

# Estudo Prospectivo Sobre a Aplicação da Biorremediação na Aquicultura

## *Prospective Study on the Application of Bioremediation to Aquaculture*

Wendel Fialho de Abreu<sup>1</sup>

Kelly Cristina Leite da Silva<sup>1</sup>

Luis André Luz Barbas<sup>1</sup>

Carlos Alberto Machado da Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, PA, Brasil

### Resumo

A aquicultura tem despontado como alternativa para a segurança alimentar da população, assim como a biorremediação surgiu como tecnologia oportuna para mitigar o impacto ambiental de efluentes. Este estudo realizou análise bibliográfica e patentária sobre biorremediação e aquicultura, a partir de buscas nas bases científicas da Scielo e da Capes, além das bases tecnológicas do INPI e do Orbit Intelligence. Buscou-se explorar as perspectivas e as contribuições que a biorremediação pode oferecer à aquicultura. Constatou-se que a produção tecnológica está aquém da científica nesta temática e que o tratamento de efluentes da aquicultura ainda é incipiente. China e EUA são os principais países no desenvolvimento de pesquisas e tecnologias para biorremediação na aquicultura. Ademais, verificou-se que há um número expressivo de patentes expiradas, disponíveis em domínio público, que podem ser aplicadas especialmente ao contexto brasileiro, que apresenta ambiente propício à aquicultura e desafios quanto à segurança ambiental e alimentar.

Palavras-chave: Aquicultura. Biorremediação. Prospecção.

### Abstract

Aquaculture has emerged as an alternative for food security worldwide, while bioremediation has been a suitable technology to mitigate the environmental impact of effluents. This study aimed to carry out bibliographic and patent surveys on bioremediation and aquaculture in different scientific bases, such as Scielo and Capes, in addition to the technological bases of INPI and Orbit Intelligence. Further, we sought to explore the contributions that bioremediation can offer to aquaculture. It was observed that the extent of technological production is below the scientific literature on this topic, and the treatment of aquaculture effluents is still incipient. China and the USA are the main countries in the development of these studies and technologies. Moreover, there is a significant number of expired patents in the public domain, which can be applied in the Brazilian context, that is a thriving environment to aquaculture and faces challenges regarding environmental and food security issues.

Keywords: Aquaculture. Bioremediation. Prospection.

Área Tecnológica: Biologia. Prospecção Tecnológica. Biorremediação.



# 1 Introdução

Estudos da Organização das Nações Unidas (ONU, 2019) indicam que a população global deverá atingir 8,5 bilhões em 2030 e 10,9 bilhões em 2100 – percebe-se a continuidade do crescimento da população mundial, embora o ritmo tenha diminuído quando comparado a qualquer momento desde 1950. O crescimento populacional apresenta desafios ao desenvolvimento sustentável, uma vez que pressiona os recursos já sobrecarregados. Um dos questionamentos frequentes é como equilibrar a alta demanda alimentar mediante tantas incertezas em relação ao clima, à economia e aos recursos naturais.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2020), em 2018, a produção total pesqueira e aquícola – peixes, crustáceos, entre outros animais aquáticos, excluindo mamíferos, répteis e plantas – atingiu cerca de 179 milhões de toneladas e correspondeu a aproximadamente 401 bilhões de dólares. Desse total, 46% da produção foi proveniente da aquicultura e, por sua vez, 52% disso foi destinado à alimentação humana. Vale ressaltar que óleos e outros produtos para usos não alimentícios também podem ser obtidos a partir da produção aquática. Além disso, o extrativismo é responsável por parte da produção de origem aquática. Em 2018, a FAO (2020) relatou uma média de consumo de 20,5kg de pescado por pessoa/ano. Esses dados sinalizam que a aquicultura pode contribuir bastante no equilíbrio da demanda de alimentos e sistemas de produção. De acordo com Teixeira (2006), essa é também uma das grandes contribuições da produção da aquicultura, uma vez que a obtenção de pescado somente pela pesca extrativa pode levar espécies mais comercializadas à extinção.

A aquicultura pode ser definida como a técnica de produção de seres vivos aquáticos, incluindo peixes, crustáceos, moluscos e plantas aquáticas, com o objetivo de suprir necessidades de alimentação humana ou outros fins não alimentícios. Essa técnica de produção implica intervenção do homem no processo de cultivo, ao nível climático (temperatura da água, salinidade, entre outros fatores), na alimentação dos organismos cultivados e até mesmo com relação à proteção contra predadores. O termo aquicultura inclui o cultivo de espécies em águas doces e salgadas (FAO, 2014).

No Brasil, são perceptíveis as diferenças nos produtos cultivados na aquicultura, dependendo da região. Percebe-se que a Região Norte investe na piscicultura de espécies como o tambaqui, pirapitinga e pirarucu; a Região Nordeste lidera a produção de camarão marinho e tilápia; no Centro-Oeste destacam-se tambaqui, pacu e pintado; pacu, pintado e tilápia no Sudeste; carpa, jundiá, tilápia, ostra e mexilhão na Região Sul (EMBRAPA, 2017).

O governo brasileiro, por meio do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), apresentou um plano de desenvolvimento da aquicultura brasileira para o período 2015-2020, tendo como objetivo aumentar a produção aquícola brasileira prioritariamente nas cadeias produtivas de peixes, camarão, mexilhões e ostras (MPA, 2015). A Agência Nacional de Águas (ANA, 2020) estimou uma capacidade de suporte de dois milhões de toneladas por ano sem degradação ambiental, considerando apenas a capacidade produtiva em águas continentais, que são encontradas com abundância ímpar no Brasil.

Apesar do papel de relevo no panorama de abastecimento piscícola mundial, a aquicultura influencia em processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais. O tipo e a escala dos impactos ambientais estão diretamente ligados à intensidade do sistema produtivo e das características da região. Os cursos d'água adjacentes às fazendas de aquicultura podem rece-

ber efluentes com cargas elevadas de nutrientes, o que favorece o processo de eutrofização. A ração adicionada aos viveiros para acelerar o crescimento dos peixes também contribui para eutrofização das águas dentro e fora das fazendas (TEIXEIRA, 2006). Os principais impactos ambientais causados pela piscicultura (cultivo de peixes) e carcinicultura (cultivo de camarões) correspondem aos conflitos com o uso dos corpos d'água, a sedimentação e a obstrução de rios, a hipernutrição e a eutrofização, a descarga dos efluentes de tanques e viveiros, além da poluição por resíduos químicos empregados nas diferentes fases do cultivo (PILLAY, 1992).

