

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

ELIS DE FREITAS MATOS

**O IMPACTO DA PESCA DO KRILL ANTÁRTICO (Crustacea: Euphausiacea) NA
DISPONIBILIDADE ALIMENTAR DA BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*).**

São Paulo – SP

2024

ELIS DE FREITAS MATOS

O IMPACTO DA PESCA DO KRILL ANTÁRTICO (Crustacea: Euphausiacea) NA
DISPONIBILIDADE ALIMENTAR DA BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da
Universidade Presbiteriana Mackenzie, como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel
em Ciências Biológicas.

Orientador: PROF. DR. GUSTAVO AUGUSTO SCHMIDT DE MELO FILHO

São Paulo – SP

2024

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de muitas pessoas que estiveram ao meu lado durante esta trajetória.

Em primeiro lugar, agradeço à minha família, especialmente a minha mãe Vilma, ao meu pai Romildo e a minha irmã Yolanda, por sempre acreditarem em mim e estarem ao meu lado em todos os momentos. Obrigada pelo apoio incondicional, pelas palavras de encorajamento e pelo amor genuíno. Agradeço profundamente por todo o carinho que vocês proporcionam e por serem minha base em cada passo desta jornada. Amo vocês.

A todos os meus professores que, com sua sabedoria e dedicação, foram fundamentais para que eu pudesse estar hoje concluindo este trabalho. Em especial, ao Prof. Dr. Gustavo Schmidt, pela orientação precisa, paciência e por acreditar no potencial deste projeto desde o início.

Aos meus amigos que fizeram parte da minha formação, especialmente Roberta, Anne, Renata, Pedro, Bárbara, Maria Luiza, Maria Clara e Gabriella, minha mais profunda gratidão. A presença de vocês tornou essa jornada muito mais leve, divertida e enriquecedora. Vocês são pessoas maravilhosas e fizeram toda a diferença simplesmente por estarem ao meu lado, oferecendo amizade, apoio e momentos incríveis.

Agradeço também à Universidade Presbiteriana Mackenzie e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino. Meu agradecimento também se estende a todos os profissionais e colegas que, direta ou indiretamente, me auxiliaram com palavras de apoio, sugestões ou simplesmente por estarem presentes durante esse percurso.

RESUMO

O krill antártico (*Euphausia superba*) desempenha um papel crucial no ecossistema do Oceano Antártico, servindo como base alimentar para várias espécies marinhas, incluindo peixes, pinguins, focas e, especialmente, as baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*). Este trabalho teve como objetivo avaliar os impactos da pesca do krill na disponibilidade desse recurso essencial e suas consequências para as populações de baleias-jubarte, que dependem desse crustáceo para acumular reservas de energia durante o verão austral, essencial para sustentar suas longas migrações e atividades reprodutivas. A pesquisa envolveu a análise da dinâmica populacional do krill e das tendências da pesca na região antártica, evidenciando um aumento na exploração comercial nos últimos anos, impulsionado pela demanda crescente por suplementos alimentares e ração para aquicultura. Atualmente, o limite de captura de krill estabelecido é de 8,6 milhões de toneladas por ano, com um “limite de desencadeamento” de 620.000 toneladas, que visa evitar impactos ecológicos significativos. Os resultados indicam que a pesca intensiva, aliada às mudanças climáticas, pode estar comprometendo a recuperação da população de baleias-jubarte, uma vez que a redução na disponibilidade de krill afeta sua saúde, taxas de reprodução e capacidade de sobrevivência. Foi observado também, que a escassez de dados atualizados sobre a biomassa de krill e sua distribuição impede a definição de políticas de manejo mais eficazes para garantir a sustentabilidade do ecossistema antártico. Conclui-se que, para mitigar os impactos negativos da pesca de krill e preservar a biodiversidade marinha, é essencial intensificar o monitoramento das leis do krill e revisar os limites de captura de forma adaptativa, considerando as mudanças climáticas e os novos dados científicos. A adoção dessas medidas é crucial para garantir o equilíbrio ecológico do Oceano Antártico e a preservação das espécies que dele dependem.

Palavras-chave: krill antártico, pesca, baleia-jubarte, *Megaptera novaeangliae*, ecossistema antártico, conservação marinha.

ABSTRACT

Antarctic krill (*Euphausia superba*) plays a crucial role in the Southern Ocean ecosystem, serving as the food base for several marine species, including fish, penguins, seals and, especially, humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). This work aimed to assess the impacts of krill fishing on the availability of this essential resource and its consequences for humpback whale populations, which depend on this crustacean to accumulate energy reserves during the austral summer, essential to sustain their long migrations and reproductive activities. The research involved analyzing krill population dynamics and fishing trends in the Antarctic region, showing an increase in commercial exploitation in recent years, driven by growing demand for food supplements and aquaculture feed. Currently, the established krill catch limit is 8.6 million tons per year, with a “trigger limit” of 620,000 tons, which aims to avoid significant ecological impacts. The results indicate that intensive fishing, combined with climate change, may be jeopardizing the recovery of the humpback whale population, since the reduction in the availability of krill affects their health, reproduction rates and ability to survive. It was also observed that the scarcity of up-to-date data on krill biomass and distribution prevents the definition of more effective management policies to ensure the sustainability of the Antarctic ecosystem. It is concluded that in order to mitigate the negative impacts of krill fishing and preserve marine biodiversity, it is essential to intensify the monitoring of krill laws and adaptively review catch limits, taking into account climate change and new scientific data. Adopting these measures is crucial to ensure the ecological balance of the Southern Ocean and the preservation of the species that depend on it.

