

Ecossistema Marinho Antártico

Paulo Yukio Gomes Sumida¹, Karin Lütke Elbers¹, Arthur Ziggianti Güth¹, Angelo Fraga Bernardino² & Phan Van Ngan¹

¹Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo (IO-USP)

²Departamento de Oceanografia - Universidade Federal do Espírito Santo (CCHN-UFES)

1. A Região Antártica

O Continente Antártico, ou Antártica¹, distribui-se em latitudes que vão de 90°S (Pólo Sul geográfico) a cerca de 60°S na porção mais ao norte da Península Antártica, sendo o quinto maior continente² do planeta com quase 14 milhões de km², o que representa cerca de 1,6 vezes o tamanho do território brasileiro. A Antártica e o oceano que a circunda, chamado Oceano Austral, formam a Região Antártica, que cobre mais de 45 milhões de km², ou quase 10% da superfície terrestre.

O continente é famoso por seus extremos: é considerado o mais frio, o mais alto, o mais seco e o mais ventoso. As temperaturas na Antártica estão entre as mais baixas do planeta. A média anual de temperatura no Pólo Sul geográfico é de -49°C. No entanto, o Pólo Sul não é o local mais frio do continente, e sim a região conhecida como Domo A, que é uma elevação no platô do manto de gelo da Antártica Oriental com 4.093 m de altitude e onde a temperatura média anual gira em torno de -58,3°C e desconfia-se ocorrerem as menores temperaturas absolutas do planeta. Oficialmente a menor temperatura da Terra foi registrada na estação de pesquisa russa Vostok, próxima ao Domo A, quando no mês de julho de 1983 os termômetros marcaram -89,2°C. As baixas temperaturas ocorrem principalmente devido à pequena incidência de luz solar e à alta altitude média do continente. Comparando com regiões tropicais, a quantidade de energia solar incidente por área em regiões polares é menor devido ao menor ângulo de incidência dos raios solares e ao maior caminho que a luz percorre na atmosfera, chamada de massa atmosférica, que aumenta a reflexão e absorção da energia luminosa. Contribui também para as baixas temperaturas a alta reflexão da luz solar pela presença de gelo (alto albedo), estimada em cerca de 85%. O regime de luz varia de acordo com a estação do ano e também com a latitude, de maneira que dias completos de luz ou escuridão ocorrem apenas nos pólos.

A altitude média do continente está em torno dos 2.000 m, o que é três vezes superior à média de qualquer outro continente. No interior da Antártica, os ventos são constantes e fracos, raramente ultrapassando 20 km/h, e sopram do interior em direção à costa no sentido anti-horário. Isso ocorre devido à presença permanente de um centro de alta pressão atmosférica (anticiclone) sobre o manto de gelo que provoca a subsidência de massas de ar seco. Contudo, em regiões onde o declive é elevado, o ar frio, mais denso, pode descer as encostas do manto de gelo em direção à costa com velocidades de 70 km/h. Estes ventos são chamados de ventos catabáticos. Ventos catabáticos de 327 km/h foram registrados na estação de pesquisa francesa Dumont d'Urville em 1972.

A presença do centro de alta pressão no interior do continente e as baixas temperaturas fazem com que a umidade relativa do ar seja muito baixa. A maior parte da precipitação nesta região ocorre na forma de cristais de gelo, contudo, a precipitação anual de neve não atinge 50 mm, valor que pode ser comparado ao deserto do Saara, em que a

¹ Antártica ou Antártida? Etimologicamente o nome do continente vem de sua oposição à região Ártica (que é denominada a partir da constelação da Estrela Polar, Ursa Menor; sendo *arktos* urso em grego). Ou seja, significa o anti-Ártico. Na língua portuguesa, o termo Antártica é mais utilizado, no entanto, ambos são corretos.

² Ao contrário da região Antártica, que é formada por uma massa de terra cercada por um oceano, a região Ártica é formada por um oceano (Oceano Ártico) cercado por terras. Não há um continente sob o Pólo Norte, apenas um oceano coberto por uma calota de gelo polar.

precipitação anual varia de 20 mm em regiões mais secas a 100 mm nas regiões mais úmidas. Deste modo, apesar de ser uma imensa área coberta de gelo, podemos considerar a Antártica um grande deserto polar. As chuvas e neve são mais comuns na região costeira da Antártica. Isso porque sistemas atmosféricos provenientes de latitudes mais baixas podem atingir a costa, trazendo massas de ar mais úmidas. Sobre o Oceano Austral existem centros de baixa pressão que formam uma faixa circumpolar em torno das latitudes 60-65°S, conhecido como cavado circumpolar, uma das regiões mais tempestuosas do mundo.