A piscicultura e a carcinicultura se, de um lado, são alternativas para o aumento da segurança alimentar, por outro lado, podem significar um alerta quanto aos impactos ambientais que podem ocasionar. A poluição de água potável é um dos problemas mais sérios enfrentados pelos humanos e existem muitos fatores que influenciam o aumento dessa poluição, como o crescimento populacional, a industrialização crescente, as atividades agropecuárias, a urbanização e o desmatamento (RAI, 2018). Assim, com o intuito de equilibrar a intensificação de atividades produtivas aquícolas e os impactos ocasionados em corpos d'água, as técnicas de biorremediação aplicadas à aquicultura podem contribuir para a diminuição de problemas ambientais.

A biorremediação é o uso de processos em que organismos vivos, principalmente plantas ou micro-organismos, são utilizados tecnologicamente para remover (remediar), degradar (transformar) ou reduzir as concentrações de poluentes no ambiente. Esse processo biotecnológico de remediação ambiental tem sido bastante pesquisado e recomendado pela comunidade científica como uma alternativa viável para o tratamento de ambientes contaminados, como solos, águas subterrâneas e águas superficiais, resíduos e efluentes industriais (GAYLARD; BELLINASSO; MANFIO, 2005).

Na aquicultura, as atividades de biorremediação geralmente fazem parte das soluções posteriores à geração dos efluentes e se referem ao tratamento do efluente objetivando a retirada de nitrogênio, fósforo e sólidos em suspensão. Uma das possibilidades é a utilização de tanques de sedimentação ou de alagados artificiais, construídos com macrófitas aquáticas. Essas *wetlands* construídas são de baixo custo, uma vez que empregam processos naturais na remoção de poluentes do efluente (CAMARGO; HENARES, 2012).

Uma alternativa interessante é a aquicultura multitrófica integrada (IMTA ou AMTI), que corresponde a um sistema de biomitigação ambiental eficaz. Esse sistema preconiza um desenvolvimento mais sustentável da aquicultura ao permitir a reciclagem de resíduos alimentares por meio do cocultivo de espécies-alvo com outras de hábitos alimentares distintos, em diferentes níveis tróficos, no mesmo ambiente de cultivo. Isso resulta na conversão dos resíduos do cultivo de uma espécie em fonte de alimento ou fertilizantes para a outra (CHOPIN *et al.*, 2013). Segundo os autores, a IMTA oferece uma solução inovadora para a sustentabilidade ambiental, com mais estabilidade econômica e maior aceitação social da aquicultura, adotando uma abordagem de gestão baseada no ecossistema (CHOPIN *et al.*, 2013).

No Brasil, Brito *et al.* (2018) avaliaram a biorremediação de efluentes nitrogenados de carcinicultura, utilizando a alga (*Gracilaria birdiae*), o molusco bivalve (*Anomalocardia brasiliiana*) e o peixe (*Oreochromis niloticus*). Os melhores resultados foram observados para *A. brasiliiana*, indicando que esse molusco pode ser usado como biorremediador e contribuir para o tratamento de efluentes do cultivo de camarões. Na China (cidade de Foshan), Han *et al.* (2020) conduziram uma investigação sobre a viabilidade de utilização de biofilme bacteriano-algal para o tratamento de águas residuais de aquicultura, que demonstrou eficiência na remoção

de selênio, nitrogênio e fósforo. A água residual da aquicultura nesse estudo era de tanque de cultura mista de peixes e camarões.

Vale mencionar que a mitilicultura e ostreicultura são atividades produtivas de aquicultura bem menos impactantes ao ambiente quando comparadas à piscicultura e carcinicultura, podendo inclusive ter efeitos positivos. A ação filtradora dos bivalves os torna organismos importantes para a remoção não só da matéria orgânica em suspensão, como também auxiliam no processo de ciclagem de nutrientes no meio aquático. A instalação de cordas e de lanternas em fazendas de criação de bivalves atrai muitas espécies para o local, já que essas espécies o usam como abrigo. Entre as espécies que já foram encontradas, estão juvenis de badejo e garoupa e uma grande variedade de invertebrados (SUPLICY, 2005).

Considerando a necessidade de desenvolver a produção aquícola de forma mais sustentável, este trabalho buscou realizar um estudo prospectivo de tecnologias de biorremediação aplicadas à aquicultura, atividade vista como alternativa para a segurança alimentar da população, especialmente no Brasil que possui um ambiente propício para a exploração desse tipo de cultura, apresentando também desafios importantes quanto às questões de segurança ambiental e alimentar.

## 2 Metodologia

Este levantamento prospectivo sobre aplicação da biorremediação na aquicultura é um estudo descritivo de natureza qualitativa e quantitativa realizado em junho de 2020 a partir da consulta de publicações científicas e de patentes na internet.

As pesquisas contemplaram o cenário nacional e internacional, porém se concentraram nas cadeias produtivas priorizadas no Plano de Desenvolvimento da Aquicultura Brasileira (PDA) 2015-2020. O PDA traçou diretrizes que objetivam aumentar a produção aquícola nacional em águas marinhas e continentais de domínio da União, mediante estratégias, metas, indicadores e ações relacionados ao cultivo de peixes, camarões, mexilhões e ostras. Dessa forma, para nortear as buscas nas fontes de coleta de dados, foram utilizadas palavras-chave alinhadas ao PDA, conforme demonstrado na Tabela 1.