Keywords: Antarctic krill, fishing, humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, Antarctic ecosystem, marine conservation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. O KRILL ANTÁRTICO (<i>Euphausia superba</i>).....	7
1.2. A BALEIA-JUBARTE (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	9
1.3. A PESCA DO KRILL ANTÁRTICO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3. OBJETIVOS	16
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6. CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

A Antártida é o continente mais meridional da Terra, localizado no Polo Sul, sendo um dos ambientes mais extremos e inóspitos do planeta. Apesar das condições adversas, a Antártida possui uma rica biodiversidade marinha, sustentada pelo Oceano Antártico que a circunda. Este ecossistema é um dos mais produtivos do mundo, abrigando organismos adaptados ao frio extremo, como o krill antártico, uma pequena espécie de crustáceo que desempenha um papel fundamental na cadeia alimentar. O krill serve de base para a alimentação de espécies diversas, incluindo peixes, pinguins, focas e baleias, como a baleia-jubarte. Além de ser um dos ambientes mais extremos e inóspitos do planeta, o Oceano Antártico também tem sido alvo de crescente exploração humana. Inicialmente, essa exploração focou na caça de mamíferos marinhos, como focas, elefantes-marinhos e posteriormente baleias, devido ao uso intensivo de sua gordura e ossos em aplicações comerciais e industriais. No entanto, após o extermínio de muitas dessas espécies, a caça foi proibida, redirecionando o interesse econômico para recursos naturais como o krill antártico e algumas espécies de peixes de alto valor comercial (Convey, 2017; López, 2021).

1.1. O KRILL ANTÁRTICO (*Euphausia superba*)

Krill é o termo utilizado para designar pequenos crustáceos da ordem Euphausiacea, que inclui cerca de 85 espécies distribuídas nos oceanos de todo o mundo. Esses organismos são considerados espécies-chave por ocuparem a base da cadeia alimentar marinha: alimentam-se de fitoplâncton e alguns tipos de zooplâncton e, por sua vez, servem de alimento para uma ampla variedade de predadores, incluindo as baleias (Eversion, 2000).

O krill antártico (*Euphausia superba*) é uma espécie pelágica que habita as águas do Oceano Antártico e pode viver até 11 anos. Em sua fase adulta, geralmente mede entre 3,5 e 5 cm, podendo atingir até 7 cm de comprimento (Figura 1), sendo considerado uma das maiores espécies da família Euphausiidae. Possui um exoesqueleto calcificado dividido em duas partes: o cefalotórax, que combina cabeça e tórax, e o abdômen. No tórax, há seis pares de apêndices, essas estruturas possuem cerdas que formam uma eficiente “cesta filtradora” e incluem cerdas especializadas para raspar o gelo, que auxiliam na alimentação. O abdômen, composto por segmentos musculares, é responsável pela natação rápida e eficiente. A cabeça, por sua vez, apresenta um par de antenas que desempenham funções sensoriais, auxiliando na detecção de alimentos e

predadores, contribuindo para o equilíbrio durante a natação e facilitando a comunicação entre indivíduos (Eversion, 2000; Meyer; Teschke, 2016).

Figura 1. Krill Antártico (*Euphausia superba*).



Fonte: British Antarctic Survey ¹.

Essa espécie geralmente habita os 200 metros de profundidade, nadando ativamente. Realiza uma migração vertical diária, permanecendo em profundidades maiores durante o dia para evitar predadores e subindo à superfície à noite em busca de alimento. No entanto, essa migração não é constante, em alguns casos, o krill antártico pode subir à superfície mesmo durante o dia para se alimentar ou se reproduzir, apesar do aumento no risco de predação. No verão, alimenta-se principalmente de fitoplâncton formando grandes cardumes, que podem alcançar mais de 6 km de extensão e conter milhões de toneladas de krill. No inverno, a densidade dos cardumes diminui, pois os indivíduos tendem a viver de forma mais isolada, com as algas que crescem abaixo da superfície do gelo marinho (Figura 2) tornando-se sua principal fonte de alimento durante esse período (Schmidt; Atkinson, 2016).

Figura 2. Krill antártico se alimentando de algas presente abaixo da superfície do gelo.



Fonte: Instituto Oceanográfico da USP ².

¹ Disponível em: < <https://www.bas.ac.uk/project/krillbase/>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

² Disponível em: <<https://www.io.usp.br/index.php/oceanos/textos/antartida/203-vi-o-krill-da-antartida.html>>. Acesso em: 30 set. 2024.

A reprodução do krill antártico é um processo essencial para a manutenção de suas grandes populações e ocorre predominantemente durante o verão. Nesse período, os adultos se concentram nas camadas superficiais da coluna d'água, onde encontram alimento abundante e temperaturas mais altas que favorecem a reprodução. As fêmeas produzem grandes ovários e podem pôr até 10.000 ovos a cada período reprodutivo. Após serem liberados no oceano, os ovos fundam e começam a se desenvolver, passando por múltiplos estágios larvais. À medida que se desenvolvem, os juvenis tornam-se nadadores mais ativos e menos dependentes das correntes, podendo explorar fluxos de água específicos para se manterem em áreas mais adequadas (Ross; Quentin, 2000).

Esse pequeno crustáceo é considerado um dos elos centrais das teias tróficas antárticas. Como consumidor primário abundante e de alto valor energético, serve como alimento para muitos animais, direta e indiretamente. Ele desempenha um papel crucial no transporte e transformação de nutrientes essenciais, impulsionando a produtividade primária e influenciando o ciclo do carbono (Villemur, 2004; Cavan *et al.*, 2019). O Oceano Antártico, além de ser um dos maiores sumidouros de carbono do mundo e um local de formação de massa de água que transporta nutrientes pelos oceanos globais, contém os maiores estoques de krill do mundo. Dessa forma, alterações na abundância de krill, seja por fatores climáticos ou pela intensificação da pesca, podem comprometer potencialmente o equilíbrio ecológico e os processos biogeoquímicos no Oceano Antártico, impactando tanto as espécies que dele dependem quanto a regulação do carbono atmosférico em escala global (Gascón; Werner, 2005).