O limite norte do Oceano Austral, o qual também limita a chamada Região Antártica, é chamada de Convergência Antártica. É neste local em que a água fria e densa da Antártica encontra as águas mais quentes e menos densas dos oceanos adjacentes (Atlântico, Pacífico e Índico), afundando sob elas. Este local também coincide com a isoterma de 10°C do mês de fevereiro (mês mais quente do ano). Sua posição média (latitude 58°S) está ao norte do Círculo Polar Antártico, no entanto, esta barreira oceanográfica não possui um limite fixo, pois o seu extremo norte pode oscilar de acordo com a posição das massas de água ao longo do ano. A Convergência Antártica é extremamente importante dentro do ecossistema marinho antártico, pois é caracterizada pelas mudanças abruptas de temperatura e salinidade que interferem na abundância de fitoplâncton e na distribuição do zooplâncton, das aves e de mamíferos marinhos, funcionando como uma barreira biogeográfica para muitas espécies. Nesta região, as temperaturas da superfície do oceano variam de 4-8°C no verão a 1-3°C no inverno. Já em áreas próximas ao continente antártico, a temperatura da água do mar varia muito pouco, de -1,0°C no verão a -1,9°C (ponto de congelamento da água do mar com salinidade igual a 35 psu) no inverno. No entanto, a zona costeira rasa apresenta uma maior variação de temperatura, dependendo da profundidade da coluna de água e do confinamento. Por exemplo, em poças de maré, a temperatura pode variar de 2°C a 14°C em apenas 8 horas.

A característica mais importante da Região Antártica, tanto em termos físicos como biológicos, é a sazonalidade. Todo ano, durante o inverno, uma área de cerca de 20 milhões de km² é adicionada ao continente através da formação de uma camada de gelo marinho de até 3 metros de espessura (a média é de 1 m) sobre o Oceano Austral (Figura 1). No verão, a área de gelo que recobre o oceano reduz-se em 1/5 (cerca de 4 milhões de km²). Este processo de avanço e retração da banquisa de gelo é considerado o maior processo sazonal da Terra e possui papel fundamental no sistema climático global, já que altera o albedo e as trocas de calor e umidade com a atmosfera. Além disso, possui um efeito marcante sobre a biota do Oceano Austral.