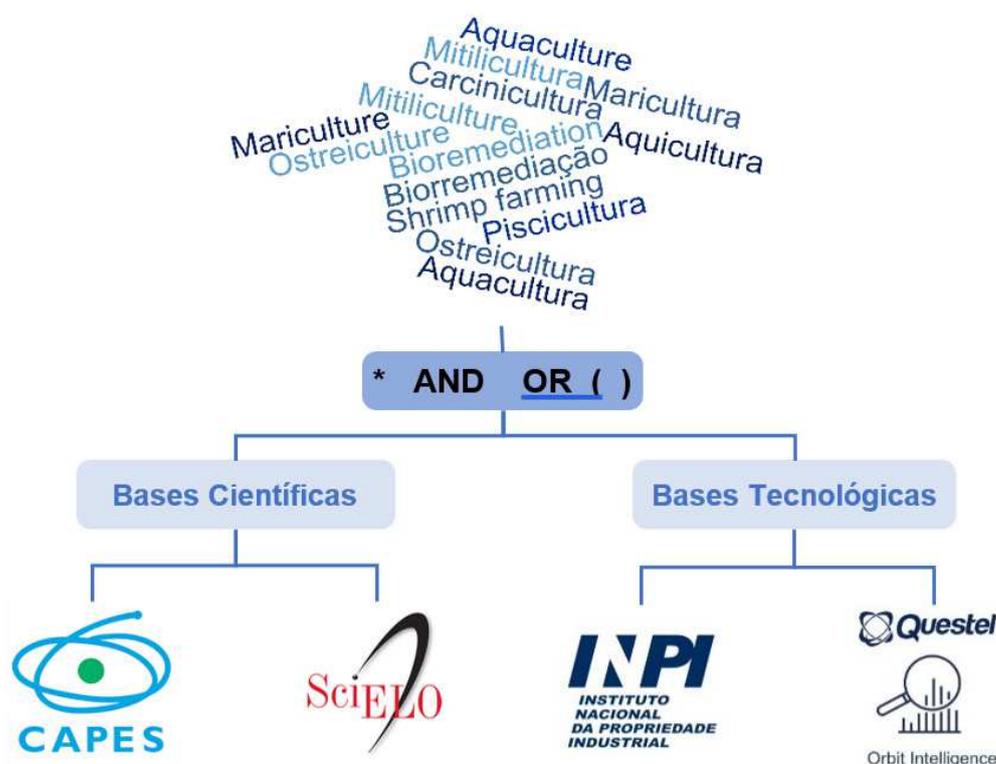
**Tabela 1** – Palavras-chave utilizadas nas buscas de patentes e periódicos

PALAVRAS-CHAVE	DEFINIÇÕES
Aquicultura ou Aquacultura	A aquicultura é a reprodução e o crescimento de peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis e plantas aquáticas em ambiente aquático controlado ou semicontrolado
Biorremediação	A biorremediação é o uso de processos em que organismos vivos, geralmente plantas, micro-organismos ou suas enzimas, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir poluentes no ambiente
Carcinicultura	Cultivo de camarões
Maricultura	Cultivo de organismos aquáticos marinho-estuarinos
Mitilicultura	Cultivo de mexilhão
Ostreicultura	Cultivo de ostras
Piscicultura	Cultivo de peixes

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo a partir das definições adaptadas de Sebrae (2015)

Para definir as fontes de coletas de dados em que essas palavras-chave seriam pesquisadas, convencionou-se o uso de duas bases científicas e de duas bases tecnológicas, sendo, em cada caso, uma de menor abrangência e outra de maior abrangência (Figura 1). Na linha científica, a base Scielo (Scientific Electronic Library Online) abrange o cenário latino-americano, e o portal de periódicos da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) possui amplo acervo de produções científicas nacionais e internacionais. Na perspectiva tecnológica, a base de patentes do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) cobre o território brasileiro e a plataforma comercial Orbit Intelligence, sistema de busca e análise desenvolvido pela Questel Academy, possui alcance em nível internacional, com informações de patentes de mais de 90 países.

**Figura 1** – Estrutura metodológica das buscas de artigos e patentes



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020)

Definidas as palavras-chave e as fontes de coleta de dados, iniciou-se o levantamento a partir das seguintes estratégias:

- a) as palavras-chave foram consultadas em português e em inglês;
- b) em todas as bases foi utilizada pesquisa do tipo avançada;
- c) não se aplicou qualquer tipo de restrição nos campos de busca das bases, por exemplo, por ano e por Classificação Internacional de Patentes;
- d) as palavras-chave foram truncadas com “\*” em todas as bases;
- e) todas as palavras-chave foram consultadas individualmente e combinadas com biorremediação e sua correspondente em inglês *bioremediation*;
- f) na base da Scielo, as palavras-chave foram dispostas para consulta em todos os índices;

- g) na base de períodos da Capes, as palavras-chave foram dispostas para consulta por assunto;
- h) na base do INPI, palavras-chave foram dispostas para consulta no campo resumo da patente;
- i) na base do Orbit, as palavras-chave foram dispostas para consulta em todos os campos (Título, Resumo, Reivindicações, Descrição, Objeto da invenção, Vantagens, Conceitos e Texto Completo);
- j) ainda no Orbit, as informações relacionadas à classificação internacional de patentes do IPC foram extraídas, analisadas e comparadas com informações constantes na página do IPC Publication no *site* do WIPO (World Intellectual Property Organization) visando a identificar seção, grupo e subgrupo a partir do código do IPC fornecido nas buscas do Orbit;
- k) o aprofundamento das análises de base tecnológico se concentrou na base de Orbit por se tratar da mais abrangente em termos quantitativos.

### 3 Resultados e Discussão

O estudo prospectivo partiu da busca individualizada tanto da biorremediação quanto da aquicultura, seguindo com correlações entre as duas e associação da biorremediação com as cadeias produtivas relacionadas à produção aquícola priorizada no Brasil. Os resultados encontrados nas bases científicas (SciELO e Capes) e bases tecnológicas (INPI e Orbit Questel) foram dispostos na Tabela 2, que agrupa todas as palavras-chave utilizadas e seus resultados em cada base científica ou tecnológica.

**Tabela 2** – Palavras-chave utilizadas nas buscas de artigos e patentes com os respectivos números de documentos encontrados

PALAVRAS-CHAVE	SCIELO	CAPES	INPI	ORBIT
Biorremed* OR Bioremed*	456	53.628	53	14.280
Aquicultur* OR Aquacultur*	1.204	167.154	103	138.154
Maricultur*	71	13.055	5	2.679
Piscicultur*	472	4.810	90	5.291
Carcinicultur* OR Shrimp farming	98	9.111	7	3.218
Ostreicultur*	3	199	2	161
Mitilicultur*	8	31	0	8
(Biorremed* OR Bioremed*) AND (Aquicultur* OR Aquacultur*)	10	1.671	26	809
(Biorremed* OR Bioremed*) AND Maricultur*	1	301	0	39
(Biorremed* OR Bioremed*) AND (Carcinicultur* OR Shrimp farming)	1	202	0	2
(Biorremed* OR Bioremed*) AND Piscicultur*	1	165	0	14
(Biorremed* OR Bioremed*) AND Ostreicultur*	0	1	0	1
(Biorremed* OR Bioremed*) AND Mitilicultur*	0	1	0	0

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020)

Na busca com termos em português e em inglês, *Aquicultur\* OR Aquacultur\** despontaram em resultados tanto científicos na Capes (167.154) e Scielo (1.204) quanto tecnológicos no Orbit (138.154) e INPI (103), demonstrando ser um tema relevante por se tratar de um objeto de intensas pesquisas no meio acadêmico para desenvolvimento de conhecimento, mas também fazendo parte de formulações e soluções tecnológicas. O resultado demonstra ainda que, apesar de o cenário brasileiro ser propício para o desenvolvimento da aquicultura, em termos de produção tecnológica, não alcança sequer 0,1% em comparação com a perspectiva mundial abrangida na base de dados do Orbit.

