

**A Resolução Sustentável dos Oceanos: Desafios e Oportunidades no
Reaproveitamento de Resíduos de Pesca, Pescados e Aquicultura**

Resumo

A implementação de uma gestão sustentável dos resíduos de pesca representa um desafio e, ao mesmo tempo, uma oportunidade para a indústria da pesca e aquicultura. A aplicação dos princípios da Economia Circular (EC) propõe uma abordagem inovadora para a transformação dos resíduos em novos produtos de valor agregado, contribuindo para a redução do impacto ambiental e proporcionando benefícios econômicos para o setor. A metodologia deste trabalho, consiste na execução de uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de analisar o estado atual da arte das alternativas de reaproveitamento de resíduos provenientes da atividade pesqueira, sob o prisma do conceito de EC. Os resultados incluem a categorização dos principais resíduos encontrados: Nylon, Pele, DNA e Escamas de Peixe, Cartilagem, excedentes de pesca, com potenciais aplicações em Suplementos Alimentares, Colágeno, Hidrogéis, Indústria Farmacêutica, Biogás, Retardantes de Chama, Fertilizantes Orgânicos, materiais à base de gesso e setor têxtil. Como contribuições, o estudo contribui para inovação sustentável na indústria pesqueira, estimulando novos produtos e processos, fomentando o desenvolvimento regional e identificando soluções viáveis para o contexto pesqueiro.

Palavras chave: Economia Circular; Resíduos de Pesca e Pescados; Aquicultura; Sustentabilidade dos Oceanos

Abstract

The implementation of a sustainable management of fishing waste represents a challenge and, at the same time, an opportunity for the fishing and aquaculture industry. The application of Circular Economy (CE) principles proposes an innovative approach for transforming waste into new value-added products, contributing to reducing the environmental impact and providing economic benefits for the sector. The methodology of this work consists of carrying out a systematic review of the literature, with the objective of analyzing the current state of the art of alternatives for the reuse of residues from fishing activities, under the prism of the EC concept. The results include the categorization of the main residues found: nylon, skin, DNA and fish scales, cartilage, fishing surpluses, with potential applications in food supplements, collagen, hydrogels, pharmaceutical industry, biogas, flame retardants, organic fertilizers, materials based on gypsum and textile sector. As contributions, the study contributes to sustainable innovation in the fishing industry, stimulating new products and processes, fostering regional development and identifying viable solutions for the fishing context.

Keywords: Circular Economy; Fishing and Fish Waste; aquaculture; Ocean Sustainability

1. INTRODUÇÃO

As condições do mundo real a vida planetária e oceânica estão cada vez mais graves, sem as possíveis ações e aplicações de alternativas para combatê-la. Os mares do mundo sofrem com a poluição do lixo marinho, que tem um impacto negativo significativo nos serviços ecológicos prestados pelo oceano, comércio marítimo, saúde pública e estética (Xuan; Ngoc; Börger, 2022 e Richardson et al., 2021).

Uma questão ambiental global significativa está surgindo com relação aos equipamentos de pesca abandonados, perdidos ou descartados (ALDFG) (Daniel; Thomas, 2022; Richardson et al., 2021; Skvorčinskienė et al., 2019; Deshpandea et al., 2020), representando o maior causador de dano à vida marinha (Deshpande; Haskins, 2021; Ayala; Castillo-Morales; Cardenas-Alayza, 2022).

A Lei 11.959/09, que institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, estabelece que a atividade de pesca abrange todas as etapas envolvidas, extração, coleta, captura, apreensão ou obtenção de recursos pesqueiros.

Considerando sua finalidade, a atividade pesqueira pode ser classificada em três categorias distintas: pesca artesanal, pesca industrial e pesca amadora. Cada uma dessas modalidades possui características específicas que diferenciam os métodos, técnicas e equipamentos utilizados na captura de recursos pesqueiros. Diante disso, é evidente que a pesca gera resíduos que apresentam um considerável potencial para serem devidamente aproveitados e explorados de forma mais eficiente.

Em um cenário não muito diferente do cenário de 10 anos atrás, o tema vem apresentando grandes tensões no mundo global (Buhl-Mortensen et al., 2022), sendo um grande desafio no gerenciamento dos ALDFG globalmente. A escassez de dados, evidências científicas, ferramentas regulatórias, má execução, falta de infraestrutura de gerenciamento e as suposições subjacentes que fundamentam a contribuição prevista da ALDFG para os plásticos marinhos, dificultam o gerenciamento internacional dos recursos de artes de pesca global (Owiredu; Kim; Kim, 2022; Deshpande; Haskins, 2021; Deshpandea et al., 2020).

A atividade pesqueira representa uma importante fonte de resíduos que contribuem para a poluição marinha por microplásticos, embora essa problemática tenha recebido pouca atenção e ainda seja pouco investigada (Syversen et al., 2022 e Steele; Miller, 2022). Esses resíduos estão diretamente ligados às práticas e operações realizadas no setor pesqueiro, incluindo equipamentos, materiais descartados e subprodutos da pesca.

A poluição não se limita ao ecossistema pesqueiro, mas também, há uma vasta diversidade de fontes terrestres. Entre as fontes terrestres, se destaca o lixo industrial, sistemas de drenagem de esgoto mal gerenciados ou transbordados, aterros sanitários e detritos provenientes de rios. Além disso, atividades como o turismo costeiro e recreação também criaram para esse problema ambiental.

Outras fontes originadas no oceano, foram citadas, como navios de cruzeiro, ALDFG de barcos de pesca, combustível e óleos, descarga de lixo de navios de guerra e embarcações de pesquisa, gás natural offshore e instalações de captação de petróleo e aquicultura.

Uma ampla variedade de dispositivos de pesca é regularmente empregada, abrangendo anzóis, linhas, corricos, espinhéis, varas e diferentes tipos de redes, como as de cerco, emalhar, cordas, arrasto, espera, palangres e armadilhas. Sendo os últimos cinco mencionados, com maior sucesso ao ALDFG, atribuída,

devidamente, ao seu design, utilização e posicionamento estratégico no ambiente aquático (Sofia, 2020, Basurko et al., 2023, Deshpandea et al., 2020, Syversen et al., 2022, Owiredu; Kim; Kim, 2022 e Deshpande et al., 2020). Esses equipamentos desempenham um papel significativo na captura de espécies e exigem uma abordagem cuidadosa para assegurar a sustentabilidade das atividades pesqueiras.