1.2. A BALEIA-JUBARTE (*Megaptera novaeangliae*)

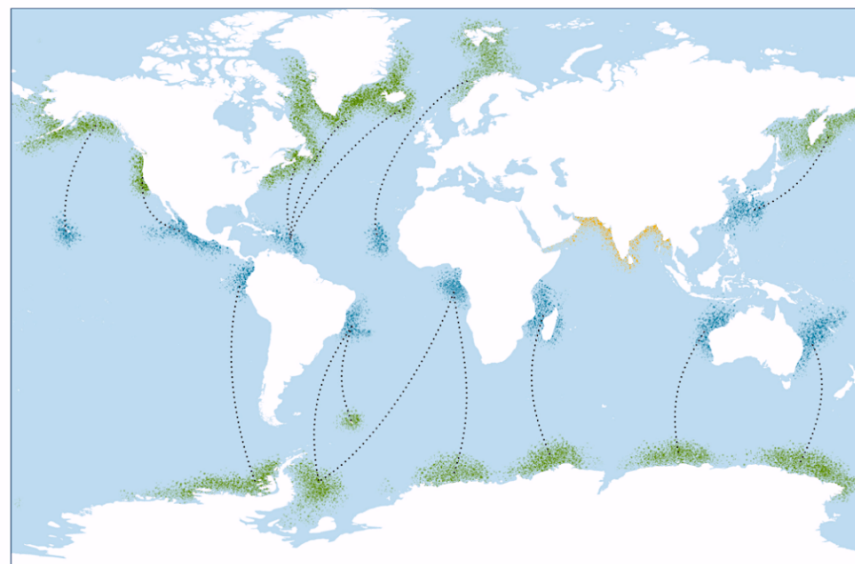
Megaptera novaeangliae também conhecida como baleia-jubarte, baleia corcunda ou baleia cantora (Figura 3) é um mamífero marinho que faz parte do grupo dos mysticetos ou “baleias de barbatana”, pois, ao invés de dentes, possuem cerdas filtradoras, presas a maxila, denominadas “barbatanas”. Essas cerdas, constituídas de queratina, permitem que esses animais se alimentem de pequenos organismos do zooplâncton marinho (Palazzo; Both, 1988). Segundo Engel e Marcovaldi (2007), a baleia-jubarte é uma espécie cosmopolita, encontrada em todos os oceanos do mundo, que realiza grandes migrações de até 8.000 km. Durante o verão e o outono, as baleias jubarte migram para áreas de alimentação nos polos, onde acumulam reservas de gordura. No inverno e na primavera, elas seguem para águas tropicais e subtropicais, onde se reproduzem e criam seus filhotes (Figura 4). Durante esse período migratório, as baleias não se alimentam, dependendo da espessa camada de gordura acumulada para fornecer a energia necessária para sustentar suas atividades (Chernetsky *et al.*, 2023).

Figura 3. Baleia-jubarte (*Megaptera novaeangliae*) e filhote.



Fonte: Pensamento Verde ³.

Figura 4. Mapa de distribuição e rota migratória da *Megaptera novaeangliae*.



- ÁREAS DE ALIMENTAÇÃO
- ÁREAS DE REPRODUÇÃO E CRIA DE FILHOTES
- POPULAÇÃO RESIDENTE



Fonte: Santos (2021).

³ Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/animais-em-extincao/populacao-de-baleias-jubarte-tem-aumento-de-40/>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

A baleia-jubarte está entre as maiores baleias, podendo atingir até 16 metros de comprimento. Os adultos variam entre 12 e 15 metros, com as fêmeas sendo ligeiramente maiores que os machos. Ao nascer, os filhotes medem entre 4,5 e 5 metros. A maturidade sexual é atingida entre 4 e 7 anos, momento em que as fêmeas medem cerca de 12 metros e os machos, 11,5 metros. A expectativa de vida dessa espécie é de 40 a 60 anos, e o peso dos adultos varia em média de 25 a 30 toneladas, podendo chegar até 40 toneladas. Além de seu tamanho, a jubarte também possui características anatômicas marcantes (Figura 5), como suas longas nadadeiras peitorais, que podem atingir até um terço do comprimento do corpo, e uma grande nadadeira caudal cuja face inferior possui padrões de coloração em branco e preto, que são únicos para cada indivíduo (Palazzo; Both, 1988; Clapham, 2018).

Figura 5. *Megaptera novaeangliae*. A - Região ventral da nadadeira peitoral. B - Região ventral da nadadeira caudal. C - Tubérculos, apontados nas setas em vermelho. D - Pregas ventrais.



Fonte: A - Farol da Bahia ⁴. B - IPeC, Instituto de Pesquisas Cananéia ⁵. C - VIVA, Instituto Verde Azul ⁶. D - National Geographic ⁷.

⁴ Disponível em: < <https://nautica.com.br/lembra-dela-baleia-jubarte-reaparece-no-brasil-25-anos-depois-do-primeiro-avistamento/>>. Acesso em: 5 out. 2024.

⁵ Disponível em: < <https://ipecpesquisas.org.br/reconhecer-individuos-para-contar-sua-historia/>>. Acesso em: 5 out. 2024.

⁶ Disponível em: < <https://www.viva.bio.br/onde-estao-as-baleias-jubarte-do-brasil/>>. Acesso em: 5 out. 2024.

⁷ Disponível em: < <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2019/10/baleia-jubarte-economia-carbono-mudancas-climaticas-oceano-morte-dolares>>. Acesso em: 5 out. 2024.

O dorso da Baleia-jubarte é predominantemente preto, enquanto a parte inferior apresenta uma pigmentação variável, podendo ser preta, branca ou manchada. As nadadeiras peitorais são brancas em sua parte ventral, e a coloração dorsal varia entre branco e preto, dependendo da população e do indivíduo. Possui tubérculos presentes ao longo da cabeça e mandíbula, além de pregas ventrais que se estendem desde o queixo até o final do abdômen. Essas estruturas são de grande auxílio durante a alimentação das jubartes, já que se expandem para comportar o alimento e contraem para a expulsão da água (Clapham; Mead, 1999; Clapham, 2018).