Em relação aos termos *Biorremed\* OR Bioremed\**, o quantitativo de registros nas bases é muito aquém se comparado com as buscas sobre aquicultura, mas também se mostra expressivo conforme visto na Capes (53.628) e Scielo (456), bem como no Orbit (14.280) e INPI (53), inclusive indicando que o Brasil estuda o tema e o coloca como alternativa para tratamento de efluentes.

Entre as atividades exploradas na realidade da aquicultura brasileira, em termos quantitativos, destaca-se o número de registros recuperados sobre piscicultura em termos de produção tecnológica, seguida da carcinicultura e maricultura. Essas também são as culturas mais exploradas tecnologicamente no cenário internacional. É possível inferir que as áreas mais expressivas nos resultados são as áreas com maior interesse tecnológico e científico, o que indica convergência com as pesquisas bibliográficas do estudo que apontam a aquicultura como um ramo de atividade econômica de grande interesse e os ramos atrelados com maior desenvolvimento.

Nos casos em que o operador booleano “AND” foi utilizado para demonstrar as correlações, o destaque foi a associação de biorremediação e aquicultura, com os maiores resultados obtidos nas bases científicas (Capes: 1.671; Scielo: 10) e tecnológicas (Orbit: 809; INPI: 26). Esses dados se revestem da maior importância, pois podem evidenciar o potencial de valor da biorremediação para a melhoria da aquicultura, embora ainda seja perceptível espaço para avanços em pesquisa científica e tecnológica quando comparado com o resultado das buscas pelos termos individualmente.

Ainda nessa linha, dos 53 depósitos de patentes no INPI relacionados à biorremediação, 26 (49%) estão associados à aquicultura, enquanto, dos 14.280 registros de patentes do Orbit sobre biorremediação, apenas 809 (6%) possuem vínculo com a aquicultura. Isso pode indicar que a produção tecnológica brasileira já vislumbra a biorremediação como solução para os efluentes da aquicultura. Em contrapartida, na base do INPI, não foram identificados pedidos de patentes da associação entre biorremediação e os cinco segmentos da aquicultura aqui estudados, havendo espaço para o aprofundamento da produção tecnológica nos segmentos produtivos.

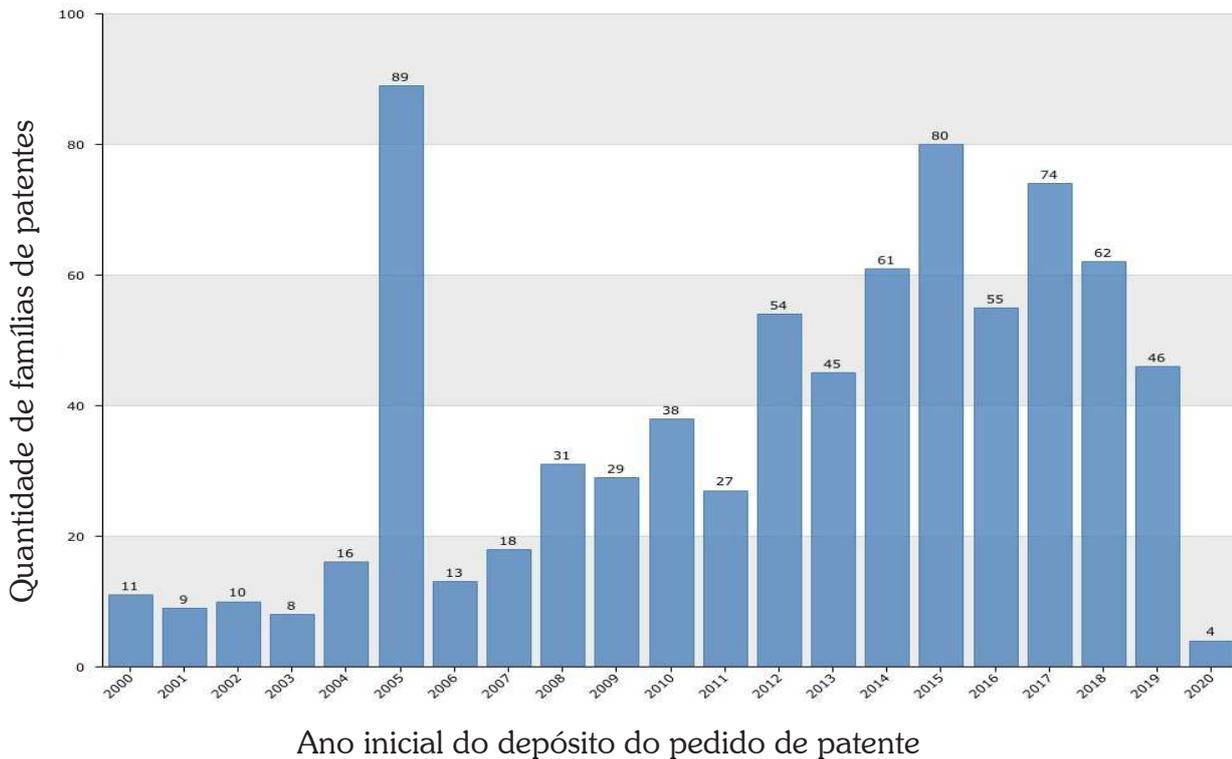
Observa-se que a produção científica supera a produção tecnológica em todas as combinações de pesquisa, indicando o potencial tecnológico no sentido de ampliar a proteção por meio de patentes sobre os novos conhecimentos e desenvolvimentos nessas áreas temáticas.

A piscicultura é o único segmento da aquicultura em que a produção tecnológica supera a produção científica ao se comparar os registros nas bases da Capes e do Orbit. A diferença quantitativa entre as produções nos campos científico e tecnológico é pequena quanto ao registro de documentos sobre aquicultura, embora não seja possível dizer o mesmo quanto às pesquisas que se referem ao termo biorremediação, campo de conhecimento ainda pouco explorado no recorte e com boas perspectivas quanto ao potencial de preservação do meio ambiente e benefícios à sociedade. Na pesquisa bibliográfica, identificou-se que predominam experimentos em

que organismos candidatos são testados quanto à sua eficiência em reduzir as concentrações de contaminantes no ambiente.

As consultas realizadas na base de pesquisa do Orbit abrangeram o período de 2000 a 2020, conforme demonstrado no gráfico da Figura 2, na qual se pode acompanhar a evolução histórica dos depósitos de patentes retornados a partir da consulta: (Biorremed\* OR Bioremed\*) AND (Aquicultur\* OR Aquacultur\*).