Estudos revelam que as práticas de pesca utilizando redes de emalhar e armadilhas têm sido associadas a elevados riscos e, conseqüentemente, têm sido abandonadas. É relevante salientar que a atividade pesqueira industrial exerce um impacto considerável no ecossistema marinho, sendo mais relevante no Mar do Sul (Owiredu; Kim; Kim, 2022). Frequentemente, tais produtos são descartados sem considerar a possibilidade de reparos ou reutilização, resultando na perda de oportunidades para sua transformação em novos itens de valor.

Nesse contexto de problemática, surge o conceito de Economia Circular (EC), que é desenvolvimento sustentável baseado no princípio de "fechar o ciclo de vida" dos produtos, permitindo a redução no consumo de matérias-primas, energia e água (Ellen MacArthur Foundation, 2022).

Assim, é imprescindível que as nações desenvolvidas avaliem estratégias metodológicas e políticas que promovam a redução de resíduos, estimulem a reutilização e incentivem a reciclagem interna de materiais, garantindo a sustentabilidade oceânica (Ayala; Castillo-Moreles; Cardenas-Alayza, 2022; Deshpande et al., 2020; Bertelsen; Ottosen, 2021; Skvorčinskienė et al., 2019), o que pode incentivar a implementação de futuras medidas para abordar essa questão de maneira mais eficiente, fomentando um ciclo de conclusão apropriado.

Durante a última década, tem sido observado um elevado número de resíduos e equipamentos abandonados gerados durante a pesca, o que tem prejudicado o ecossistema, a vida marinha e humana (Hardesty et al., 2021 e Richardson et al., 2021), afetando todas as zonas costeiras, incluindo áreas remotas e com baixa densidade populacional, bem como aquelas sob proteção ambiental (Steele; Miller, 2022).

O estudo conduzido por Oihane C. Basurko et al., (2023) apresentou que nos portos espanhóis há um descarte anual de 1.643 toneladas de equipamentos de pesca no final de sua vida útil, principalmente redes. Na Noruega, são encontradas cerca de 380 toneladas de equipamentos de pesca nos mares, com uma remoção anual de 4.000 toneladas, destacando a importância da reciclagem em nível regional (Deshpandea et al., 2020 e Deshpandea et al., 2020).

Observa-se uma notável discrepância na acumulação de resíduos relacionados à atividade pesqueira entre distintas localidades, havendo indícios de reduções ao longo do tempo, possivelmente atribuídas à diminuição dos esforços de pesca e às restrições estabelecidas na temporada quanto ao número de armadilhas permitidas (Steele; Miller, 2022).

O desgaste acelerado das cordas de arrasto, ocasionado pelo atrito durante sua movimentação sobre o leito marinho, figura como um dos principais fatores que contribuem para essa forma de poluição (Syversen et al., 2022). Neste contexto, diversos polímeros são utilizados na fabricação dos equipamentos que possam vir a ser perdidos ou abandonados. Ao longo do tempo, esses materiais passam por processos de erosão e fragmentação, resultando na liberação de distintas substâncias químicas no ecossistema marinho.

Conseqüentemente, os juvenis de Cormorões e grande porte demonstram a capacidade de identificar áreas conquistadas pela excessiva, como evidenciado pelos detritos consideráveis encontrados em seus ninhos (Tavares; Moura; Merico,

2019). Dessa forma, os resultados indicam que a introdução de toneladas de resíduos provenientes da atividade pesqueira no ecossistema marinho representa uma emergência com grande potencial de impactos ambientais (Deshpandea et al., 2020 e Deshpandea et al., 2020).

A abordagem da gestão de artes de pesca em fim de vida útil é influenciada por diversos fatores, que incluem a governança em âmbito regional e nacional, acordos estabelecidos entre a comunidade pesqueira e as empresas responsáveis pela gestão de resíduos, bem como os gestores de resíduos nos portos (Basurko et al., 2023). Para desenvolver políticas que sejam socialmente aceitáveis e promover mudanças de comportamento, é fundamental compreender as perspectivas das partes envolvidas quanto a maneiras práticas de reduzir a poluição causada pelo lixo marinho (Xuan; Ngoc; Börger, 2022). Tais autoridades, juntamente com outras partes interessadas, podem utilizar a avaliação e estimativa da abundância do lixo marinho bentônico como referência para a criação de planos de gerenciamento que visam a eliminação do plástico e outras formas de reaproveitamento (Goodmana et al., 2020).

Na Noruega, gestores de resíduos locais e recicladores que buscam fechar o ciclo de materiais dos recursos, consideram o relatório anual sobre a coleta de resíduos plásticos no fim de sua vida útil como uma evidência crucial (Deshpandea et al., 2020).

Em contraste, os pescadores do estudo de Xuan, Ngoc, Börger (2022), consideram o uso de "relatórios de itens perdidos" e a criação de "equipamentos biodegradáveis" como abordagens menos efetivas no combate aos ALDFG, ao passo que a "conscientização" e a "coleta em terra" são percebidas como estratégias mais eficazes.

Pesquisas especializadas mostram que as ações para combater a pesca ilegal e realizar operações de limpeza no Golfo de Carpentaria, tanto em águas rasas quanto profundas, apresentam eficácia limitada na prevenção da introdução desses elementos no ecossistema marinho (Hardesty et al., 2021).

Conforme mencionado por Deshpandea et al. (2020), o estudo realizado na Noruega, revelou que a análise multicritério (MCDA) identificou a reciclagem como a opção mais ambientalmente responsável em comparação com aterros e incineração, alinhando-se aos princípios da EC. Diante da gravidade da situação, é de suma importância assegurar a implementação de medidas de EC de forma sustentável em âmbito regional.

Neste estudo, as características e possíveis diferenças do lixo marinho foram levadas em conta, proporcionando o máximo mapeamento dos tipos de resíduos para uma possível transformação, através de uma análise acadêmica com a apresentação da aplicação da Economia Circular Pesqueira como um meio de resultado. Estudos prévios foram revisados e foram empregadas como referência para avaliar medidas de mitigação e para a proposição de outras sugestões administrativas.

Nesse âmbito, a Comissão Europeia adotou uma estratégia focada na implementação da EC como uma solução para lidar com as artes de pesca no final de sua vida útil e com as ALDFG. As regulamentações atuais enfatizam a necessidade de gerenciar de forma adequada, promovendo sua coleta seletiva, transporte e processamento por meio de práticas de EC. No entanto, a implementação dessas medidas ainda é limitada e não sistemática, sendo de extrema importância que os Estados-Membros estabeleçam metas para a coleta e os tratamentos desses resíduos (Basurko et al., 2023).