Dotadas de um comportamento social complexo, as jubartes formam grupos temporários que variam em tamanho e composição ao longo de suas migrações e atividades de alimentação e reprodução. Normalmente vistas sozinhas ou em pequenos grupos de dois a três indivíduos, essas baleias podem, em áreas com alta concentração de alimento, formar agregações maiores e cooperar durante a caça (Santos, 2021). Enquanto na época reprodutiva, o comportamento social das jubartes inclui grupos de concorrência entre machos, que competem ativamente por fêmeas por meio de exibições físicas e complexas vocalizações (Clapham, 2018).

Essa espécie de cetáceo possui uma dieta generalista, composta por eufausíáceos e diversas espécies de pequenos peixes de cardume. No Hemisfério Sul, as baleias-jubarte alimentam-se predominantemente de krill, enquanto as populações do Hemisfério Norte consomem uma variedade maior de presas além do krill, como anchovas, arenques e sardinhas (Siciliano *et al.*, 2015). Para capturar suas presas, as baleias-jubarte utilizam diversas estratégias, uma das mais conhecidas é a formação de "redes de bolhas", em que esses cetáceos criam uma barreira de bolhas ao redor de cardumes de peixes ou krill, cercando e concentrando suas presas, facilitando a captura em grupo. Outra técnica é a "alimentação de investida", em que a baleia nada em alta velocidade em direção ao cardume, abrindo a boca no momento exato para engolir grandes pedaços de água e presas, fechando rapidamente suas mandíbulas e, em seguida, filtrando as presas da água através de suas longas barbatanas (Murase *et al.*, 2002; Curtice, 2015).

As baleias-jubarte enfrentaram uma expressiva redução populacional ao longo do século XX devido à caça intensiva, que dizimou grande parte desses cetáceos, colocando a espécie à beira da extinção. A proibição da caça comercial, iniciada na década de 1980 pela Comissão Internacional da Baleia (IWC, sigla em inglês), foi um marco fundamental que contribuiu para uma recuperação da população de jubartes em diversas regiões. No entanto, apesar desse sucesso inicial de conservação, a espécie ainda é vulnerável aos impactos ambientais contemporâneos, como a mudança climática, a poluição marinha e o aquecimento dos oceanos, que alteram seus habitats e padrões de migração. Além disso, a pesca industrial do krill antártico, uma de suas principais fontes de alimento, pode

afetar a disponibilidade desse recurso essencial para a nutrição das jubartes durante suas migrações. Diante desse cenário, há preocupações sobre o possível impacto dessa pressão sobre a resiliência das situações de jubarte no futuro (Gross, 2021; IWC, 2024).

1.3. A PESCA DO KRILL ANTÁRTICO

A pesca de krill é uma atividade relativamente recente em comparação com outras formas de pesca comercial, tendo sido iniciada na década de 1960, quando o declínio nas populações de baleias de barbatanas, devido à exploração intensiva, sugeriu uma maior abundância de krill. Esse contexto despertou o interesse comercial por esse crustáceo, reforçado pelo desenvolvimento de tecnologias de pesca mais avançadas, que permitiram capturas em larga escala no Oceano Antártico (Nicol; Foster; Kawaguchi, 2012; Krafft *et al.*, 2021). Com o aumento da atividade pesqueira e as preocupações crescentes sobre o impacto ambiental dessa exploração, foi estabelecida, em 1982, a Convenção sobre a Conservação dos Recursos Vivos Marinhos da Antártida (CCAMLR, sigla em inglês). Essa organização foi criada como parte do Sistema do Tratado da Antártica, com o objetivo de conservar a vida marinha antártica em resposta ao crescente interesse comercial nos recursos de krill antártico, estabelecendo limites e diretrizes com o objetivo de minimizar o impacto no ecossistema antártico. Essas medidas incluem a limitação das áreas de pesca e a implementação de práticas que visam a proteção de espécies-chave da fauna local, reduzindo o impacto da atividade pesqueira na região (Nicol; Endo, 1997).

A coleta de grandes volumes desse crustáceo é conduzida com embarcações especializadas, que utilizam redes de arrasto de meia água e redes de arrasto de vara em profundidades de 0–250 m para capturar grandes volumes do crustáceo. Embora essa técnica seja eficaz em termos de quantidade, ela também pode ter impactos significativos, especialmente quando realizada em áreas sensíveis ou durante períodos críticos, como a época de desova do krill (López, 2021).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A pesca do krill antártico tem despertado preocupações devido ao seu potencial impacto nos ecossistemas marinhos, especialmente na região da Antártica, onde o krill desempenha um papel fundamental na cadeia alimentar (Nowacek *et al.*, 2021). O aumento da pesca do krill nas últimas décadas tem sido impulsionado pela crescente demanda por produtos derivados desse crustáceo, que possui um alto valor como fonte de proteínas e ácidos graxos ômega-3. Isso se deve aos avanços recentes em técnicas e equipamentos para a produção de suplementos alimentares, ração para peixes e produtos farmacêuticos (Villemur, 2004; Gascón; Werner, 2005; López, 2021).

Atualmente, segundo dados disponibilizados pela CCAMLR no Relatório de Pesca de *Euphausia superba* de 2023, a captura total permitida de krill no Oceano Antártico é de 8,6 milhões de toneladas por ano, tendo seu "limite de desencadeamento" da pesca do krill, ou seja, o ponto crítico em que a intensificação da captura começa a causar impactos negativos no ecossistema marinho, estabelecido em 620.000 toneladas por ano. Esse aumento na pesca do krill pode ter consequências graves para as baleias-jubarte, uma das espécies mais afetadas por essa atividade. As baleias-jubarte dependem significativamente do krill como fonte primária de alimento durante seu período de alimentação nas águas antárticas. Para elas, o krill não é apenas uma fonte de nutrição, mas o pilar fundamental que sustenta seu ciclo de vida. (Nash *et al.*, 2018; Pan *et al.*, 2024).