**Figura 2** – Relação número de patentes x ano inicial de aplicação



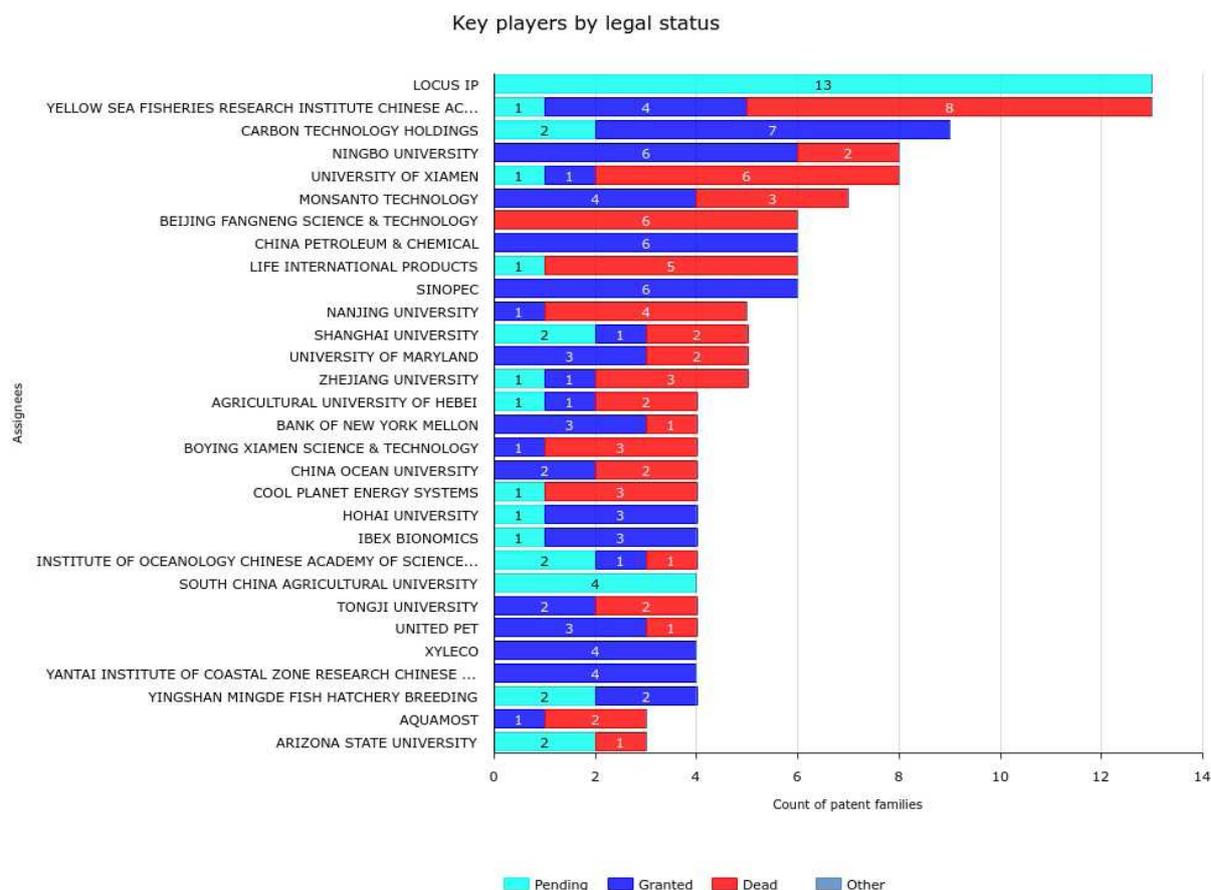
Fonte: Adaptada do Orbit Intelligence (2020)

Os primeiros estudos científicos identificados na pesquisa bibliográfica ocorreram em meados da década de 1990 (dados não mostrados no gráfico), o que demonstra a importância dos estudos científicos para o amadurecimento do conhecimento e construções de soluções tecnológicas na temática estudada, conforme observado no crescimento do depósito de patentes na década seguinte *vide* Figura 2.

As pesquisas tecnológicas na base de dados do Orbit mostram que o ano de 2005 foi o mais expressivo para depósitos de patentes que incluem em seus textos os termos associados “biorremediação” e “aquicultura” ou “bioremediation” e “aquaculture”, mas se mostrou um ano atípico na primeira década estudada. A partir de 2007, passou a ocorrer crescimento ainda irregular, atingindo melhores índices em 2015 e 2017. A diminuição do número de depósitos observada na extremidade mais atual do gráfico, nos anos de 2019 e 2020, não deve ser realmente tão acentuada, por se tratar do período de sigilo de 18 meses dos depósitos patentários na ocasião da busca.

Os principais requerentes são representados na Figura 3, em que se pode também observar o *status* das patentes de cada um constante na lista.

**Figura 3** – Principais requerentes no grupo de patentes analisadas de acordo com seu *status* legal



Fonte: Adaptada do Orbit Inteligence (2020)

A maior parte dos registros refere-se às patentes concedidas (*granted*) ainda em vigor, um pouco mais de 40% do total, indicando que os detentores gozam do direito de impedir terceiros de produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar os objetos de suas patentes sem o seu consentimento e autorização. Por outro lado, cerca de 20% dos documentos recuperados correspondem a pedidos de patentes ainda pendentes (*pending*), indicando que a produção tecnológica nas grandes potências continua desenvolvendo e protegendo soluções nessa temática.

As patentes com o *status* “*dead*”, patentes expiradas ou caducas, representam quase 37% dos documentos recuperados da base do Orbit, indicando que agora fazem parte do domínio público e podem ser aproveitadas por terceiros para aplicar em suas realidades sem precisar de autorização ou consentimento do inventor ou proprietário da tecnologia. Como essas patentes são todas oriundas de países desenvolvidos, que possuem avanços consideráveis na temática, convém serem avaliadas quanto à oportunidade de aplicação no cenário de outros países, especialmente dos que possuem menos orçamentos para pesquisa e desenvolvimento tecnológico, como é o caso do Brasil.

Caducidade da patente é a forma de extinção dos direitos que decorre do descumprimento do ônus de exploração da invenção (CARVALHO, 1991). Ou seja, caducada a patente, cai o objeto dela em domínio público, podendo os interessados explorarem sem qualquer pagamento de retribuição ou mesmo importar o produto livremente.