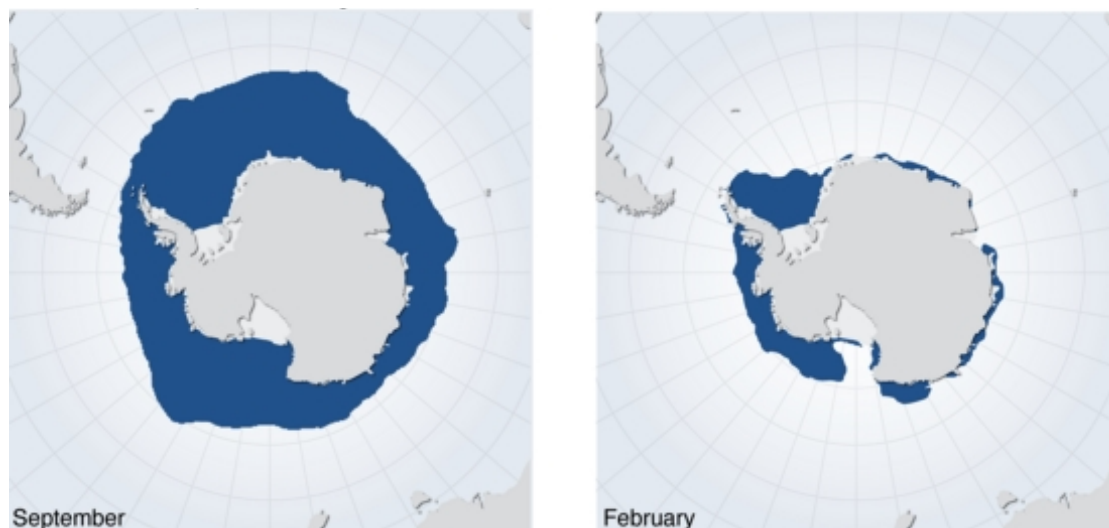


Figura 1. Extensão média do gelo marinho entre 1979 e 2002/2003 durante os meses de setembro (Inverno) e fevereiro (Verão) no Oceano Austral. Fonte: modificado de Hugo Ahlenius, UNEP/GRID-Arendal.

O padrão de circulação do vento sobre o Oceano Austral é considerado mais intenso e constante do que qualquer outra região do mundo. São estes campos de vento que governam sua circulação superficial. As correntes superficiais mais importantes presentes no Oceano Austral são a Corrente Circumpolar Antártica (CCA) e Corrente Costeira Antártica (CCoA). A CCA é considerada a maior corrente oceânica do mundo, que flui de oeste para leste ao redor da Antártica com velocidades relativamente baixas (20 a 40 cm/s), mas que atingem velocidades maiores em regiões de estrangulamento, como na Passagem de Drake. A CCoA é governada pelo regime costeiro de ventos de leste, originado no centro de alta pressão existente sobre o manto de gelo continental, portanto, flui no sentido contrário da CCA com velocidades entre 2,5 e 25 cm/s e está localizada mais próxima à costa. No entanto, a CCoA não é uma corrente circumpolar contínua, ela sofre interrupções ao longo da Península Antártica e nos mares de Ross e Weddell devido a presença das plataformas de gelo.

As massas de água ao redor do continente circulam sobre um fundo oceânico formado por bacias oceânicas com profundidades entre 4.000 e 7.000 m, rodeadas por montes e elevações submarinas que tendem a restringir e desviar a passagem de massas de água. Em áreas mais próximas à costa, as correntes e as propriedades das massas de água são influenciadas principalmente pela profundidade da plataforma continental e, em determinados locais, como no Mar de Ross e no Mar de Weddell por sua grande extensão. Na Região Antártica é formada a Água Antártica de Fundo (AAF), rica em oxigênio, que circula lentamente junto ao assoalho oceânico, demorando centenas de anos até retornar a superfície.

2. O ecossistema costeiro e marinho da Região Antártica

O fitoplâncton e a produção primária no Oceano Austral

O fitoplâncton desempenha um papel fundamental no Oceano Austral atuando na base da cadeia alimentar e nos processos que influenciam diretamente o clima e as mudanças globais. Através da fotossíntese, estes organismos são os principais produtores primários do Oceano Austral, convertendo carbono inorgânico dissolvido em matéria orgânica para formar suas células. Consumidores como os crustáceos copépodes e o *krill*, alimentam-se do fitoplâncton e sustentam os demais elos da cadeia alimentar.

O fitoplâncton do Oceano Austral é composto principalmente por diatomáceas, dinoflagelados e silicoflagelados. Mais de 100 espécies de diatomáceas e 60 espécies de dinoflagelados foram encontradas nas águas ao redor da Antártica, entre espécies cosmopolitas e endêmicas. Uma grande diversidade de espécies vive associada ao gelo marinho (chamadas de epônticas) e estão adaptadas à uma condição bastante peculiar de luminosidade. O avanço e retração sazonal do gelo marinho interfere nos níveis de produção primária já que durante os meses de inverno o gelo cobre grande parte do Oceano Austral, impedindo a passagem da luz. Durante a formação do gelo sobre o oceano, há incorporação e desenvolvimento de algas (conhecidas como “algas do gelo”) e a formação de um complexo sistema microbiano nos canais e na superfície inferior do gelo que permanece em contato com a água do mar. As algas do gelo podem sobreviver com apenas 1% da luz incidente, em um ambiente frio e supersalino (-10°C e 150 psu³).

No período de derretimento do gelo marinho, principalmente nos meses de novembro e dezembro, ocorre a introdução de grande quantidade de água de baixa salinidade no sistema pelágico. Esta introdução de água menos densa provoca maior estabilidade vertical na coluna de água que, concomitante com um aumento na incidência de luz e na concentração dos nutrientes, promove o crescimento e surgimento de grandes florações de fitoplâncton.