Durante a Conferência das Nações Unidas Rio+20 sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em junho de 2012, houve um reconhecimento de que a poluição plástica é um desafio que transcende fronteiras e exige cooperação internacional para sua resolução (Deshpandea et al., 2020). Em resposta aos riscos representados pelos ALDFGs e ao aumento da atividade de pesca comercial nos mares europeus, os Estados membros da União Europeia (UE) têm dado prioridade ao controle dos ALDFGs, implementando um plano de ação específico (Deshpandea et al., 2020). Esse plano de ação recomenda a adoção de abordagens baseadas nos princípios da EC para fechar o ciclo dos resíduos plásticos provenientes da pesca, visando uma gestão sustentável dos recursos. Portanto, a UE considera essas medidas baseadas na EC como fundamentais para a redução e a gestão sustentável dos resíduos plásticos (Deshpandea et al., 2020).

O relatório "Estado Mundial da Pesca e Aquicultura" (SOFIA) de 2022, constatou um aumento notável na produção global de pesca e aquicultura, atingindo 214 milhões de toneladas em 2020, sendo 178 milhões de toneladas correspondentes a peixes aquáticos, impulsionado principalmente pela região asiática. Entretanto, esse aumento pode acarretar diversos efeitos negativos nos oceanos, dentre todos, o aumento de ALDFG e o agravamento dos problemas de qualidade da água.

Com o setor de pesca e aquicultura em expansão, a FAO destaca a importância de mudanças orientadas para um setor mais sustentável, inclusivo e justo. Para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, é crucial adotar uma abordagem de "Transformação Azul" em toda a cadeia produtiva, abrangendo desde a produção e gestão até a distribuição e o consumo de alimentos aquáticos.

A pesca e a aquicultura têm grande importância econômica, com vendas estimadas em US\$ 406 bilhões em 2020, sendo US\$ 265 bilhões provenientes da produção aquícola, de acordo com a FAO. No entanto, essas atividades geradas são resíduos, tornando-se práticas mais eficientes para reduzir o impacto ambiental. A EC é uma alternativa promissora, capaz de gerar novos negócios e empregos, além de promover a reciclagem de recursos e a redução de resíduos.

Estudos anteriores demonstraram a eficácia e o sucesso do processo de transformação de resíduos considerados "problemas" em oportunidades para novas soluções. Dentre os estudos de maior sucesso analisados, destacam-se que a pirólise do polímero Nylon 6, pode converter o material em monômeros, oferecendo potencial para a síntese de caprolactama. Além disso, tanto as abordagens mecânicas quanto as químicas surgem como alternativas viáveis para enfrentar o problema da degradação desses resíduos (Basurko et al., 2023; Skvorčinskienė et al., 2019).

Alguns conceitos e soluções além da metodologia EC, foram abordados e analisados, sendo citadas o aprimoramento da disposição de resíduos provenientes de equipamentos indesejados e promoção da conscientização dos pescadores acerca dos impactos de suas atividades por meio da implementação de programas específicos (Xuan; Ngoc; Börger, 2022).

Alegação comum de que 640.000 toneladas de redes de pescas acidentalmente perdidas ou até mesmo descartadas no oceano, têm sido citadas por mais de uma década, apesar dos esforços dos cientistas desde a década de 1970 para criar estimativas precisas e esperadas sobre o tema (Richardson et al., 2021).

A fonte significativa de lixo marinho tem efeitos socioeconômicos e ambientais relevantes há décadas (Richardson et al., 2021). A falta de conhecimento sobre os

padrões de acúmulo desses poluentes na água e na vida marinha restringe os métodos de mitigação (Tavares; Moura; Merico, 2019). Nesse contexto, encontrar programas inovadores de reciclagem para petrechos de pesca abandonados é crucial, especialmente se esses materiais acabarem como lixo marinho (Bertelsen; Ottosen, 2020).

As novas tendências de mercado apontam a grande necessidade de que seja repensada a atual relação da indústria com o meio ambiente. As questões ambientais substanciais trazidas pela poluição da água são agravadas pelos resíduos das ALDFGs. Diferentes polímeros são usados para fazer redes e cordas, sujeitos a várias tensões, como estresse mecânico, oxigênio, água salgada e radiação UV. Suas cadeias poliméricas se degradam, gerando diversos compostos químicos. Portanto, o descarte desses resíduos é essencial (Skvorčinskienė et al., 2019).

Alinhado a isso e já nas perspectivas da bioeconomia, podem ser criados modelos, pathways (caminhos) ou métodos para a reutilização de resíduos. Nestes métodos, várias empresas ou comunidades podem aderir a metodologia (Nadella; Conte; Del Noble, 2022). O crescente interesse em promover práticas sustentáveis em diversas áreas tem levado empresas de diferentes setores a buscar alternativas para reduzir seu impacto ambiental.

Uma tendência emergente com importantes implicações e desafios pode ter um impacto significativo nos setores de economia, inovação, empreendedorismo e sustentabilidade, oferecendo uma oportunidade para introduzir novas perspectivas nos negócios, na política e no meio ambiente. Por isso, surge a questão: Quais são as estratégias e inovações adotadas no reaproveitamento de resíduos de pesca, pescados e aquicultura?

Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura, identificando oportunidades mediante a EC, para a criação de novos produtos com valor agregado na indústria pesqueira. Através de abordagens por meio de avanços na gestão e inovação técnicas, busca-se transformar materiais anteriormente descartados em produtos reutilizáveis, gerando benefícios tanto para o ecossistema marinho quanto para o setor empresarial.

Este estudo oferece como contribuição a conscientização e conhecimento sobre os impactos ambientais dos resíduos e resíduos da pesca, assim como apresentar alternativas para transformá-los em produtos reutilizáveis e potencialmente lucrativos. Para a academia, a pesquisa concentra informações e sugestões para estudos futuros nessa área.

2. METODOLOGIA

2.1. Projeto de pesquisa e contexto

A proposta deste estudo foi conduzir uma revisão sistemática da literatura para analisar o estado da arte de alternativas de reaproveitamento de resíduos provenientes da atividade pesqueira, com abordagem na sustentabilidade e inovação, a fim de aplicá-las no contexto pesqueiro. A metodologia adotada para a realização deste trabalho foi estruturada em três etapas principais: (i) Revisão do estado da arte na Literatura Científica, (ii) Coleta de dados nas bases de dados Scopus, (iii) Pesquisa online para identificar alternativas não mencionadas na literatura, mas que integradas na comunidade brasileira, (iv) Análise do processo pesqueiro na cidade de Rio Grande.

No início desta investigação, realizou-se uma busca abrangente na literatura recente e contemporânea, buscando identificar estudos que abordassem conceitos e

aplicações da EC no contexto da pesca. Essa abordagem permite adquirir um amplo conhecimento, renovar perspectivas e explorar possibilidades para práticas futuras que podem contribuir para a resolução do problema, além de identificar temas que sustentam os objetivos da pesquisa. As estratégias relacionadas à cadeia de valor na indústria pesqueira foram cuidadosamente pensadas.