Os maiores requerentes são a Locus ip, sediada nos Estados Unidos, e a Yellow Sea Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sci, sediada na China, demonstrando que são

as maiores forças mundiais no desenvolvimento de tecnologias que associam biorremediação e aquicultura. Não à toa, são as maiores potências do mundo na produção tecnológica e estão entre os três países mais populosos, o que pode explicar a preocupação deles com o estudo da biorremediação e sua aplicação na aquicultura como forma de assegurar a segurança alimentar de seus povos e minimizar seus impactos no meu ambiente.

Ainda utilizando os termos em inglês e em português, e consultando a base do Orbit para o depósito de patentes, foram agrupados os dez maiores depositantes de patentes na Tabela 3.

**Tabela 3** – Os dez maiores depositantes de patentes relacionadas à biorremediação e à aquicultura

BIORREMEDIAÇÃO	PAÍS	AQUICULTURA	PAÍS	BIORREMEDIAÇÃO E AQUICULTURA	PAÍS
Zhejiang University	CN	Chinese Academy of Fishery Sciences	CN	Locus ip	US
University of California	US	Zhejiang Ocean University	CN	Yellow sea fisheries research institute chinese academy of fishery sci	CN
China Petroleum & Chemical	CN	Ningbo University	CN	Ningbo university	CN
Weifang Yourong Industrial	CN	Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences	CN	Cool planet energy systems	US
Nanjing Agricultural University	CN	M S Technologies	US	Beijing fangneng science & technology	CN
Beijing Normal University	CN	Shanghai University	CN	Locus solutions	US
Bagley David	US	University of Xiamen	CN	University of Xiamen	CN
Institute of Applied Ecology Cas	CN	Yellow Sea Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sci	CN	Nanjing University	CN
Nanjing University	CN	Yunnan Agricultural University	CN	Zhejiang university	CN
South China Agricultural University	CN	Zhejiang Institute of Fresh Water Fisheries	CN	Agricultural university of hebei	CN

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo a partir de informações do Orbit Intelligence (2020)

Analisando os dez maiores depositantes de patentes, percebe-se claramente a liderança da China quanto ao desenvolvimento de tecnologias associadas à biorremediação, aquicultura e biorremediação aplicada à aquicultura. Essa liderança reflete investimento alto no desenvolvimento de tecnologias que possam recuperar danos ambientais, e a China na corrida industrial consumiu seus recursos naturais de forma extrema.

Por um lado, os investimentos em tecnologias para recuperação ambiental podem sinalizar o interesse na regeneração de recursos e, ao mesmo tempo, ajustar o uso quanto a práticas de impacto ambiental. Por outro, podem indicar a busca por segurança alimentar da nação com maior quantitativo de pessoas no mundo. Nesse sentido, a aquicultura é uma atividade econômica extremamente rentável, e, no último relatório da FAO (2016), a China aparece representando cerca de 60% da produção aquícola mundial.

Entre os maiores depositantes de patentes sobre biorremediação relacionada à aquicultura, em nível mundial, está a University of Xiamen, uma universidade pública de pesquisa em Fujian, China. Entre suas patentes, destaca-se “Method for biological repairing eutrophication of subtropical zone sea water fish culture in net cage area” (CN1559934A), publicada em 2005, e que tem como inventores Jiao Nianzhi, Liang Hongxing e Tang Kunxian. Essa invenção consiste em um método de biorremediação de eutrofização em região de piscicultura marinha, por meio do cultivo de uma espécie de alga comestível próximo ou nos tanques-rede com os peixes, em cultura mista. A balsa de cultura suspensa de biorremediação é fornecida com pelo menos dois postes dispostos paralelamente, com as partes finais desses postes conectadas por cordas ou suportes. Uma vez que o método é simples, de baixo custo e efetivamente resolve uma questão pendente do ambiente biológico, com benefícios ecológico, social e econômico, pode ser considerado uma tecnologia frugal.

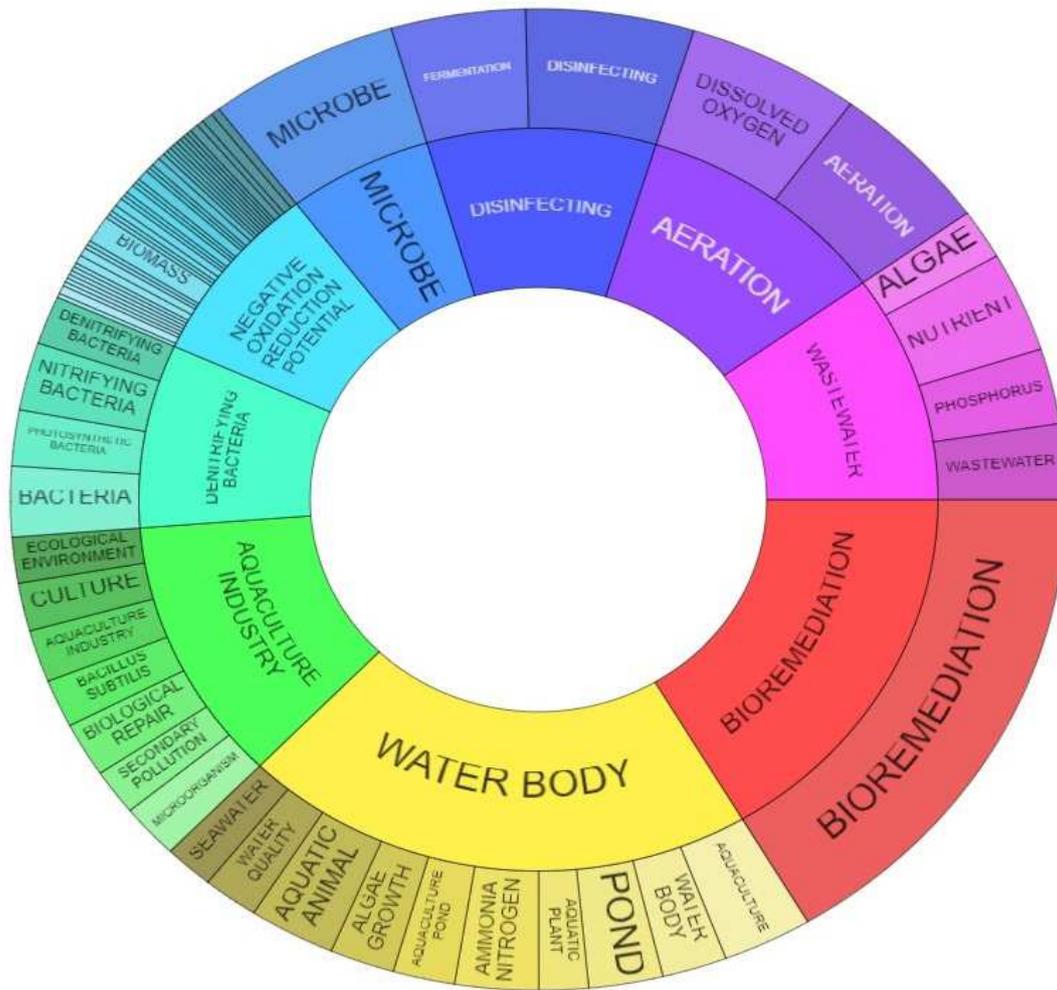
A terminologia “tecnologia frugal” ou “inovação frugal” aplica-se às inovações de baixo custo ou com pouco orçamento, que são desenvolvidas principalmente nos mercados emergentes. A tecnologia frugal é a invenção de algo novo (produtos/serviços novos ou uma nova forma de fazê-los), de formato também novo ou completamente original, seja produto ou serviço, para uma finalidade específica de baixo custo. Assim, a tecnologia frugal também pode ser considerada quase disruptiva pois, por ser algo completamente novo, pode inclusive criar um grupo novo de clientes, fornecedores ou usuários (ZESCHKY; WINTERHALTER; GASSMANN, 2014).