Segundo Friedlaender *et al.* (2008), as baleias jubarte são os cetáceos mais abundantes na Península Antártica Ocidental, e durante o período de alimentação, elas tendem a escolher grupos de krill que estão em águas mais rasas, assim suprindo suas necessidades energéticas anuais durante essa estação. Porém, com o aumento do aquecimento global nos polos, Brierley (2008) avalia que o krill antártico está permanecendo em águas mais profundas, a fim de encontrar condições mais favoráveis para sua sobrevivência. Esses fatores, junto da pesca do krill, afetam as reservas energéticas das baleias jubartes, tendo em vista que sua principal fonte de alimento está mudando de conformação (Gross, 2021). Consequentemente, as jubartes precisam adaptar suas estratégias de alimentação e migração, enfrentando desafios adicionais para encontrar as quantidades necessárias de krill, o que pode impactar negativamente sua saúde, taxa de reprodução e, eventualmente, a sobrevivência da espécie a longo prazo; (Seyboth *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Savoca *et al.* (2024) afirma que o Oceano Antártico ainda se recupera depois de dois séculos de exploração insustentável, como a caça às focas no século XIX e a caça industrial de baleias no século XX. Agora, a intensificação da pesca de krill coloca esses

ecossistemas marinhos novamente em risco de sofrer novos danos. Ainda segundo Savoca *et al.* (2024), a biomassa atual de krill não pode suportar tanto a expansão da pesca de krill quanto a recuperação das populações de baleias para tamanhos anteriores a sua caça, destacando um conflito emergente entre humanos e esses animais. No entanto, apesar dos esforços da CCAMLR, ainda não se sabe ao certo quanto de krill pode ser pescado sem ameaçar o equilíbrio da cadeia alimentar antártica, uma vez que faltam dados precisos sobre o tamanho e a dinâmica da população de krill. Esse desafio de quantificação torna difícil definir um limite seguro para a exploração sustentável.

3. OBJETIVOS

Esse trabalho visa avaliar os impactos da pesca do krill antártico (*Euphausia superba*) na disponibilidade de recursos alimentares para as baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*), investigando as consequências ecológicas da redução da oferta alimentar sobre a dinâmica trófica e a sustentabilidade dos ecossistemas marinhos.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho apresentou uma abordagem metodológica estabelecida a partir do levantamento bibliográfico de diversas publicações apresentadas em periódicos, além de obras literárias, sem um período de tempo estabelecido. A pesquisa e o acesso a essas bibliografias foram realizados por meio das plataformas Google Acadêmico, Periódicos, Scielo, Portal CAPES e da biblioteca do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Presbiteriana Mackenzie, utilizando termos de pesquisa definidos a partir do objetivo proposto no trabalho, sendo eles “*Megaptera novaeangliae*”, “Baleia jubarte”, “Humpack Whale”, “Baleia Jubarte no ambiente antártico”, “*Megaptera novaeangliae* feeding Antarctic”, “Cadeias alimentares antárticas”, “Krill antártico”, “Antarctic krill”, “*Euphausia superba*” e “Krill fishery”.

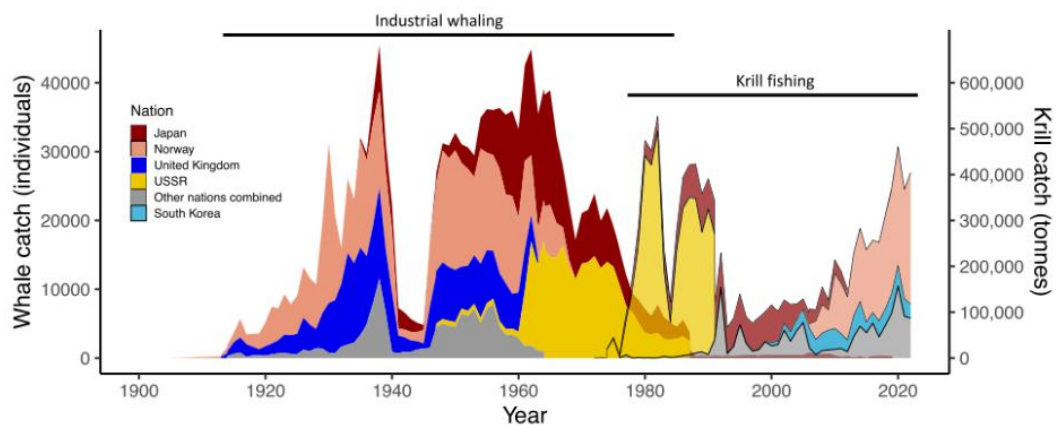
A busca resultou em uma ampla base documental, composta por aproximadamente 150 trabalhos, incluindo artigos científicos, teses, dissertações e livros. Após leitura e análise criteriosa, 34 documentos foram selecionados por sua relevância ao tema e submetidos a uma abordagem analítica crítica. As informações e dados pertinentes foram organizados e incorporados ao estudo, enquanto as publicações sem vínculo com a proposta temática foram descartadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados e da literatura selecionada da pesca do krill antártico e seu impacto nas baleias-jubarte expõe uma dinâmica preocupante para a conservação da biodiversidade marinha antártica. O krill antártico (*Euphausia superba*) apresenta uma grande importância ecológica, pois ocupa a base da cadeia alimentar da região. Este crustáceo é a principal fonte de alimento para diversas espécies, incluindo peixes, pinguins, focas e, em especial, para as baleias-jubarte (*Megaptera novaeangliae*). Como consumidor primário, o krill desempenha um papel fundamental na transferência de energia entre os níveis tróficos, regulando processos ecológicos que garantem a estabilidade do ecossistema do Oceano Antártico. No entanto, o aumento recente da pesca de krill, impulsionado pela procura comercial, tem gerado um desequilíbrio que afeta toda essa teia alimentar, com consequências diretas para espécies que dependem dele.

A partir da década de 1980, com a ampliação e o reforço das regulamentações sobre a caça de baleias, houve uma mudança no foco comercial no Oceano Antártico, direcionando-se para o krill. Essa transição é claramente ilustrada no Gráfico 1, onde se observa uma queda acentuada na captura de baleias, acompanhada por um aumento significativo na pesca de krill antártico (Savoca *et al.*, 2024).