Em uma etapa subsequente, procedeu-se a uma análise secundária, na qual se efetuou a observação in loco do procedimento pesqueiro na localidade de Rio Grande,RS. Tal abordagem permitiu a avaliação abrangente dos aspectos pertinentes ao manejo dos pescados, análise da viabilidade da EC, bem como a identificação dos benefícios associados e desafios inerentes ao contexto em questão. A partir dessas observações, foi possível elaborar um framework detalhado que sistematiza o referido processo. Esse framework foi elaborado com o auxílio de um roteiro de observação, destinado a apoiar o pesquisador em sua investigação.

O escopo da pesquisa foi definido com base na premissa de que essas estratégias são amplamente reconhecidas e informam a adoção de práticas no setor. A partir dessas premissas, a pesquisa aprofundou sua investigação sobre a aplicação e o desenvolvimento de práticas localizadas no conceito de EC na indústria pesqueira. Além de uma pesquisa aprofundada no atual cenário do mercado empresarial, com o intuito de identificar medidas aplicadas no contexto. Premissas foram consideradas e analisadas para ambos contextos do setor público e privado.

2.2. Coleta de dados

Na primeira etapa da coleta de dados, foi realizada a Revisão da Literatura específica sobre alternativas para aplicação de novas soluções de reaproveitamento de resíduos da pesca e pescados. Foi feita consulta em artigos publicados em periódicos e conferências disponíveis nas bases de dados Scopus. As palavras-chave iniciais utilizadas para a busca foram "fishing gear", waste OR litter, recycling OR reuse OR reutilization, AND NOT crab AND NOT fish" e ""circular economy" AND "fish* waste") e ("circular economy" AND "fish* waste)". Para objetividade e confiabilidade nesta primeira etapa da coleta de dados, foi elaborado o protocolo final de pesquisa (Tabela 01). A busca resultou em uma seleção final de 157 estudos relevantes, cujos resumos foram analisados, resultando em 25 artigos escolhidos para uma análise mais detalhada em suas dissertações (Apêndice 1).

Tabela 01 - Protocolo de Pesquisa e Descrição

Protocolo de Pesquisa	Descrição
Bancos de dados de pesquisa	Scopus
Publicação padrão	Revistas de revisão por pares e Artigos de Conferências
Linguagem	Os trabalhos são escritos em Inglês
Intervalo de dados	Artigos entre 2014 - 2023
Campos de pesquisa	Títulos, Resumos e Palavras-Chave
Termos de pesquisa	("fishing gear" AND (waste OR litter) OR (recycling OR reuse OR reutilization) AND NOT crab AND NOT fish) e "circular economy" AND "fish* waste") e ("circular economy" AND "fish* waste").
Crterios para inclusão	Estudos que apresentam alternativas metodológicas para aplicação da Economia Circular para restos de materiais de Pesca e de Pescados.
Crterios de exclusão	Repetição de Artigos entre as Bases de Dados e Estudos que estão relacionados ALDFG.

Extração de dados	Leitura manual de publicações pela equipe de pesquisa.
Análise e síntese de dados	Análise de conteúdo dos achados demonstrados nas publicações.

Apêndice 01 - Autores e Periódicos

Autor	Ano	Título	Jornal
Diaz; Koiro; Romagnoli	2022	Environmental and economic life cycle evaluation of potential energy efficiency measures on Latvian fish supply chain	Future Foods
Chaklader et al.	2022	A Combination of <i>Hermetia illucens</i> Reared on Fish Waste and Poultry By-Product Meal Improves Sensory and Physicochemical Quality of Farmed Barramundi Filets	Frontiers in Nutrition
Santos et al.	2022	Evaluation of a Compost Prepared with Biodegradable Waste from Aquaculture Production	Communications in Soil Science and Plant Analysis
Muscolo et al.	2022	AnchoisFert: A New Organic Fertilizer from Fish Processing Waste for Sustainable Agriculture	Global Challenges
Bisht et al.	2021	Uncovering the potential of aqueous solutions of deep eutectic solvents on the extraction and purification of collagen type I from Atlantic codfish (<i>Gadus morhua</i>)	Green Chemistry
Chaklader et al.	2021	Transformation of fish waste protein to <i>Hermetia illucens</i> protein improves the efficacy of poultry by-products in the culture of juvenile barramundi, <i>Lates calcarifer</i>	Science of The Total Environment
Greggio et al.	2021	Quantification and mapping of fish waste in retail trade and restaurant sector: Experience in Emilia-Romagna, Italy	Waste Management
Lanno et al.	2021	Distribution of Phosphorus Forms Depends on Compost Source Material	Resources
Liu et al.	2021	A Study on Circular Economy Material Using Fish Scales as a Natural Flame Retardant and the Properties of Its Composite Materials	Polymers
Paone et al.	2021	Towards the Anchovy Biorefinery: Biogas Production from Anchovy Processing Waste after Fish Oil Extraction with Biobased Limonene	Sustainability
Lopes et al.	2021	Valorization of animal waste from aquaculture through composting: Nutrient recovery and nitrogen mineralization	Aquaculture
Seixas et al.	2020	Extraction and Characterization of Collagen from Elasmobranch Byproducts for Potential Biomaterial Use	Marine drugs
Lucarini et al.	2020	Sustainable Management of Secondary Raw Materials from the Marine Food-Chain: A Case-Study Perspective	Sustainability
Debasis et al.	2020	Effect of fish waste hydrolysate on growth, survival, health of <i>Penaeus vannamei</i> and plankton diversity in culture systems	Aquaculture
Inguglia et al.	2020	<i>Salmo salar</i> fish waste oil: Fatty acids composition and antibacterial activity	PeerJ
Zabihi et al.	2020	A sustainable approach to scalable production of a graphene based flame retardant using waste fish deoxyribonucleic acid	Journal of Cleaner Production

Kandyliari et al.	2020	Nutrient Composition and Fatty Acid and Protein Profiles of Selected Fish By-Products	Foods
Greggio et al.	2018	Exploitable fish waste and stranded beach debris in the Emilia-Romagna Region (Italy)	Waste Management
Gruduls et al.	2018	Low temperature BMP tests using fish waste from invasive Round goby of the Baltic Sea	Agronomy Research
Deshpandea et al.	2020	Using Material Flow Analysis (MFA) to generate the evidence on plastic waste management from commercial fishing gears in Norway	Resources, Conservation & Recycling: X
Eimontas et al.	2023	Catalytical thermal conversion of waste fishing nets for a higher added value energy products generation and caprolactam recovery	Fuel
Deshpandea et al.	2020	Multi-criteria decision analysis (MCDA) method for assessing the sustainability of end-of-life alternatives for waste plastics: A case study of Norway	Science of the Total Environment
Bertelsen; Ottosen	2021	Recycling of Waste Polyethylene Fishing Nets as Fibre Reinforcement in Gypsum-based Materials	Fibers and Polymers
Skvorčinskienė et al.	2019	Thermal Analysis of Waste Fishing Nets for Polymer Recovery	Waste and Biomass Valorization
Deshpandea; Haskins	2021	Application of Systems Engineering and Sustainable Development Goals towards Sustainable Management of Fishing Gear Resources in Norway	Sustainability

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, destacam-se as principais descobertas das publicações, oferecendo uma referência para solucionar desafios da indústria pesqueira.