Em relação à Classificação Cooperativa de Patentes (CPC, na sigla em inglês), os quatro códigos mais frequentes na classificação de patentes de biorremediação representam juntos 50,71%. Os códigos de classificação de patentes mais identificados no documentos registrados no Orbit são B09C 001/10 (Recuperação de solo contaminado/Microbiologicamente ou usando enzimas); C02F 003/34 (Tratamento biológico da água, águas residuais ou esgoto/Caracterizado pelos micro-organismos utilizados); B09C 001/08 (Recuperação de solo contaminado/Quimicamente); C12N 001/20 (Microrganismos, Processos de propagação, manutenção ou preservação de micro-organismos ou suas composições; Processos de preparação ou isolamento de uma composição contendo um micro-organismo/Bactérias; Meios de cultura para micro-organismos).

A frequência de códigos de classificações que incluam o tratamento biológico de efluentes provenientes da aquicultura foi baixa, indicando uma oportunidade para a produção tecnológica nesse eixo temático. Mas pode-se destacar, por exemplo, o código Y02A 40/80, que corresponde a “Tecnologias de adaptação na agricultura, silvicultura, pecuária ou produção agroalimentar no manejo pesqueiro” e apresentou quantitativo expressivo no que tange à classificação de patentes no resultado das buscas.

A partir das análises produzidas no Orbit Intelligence, foi possível também elaborar a Figura 4, que demonstra os principais domínios tecnológicos encontrados no portfólio de patentes proveniente da seguinte consulta: (Biorremed\* OR Bioremed\*) AND (Aquicultur\* OR Aquacultur\*).

**Figura 4** – Principais tecnologias e aplicações relacionadas aos depósitos de patente



Fonte: Adaptada do Orbit Inteligence (2020)

A ilustração permite identificar rapidamente os conceitos mais utilizados pelos requerentes de patentes na área de estudo dessa prospecção, o que pode ser fonte de ideação para novos desenvolvimentos ou identificação de tecnologias protegidas em um novo campo. Os conceitos que apareceram com maior frequência no escopo dessa busca foram micróbio, águas residuais, corpo d’água, lago, algas, tanque de aeração, oxigênio dissolvido, potencial de redução de oxidação negativa, desinfecção, reparo biológico, bactérias nitrificantes e bactérias desnitrificantes.

Quanto ao potencial de aplicação da biorremediação no campo da aquicultura, cabe destacar as oportunidades relacionadas à produção tecnológica de 444 patentes vinculadas ao conceito de tecnologia ambiental e de 260 vinculadas à biotecnologia, além das relacionadas à análise de materiais biológicos (18), de química orgânica fina (14) e de microestrutura e nanotecnologia (5).

## 4 Considerações Finais

O resultado deste estudo prospectivo confirma a relevância dos eixos temáticos aquicultura e biorremediação, considerando a soma de pesquisas científicas e produções tecnológicas

encontradas. Enquanto a aquicultura tem sido objeto intenso de produções científicas e tecnológicas, a biorremediação, por ser uma tecnologia mais recente, avança ainda em passos mais lentos, mas já figura de forma expressiva nas bases consultadas. Observou-se ainda que, ao contrário da biorremediação, a diferença quantitativa entre as produções científicas e tecnológicas na aquicultura é pequena, indicando uma área de estudo mais madura e com conversão em construções tecnológicas.

Quando associadas biorremediação e aquicultura, identificou-se um espaço considerável para avanços na produção de conhecimento e soluções tecnológicas, uma vez que o quantitativo de produções individuais é muito superior em comparação com o resultado da associação dos temas.

Esta prospecção evidenciou que a produção tecnológica sobre biorremediação e aquicultura é liderada pela China e pelos Estados Unidos, bem como que há uma quantidade expressiva de patentes dos principais depositantes mundiais entrando em fase de caducidade, ficando em domínio público, disponíveis aos interessados nessas soluções tecnológicas. Caso essas tecnologias sejam exploradas e aplicadas no tratamento de efluentes da atividade de aquicultura no Brasil, elas podem desempenhar um papel importante para a segurança alimentar da população e para a preservação do meio ambiente.

Por fim, constatou-se que, entre as cinco cadeias produtivas da aquicultura priorizadas pelo governo federal, a que se sobressaiu neste estudo é a piscicultura, seguida modestamente pela carcinicultura e maricultura, no entanto, nenhuma delas figurou nos resultados de buscas associadas à biorremediação, o que pode se tornar um desafio quanto ao tratamento de efluentes no Brasil.

## 5 Perspectivas Futuras

É perceptível que a aquicultura traz benefícios e desafios, especialmente no contexto brasileiro que tem ambiente favorável e possui diversas espécies de interesse comercial cultivadas ou potencialmente cultiváveis.

Ao mesmo tempo em que a aquicultura pode proporcionar benefícios sociais e econômicos, bem como para a segurança alimentar e preservação de espécies por diminuir a pressão sobre a pesca, também apresenta desafios quanto aos impactos ambientais causados por sua implantação e tratamento de seus efluentes. Nesse sentido, a biorremediação pode contribuir para o enfrentamento desses desafios, dependendo, para tanto, de produções científicas e tecnológicas aplicadas à aquicultura.