Gráfico 1. Captura de baleias (indivíduos) e pesca de krill (toneladas) ao longo do tempo, de 1900 a 2020, por diferentes nações.

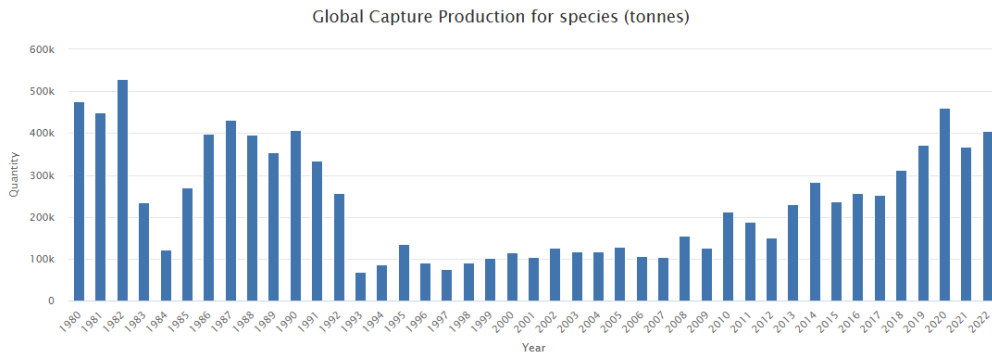


Fonte: Savoca *et al.* (2024).

Atualmente, a pesca do krill atinge cifras significativas, evidenciadas no Gráfico 2, alimentadas pelo interesse econômico em produtos como suplementos alimentares, rações para aquicultura e insumos farmacêuticos, devido ao valor nutricional do krill em ácidos graxos, ômega-3 e proteínas. Este uso extensivo, no entanto, vem ameaçando a

manutenção dos níveis sustentáveis da biomassa de krill, o que implica em possíveis colapsos nas populações de espécies dependentes diretamente desse crustáceo.

Gráfico 2. Produção global de captura do krill antártico (toneladas) entre 1980 e 2022.



Fonte: FAO (2024).

As baleias-jubarte são particularmente afetadas pela pesca do krill devido à sua alta dependência desse crustáceo para sua dieta nas águas antárticas. Estudos como o de Gross (2021) indicam que a redução do krill disponível, somada às mudanças climáticas que forçam o krill a habitar águas mais profundas, dificulta o acesso das jubartes a sua fonte de alimento. De acordo com Nash *et al.* (2018) e Pan *et al.* (2024), essas mudanças impactam diretamente as reservas energéticas que as jubartes acumulam para suas migrações e reprodução. Apesar desses desafios, Zerbini (2019) destacou, em um levantamento internacional, que a população de baleias-jubarte no Atlântico Sul aumentou de 450 para 25 mil indivíduos nas últimas décadas, demonstrando uma recuperação significativa da espécie. No entanto, a pesca intensiva de krill continua a exercer pressão adicional sobre a sobrevivência desses cetáceos, forçando-os a adaptar suas estratégias de alimentação e a gastar mais energia na busca por alimento, o que pode reduzir suas taxas reprodutivas e afetar sua saúde e resistência a longo prazo (Brierley, 2008).

A literatura sobre o tema também aponta que, apesar das iniciativas de regulamentação pela CCAMLR (Convenção sobre a Conservação dos Recursos Vivos Marinhos da Antártida), o monitoramento da pesca de krill ainda enfrenta desafios significativos, especialmente no que diz respeito à quantificação da população de krill e à definição de limites de pesca que não comprometem o ecossistema antártico. Savoca *et al.* (2024) destacam que o Oceano Antártico ainda está em processo de recuperação dos danos históricos causados pela caça predatória de mamíferos marinhos e que a pesca de krill, caso não seja gerida de forma responsável, representa um novo risco à biodiversidade da região. O limite crítico de 620.000 toneladas anuais definido pela CCAMLR foi previsto para evitar impactos severos no ecossistema, mas a falta de dados

mais precisos sobre a dinâmica populacional do krill dificulta a definição de um limite seguro e sustentável para sua exploração.

6. CONCLUSÕES

O krill é um elo trófico vital na cadeia alimentar do Oceano Antártico, e continua a ser, de longe, a espécie mais pescada do Oceano Antártico, em termos de tonelagem capturada. A literatura indica um aumento no interesse científico pelo krill antártico nas últimas décadas, especialmente com o crescimento de sua pesca comercial. No entanto, as pesquisas ainda são limitadas, e os dados, muitas vezes dispersos e de difícil acesso.

A CCAMLR (Convenção sobre a Conservação dos Recursos Vivos Marinhos da Antártida), define um limite crítico de 620.000 toneladas para a pesca anual de krill para evitar danos severos ao ecossistema. No entanto, sem dados confiáveis e atualizados, a precisão desse limite é incerta, e ainda não se sabe se ele garante uma exploração verdadeiramente sustentável do krill.

Essas lacunas afetam diretamente a baleia-jubarte, que enfrenta desafios alimentares cada vez maiores. A intensificação da pesca e as mudanças climáticas vêm alterando a disponibilidade de krill, fazendo com que as jubartes precisem gastar mais energia na busca de alimento. A redução da disponibilidade de krill, pode impactar negativamente a saúde e a taxa reprodutiva, ameaçando a sobrevivência da espécie a longo prazo.

Em conclusão, a pesca do krill antártico representa uma ameaça significativa à estabilidade alimentar das baleias-jubarte, agravada pela escassez de dados e estudos atualizados sobre a população desse crustáceo. Sem uma base de dados acessível e continuamente revista, é difícil garantir a sustentabilidade da exploração e a preservação das espécies que dele dependem. Para mitigar esses impactos e promover uma coexistência sustentável entre a exploração econômica e a conservação da biodiversidade, é essencial intensificar a pesquisa sobre a situação do krill e a implementação de práticas de pesca mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRIERLEY, Andrew. Antarctic ecosystem: are deep krill ecological outliers or portents of a paradigm shift? **Current Biology**, v. 18, n. 6, p. R252–R254, 2008. Disponível em: <[https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(08\)00068-7.pdf](https://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(08)00068-7.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2024.