3.1. Resíduos e suas Alternativas de Reaproveitamento

3.1.1. Fios de Nylon de Pesca

A literatura na área de construção alternativa apresenta o reaproveitamento de fios de nylon de pesca na criação de diversos produtos. Um destaque é a sua aplicação na área da construção, onde foram organizados Blocos de Construção de Engrenagens Avançadas (Deshpandea et al., 2019) e Materiais à Base de Gesso (Bertelsen; Ottosen, 2021). Além disso, estudos identificaram a transformação desses fios de nylon em Produtos Energéticos (Eimontas et al., 2022; Deshpandea et al., 2020) e produção de Caprolactama (Skvorčinskienė et al., 2019) por meio de um processo de Recuperação de Polímeros.

Complementarmente, durante a análise e busca em sites, foram identificadas outras alternativas promissoras, como a utilização dos fios de nylon de pesca na fabricação de Barbatanas de Surf, na Indústria de Calçados, na criação de Gaiolas para garrafas de água de bicicletas, em Abas de Bonés, em Jogos de Tabuleiro, em Tapetes, em Roupas Sustentáveis, em Skates, em Óculos e em Sacos. Essas descobertas ampliam ainda mais as possibilidades de aproveitamento desses materiais.

3.1.2. Pele de Peixe

Aproximadamente 75% do peso total do peixe é descartado na forma de resíduos, como peles, ossos, barbatanas, cabeças, vísceras e escamas, contendo colágeno tipo I e II. Desenvolvimento de processos na interseção da tecnologia verde e economia azul busca transformar o colágeno com soluções aquosas de diversos solventes eutéticos. Obtenção de colágeno a partir de resíduos de peixe é

uma fonte inovadora e segura, evitando questões zoonóticas e religiosas (Bisht et al., 2021).

A pesquisa por meio da pesquisa em sites, identificou outras possibilidades de utilização dos resíduos, como elementos decorativos e revestimento de cadeiras e abajures, ampliando suas aplicações potenciais.

3.1.3. Excedentes de Pesca

Foram identificadas diversas alternativas para o reaproveitamento desses resíduos, tais como tingimentos de tecidos (Costa et al., 2018), processo de digestão anaeróbica para produção de biogás (Gruduls et al., 2018, Greggio et al., 2018, Paone et al., 2021). Além disso, eles também são fontes importantes de vitamina ômega-3 e ômega-6 (Inguglia et al., 2020), com aplicações na criação de produtos farmacêuticos e suplementação alimentar para animais (Chaklader et al., 2022, Chaklader et al., 2021, De et al., 2020, Kandyliari et al., 2020) e humanos (Kandyliari et al., 2020, Lucarini et al., 2020).

Essas dietas oferecem vantagens para a indústria da aquicultura, agregando valor aos resíduos de animais como fontes de proteína para produção de rações naturais (Chaklader et al., 2021). Além disso, podem ser usados como suplementos alimentares para consumo humano (Lucarini et al., 2020, Kandyliari et al., 2020, Greggio et al., 2021). Na área de nutrição para peixes, foram observadas melhorias na qualidade sensorial, cor e rancidez (Chaklader et al., 2022, Chaklader et al., 2021, De et al., 2020, Kandyliari et al., 2020). Os resíduos de pescado são valiosas fontes de compostos químicos ativos com propriedades medicinais e nutracêuticas, apesar da disponibilidade limitada de instalações industriais para o processamento (Greggio et al., 2021). A produção de energia (Diaz; Koiro; Romagnoli, 2022) tem sua grande importância.

Fertilizantes orgânicos é relevante e superior aos fertilizantes de esterco e produtos químicos convencionais. Resultado em melhorias na saúde do solo, aumento da fertilidade e biodiversidade, ansiedade a dependência de fertilizantes químicos e pesticidas, além de servir como modelo para Adubação Fosfatada Mineral, através da criação de um Fertilizante Fosfatado (Muscolo et al., 2022, Santos et al., 2022, Lanno et al., 2021). Os resultados asseguram a viabilidade de transformar resíduos em substâncias de alto valor e nutrientes, reintegrando-os em atividades agrícolas, substituindo fertilizantes químicos (Lopes et al., 2021).

3.1.4. Cartilagem

Geração de colágeno tipo I e II da cartilagem de peixes permite a produção de hidrogéis viáveis (Seixas et al., 2020), com potencial em aplicações médicas e biotecnológicas. Futuros estudos visam avaliar esse biomaterial marinho como modelo para imunidade de cartilagem.

3.1.5. Resíduos de DNA de Peixe e Escamas

Aplicando a técnica de hidrólise ácida para extrair DNA de resíduos de peixe, foi possível produzir a composição Chama Verde com grafeno (Zabihi et al., 2020). Essa abordagem mostrou eficiência e sustentabilidade no combate a incêndios em materiais poliméricos. A incorporação de escamas de peixe com um Retardador de Chama Comercial e amônia polifosfato resultou em benefícios como maior estabilidade térmica, redução da inflamabilidade e classificação superior de resistência à inflamação (Liu; Shang-Hao et al., 2021).