³ A salinidade média dos oceanos gira em torno de 35 psu (Unidades Práticas de Salinidade).

A produtividade primária no Oceano Austral é espacialmente heterogênea. Em áreas oceânicas, longe da costa, e em algumas áreas ao redor do continente, os valores encontrados são tipicamente de regiões oligotróficas⁴ (<0,1 g C/m²/dia). No entanto, em outros locais, os valores encontrados muitas vezes são tipicamente de áreas de ressurgência, que são altamente produtivas⁵. Dentre os fatores que podem limitar a produtividade primária no Oceano Austral, os mais importantes são a disponibilidade de macronutrientes⁶ e micronutrientes, a estabilidade da coluna de água, a temperatura e a radiação solar, ainda que alguma resposta adaptativa às baixas temperaturas e à baixa radiação solar tenha sido observada no processo de fotossíntese pelo fitoplâncton em águas antárticas.

O zooplâncton e o papel do krill no ecossistema marinho antártico

Os organismos do zooplâncton antártico são diversos e abundantes, sendo que em algumas regiões sua biomassa total pode chegar a 3,5 g (peso seco)/m³, ultrapassando muitas regiões tropicais e temperadas.

Dentre os organismos do zooplâncton do Oceano Austral, os de maior destaque são os crustáceos da Ordem Euphausiacea, conhecidos genericamente como krill. O krill é o principal elo de ligação da cadeia pelágica antártica, sendo uma espécie-chave do ecossistema marinho antártico. Apesar de existir mais de uma espécie de krill, a mais conhecida e abundante é a *Euphausia superba*, que ocorre em torno de todo o continente. Este pequeno crustáceo, com pouco mais de 6 cm de comprimento e cerca de 1 a 2 gramas de peso, ocorre em grande número. Calcula-se que a população total de krill nas águas antárticas gire em torno de 600 trilhões de indivíduos, ou 19 milhões/km². A biomassa total de krill chega a 650 milhões de toneladas, o que excede o peso de todos os seres humanos.

Não é de se admirar que o krill sirva de alimento, direta ou indiretamente, para uma ampla gama de grandes predadores, entre baleias verdadeiras, focas, pinguins, lulas, peixes e outros invertebrados. Isso faz com que a cadeia alimentar antártica seja abreviada em alguns ramos (e.g.: fitoplâncton - krill - baleias), embora esteja longe de ser simples (Figura 2). Alguns organismos podem apresentar uma dieta quase exclusiva de krill e estima-se que os predadores de krill consumam cerca de 250 milhões de toneladas a cada ano.

Apesar da grande abundância e da ocorrência ao redor de todo o continente, a distribuição do krill não é homogênea em torno da Antártica. O krill forma grandes agregados de larvas e adultos, geralmente coincidentes com os principais giros de correntes oceânicas e com a maior disponibilidade de alimento. Estes estoques são importantes para a reprodução e manutenção das populações na região. Alguns superagregados de krill podem conter 2,1 milhões de toneladas em 450 km², apesar de agregados de 10 a 100 toneladas serem mais comuns.

Estudos sobre a extensão e duração do gelo marinho formado nos meses de inverno na Antártica mostram a importância deste fator para o krill, tanto como hábitat como para local de alimentação. Estudos recentes mostram que áreas da Antártica onde o gelo marinho vem diminuindo devido ao aquecimento global (e.g. Península Antártica) há também uma diminuição nos estoques de krill. Nestes locais, a diminuição do krill é compensada pelo aumento no número de salpas, que são organismos gelatinosos do zooplâncton. Tais estudos mostram que o aquecimento global podem ter consequências catastróficas para o ecossistema antártico.

⁴ Regiões oligotróficas consistem em locais com baixa concentração de nutrientes e baixa produtividade biológica (e.g.: as vastas regiões de giro subtropical), já as regiões ricas em nutrientes e com alta produtividade biológica são chamadas de eutróficas.

⁵ Em algumas regiões costeiras da Antártica, os valores de produtividade primária podem ultrapassar 3 g C/m²/dia. Porém, valores acima de 5 g C/m²/dia já foram registrados no Oceano Austral.