CAVAN, Emma; BELCHER, Anna; ATKINSON, Angus; HILL, Simeon; KAWAGUCHI, So; McCORMACK, Stacey; MEYER, Bettina; NICOL, Stephen; RATNARAJAH, Lavenia; SCHMIDT, Katrin; STEINBERG, Deborah; TARLING, Geraint; BOYD, Philip The importance of Antarctic krill in biogeochemical cycles. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 4742, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41467-019-12668-7>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

CCAMLR. Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. **Fishery Report: *Euphausia superba* in Area 48**. 2023. Disponível em: <https://fishdocs.ccamlr.org/FishRep_48_KRI_2022.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CHERNETSKY, Anton; CHUKMASOV, Pavel; KRASNOVA, Vera; TRETIAKOV, Andrey; TRETIAKOVA, Lyubov; BITIUTSKII, Dmitrii; MOSHAROV, Sergey; SALYUK, Pavel. Occurrence and Distribution of Fin Whales (*Balaenoptera physalus*) and Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Atlantic Sector of Antarctica. **Oceanology**, v. 63, n. 4, p. 589–599, 2023. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1134/S0001437023040033>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

CLAPHAM, Phillip. Humpback whale: *Megaptera novaeangliae*. In: **Encyclopedia of marine mammals**. Academic Press, p. 489-492. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00154-0>>. Acesso em: 25 out. 2024.

CLAPHAM, Phillip; MEAD, James. *Megaptera novaeangliae*. **Mammalian Species**, n. 604, p. 1-9, 1999. Disponível em: <<https://academic.oup.com/mspecies/article-pdf/doi/10.2307/3504352/8071503/604-1.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2024.

CONVEY, Peter. Antarctic Ecosystems. **Reference Module in Life Sciences**. Cap. I, p. 2-5. 2017. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02182-8>>. Acesso em: 29 out. 2024.

CURTICE, Corrie; JOHNSTON, David; DUCKLOW, Hugh; GALES, Nick; HALPIN, Patrick; FRIEDLAENDER, Ari. Modeling the spatial and temporal dynamics of foraging movements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Western Antarctic Peninsula. **Movement Ecology**, v. 3, p. 1–9, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40462-015-0041-x>>. Acesso em: 31 mar. 2024.

ENGEL, Márcia; MARCOVALDI, Enrico. **Brasil - Mar das Baleias**. 1. ed. São Paulo: Bambu Editora e Artes Gráficas, 2007.

EVERSION, Inigo. *Introducing krill*. In: EVERSION, Inigo. (Ed.). **Krill: Biology, Ecology and Fisheries**. Oxford: Blackwell Science, Cap. 1, p. 1-20. 2000. Disponível em: <<http://download.e-bookshelf.de/download/0000/5830/47/L-G-0000583047-0002360961.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Euphausia superba* Dana, 1852. In: **Pesca e Aquicultura**, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/3393/en>. Acesso em: 29 out. 2024.

FRIEDLAENDER, Ari; FRASER, William; PATTERSON, Donna; QIAN, Song; HALPIN, Patrick. The effects of prey demography on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) abundance around Anvers Island, Antarctica. **Polar biology**, v. 31, p. 1217–1224, 2008. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00300-008-0460-x>>. Acesso em: 30 mar. 2024.

GASCÓN, Virgínia; WERNER, Rodolfo. El krill antártico: estudio de caso sobre las implicaciones de la pesca en el ecosistema. **Antarctic and Southern Ocean Coalition**, 2005. Disponível em: <https://www.academia.edu/108525746/El_krill_ant%C3%A1rtico_estudio_de_caso_sobre_las_implicaciones_de_la_pesca_en_el_ecosistema?uc-sb-sw=31027264>. Acesso em: 30 mar. 2024.

GROSS, Jasmin. **The Feeding Ecology of Southern Hemisphere Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) in a Changing Antarctic Ecosystem**. 2021. 136 f. Tese (Doutorado em Filosofia) Griffith University, Austrália. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.25904/1912/4853>>. Acesso em: 26 abr. 2024.

IWC. International Whaling Commission. **Humpback whale**. 2024. Disponível em: <<https://iwc.int/about-whales/whale-species/humpback-whale>>. Acesso em: 28 out. 2024.

KRAFFT, Bjørn; MACAULAY, Gavin; SKARET, Georg; KNUTSEN, Tor; BERGSTAD, Odd; LOWTHER, Andrew; HUSE, Geir; FIELDING, Sophie; TRATHAN, Philip; MURPHY, Eugene; CHOI, Seok; CHUNG, Sangdeok; HAN, Inwoo; LEE, Kyoungsoon; ZHAO, Xianyong; WANG, Xinliang; YING, Yiping; YU, Xiaotao; DEMIANENKO, Kostiantyn; PODHORNÝ, Viktor; VISHNYAKOVA, Karina; PSHENICHNOV, Leonid; CHUKLIN, Andrii; SHYSHMAN, Hanna; COX, Martin; REID, Keith; WATTERS, George; REISS, Christian; HINKE, Jefferson; ARATA, Javier; GODØ, Olav; HOEM, Nils. Standing stock of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana, 1850) (Euphausiacea) in the Southwest Atlantic sector of the Southern Ocean, 2018–19. **Journal of Crustacean Biology**, v. 41, n. 3, p. ruab046, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jcobiol/ruab046>>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LÓPEZ, Marcos. Recursos antárticos, intereses encontrados. **Anuario en Relaciones Internacionales del IRI**. 2021. Disponível em: <<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/129231>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

MEYER, Bettina; TESCHKE, Mathias. Physiology of *Euphausia superba*. In: SIEGEL, Volker. (Ed.). **Biology and Ecology of Antarctic Krill**. Cap. 4, p. 145-174. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-29279-3>>. Acesso em: 24 out. 2024.