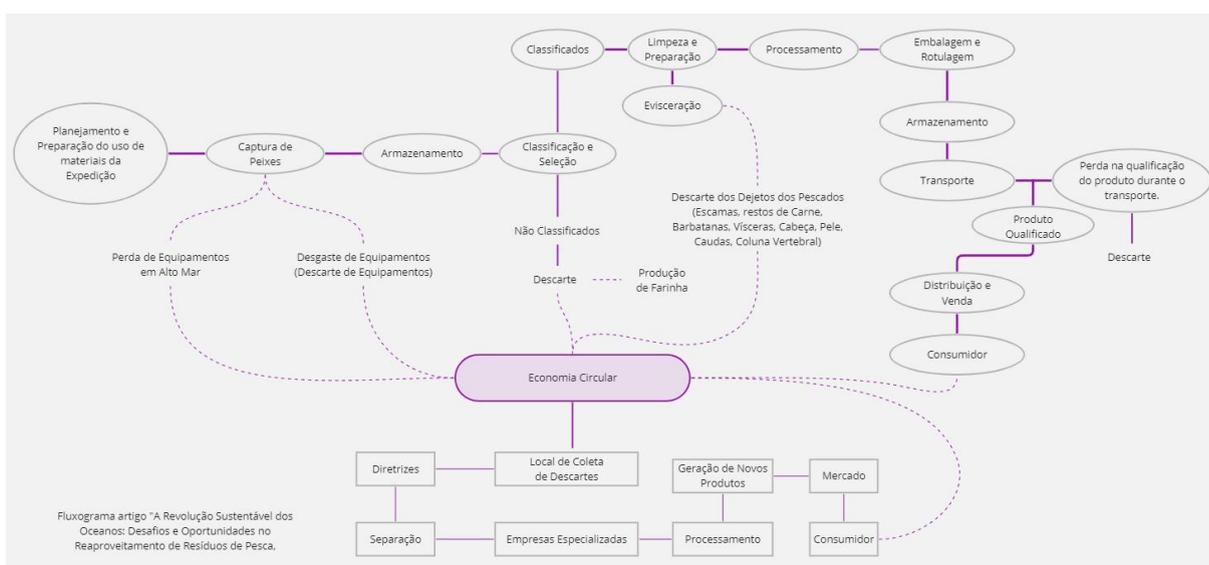
As diversas iniciativas destacam a importância da inovação no aproveitamento de resíduos da indústria pesqueira e aquícola para mitigar os impactos ambientais e criar valor econômico. Estratégias integradas podem preservar recursos hídricos e oferecer soluções sustentáveis para o gerenciamento de descarte de alimentos

(Chaklader et al., 2021). Apesar da proteção, os resíduos de pesca ainda são pouco explorados e preservados de mais estudos para compreender seu potencial (Inguglia et al., 2020).

1.2.2. Fluxograma Economia Circular na Pesca

Com base nas observações decorrentes da análise literária, foi viabilizada a concepção do fluxograma relativo ao processo logístico inerente à atividade pesqueira e sua respectiva produção de pescado. Importante salientar que, ao longo desse processo, ocorre a eliminação de aproximadamente 50% do pescado. Peixes de menor porte, caracterizados por um reduzido potencial de valor agregado, são destinados ao descarte, bem como aqueles que não atendem aos critérios de classificação. Adicionalmente, durante a fase de prolongada permanência em alto-mar, há perda de qualidade que inviabiliza sua comercialização como produto final. É de relevância enfatizar que a adoção dos princípios da EC pode acarretar vantagens significativas no âmbito da atividade pesqueira.

Figura 01 - Fluxograma Processo da Pesca e Pescados



Fonte: Elaborado pela Autora

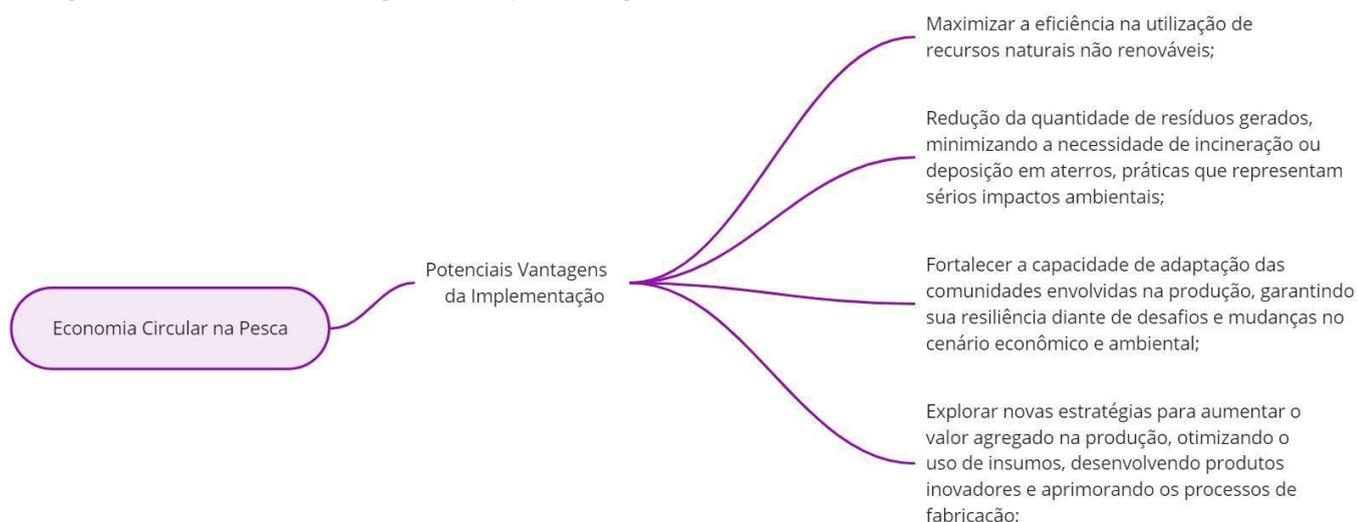
Nos pontos não rotativos marcados com pontos pontilhados, poderia ser considerada uma abordagem adicional para integrar o ciclo da EC na indústria pesqueira. Apesar da atual prática de usar peixes “não classificados” na produção de farinha, surge a possibilidade de introduzir alternativas e estratégias de rotatividade para recursos não explorados nesse sentido.

É crucial salientar que este fluxograma pode sofrer alteração de acordo com o tipo de pescado, o método de processamento utilizado e as demandas específicas da indústria pesqueira.

4.2. Benefícios da Aplicabilidade

A mesma pesquisa enfatiza as vantagens potenciais derivadas da adoção de modelos econômicos circulares nessa indústria, conforme Figura 02.

Figura 02 - Potenciais Vantagens na Implementação



Fonte: Elaborado pela Autora

4.3.1. Desafios

A implementação da EC enfrenta desafios que precisam ser superados, como a mudança de paradigma e cultura nas empresas e entre os consumidores. É necessário transitar de um sistema linear de consumo e descarte para um sistema circular que valorize a reutilização, reciclagem e prolongamento da vida útil dos produtos.