⁶ Os nutrientes podem ser classificados em macro e micronutrientes. Macronutrientes são os necessários em grande quantidade e fornecem energia e componentes necessários para o crescimento e manutenção, enquanto os micronutrientes são necessários em pequenas quantidades (mili ou microgramas).

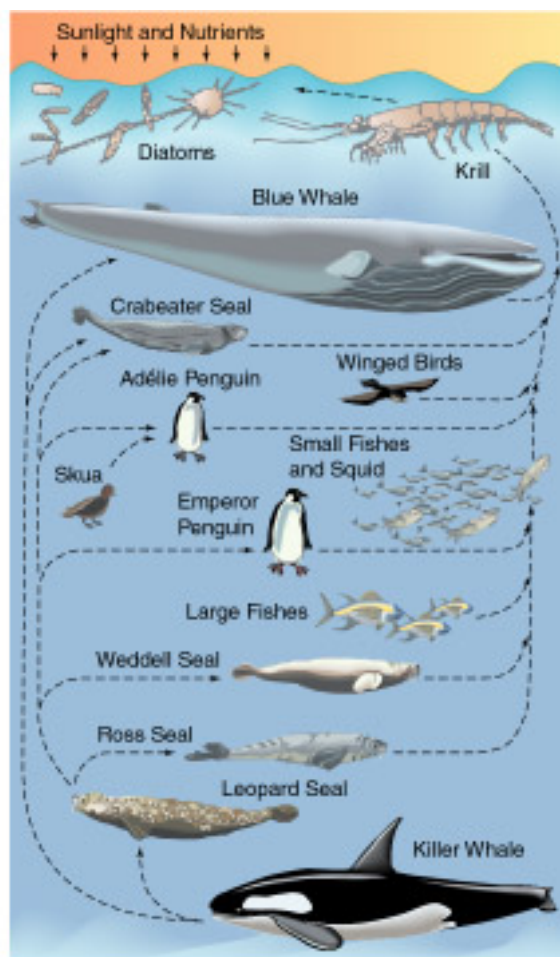


Figura 2. Cadeia alimentar pelágica simplificada do Oceano Austral. Imagem: Pearson Education, Inc. (Pearson Prentice Hall).

Os organismos nectônicos

No Oceano Austral, os principais componentes do nécton são os peixes⁷, as aves e os mamíferos marinhos. Ao redor da Antártica não são encontrados répteis marinhos, como as tartarugas marinhas por exemplo, pois esses organismos não possuem a capacidade de regular a temperatura do corpo.

Uma das adaptações mais interessantes verificadas em organismos antárticos é a adaptação às baixas temperaturas em algumas espécies de peixes. Estas espécies apresentam glicoproteínas anticongelantes nos fluidos biológicos (sangue, líquido intersticial), que garantem sua fluidez e evitam seu congelamento e a conseqüentemente morte destes organismos. As glicoproteínas garantem a sobrevivência em águas com até $-1,9^{\circ}\text{C}$, no entanto, os peixes não conseguem viver em águas acima de 4 ou 5°C .

Existem diversas espécies de peixes vivendo no Oceano Austral, sendo uma grande parte endêmica da região (90%, no caso de peixes bentônicos). Só a Subordem Notothenioidei engloba mais de 120 espécies, sendo que a família dos bacalhaus antárticos (Nototheniidae) representa a maior parte delas (cerca de 50 espécies que vivem por toda a coluna de água), seguida pela família dos peixes de gelo ou *icefish* (Channichthyidae). Estes últimos são muito interessantes por não possuírem hemoglobina, uma vez que a alta solubilidade do oxigênio em baixas temperaturas, aliada a uma taxa metabólica muito reduzida, permite que o oxigênio seja transportado dissolvido no sangue, sem a

⁷ Na Antártica há poucas espécies de peixes pelágicos, sendo a maioria de hábito bentônico ou demersal (i.e. vivendo e se alimentando próximo ao fundo).

ajuda de um pigmento respiratório. A ausência da hemoglobina torna estes peixes tipicamente transparentes e com órgãos internos esbranquiçados.