Os resultados deste estudo permitem sugerir ainda aos países com menor capacidade de produção tecnológica, que enfrentam desafios na consolidação da aquicultura e da segurança alimentar de suas populações, que eles utilizem o conhecimento e as soluções disponíveis nas patentes expiradas sobre esse eixo temático, especialmente à luz dos principais depositantes internacionais e dos países líderes de mercado. Essa perspectiva se aplica à realidade brasileira, a qual necessita aprimorar o alinhamento das políticas públicas em relação ao uso da ciência, tecnologia e inovação como forma de obter sucesso a longo prazo nas estratégias desenhadas pelo poder público.

Ainda, no recorte brasileiro, cabe destacar que as condições geográficas que favorecem a aquicultura continental e no mar (*offshore*), aliadas ao uso eficaz dos conhecimentos científicos e tecnológicos, podem levar o país a uma posição de protagonismo na produção global e a benefícios econômicos não só por conta da questão alimentar, mas também pela exploração de bioderivados, carecendo para isso de incentivos contínuos em inovação.

Além disso, há espaço para a criação de regulamentos e adoção de processos de rotulagem e certificação, que viabilizem resultados ambientais positivos, principalmente porque os sistemas de aquicultura têm aumentado em escala, e a produção tem se intensificado, o que potencializa riscos à fauna e à flora dos ambientes naturais e impactos climáticos. A aplicação desses tipos de instrumentos de governança, desde que não puramente restritivos, permite uma maior transparência e aceitação social dos produtos da aquicultura.

## Referências

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das águas**: Quantidade de água. [2020]. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 26 jun. 2020.
- BRITO, L. O. *et al.* Bioremediation of shrimp biofloc wastewater using clam, seaweed and fish. **Chemistry and Ecology**, Londres, v. 34, p. 901-913, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02757540.2018.1520843?journalCode=gche20>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- CAMARGO, A. F. M.; HENARES, M. N. P. Ambiente e biorremediação de efluentes da aquicultura. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 11, p. 56-60, 2012. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va11-meio-ambiente06.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- CARVALHO, N. T. P. **A caducidade de patentes por falta de exploração**. 1991. 208f. Tese (Doutorado em Direito) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.
- CHOPIN, T. *et al.* The Canadian integrated multitrophic aquaculture network (CIMTAN) - A network for a new era of ecosystem responsible aquaculture. **Fisheries**, [s.l.], n. 38, p. 297-308, 2013.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesca e aquicultura**. Palmas: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/>. Acesso em: 14 set. 2020.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2014**. Rome, 2014. 243p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3720e/i3720e.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016**. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma, 2016. 226p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i5555s/i5555s.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Sustainability in action. Rome, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2022.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, DF, n. 34, p. 36-43, 2005. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4144372/mod\\_resource/content/1/Biorremediac%CC%A7a%CC%83o%20-%20Artigo%201.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4144372/mod_resource/content/1/Biorremediac%CC%A7a%CC%83o%20-%20Artigo%201.pdf). Acesso em: 16 jun. 2021.

HAN, W. *et al.* Bioremediation of Aquaculture Wastewater with Algal-Bacterial Biofilm Combined with the Production of Selenium Rich Biofertilizer. **Water**, Basileia, n. 12, p. 2.071, 2020. Disponível em: [https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2071?type=check\\_update&version=2](https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2071?type=check_update&version=2). Acesso em: 19 jun. 2021.

MPA – MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. **Plano de desenvolvimento da aquicultura brasileira – 2015/2020**. Brasília, DF: MPA, 2015. 61p. Disponível em [http://seafoodbrasil.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Plano\\_de\\_Desenvolvimento\\_da\\_Aquicultura-2015-2020.pdf](http://seafoodbrasil.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Plano_de_Desenvolvimento_da_Aquicultura-2015-2020.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019: Highlights** (ST/ESA/DRT.A/423). 2019. p. 1-5. Disponível em: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf). Acesso em: 7 ago. 2022.

PILLAY, T. V. R. **Aquaculture and the environment**. Oxford: Fishing News Books/Blakwell Scientific Publications Ltd. 1992. 189p.

RAI, P. K. **Phytoremediation of Emerging Contaminants in Wetlands**. New York: Taylor & Francis Group. 2018. 91p. Disponível em: <https://www.routledge.com/Phytoremediation-of-Emerging-Contaminants-in-Wetlands/Rai/p/book/9780815385103>. Acesso em: 26 jun. 2020.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Aquicultura no Brasil – Série de estudos mercadológicos**. Brasília, DF: Sebrae, 2015. 76p. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/\\$File/5403.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/$File/5403.pdf). Acesso em: 26 jun. 2020.

SUPLICY, F. M. Cultivo de moluscos: uma atividade que produz inúmeros impactos ambientais positivos. **Panorama da Aquicultura**, [s.l.], v. 15, n. 88, p. 27-31, 2005.

TEIXEIRA, R. N. G. Aquicultura: desafios para produzir peixes de forma sustentável. In: ENCONTRO AGROTECNOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS, 2. **Anais** [...]. Tailândia, 2006. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178105/1/Aquicultura.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2020.

ZESCHKY, M. B.; WINTERHALTER, S.; GASSMANN, O. From Cost to Frugal and Reverse Innovation: Mapping the Field and Implications for Global Competitiveness. **Research Technology Management**, Londres, v. 57, n. 4, p. 20-27, 2014. Disponível em: <https://www.alexandria.unisg.ch/232105/1/0235-Zeschky%20Winterhalter%20Gassmann%204-30-14%20AX.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2021.

## Sobre os Autores

### **Wendel Fialho de Abreu**

*E-mail:* wendel6236@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0511-3632>

Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pelo PROFNIT/IFPA em 2022.

Endereço profissional: AV. Presidente Vargas, n. 800. Campina, Belém, PA. CEP: 66010-000.

### **Kelly Cristina Leite da Silva**

*E-mail:* kellyleite.pa@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2905-8631>

Mestra em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pelo PROFNIT/IFPA em 2022.

Endereço profissional: Tv. Doutor Enéas Pinheiro, s/n, Marco, Belém, PA. CEP: 66095-903.

### **Luis André Luz Barbas**

*E-mail:* andre.barbas@ifpa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2708-8909>

Doutor em Aquicultura pela Universidade Federal do Rio Grande em 2015.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal, BR 316, KM 62, Saudade, Castanhal, PA. CEP: 68740-970.

### **Carlos Alberto Machado da Rocha**

*E-mail:* carlos.rocha@ifpa.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3037-1323>

Doutor em Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará em 2009.

Endereço profissional: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Belém, Av. Almirante Barroso, n. 1.155, Marco, Belém, PA. CEP: 66093-020.