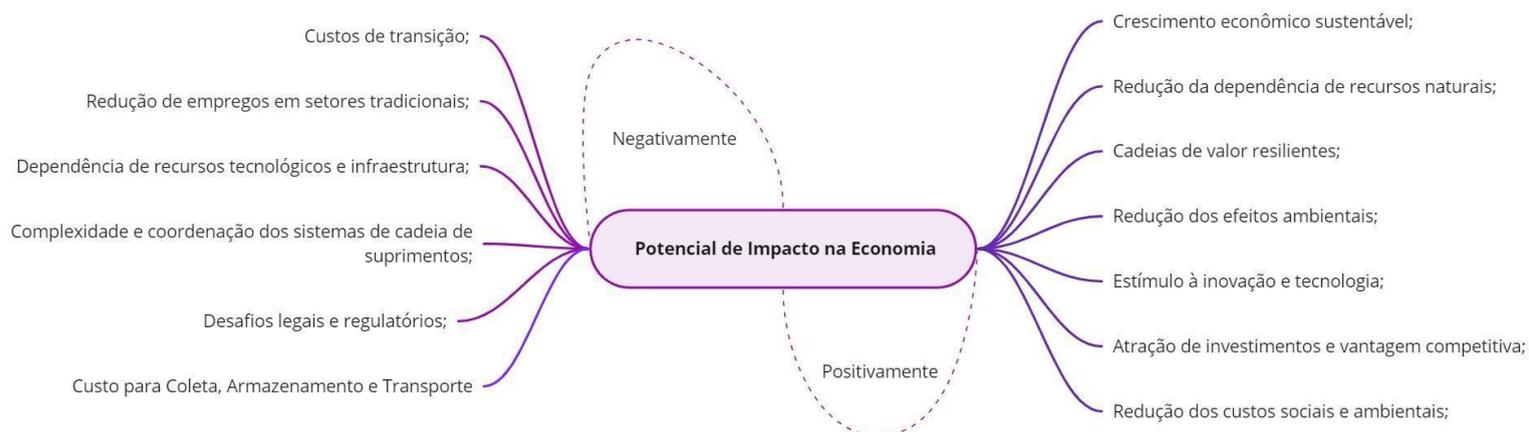
Outro desafio é a infraestrutura e logística para viabilizar a economia circular. É preciso desenvolver sistemas eficientes de coleta, triagem e reciclagem de resíduos, além de estabelecer parcerias entre empresas, governos e organizações da sociedade civil.

Além disso, a EC enfrenta desafios tecnológicos e de viabilidade financeira. Os custos de implementação podem ser altos, mas é importante buscar soluções de incentivo, como créditos e benefícios fiscais, para encorajar as empresas a adotarem práticas circulares e compensarem os investimentos iniciais.

4.3.2. Impacto na Economia

Embora uma EC traga benefícios significativos, é importante considerar e abordar os desafios potenciais durante sua implementação. Isso inclui questões financeiras, adaptação de infraestruturas, resistência cultural e mudanças de comportamento. Estratégias colaborativas e políticas seguidas são essenciais para garantir uma transição bem-sucedida para a EC.

Figura 03 - Potencial Impacto na Economia



Fonte: Elaborado pela Autora.

4. CONCLUSÃO

Com base nas descobertas deste estudo, fica evidente a necessidade e a importância de promover novas iniciativas exemplares por meio da Economia Circular (EC). Embora essa abordagem tenha sido inicialmente apresentada em 1989 em um projeto de pesquisa pioneiro, argumenta-se que seu conceito ainda é relativamente inexplorado no contexto atual da sociedade. Os resultados obtidos, abrangendo a análise de 157 artigos científicos, oferecem soluções eficazes e viáveis para aplicação e desenvolvimento no cenário atual, destacando a inovação técnica e sustentável.

Informações adicionais e adesão de sites especializados indicam a existência de iniciativas já inscritas tanto no âmbito social quanto empresarial, demonstrando que a EC está ganhando espaço e símbolo no mercado atual.

Para enfrentar o problema do lixo marinho, é essencial desenvolver métodos de medição e gestão específicos para os resíduos plásticos no setor pesqueiro, dada a expansão prevista das operações pesqueiras em todo o mundo (Daniel; Thomas, 2023). Isso requer a identificação de fontes, políticas e iniciativas para reduzir os efeitos negativos do lixo marinho nos ecossistemas costeiros (Steele; Miller, 2022). A avaliação e monitoramento do lixo marinho são fundamentais para direcionar pesquisas e promover o desenvolvimento da EC (Enrichettia et al., 2020).

Com base nos resultados obtidos e nas pesquisas de aplicações realizadas com a abordagem da EC, conclui-se que ela pode fornecer perspectivas inovadoras importantes devido à sua aplicabilidade, têm o potencial de sustentar a transformação positiva nos processos produtivos, visando à sustentabilidade ambiental e ao desenvolvimento socioeconômico. Torna-se necessário fornecer novas iniciativas exemplares que aproveitem todo o potencial dessa abordagem em relação aos resíduos de pesca, em prol de um futuro mais sustentável (Bertelsen; Ottosen, 2020).

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao CNPq e ao profissional especializado, coordenador, que contribuiu significativamente para o avanço da qualidade e desenvolvimento da proposta de pesquisa. Seu apoio foi fundamental para o sucesso e progresso deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

DIAZ, Fabiano; KOIRO, Lolita; ROMAGNOLI, Francesco. Avaliação do ciclo de vida ambiental e econômico de potenciais medidas de eficiência energética na cadeia de abastecimento de pescado da Letônia. *Future Foods* , v. 6, p. 100203, 2022.

CHAKLADER, Md Reaz et al. Uma combinação de *Hermetia illucens* criada com resíduos de peixe e farinha de subprodutos de aves melhora a qualidade sensorial e físico-química de filés de barramundi cultivados. *Fronteiras da Nutrição* , v. 8, p. 788064, 2022. See More

SANTOS, Laura Carvalho et al. Avaliação de Composto Preparado com Resíduos Biodegradáveis da Aquicultura. *Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas* , v. 53, n. 20, pág. 2778-2788, 2022. See More

MUSCOLO, Adele et al. AnchoisFert: A new organic fertilizer from fish processing waste for sustainable agriculture. *Global Challenges*, v. 6, n. 5, p. 2100141, 2022.

BISHT, Meena et al. Uncovering the potential of aqueous solutions of deep eutectic solvents on the extraction and purification of collagen type I from Atlantic codfish (*Gadus morhua*). *Green Chemistry*, v. 23, n. 22, p. 8940-8948, 2021.

CHAKLADER, Md Reaz et al. Transformation of fish waste protein to *Hermetia illucens* protein improves the efficacy of poultry by-products in the culture of juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Science of The Total Environment*, v. 796, p. 149045, 2021.

GREGGIO, Nicolas et al. Quantification and mapping of fish waste in retail trade and restaurant sector: Experience in Emilia-Romagna, Italy. *Waste Management*, v. 135, p. 256-266, 2021.

LANNO, Marge et al. Distribution of phosphorus forms depends on compost source material. *Resources*, v. 10, n. 10, p. 102, 2021.