MURASE, Hiroto; MATSUOKA, Koji; ICHII, Taro; NISHIWAKI, Shigetoshi. Relationship between the distribution of euphausiids and baleen whales in the Antarctic (35 E–145 W). **Polar Biology**, v. 25, p. 135-145, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s003000100321>>. Acesso em: 29 out. 2024.

NASH, Susan; CASTRILLON, Juliana; EISENMANN, Pascale; FRY, Brian; SHUKER, Jon; CROPP, Roger; DAWSON, Amanda; BIGNERT, Anders; NIZZETTO, Pernilla; WAUGH, Courtney; POLKINGHORNE, Bradley; LUCHE, Greta; MCLAGAN, David. Signals from the south; humpback whales carry messages of Antarctic sea-ice ecosystem variability. **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1500-1510, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/gcb.14035>>. Acesso em: 26 abr. 2024.

NICOL, Stephen; ENDO, Yoshinari. Krill fisheries of the world. **FAO Fisheries Technical Paper**. No. 367, 100p. Rome, FAO. 1997. Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/w5911e>>. Acesso em: 24 set. 2024.

NICOL, Stephen; FOSTER, Jacqueline; KAWAGUCHI, So. The fishery for Antarctic krill—recent developments. **Fish and Fisheries**, v. 13, n. 1, p. 30–40, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00406.x>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

NOWACEK, Douglas; FRIEDLAENDER, Ari; HALPIN, Patrick; HAZEN, Elliott; JOHNSTON, David; READ, Andrew; ESPINASSE, Boris; ZHOU, Meng; ZHU, Yiwu. Super Aggregations of Krill and Humpback Whales in Wilhelmina Bay, Antarctic Peninsula. **PLoS ONE**, v. 6, n. 4, p. e19173, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019173>>. Acesso em: 31 mar. 2024.

PALAZZO JR., José; BOTH, Maria. *Subordem Mysticeti*. In: PALAZZO JR., José; BOTH, Maria. **Mamíferos Marinhos do Brasil**. Rio Grande: Editora FURG. p. 24. 1988. Disponível em: https://baleiafranca.org.br/oprojeto/publicacoes/PalazzoJr_Both_1988_MamiferosmarinhosBrasil_web.pdf. Acesso em: 1 out. 2024.

PAN, Qin; LU, Min; HUANG, Jicai; RUAN, Shigui. Effects of whaling and krill fishing on the whale–krill predation dynamics: bifurcations in a harvested predator–prey model with Holling type I functional response. **Journal of Mathematical Biology**, v. 88, n. 4, p. 42, 2024. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00285-024-02063-2>>. Acesso em: 28 mar. 2024.

ROSS, Robin.; QUETIN, Langdon. *Reproduction in Euphausiacea*. In: EVERSON, Inigo (Ed.). **Krill: Biology, Ecology and Fisheries**. Oxford: Blackwell Science, 2000. Cap. 6, p. 103-150. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/9780470999493.ch6>>. Acesso em: 15 out. 2024.

SANTOS, Marcos. **Baleias e Golfinhos no Litoral Paulista: Estórias que contam uma bela história**. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico, 2021. Disponível em: <www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1083>. Acesso em: 1 out. 2024.

SAVOCA, Matthew; KUMAR, Mehr; SYLVESTER, Zephyr; CZAPANSKIY, Max; MEYER, Bettina; GOLDBOGEN, Jeremy; BOOKS, Cassandra. Whale recovery and the emerging human-wildlife conflict over Antarctic krill. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 7708, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41467-024-51954-x>>. Acesso em: 8 nov. 2024.

SCHMIDT, Katrin; ATKINSON, Angus. *Feeding and food processing in Antarctic krill (Euphausia superba Dana)*. In: SIEGEL, Volker (Ed.). **Biology and Ecology of Antarctic Krill**. Cham: Springer, 2016. Cap. 5, p. 175-224. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-29279-3>>. Acesso em: 28 out. 2024.

SEYBOTH, Elisa; FÉLIX, Fernando; LEA, Mary-Anne; ROSA, Luciano; WATTERS, George; REID, Keith; SECCHI, Eduardo. Influence of krill (*Euphausia superba*) availability on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) reproductive rate. **Marine Mammal Science**, v. 37, p. 1498–1506, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/mms>>.12805. Acesso em: 31 mar. 2024.

SICILIANO, Salvatore; CARDOSO, Júlio; FRANCISCO, Arlaine; MOREIRA, Sérgio. A Stop for a Snack: Evidence of Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Feeding Behavior and Association with Gillnets during Migration off Southeastern Brazil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 29, p. 41–49, 2019. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/233157325.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2024.

SILVA, Joselina; TANIGUCHI, Satie; COLABUONO, Fernanda; LEONEL, Juliana; MAIA, Daniela; ROSA, Luciano; SECCHI, Eduardo; BORGES, João; BÍCEGO, Márcia; SICILIANO,

Salvatore; ACEVEDO, Jorge; LOBO, Anelio; BALDASSIN, Paula; MONTONE, Rosalinda; LOURENÇO, Rafael. Mobilization of Persistent Organic Pollutants in Humpback Whales (*Megaptera Novaeangliae*) from Feeding Areas Around the Antarctic Peninsula and Strait of Magellan and Migration. **Breeding and Calving Grounds on the Brazilian Coast**, 2022. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=4263858>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

VILLEMUR, Juan Pedro. Krill e seu habitat antártico. **Boletim do Centro Naval**, v. 808, p. 312, 2004. Disponível em: <<https://www.centronaval.org.ar/boletin/BCN808/808villemur.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

ZERBINI, Alexandre; ADAMS, Grant; BEST, John; CLAPHAM; Phillip; JACKSON, Jennifer; PUNT, Andre. Assessing the recovery of an Antarctic predator from historical exploitation. **Royal Society Open Science**, v. 6, n. 10, p. 190368, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rsos.190368>>. Acesso em: 30 nov. 2024.