taxa de remoção do estoque (% removido da biomassa por ano), que deve ser muito pequena (<5%), como aos cuidados para minimizar a perturbação dos habitats bentônicos”, acrescenta.

Para Perez, muitos cientistas afirmam que o pior impacto nos oceanos é aquele que resulta das mudanças globais do planeta, pois está provado que afetará ambientes profundos. “A acidificação dos oceanos deverá afetar a sobrevivência de corais profundos e acarretar uma possível expansão de ZMO, com grandes consequências na distribuição de organismos marinhos. Enfim, hoje se contabiliza quantos serviços o mar profundo

presta à humanidade e já se demonstra que impactos na superfície têm repercussão em processos profundos, colocando em risco a provisão desses serviços. Talvez a preocupação principal desse impacto é que ele não é localizado, como a pesca ou a mineração, mas se aplica a todo o oceano”, analisa.

A acidificação dos oceanos também é apontada como um grave problema pelo professor Rodrigo Kerr. Tendo em vista que o CO<sub>2</sub> é um gás que reage com a água do mar, o efeito da sua adição no oceano resulta no processo conhecido como acidificação dos oceanos – em que as águas estão se tornando mais ácidas desde o início da Revolução Industrial. “As consequências

deste processo engloba tanto aspectos da biologia das espécies marinhas quanto aspectos econômicos, sociais e políticos”, diz. Outras informações podem ser extraídas do artigo “The Western South Atlantic Ocean in a High-CO<sub>2</sub> World: Current Measurement Capabilities and Perspectives” (2016) ou do site da rede de Pesquisa Brasileira em Acidificação dos Oceanos (BrOA).

“Hoje, 30% das emissões antrópicas CO<sub>2</sub> para a atmosfera são absorvidas pelos oceanos. Essa absorção ocorre majoritariamente nas regiões polares do globo, devido às baixas temperaturas nas regiões superficiais. Entretanto, estas águas superficiais, após sofrerem processos de modificação

e mistura com outras massas de água, são extremamente densas e afundam para grandes profundidades para preencher o oceano profundo do globo. Desta forma, o excesso de CO<sub>2</sub> é transportado para regiões de profundidades intermediárias, profundas e de fundo”, explica Kerr.

E então surge um questionamento: será possível restabelecer o que já se perdeu? O professor é categórico: “Não. O oceano possui uma memória longa. As taxas de circulação dos oceanos possuem uma dinâmica muito lenta (da ordem de centenas a milhares de anos) quando comparada às taxas de movimento da atmosfera, por exemplo. No caso do efeito do processo de acidificação, mesmo que as taxas atuais de lançamento de gases de efeito estufa sejam estagnadas a zero, com o lançamento e a absorção atual de CO<sub>2</sub> no planeta estima-se que o pH das águas tenha um declínio entre 0.3 e 0.4 unidades (as taxas de diminuição reportadas desde a Revolução Industrial até

**O esforço principal é garantir áreas intocadas, reservas marinhas profundas que sirvam de salvaguarda para os processos e serviços do mar profundo**

os dias de hoje encontram-se na ordem de 0.1 unidade de pH). Os efeitos de retroalimentação, ou seja, os oceanos emitindo CO<sub>2</sub> para a atmosfera, ainda não são completamente compreendidos, o que só agravaria a problemática atual. Mas sabe-se hoje que as regiões absorvedoras estão perdendo sua capacidade de absorção. Assim, em longo prazo poderíamos ter uma situação de efeito estufa no planeta sendo acentuada (devido a liberação do CO<sub>2</sub> de origem antrópica armazenado pelos oceanos)”.



Navio Polar *Almirante Maximiano*, da Marinha do Brasil, em campanha oceanográfica no Oceano Austral (Foto: Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (GOAL))

O professor também destaca que o seu grupo de pesquisa identificou um aumento da temperatura das águas profundas e de fundo no Oceano Austral, conforme em artigo “Trends in the deep Southern Ocean (1958–2010): Implications for Antarctic Bottom Water properties and volume export” (2013). Além disso, identificaram mudanças na salinidade (diminuição) e

densidade das águas de fundo nas regiões formadoras de massas de água, resultante principalmente do derretimento e desprendimento de plataformas de gelo permanente devido ao aquecimento global, que pode ser acessado no trabalho “Multidecadal freshening and lightening in the deep waters of the Bransfield Strait, Antarctica” (2016). “Outro resultado identificado pelo grupo, que é apresentado no artigo “Carbonate system properties in the Gerlache Strait, Northern Antarctic Peninsula (February 2015): II. Anthropogenic CO<sub>2</sub> and Seawater Acidification” (2017), é que zonas costeiras do Oceano Austral já apresentam sinais de acidificação na coluna de água devido ao armazenamento de carbono antropogênico”, revela.

“Acredita-se muito pouco em recuperação, ao menos não na escala de tempo da espécie humana. Mas há iniciativas científicas tentando compreender o que se pode fazer, como, por exemplo, estimular o crescimento de coral profundo”, analisa Perez. Assim, atualmente o esforço principal é garantir áreas intocadas, reservas marinhas profundas que sirvam de salvaguarda para os processos e serviços do mar profundo – o maior ambiente do planeta, composto por vastas planícies abissais, longas cordilheiras submersas, excêntricas formas de vida, que dificilmente o homem conhecerá em sua totalidade.

#### 📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Estudo de oceano; Ciência do mar; Instituto de Estudos do Mar; Oceanografia;