LIU, Shang-Hao et al. A Study on Circular Economy Material Using Fish Scales as a Natural Flame Retardant and the Properties of Its Composite Materials. *Polymers*, v. 13, n. 15, p. 2446, 2021.

PAONE, Emilia et al. Towards the anchovy biorefinery: Biogas production from anchovy processing waste after fish oil extraction with biobased limonene. *Sustainability*, v. 13, n. 5, p. 2428, 2021.

LOPES, Ivã Guidini et al. Valorization of animal waste from aquaculture through composting: Nutrient recovery and nitrogen mineralization. *Aquaculture*, v. 531, p. 735859, 2021.

SEIXAS, Manuel J. et al. Extraction and characterization of collagen from elasmobranch byproducts for potential biomaterial use. *Marine drugs*, v. 18, n. 12, p. 617, 2020.

LUCARINI, Massimo et al. Sustainable management of secondary raw materials from the marine food-chain: A case-study perspective. *Sustainability*, v. 12, n. 21, p. 8997, 2020.

DE, Debasis et al. Effect of fish waste hydrolysate on growth, survival, health of *Penaeus vannamei* and plankton diversity in culture systems. *Aquaculture*, v. 524, p. 735240, 2020.

- INGUGLIA, Luigi et al. Salmo salar fish waste oil: Fatty acids composition and antibacterial activity. *PeerJ*, v. 8, p. e9299, 2020.
- ZABIHI, Omid et al. A sustainable approach to scalable production of a graphene based flame retardant using waste fish deoxyribonucleic acid. *Journal of Cleaner Production*, v. 247, p. 119150, 2020.
- KANDYLIARI, Aikaterini et al. Nutrient composition and fatty acid and protein profiles of selected fish by-products. *Foods*, v. 9, n. 2, p. 190, 2020.
- GREGGIO, Nicolas et al. Exploitable fish waste and stranded beach debris in the Emilia-Romagna Region (Italy). *Waste Management*, v. 78, p. 566-575, 2018.
- GRUDULS, A. et al. Low temperature BMP tests using fish waste from invasive Round goby of the Baltic Sea. 2018.
- DESHPANDE, Paritosh C. et al. Using Material Flow Analysis (MFA) to generate the evidence on plastic waste management from commercial fishing gears in Norway. *Resources, Conservation & Recycling: X*, v. 5, p. 100024, 2020.
- EIMONTAS, Justas et al. Catalytical thermal conversion of waste fishing nets for a higher added value energy products generation and caprolactam recovery. *Fuel*, v. 334, p. 126735, 2023.
- DESHPANDE, Paritosh C. et al. Multi-criteria decision analysis (MCDA) method for assessing the sustainability of end-of-life alternatives for waste plastics: A case study of Norway. *Science of the Total Environment*, v. 719, p. 137353, 2020.
- BERTELSEN, I. M. G.; OTTOSEN, L. M. Recycling of waste polyethylene fishing nets as fibre reinforcement in gypsum-based materials. *Fibers and Polymers*, p. 1-11, 2021.
- SKVORČINSKIENĖ, R. et al. Thermal analysis of waste fishing nets for polymer recovery. *Waste and Biomass Valorization*, v. 10, p. 3735-3744, 2019.
- DESHPANDE, Paritosh C.; HASKINS, Cecilia. Application of systems engineering and sustainable development goals towards sustainable management of fishing gear resources in Norway. *Sustainability*, v. 13, n. 9, p. 4914, 2021.
- XUAN, Bui Bich; NGOC, Quach Thi Khanh; BÖRGER, Tobias. Fisher preferences for marine litter interventions in Vietnam. *Ecological Economics*, v. 200, p. 107534, 2022.
- RICHARDSON, Kelsey et al. Challenges and misperceptions around global fishing gear loss estimates. *Marine Policy*, v. 129, p. 104522, 2021.
- AYALA, Félix; CASTILLO-MORALES, Karen; CÁRDENAS-ALAYZA, Susana. Impact of marine debris recorded in a sympatric colony of otariids in the south coast of Peru. *Marine Pollution Bulletin*, v. 174, p. 113281, 2022.
- BASURKO, Oihane C. et al. End-of-life fishing gear in Spain: Quantity and recyclability. *Environmental Pollution*, v. 316, p. 120545, 2023.
- BUHL-MORTENSEN, Lene et al. Litter on the seafloor along the African coast and in the Bay of Bengal based on trawl bycatches from 2011 to 2020. *Marine Pollution Bulletin*, v. 184, p. 114094, 2022.
- OWIREDU, Solomon Amoah; KIM, Kwang-II; KIM, Byung-Yeob. Seafloor litter generated by coastal and offshore fisheries operations in the South Sea of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, v. 182, p. 113942, 2022.

Ellen MacArthur Foundation (2022). What is Circular Economy?. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. Acesso em 01/05/2023.

TAVARES, Davi Castro; MOURA, Jailson Fulgencio; MERICO, Agostino. Anthropogenic debris accumulated in nests of seabirds in an uninhabited island in West Africa. *Biological conservation*, v. 236, p. 586-592, 2019.

NARDELLA, Sara; CONTE, Amalia; DEL NOBILE, Matteo Alessandro. State-of-Art on the recycling of by-products from fruits and vegetables of Mediterranean countries to prolong food shelf life. *Foods*, v. 11, n. 5, p. 665, 2022.

DANIEL, Damaris Benny; THOMAS, Saly N. Derelict fishing gear abundance, its causes and debris management practices—Insights from the fishing sector of Kerala, India. *Marine Policy*, v. 148, p. 105429, 2023.

ENRICHETTI, Francesco et al. Assessment and distribution of seafloor litter on the deep Ligurian continental shelf and shelf break (NW Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*, v. 151, p. 110872, 2020.

BERTELSEN, I. M. G.; OTTOSEN, L. M.; FISCHER, G. Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials: A review. *Construction and Building Materials*, v. 230, p. 116769, 2020.

European Parliament (2023). European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund: supporting sustainability at sea. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/portal/pt>. Acesso em 01/05/2023.

HARDESTY, Britta Denise et al. Abandoned, lost and discarded fishing gear 'ghost nets' are increasing through time in Northern Australia. *Marine Pollution Bulletin*, v. 173, p. 112959, 2021.

GOODMAN, Alexa J. et al. Benthic marine debris in the Bay of Fundy, eastern Canada: Spatial distribution and categorization using seafloor video footage. *Marine pollution bulletin*, v. 150, p. 110722, 2020.

FAO (2022). Uma produção pesqueira e aquícola sem precedentes contribui decisivamente para a segurança alimentar global. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/es/c/1585153/>. Acesso em 01/05/2023.