A ausência de grandes predadores terrestres (anfíbios, répteis e mamíferos) e a presença de grandes estoques de alimento no Oceano Austral, como krill e peixes, permite o sustento de imensas populações de aves marinhas na Antártica. Aproximadamente 45 espécies de aves marinhas vivem ao sul da Convergência Antártica, mas apenas três⁸ reproduzem-se exclusivamente no continente antártico.

As aves marinhas capazes de voar incluem a Ordem Charadriiformes, representada principalmente pelas skuas (*Stercorarius* sp.), o gaivotão (*Larus dominicanus*) e o trinta-réis-antártico (*Sterna vittata*); a Ordem Procellariiformes, que responde por mais da metade das espécies de aves antárticas, representada pelos albatrozes e petréis e a Ordem Pelecaniformes, representado pelo biguá-de-olhos-azuis (*Phalacrocorax atriceps*).

Os pinguins (Ordem Sphenisciformes) são as aves marinhas mais características da Antártica e fazem parte de um grupo de aves que não voam, mas que possuem adaptações morfológicas para natação e mergulho. Essas características morfológicas incluem forma de corpo hidrodinâmica, penas diminutas, patas palmadas e asas em forma de aletas. Adaptações anatômicas e fisiológicas permitem a esses animais atingirem profundidades de até 600 m, como o caso do pinguim-imperador (*Aptenodytes forsteri*), que pode ficar até cerca de 20 minutos sem respirar à procura de presas (krill, peixes, pequenos crustáceos e cefalópodes) ou se deslocando (para a maioria dos pinguins este tempo máximo de mergulho está entre 5 e 7 minutos).

Existem mais de vinte espécies de pinguins habitando o planeta. Apenas uma espécie habita a região equatorial, nas Ilhas Galápagos; muitas ocorrem em regiões temperadas do Hemisfério Sul (e.g.: *Spheniscus magellanicus*, conhecido como pinguim-de-magalhães, que habita a porção mais meridional da América do Sul) e a maioria pode ser encontrada na Antártica e ilhas subantárticas, como o pinguim-de-adélia (*Pygoscelis adeliae*), pinguim-marcaroni (*Eudyptes chrysolophus*), pinguim-gentoo ou papua (*Pygoscelis papua*), entre outros.

Uma das características mais marcantes da maioria das espécies de aves marinhas antárticas é a migração. Durante a primavera e verão as aves procuram locais na região costeira para a reprodução e construção de ninhos, nas encostas ou nas colônias de reprodução, que ficam livres de gelo nesta época do ano. Durante o inverno, muitas espécies migram em direção ao Norte, para regiões mais quentes.

Uma das poucas espécies que permanecem durante o inverno na Antártica é o pinguim-imperador, a maior espécie de pinguim (adultos podem atingir 1,22 m). Esta espécie possui distribuição circumpolar, mas se concentra em colônias de reprodução nas plataformas de gelo e em regiões até 18 km para o interior do continente. A fêmea põe apenas um ovo no final do outono e o deixa aos cuidados do macho enquanto segue em direção ao oceano, onde passa o inverno se alimentando. O macho é responsável pela incubação do ovo, que dura cerca de 65 dias. Durante este período, os machos enfrentam temperaturas abaixo de -40°C e ventos superiores a 200 km/h, um ao lado do outro, na maior parte do tempo dormindo ou revezando a posição, dentro e na borda do agregado, para poupar energia. Os machos não se alimentam por cerca de 115 dias (desde a chegada à colônia até o retorno para o mar) e sobrevivem graças as penas e a camada de gordura que acumularam durante o verão, que pode atingir cerca de 3 cm, funcionando como um isolante térmico. A fêmea regressa apenas no início da primavera, na época do nascimento dos filhotes, para alimentá-los. A taxa de sobrevivência é alta e a estimativa de vida é de cerca de 20 anos.

Os mamíferos marinhos antárticos são os mais importantes predadores de pinguins e outras aves marinhas e são considerados os predadores do topo da cadeia alimentar do Oceano Austral. Eles são representados por dois grupos: (1) os cetáceos (Ordem Cetacea), que inclui as baleias e golfinhos e (2) os pinípedes (Infraordem Pinnipedia), que inclui

⁸ Skua, pinguim-imperador e o petrel-antártico.

as focas, lobos-marinhos, leões-marinhos e elefantes-marinhos. Ambos possuem adaptações para viverem sob regimes de temperatura extremamente baixos, como por exemplo, o desenvolvimento de uma grossa camada de gordura logo abaixo da pele, isolando e diminuindo a perda de calor corporal para o ambiente.

Entre os cetáceos, são poucos os que vivem permanentemente na região antártica ou subantártica, chamados de residentes (e.g.: baleia-bicuda-de-arnoux e golfinho-cruzado ou ampulheta). A maioria das espécies de baleias realiza migração no início do outono, em busca de água tropicais quentes para a reprodução e nascimento dos filhotes, que não possuem uma camada de gordura suficientemente desenvolvida ao nascerem, para suportar o frio antártico. Na primavera elas retornam para as águas do Oceano Austral, onde se alimentam até o início do outono seguinte. Por exemplo, as baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) passam o verão nos arredores de ilhas subantárticas, mas durante o inverno se acasalam e têm filhotes na região nordeste do Brasil. Outras baleias de barbatana (Subordem Mysticeti) que realizam migração anual são as baleias minke, azul, fin, sei e franca, que se alimentam principalmente do krill nas águas do Oceano Austral.

Alguns cetáceos com dentes (Subordem Odontoceti), como os cachalotes e as orcas, podem permanecer durante o inverno no Oceano Austral. No caso dos cachalotes, apenas os machos vivem nesta região, pois as fêmeas permanecem em água tropicais e subtropicais. Eles se alimentam de lulas, polvos e peixes, enquanto as orcas, além destas presas, consomem pinguins e outras aves, pinípedes e outras baleias.

Os pinípedes são mamíferos marinhos aptos a viver na terra e no mar, mas é na água que mostram sua grande agilidade. Os lobos e leões-marinhos (Família Otariidae) possuem orelha e são um pouco mais ágeis em terra que as focas verdadeiras e elefantes-marinhos (Família Phocidae), que não possuem orelha e geralmente se deslocam em terra rastejando. Estes grupos alimentam-se no mar, de peixes, crustáceos e lulas, mas se reproduzem em terra, tendo apenas um filhote por vez, que pode viver até cerca de 25 anos. Algumas espécies presentes na Antártica são: a foca-caranguejeira (*Lobodon carcinophagus*), a foca-de-Weddell (*Leptonychotes weddellii*), a foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx*), o lobo-marinho-antártico (*Arctocephalus gazella*) e o elefante-marinho (*Mirounga leonina*).

2.3 O ecossistema marinho bêntico

Ao contrário das áreas emersas de baixa diversidade biológica, as comunidades permanentemente submersas são muito mais abundantes e ricas em espécies. Contudo, há algumas regiões onde icebergs⁹ podem atingir o fundo constantemente, eliminando as espécies bênticas e diminuindo a diversidade no local. Este fenômeno é chamado de “ice scouring”¹⁰ e, apesar de ser mais comum em áreas costeiras com até 20 metros de profundidade, o impacto de icebergs pode estender-se a até 150 metros de profundidade¹¹ quando afetadas por icebergs de grandes proporções.

Em regiões onde o impacto físico causado por icebergs ou gelo ancorado é reduzido, as comunidades bentônicas apresentam-se abundantes e frequentemente com alta diversidade. Estas comunidades são dominadas principalmente por equinodermes (estrelas-do-mar, pepinos-do-mar, ouriços, lírios-do-mar e ofiuróides ou serpentes do mar), esponjas, anêmonas, gorgônias, vermes e crustáceos.

A maioria dos organismos marinhos bentônicos da Antártica depende da matéria orgânica produzida pelo fitoplâncton na coluna de água, salvo exceções em áreas costeiras dominadas por macroalgas.

⁹ Icebergs são formados pela quebra de grandes blocos de gelo da calota polar em áreas costeiras. Eles podem atingir dimensões gigantescas de, por exemplo, 240 x 110 km.

¹⁰ Processo pelo qual os icebergs produzem cicatrizes no assoalho oceânico quando a profundidade da coluna de água é menor do que o tamanho de sua parte submersa.

¹¹ Foram encontradas marcas no assoalho oceânico a 450 metros de profundidade, provavelmente causadas por icebergs gigantescos. Contudo, estes eventos são mais raros.